

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5429244号
(P5429244)

(45) 発行日 平成26年2月26日(2014.2.26)

(24) 登録日 平成25年12月13日(2013.12.13)

| | | |
|-------------------|------------------|-------------|
| (51) Int. Cl. | F 1 | |
| G02B 13/02 | (2006.01) | G02B 13/02 |
| G03B 5/00 | (2006.01) | G03B 5/00 J |
| G02B 1/11 | (2006.01) | G02B 1/10 A |

請求項の数 16 (全 26 頁)

| | | | |
|--------------|------------------------------|-----------|--|
| (21) 出願番号 | 特願2011-171230 (P2011-171230) | (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 |
| (22) 出願日 | 平成23年8月4日(2011.8.4) | (74) 代理人 | 100077919 弁理士 井上 義雄 |
| (65) 公開番号 | 特開2013-33178 (P2013-33178A) | (74) 代理人 | 100153899 弁理士 相原 健一 |
| (43) 公開日 | 平成25年2月14日(2013.2.14) | (74) 代理人 | 100172638 弁理士 伊藤 隆治 |
| 審査請求日 | 平成23年8月30日(2011.8.30) | (74) 代理人 | 100159363 弁理士 井上 淳子 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2011-141816 (P2011-141816) | (72) 発明者 | 田中 一政 東京都千代田区有楽町1丁目12番1号 株式会社ニコン内 |
| (32) 優先日 | 平成23年6月27日(2011.6.27) | | |
| (33) 優先権主張国 | 日本国(JP) | | |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学系、光学装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群とにより、実質的に3個のレンズ群からなり、

無限遠物体から近距離物体への合焦時に、前記第2レンズ群が移動し、前記第1レンズ群と前記第3レンズ群の位置が固定であり、

前記第3レンズ群の少なくとも一部が光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、

前記第3レンズ群の前記少なくとも一部は、負の屈折力を有する負レンズ群であり、

以下の条件式を満足し、

前記第1レンズ群から前記第3レンズ群における光学面のうちの少なくとも1面に反射防止膜が設けられており、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ことを特徴とする光学系。

$$0.30 < f1 / f < 0.60$$

$$0.20 < (-f2) / f < 0.60$$

$$0.30 < f3 / f < 0.60$$

$$0.50 < |fVR| / f3 < 1.00$$

ただし、

f : 前記光学系の焦点距離

f1 : 前記第1レンズ群の焦点距離

f2 : 前記第2レンズ群の焦点距離

f 3 : 前記第 3 レンズ群の焦点距離

f V R : 前記第 3 レンズ群の前記少なくとも一部の焦点距離

【請求項 2】

前記反射防止膜は多層膜であり、

前記ウェットプロセスを用いて形成された層は、前記多層膜を構成する層のうちの最も表面側の層であることを特徴とする請求項 1 に記載の光学系。

【請求項 3】

前記ウェットプロセスを用いて形成された層の屈折率を n_d としたとき、 n_d が 1.30 以下であることを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

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形状のレンズ面であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 5】

前記開口絞りから見て凹形状のレンズ面は、像側のレンズ面であることを特徴とする請求項 4 に記載の光学系。

【請求項 6】

前記開口絞りから見て凹形状のレンズ面は、物体側のレンズ面であることを特徴とする請求項 4 に記載の光学系。

【請求項 7】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、物体側から見て凹形状のレンズ面であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記物体側から見て凹形状のレンズ面は、前記第 2 レンズ群内のレンズの物体側レンズ面であることを特徴とする請求項 7 に記載の光学系。

【請求項 9】

前記反射防止膜が設けられた前記光学面は、像側から見て凹形状のレンズ面であることを特徴とする請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 10】

前記像側から見て凹形状のレンズ面は、前記第 3 レンズ群内のレンズの物体側レンズ面であることを特徴とする請求項 9 に記載の光学系。

【請求項 11】

前記第 3 レンズ群は、前記負レンズ群よりも物体側に配置された正の屈折力を有する第 1 正レンズ群と、前記負レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第 2 正レンズ群とを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 10 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 12】

以下の条件式を満足することを特徴とする請求項 11 に記載の光学系。

$$0.60 < (-fVR) / fp2 < 1.50$$

ただし、

f V R : 前記負レンズ群の焦点距離

f p 2 : 前記第 2 正レンズ群の焦点距離

【請求項 13】

前記第 1 正レンズ群は、正レンズと負レンズとを接合してなる 1 つの接合レンズからなることを特徴とする請求項 11 又は請求項 12 に記載の光学系。

【請求項 14】

前記第 2 レンズ群は、2 枚の負レンズと 1 枚の正レンズを有することを特徴とする請求項 1 から請求項 13 のいずれか一項に記載の光学系。

【請求項 15】

物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群と、正の屈折力を有する第 3 レンズ群とにより、実質的に 3 個のレンズ群からなり、

10

20

30

40

50

無限遠物体から近距離物体への合焦時に、前記第2レンズ群が移動し、前記第1レンズ群と前記第3レンズ群の位置が固定であり、

前記第3レンズ群の少なくとも一部が光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、以下の条件式を満足し、

前記第1レンズ群から前記第3レンズ群における光学面のうちの少なくとも1面に反射防止膜が設けられており、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ことを特徴とする光学系。

$$0.30 < f_1 / f < 0.60$$

$$0.30 < (-f_2) / f < 0.60$$

$$0.30 < f_3 / f < 0.60$$

$$0.50 < |f_{VR}| / f_3 < 1.00$$

10

ただし、

f : 前記光学系の焦点距離

f₁ : 前記第1レンズ群の焦点距離

f₂ : 前記第2レンズ群の焦点距離

f₃ : 前記第3レンズ群の焦点距離

f_{VR} : 前記第3レンズ群の前記少なくとも一部の焦点距離

【請求項16】

請求項1から請求項15のいずれか一項に記載の光学系を備えたことを特徴とする光学装置。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系、光学装置、光学系の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、写真用カメラ、電子スチルカメラ、ビデオカメラ等に適した光学系が提案されている（例えば、特許文献1を参照）。また近年、このような光学系に対しては、収差性能だけでなく、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いる。そのため、光学系の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、斯かる要求に応えるべく多層膜の設計技術や成膜技術も進歩を続けている（例えば、特許文献2を参照）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2008-145584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】

【0004】

40

しかしながら、上述のような従来光学系は、像ぶれ補正時の収差変動が大きいという問題があった。また、それと同時に従来光学系におけるレンズ面では、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。

そこで本発明は上記問題点を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、像ぶれ補正時の収差変動を良好に抑えた光学系、光学装置、光学系の製造方法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】

【0005】

上記課題を解決するために本発明は、

物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ

50

群と、正の屈折力を有する第3レンズ群とにより、実質的に3個のレンズ群からなり、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、前記第2レンズ群が移動し、前記第1レンズ群と前記第3レンズ群の位置が固定であり、

前記第3レンズ群の少なくとも一部が光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、前記第3レンズ群の前記少なくとも一部は、負の屈折力を有する負レンズ群であり、以下の条件式を満足し、

前記第1レンズ群から前記第3レンズ群における光学面のうちの少なくとも1面に反射防止膜が設けられており、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ことを特徴とする光学系を提供する。

$$\begin{aligned} 0.30 < f_1 / f < 0.60 \\ 0.20 < (-f_2) / f < 0.60 \\ 0.30 < f_3 / f < 0.60 \\ 0.50 < |f_{VR}| / f_3 < 1.00 \end{aligned}$$

10

ただし、

f : 前記光学系の焦点距離

f_1 : 前記第1レンズ群の焦点距離

f_2 : 前記第2レンズ群の焦点距離

f_3 : 前記第3レンズ群の焦点距離

f_{VR} : 前記第3レンズ群の前記少なくとも一部の焦点距離

また本発明は、

物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群とにより、実質的に3個のレンズ群からなり、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、前記第2レンズ群が移動し、前記第1レンズ群と前記第3レンズ群の位置が固定であり、

前記第3レンズ群の少なくとも一部が光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、以下の条件式を満足し、

前記第1レンズ群から前記第3レンズ群における光学面のうちの少なくとも1面に反射防止膜が設けられており、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ことを特徴とする光学系を提供する。

$$\begin{aligned} 0.30 < f_1 / f < 0.60 \\ 0.30 < (-f_2) / f < 0.60 \\ 0.30 < f_3 / f < 0.60 \\ 0.50 < |f_{VR}| / f_3 < 1.00 \end{aligned}$$

20

30

ただし、

f : 前記光学系の焦点距離

f_1 : 前記第1レンズ群の焦点距離

f_2 : 前記第2レンズ群の焦点距離

f_3 : 前記第3レンズ群の焦点距離

f_{VR} : 前記第3レンズ群の前記少なくとも一部の焦点距離

【0006】

また本発明は、

前記光学系を備えたことを特徴とする光学装置を提供する。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、ゴーストやフレアをより低減させ、像ぶれ補正時の収差変動を良好に抑えた光学系、光学装置、光学系の製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本願の第1実施例に係る光学系のレンズ構成を示す図である。

【図2】(a)、及び(b)はそれぞれ、第1実施例に係る光学系の無限遠物体合焦時の

40

50

諸収差図、及び無限遠物体合焦時に 0.3° の回転ぶれに対して防振を行った場合のメリディオナル横収差図である。

【図3】本願の第1実施例に係る光学系のレンズ構成を示す断面図であって、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の一例を説明する図である。

【図4】本願の第2実施例に係る光学系のレンズ構成を示す図である。

【図5】(a)、及び(b)はそれぞれ、第2実施例に係る光学系の無限遠物体合焦時の諸収差図、及び無限遠物体合焦時に 0.3° の回転ぶれに対して防振を行った場合のメリディオナル横収差図である。

【図6】本願の第3実施例に係る光学系のレンズ構成を示す図である。

【図7】(a)、及び(b)はそれぞれ、第3実施例に係る光学系の無限遠物体合焦時の諸収差図、及び無限遠物体合焦時に 0.3° の回転ぶれに対して防振を行った場合のメリディオナル横収差図である。

【図8】本願の光学系を備えたカメラの構成を示す図である。

【図9】本願の光学系の製造方法を示す図である。

【図10】反射防止膜の層構造の一例を示す説明図である。

【図11】反射防止膜の分光特性を示すグラフである。

【図12】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13】変形例に係る反射防止膜の分光特性の入射角度依存性を示すグラフである。

【図14】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15】従来技術で作成した反射防止膜の分光特性の入射角度依存性を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本願の光学系、光学装置、光学系の製造方法について説明する。

本願の光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群とを有し、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、前記第2レンズ群が移動し、前記第3レンズ群の少なくとも一部が光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、以下の条件式(1)、(2)、(3)を満足することを特徴とする。

$$(1) \quad 0.30 < f_1 / f < 0.60$$

$$(2) \quad 0.10 < (-f_2) / f < 0.60$$

$$(3) \quad 0.30 < f_3 / f < 0.60$$

ただし、

f : 前記光学系の焦点距離

f₁ : 前記第1レンズ群の焦点距離

f₂ : 前記第2レンズ群の焦点距離

f₃ : 前記第3レンズ群の焦点距離

【0010】

上述のように本願の光学系は、第2レンズ群を合焦レンズ群として光軸方向へ移動させて無限遠物体から近距離物体への合焦を行うことにより、合焦時の収差変動を小さくすることができる。また、合焦レンズ群の軽量化を図ることができ、これによって高速な合焦を行うことが可能となる。

また、上述のように本願の光学系は、第3レンズ群の少なくとも一部を防振レンズ群として光軸と直交する方向の成分を含むように移動させることにより、手ぶれ等によって生じる像ぶれの補正(防振)を行うことができる。そして、像ぶれ補正時の収差変動を小さくすることができる。

【0011】

上記条件式(1)は、本願の光学系全体の焦点距離と第1レンズ群の焦点距離を規定するものである。本願の光学系は、条件式(1)を満足することにより、光学系の全長が大

10

20

30

40

50

きくなることを防止し、像面湾曲やコマ収差を良好に補正することができる。

本願の光学系の条件式(1)の対応値が上限値を上回ると、第1レンズ群の屈折力が小さくなり、光学系の全長が増大し、さらに周辺光量を確保することが困難になってしまうため好ましくない。また、光学系の全長を短縮するために第3レンズ群の屈折力を大きくすれば、球面収差や像面湾曲を補正することが困難になってしまうため好ましくない。なお、条件式(1)の上限値を0.59に設定することで、本願の効果をより確実なものとする事ができる。

一方、本願の光学系の条件式(1)の対応値が下限値を下回ると、第1レンズ群の屈折力が大きくなり、像面湾曲やコマ収差を補正することが困難になってしまうため好ましくない。なお、条件式(1)の下限値を0.40に設定することで、本願の効果をより確実なものとする事ができる。

10

【0012】

上記条件式(2)は、本願の光学系全体の焦点距離と第2レンズ群の焦点距離を規定するものである。本願の光学系は、条件式(2)を満足することにより、球面収差や像面湾曲を良好に補正し、光学系の全長が大きくなることを防止することができる。

本願の光学系の条件式(2)の対応値が上限値を上回ると、第2レンズ群の屈折力が小さくなり、球面収差や像面湾曲を十分に補正することができなくなってしまうため好ましくない。また、合焦レンズ群である第2レンズ群の合焦時の移動量が大きくなり、光学系の全長が大きくなってしまうため好ましくない。なお、条件式(2)の上限値を0.50に設定することで、本願の効果をより確実なものとする事ができる。

20

一方、本願の光学系の条件式(2)の対応値が下限値を下回ると、第2レンズ群の屈折力が大きくなり、球面収差や像面湾曲を補正することが困難になってしまうため好ましくない。なお、条件式(2)の下限値を0.20に設定することで、本願の効果をより確実なものとする事ができる。

【0013】

上記条件式(3)は、本願の光学系全体の焦点距離と第3レンズ群の焦点距離を規定するものである。本願の光学系は、条件式(3)を満足することにより、球面収差、コマ収差、及び歪曲収差を良好に補正することができ、バックフォーカスを十分に確保することができる。

本願の光学系の条件式(3)の対応値が上限値を上回ると、第3レンズ群の屈折力が小さくなり、光学系の全長が大きくなってしまうため好ましくない。この影響を緩和するために第1レンズ群と第2レンズ群の屈折力を大きくすれば、球面収差、コマ収差、及び歪曲収差を補正することが困難になってしまうため好ましくない。なお、条件式(3)の上限値を0.59に設定することで、本願の効果をより確実なものとする事ができる。

30

一方、本願の光学系の条件式(3)の対応値が下限値を下回ると、第3レンズ群の屈折力が大きくなる。このため、球面収差やコマ収差を補正することが困難になり、また、バックフォーカスを確保することが困難になってしまうため好ましくない。バックフォーカスを確保するために第2レンズ群の屈折力を大きくすれば、球面収差を補正することが困難になってしまうため好ましくない。なお、条件式(3)の下限値を0.40に設定することで、本願の効果をより確実なものとする事ができる。

40

以上の構成により、像ぶれ補正時の収差変動及び合焦時の収差変動を良好に抑えた光学系を実現することができる。

【0014】

また本願の光学系は、前記第1レンズ群から前記第3レンズ群における光学面のうちの少なくとも1面に反射防止膜が設けられており、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ことを特徴とする。この構成により、本願の光学系は、物体からの光が光学面で反射されることによって生じるゴーストやフレアをより低減させることができ、高い結像性能を達成することができる。

【0015】

また本願の光学系は、前記反射防止膜が多層膜であり、前記ウェットプロセスを用いて

50

形成された層は、前記多層膜を構成する層のうちの最も表面側の層であることが望ましい。この構成により、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。

また本願の光学系は、前記ウェットプロセスを用いて形成された層の屈折率を n_d としたとき、 n_d が 1.30 以下であることが望ましい。この構成により、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。

【0016】

また本願の光学系は、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形状のレンズ面であることが望ましい。第1レンズ群から第3レンズ群における光学面のうち、開口絞りから見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、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

また本願の光学系は、前記開口絞りから見て凹形状のレンズ面が、像側のレンズ面であることが望ましい。第1レンズ群から第3レンズ群における光学面のうち、開口絞りから見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

また本願の光学系は、前記開口絞りから見て凹形状のレンズ面が、物体側のレンズ面であることが望ましい。第1レンズ群から第3レンズ群における光学面のうち、開口絞りから見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

20

【0017】

また本願の光学系は、前記反射防止膜が設けられた前記光学面が、物体側から見て凹形状のレンズ面であることが望ましい。第1レンズ群から第3レンズ群における光学面のうち、物体側から見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

特に本願の光学系は、前記物体側から見て凹形状のレンズ面が、前記第2レンズ群内のレンズのレンズ面であることが望ましい。第2レンズ群内のレンズのレンズ面であって、物体側から見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、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

また本願の光学系は、前記物体側から見て凹形状のレンズ面が、前記第2レンズ群内のレンズの物体側レンズ面であることが望ましい。第2レンズ群内のレンズの物体側レンズ面であって、物体側から見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0018】

また本願の光学系は、前記反射防止膜が設けられた前記光学面が、像側から見て凹形状のレンズ面であることが望ましい。第1レンズ群から第3レンズ群における光学面のうち、像側から見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

40

特に本願の光学系は、前記像側から見て凹形状のレンズ面が、前記第3レンズ群内のレンズのレンズ面であることが望ましい。第3レンズ群内のレンズのレンズ面であって、像側から見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

また本願の光学系は、前記像側から見て凹形状のレンズ面が、前記第3レンズ群内のレンズの物体側レンズ面であることが望ましい。第3レンズ群内のレンズの物体側レンズ面であって、像側から見て凹形状のレンズ面では反射光が発生しやすい。このため、斯かるレンズ面に反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

50

【0019】

なお、本願の光学系における反射防止膜は、ウェットプロセスに限られず、ドライプロセス等によって形成してもよい。この場合、反射防止膜は屈折率が1.30以下となる層を少なくとも1層含むようにすることが好ましい。この構成により、反射防止膜をドライプロセス等によって形成した場合でも、反射防止膜をウェットプロセスによって形成した場合と同様の効果を得ることができる。なお、屈折率が1.30以下となる層は、多層膜を構成する層のうちの最も表面側の層であることが好ましい。

【0020】

また本願の光学系は、以下の条件式(4)を満足することが望ましい。

$$(4) \quad 0.50 < |fVR| / f3 < 1.00$$

ただし、

fVR：前記第3レンズ群の前記少なくとも一部の焦点距離

f3：前記第3レンズ群の焦点距離

【0021】

条件式(4)は、第3レンズ群の焦点距離と、光軸と直交する方向の成分を含むように移動可能に第3レンズ群に設けられた少なくとも一部(以下、防振レンズ群と称す)の焦点距離を規定するものである。本願の光学系は、条件式(4)を満足することにより、光学系の大型化を防止し、像ぶれ補正時の偏心コマ収差を良好に補正することができる。

本願の光学系の条件式(4)の対応値が上限値を上回ると、第3レンズ群における防振レンズ群の屈折力が小さくなる。このため、像ぶれ補正時の防振レンズ群の移動量が大きくなり、防振ユニットや鏡筒の外径が大型化してしまうため好ましくない。また、本願の光学系の条件式(4)の対応値が上限値を上回らないように第3レンズ群の屈折力を小さくすれば、光学系の全長が増大してしまうため好ましくない。なお、条件式(4)の上限値を0.90に設定することで、本願の効果をより確実なものとするすることができる。

一方、本願の光学系の条件式(4)の対応値が下限値を下回ると、防振レンズ群の屈折力が大きくなり、像ぶれ補正時の偏心コマ収差を補正することが困難になってしまうため好ましくない。なお、条件式(4)の下限値を0.55に設定することで、本願の効果をより確実なものとするすることができる。

【0022】

また本願の光学系は、前記第3レンズ群の前記少なくとも一部(防振レンズ群)が、負の屈折力を有する負レンズ群であることが望ましい。この構成により、像ぶれ補正時の収差変動を小さくすることができる。

また本願の光学系は、前記第3レンズ群が、前記負レンズ群よりも物体側に配置された正の屈折力を有する第1正レンズ群と、前記負レンズ群よりも像側に配置された正の屈折力を有する第2正レンズ群とを有することが望ましい。この構成により、像ぶれ補正時の収差変動を小さくすることができる。

また本願の光学系は、以下の条件式(5)を満足することが望ましい。

$$(5) \quad 0.60 < (-fVR) / fp2 < 1.50$$

ただし、

fVR：前記負レンズ群の焦点距離

fp2：前記第2正レンズ群の焦点距離

【0023】

条件式(5)は、第3レンズ群における第2正レンズ群の焦点距離と負レンズ群の焦点距離を規定するものである。本願の光学系は、条件式(5)を満足することにより、光学系の大型化を防止し、像ぶれ補正時の偏心コマ収差を良好に補正することができる。

本願の光学系の条件式(5)の対応値が上限値を上回ると、負レンズ群、即ち防振レンズ群の屈折力が小さくなる。このため、像ぶれ補正時の防振レンズ群の移動量が大きくなり、防振ユニットや鏡筒の外径が大型化してしまうため好ましくない。なお、条件式(5)の上限値を1.30に設定することで、本願の効果をより確実なものとするすることができる。

10

20

30

40

50

一方、本願の光学系の条件式(5)の対応値が下限値を下回ると、防振レンズ群の屈折力が大きくなり、像ぶれ補正時の偏心コマ収差を補正することが困難になってしまうため好ましくない。なお、条件式(5)の下限値を0.70に設定することで、本願の効果をより確実なものとするができる。

【0024】

また本願の光学系は、前記第1正レンズ群が、正レンズと負レンズとを接合してなる1つの接合レンズからなることが望ましい。この構成により、鏡筒の小型化を図ることができる。

また本願の光学系は、前記第2レンズ群が、2枚の負レンズと1枚の正レンズを有することが望ましい。この構成により、合焦時の収差変動を小さくすることができる。

10

また本願の光学装置は、上述した構成の光学系を備えていることを特徴とする。これにより、ゴーストやフレアをより低減させ、像ぶれ補正時の収差変動を良好に抑えた光学装置を実現することができる。

【0025】

また本願の光学系の製造方法は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群とを有する光学系の製造方法であって、前記第1レンズ群から前記第3レンズ群における光学面のうちの少なくとも1面に反射防止膜を設け、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層含むように構成し、前記第1レンズ群、前記第2レンズ群、及び前記第3レンズ群が以下の条件式(1)、(2)、(3)を満足するようにし、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、前記第2レンズ群が移動するようにし、前記第3レンズ群の少なくとも一部が光軸と直交する方向の成分を含むように移動するようにすることを特徴とする。

20

$$(1) \quad 0.30 < f_1 / f < 0.60$$

$$(2) \quad 0.10 < (-f_2) / f < 0.60$$

$$(3) \quad 0.30 < f_3 / f < 0.60$$

ただし、

f : 前記光学系の焦点距離

f₁ : 前記第1レンズ群の焦点距離

f₂ : 前記第2レンズ群の焦点距離

f₃ : 前記第3レンズ群の焦点距離

30

斯かる本願の光学系の製造方法により、ゴーストやフレアをより低減させ、像ぶれ補正時の収差変動を良好に抑えた光学系を製造することができる。

【0026】

以下、本願の数値実施例に係る光学系を添付図面に基づいて説明する。

(第1実施例)

図1は、本願の第1実施例に係る光学系のレンズ構成を示す図である。

本実施例に係る光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3とから構成されている。

40

第1レンズ群G1は、物体側から順に、両凸形状の正レンズL11と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL12と、両凸形状の正レンズL13と両凹形状の負レンズL14との接合レンズと、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL15と両凸形状の正レンズL16との接合レンズとからなる。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹形状の負レンズL21と、両凸形状の正レンズL22と両凹形状の負レンズL23との接合レンズとからなる。

【0027】

第3レンズ群G3は、物体側から順に、開口絞りSと、正の屈折力を有する第1正レンズ群Gp1と、負の屈折力を有する負レンズ群GVRと、正の屈折力を有する第2正レンズ群Gp2とからなる。

50

第1正レンズ群Gp1は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL31と両凸形状の正レンズL32との接合レンズのみからなる。

負レンズ群GVRは、物体側から順に、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズL33と両凹形状の負レンズL34との接合レンズのみからなる。

第2正レンズ群Gp2は、物体側から順に、両凸形状の正レンズL35と像側に凸面を向けた負メニスカスレンズL36との接合レンズのみからなる。

【0028】

本実施例に係る光学系では、第2レンズ群G2全体が像側へ移動し、これによって無限遠物体から近距離物体への合焦が行われる。

また本実施例に係る光学系では、第3レンズ群G3内の負レンズ群GVRが防振レンズ群として光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、これによって像ぶれの補正を行うことができる。

また本実施例に係る光学系は、第1レンズ群G1における正レンズL13の物体側レンズ面(面番号5)と、第3レンズ群G3における正レンズL32の像側レンズ面(面番号19)に、後述する反射防止膜が形成されている。

【0029】

以下の表1に、本実施例に係る光学系の諸元の値を掲げる。

表1において、fは焦点距離、BFはバックフォーカスを示す。

[面データ]において、面番号は物体側から数えたレンズ面の順番、rはレンズ面の曲率半径、dはレンズ面の間隔、ndはd線(波長587.6nm)に対する屈折率、dはd線(波長587.6nm)に対するアッペ数をそれぞれ示している。また、物面は物体面、(絞りS)は開口絞りS、像面は像面Iをそれぞれ示している。なお、曲率半径rは平面を示し、空気の屈折率nd=1.00000の記載は省略している。

【0030】

[各種データ]において、FNOはFナンバー、2は画角、Yは像高、TLは光学系全長をそれぞれ示す。

ここで、表1に掲載されている焦点距離fや曲率半径r及びその他長さの単位は一般に「mm」が使われる。しかしながら光学系は、比例拡大又は比例縮小しても同等の光学性能が得られるため、これに限られるものではない。

なお、以上に述べた表1の符号は、後記表2、3においても同様に用いるものとする。

【0031】

ここで、レンズ全系の焦点距離がf、防振係数(ぶれ補正時の防振レンズ群の移動量に対する像面I上での像の移動量の比)がKであるレンズにおいて、角度の回転ぶれを補正するためには、防振レンズ群を(f・tan)/Kだけ光軸と直交する方向へ移動させればよい。したがって、本実施例に係る光学系は、防振係数が0.80、焦点距離が132.9(mm)であるため、0.3°の回転ぶれを補正するための防振レンズ群の移動量は0.87(mm)となる。

【0032】

(表1)第1実施例

[面データ]

| 面番号 | r | d | nd | d |
|-----|-----------|--------|----------|-------|
| 物面 | | | | |
| 1 | 218.5583 | 7.000 | 1.618000 | 63.37 |
| 2 | -540.2614 | 0.200 | | |
| 3 | 103.9713 | 7.000 | 1.618000 | 63.37 |
| 4 | 438.0518 | 0.200 | | |
| 5 | 70.4602 | 12.000 | 1.497820 | 82.51 |
| 6 | -296.9672 | 3.000 | 1.834807 | 42.72 |
| 7 | 138.0366 | 9.005 | | |
| 8 | 62.1858 | 2.500 | 1.800999 | 34.96 |

10

20

30

40

50

| | | | | |
|---------|------------|--------|----------|-------|
| 9 | 38.2633 | 12.000 | 1.497820 | 82.51 |
| 10 | -456.2726 | 3.000 | | |
| 11 | -496.4748 | 2.500 | 1.583130 | 59.39 |
| 12 | 45.5419 | 4.281 | | |
| 13 | 357.5640 | 4.000 | 1.846660 | 23.78 |
| 14 | -110.4606 | 2.000 | 1.658441 | 50.89 |
| 15 | 46.8715 | 15.123 | | |
| 16(絞りS) | | 2.000 | | |
| 17 | 173.9463 | 2.000 | 1.728250 | 28.46 |
| 18 | 35.3526 | 7.500 | 1.834807 | 42.72 |
| 19 | -111.2682 | 2.000 | | |
| 20 | -166.6361 | 4.000 | 1.846660 | 23.78 |
| 21 | -42.0037 | 1.500 | 1.667551 | 41.96 |
| 22 | 44.0612 | 7.964 | | |
| 23 | 55.3579 | 7.500 | 1.834807 | 42.72 |
| 24 | -50.6631 | 2.000 | 1.846660 | 23.78 |
| 25 | -1557.1808 | B F | | |

像面

[各種データ]

| | |
|-------|-------|
| f | 132.9 |
| F N O | 1.8 |
| 2 | 18.3 |
| Y | 21.6 |
| T L | 162.5 |
| B F | 42.2 |

[レンズ群データ]

| 群 | 始面 | f |
|----|----|---------|
| 1 | 1 | 72.618 |
| 2 | 11 | -39.896 |
| 3 | 16 | 72.553 |
| p1 | 17 | 69.290 |
| VR | 20 | -62.121 |
| p2 | 23 | 65.095 |

[条件式対応値]

- (1) $f_1 / f = 0.55$
(2) $(- f_2) / f = 0.30$
(3) $f_3 / f = 0.55$
(4) $(- f_{VR}) / f_3 = 0.86$
(5) $(- f_{VR}) / f_{p2} = 0.95$

【 0 0 3 3 】

図 2 (a)、及び図 2 (b) はそれぞれ、第 1 実施例に係る光学系の無限遠物体合焦時の諸収差図、及び無限遠物体合焦時に 0.3° の回転ぶれに対して防振を行った場合のメリディオナル横収差図である。

図 2 (a) 及び図 2 (b) において、F N O は F ナンバー、A は半画角をそれぞれ示す。なお、球面収差図では最大口径に対応する F ナンバーの値を示し、非点収差図及び歪曲収差図では半画角の最大値をそれぞれ示し、コマ収差図では各半画角の値を示す。d は d

10

20

30

40

50

線 (587.6 nm)、g は g 線 (435.8 nm) をそれぞれ示す。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それぞれ示す。なお、以下に示す各実施例の収差図においても、本実施例と同様の符号を用いる。

各諸収差図より、本実施例に係る光学系は、諸収差を良好に補正し優れた結像性能を有しており、さらに防振時にも優れた結像性能を有していることがわかる。

【0034】

ここで、本実施例に係る光学系においてゴーストやフレアが発生する原因について説明する。

図3は、本実施例に係る光学系においてゴーストやフレアとなる反射光が生じる様子の一例を示す図である。

図3において、物体側からの光線BMが図示のように光学系に入射すると、光線BMの一部は第3レンズ群G3における正レンズL32の像側レンズ面(面番号19、ゴーストやフレアとなる反射光が生じる第1番目の面)で反射され、さらに第1レンズ群G1における正レンズL13の物体側レンズ面(面番号5、ゴーストやフレアとなる反射光が生じる第2番目の面)で再度反射され、最終的に像面Iに到達してゴーストやフレアを発生させてしまう。なお、前記第1番目の面は開口絞りSから見て凹形状のレンズ面であり、前記第2番目の面は開口絞りSから見て凹形状のレンズ面である。そこで本実施例に係る光学系は、斯かるレンズ面に広い波長範囲で広い入射角の光線に対応した後述の反射防止膜を形成することで、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0035】

(第2実施例)

図4は、本願の第2実施例に係る光学系のレンズ構成を示す図である。

本実施例に係る光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群G1と、負の屈折力を有する第2レンズ群G2と、正の屈折力を有する第3レンズ群G3とから構成されている。

第1レンズ群G1は、物体側から順に、両凸形状の正レンズL11と、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL12と、両凸形状の正レンズL13と両凹形状の負レンズL14との接合レンズと、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL15と両凸形状の正レンズL16との接合レンズとからなる。

第2レンズ群G2は、物体側から順に、両凹形状の負レンズL21と、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズL22と両凹形状の負レンズL23との接合レンズとからなる。

【0036】

第3レンズ群G3は、物体側から順に、開口絞りSと、正の屈折力を有する第1正レンズ群Gp1と、負の屈折力を有する負レンズ群GVRと、正の屈折力を有する第2正レンズ群Gp2とからなる。

第1正レンズ群Gp1は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL31と両凸形状の正レンズL32との接合レンズのみからなる。

負レンズ群GVRは、物体側から順に、像側に凸面を向けた正メニスカスレンズL33と両凹形状の負レンズL34との接合レンズのみからなる。

第2正レンズ群Gp2は、物体側から順に、両凸形状の正レンズL35と両凹形状の負レンズL36との接合レンズのみからなる。

【0037】

本実施例に係る光学系では、第2レンズ群G2全体が像側へ移動し、これによって無限遠物体から近距離物体への合焦が行われる。

また本実施例に係る光学系では、第3レンズ群G3内の負レンズ群GVRが防振レンズ群として光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、これによって像ぶれの補正を行うことができる。

また本実施例に係る光学系は、第1レンズ群G1における正レンズL13の物体側レンズ面(面番号5)と、第2レンズ群G2における正メニスカスレンズL22の物体側レンズ面(面番号13)と、第3レンズ群G3における正メニスカスレンズL33の物体側レ

10

20

30

40

50

ンズ面（面番号 20）に、後述する反射防止膜が形成されている。

【0038】

以下の表 2 に、本実施例に係る光学系の諸元の値を掲げる。

ここで、本実施例に係る光学系は、防振係数が 0.80、焦点距離が 132.2 (mm) であるため、0.3° の回転ぶれを補正するための防振レンズ群の移動量は 0.87 (mm) となる。

【0039】

(表 2) 第 2 実施例

[面データ]

| 面番号 | r | d | n d | d | |
|----------|------------|--------|----------|-------|----|
| 物面 | | | | | |
| 1 | 187.7777 | 7.000 | 1.618000 | 63.37 | |
| 2 | -496.3475 | 0.200 | | | |
| 3 | 103.0350 | 7.000 | 1.618000 | 63.37 | |
| 4 | 361.8571 | 0.200 | | | |
| 5 | 73.1998 | 12.000 | 1.497820 | 82.51 | |
| 6 | -276.4051 | 3.000 | 1.834807 | 42.72 | |
| 7 | 139.3412 | 8.016 | | | |
| 8 | 82.0080 | 2.500 | 1.603420 | 38.01 | |
| 9 | 36.2666 | 12.000 | 1.497820 | 82.51 | 20 |
| 10 | -432.9076 | 3.000 | | | |
| 11 | -322.8976 | 2.500 | 1.579570 | 53.71 | |
| 12 | 46.9288 | 5.140 | | | |
| 13 | -1251.6819 | 4.000 | 1.846660 | 23.78 | |
| 14 | -88.6342 | 2.000 | 1.516800 | 64.11 | |
| 15 | 46.3513 | 15.826 | | | |
| 16(絞り S) | | 2.000 | | | |
| 17 | 100.2261 | 2.000 | 1.672700 | 32.11 | |
| 18 | 35.6468 | 7.500 | 1.729157 | 54.66 | |
| 19 | -100.6435 | 2.000 | | | 30 |
| 20 | -149.0360 | 4.000 | 1.846660 | 23.78 | |
| 21 | -46.1845 | 1.500 | 1.623740 | 47.05 | |
| 22 | 41.7440 | 8.298 | | | |
| 23 | 51.6961 | 7.000 | 1.729157 | 54.66 | |
| 24 | -53.1754 | 2.000 | 1.728250 | 28.46 | |
| 25 | 3202.3299 | B F | | | |
| 像面 | | | | | |

[各種データ]

| | | |
|-----|-------|----|
| f | 132.3 | 40 |
| FNO | 1.8 | |
| 2 | 18.4 | |
| Y | 21.6 | |
| TL | 162.5 | |
| BF | 41.8 | |

[レンズ群データ]

| 群 | 始面 | f | |
|---|----|---------|----|
| 1 | 1 | 74.678 | |
| 2 | 11 | -42.925 | 50 |

| | | |
|----|----|---------|
| 3 | 16 | 75.297 |
| p1 | 17 | 65.749 |
| VR | 20 | -62.768 |
| p2 | 23 | 71.890 |

[条件式対応値]

- (1) $f_1 / f = 0.56$
 (2) $(- f_2) / f = 0.32$
 (3) $f_3 / f = 0.57$
 (4) $(- f_{VR}) / f_3 = 0.83$
 (5) $(- f_{VR}) / f_{p2} = 0.87$

10

【 0 0 4 0 】

図 5 (a)、及び図 5 (b) はそれぞれ、第 2 実施例に係る光学系の無限遠物体合焦時の諸収差図、及び無限遠物体合焦時に 0.3° の回転ぶれに対して防振を行った場合のメリディオナル横収差図である。

各諸収差図より、本実施例に係る光学系は、諸収差を良好に補正し優れた結像性能を有しており、さらに防振時にも優れた結像性能を有していることがわかる。

【 0 0 4 1 】

(第 3 実施例)

図 6 は、本願の第 3 実施例に係る光学系のレンズ構成を示す図である。

本実施例に係る光学系は、物体側から順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 G 1 と、負の屈折力を有する第 2 レンズ群 G 2 と、正の屈折力を有する第 3 レンズ群 G 3 とから構成されている。

第 1 レンズ群 G 1 は、物体側から順に、両凸形状の正レンズ L 1 1 と、両凸形状の正レンズ L 1 2 と両凹形状の負レンズ L 1 3 との接合レンズと、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 1 4 と物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 5 との接合レンズとからなる。

第 2 レンズ群 G 2 は、物体側から順に、両凹形状の負レンズ L 2 1 と、両凸形状の正レンズ L 2 2 と両凹形状の負レンズ L 2 3 との接合レンズとからなる。

30

【 0 0 4 2 】

第 3 レンズ群 G 3 は、物体側から順に、開口絞り S と、正の屈折力を有する第 1 正レンズ群 G p 1 と、負の屈折力を有する負レンズ群 G VR と、正の屈折力を有する第 2 正レンズ群 G p 2 とからなる。

第 1 正レンズ群 G p 1 は、物体側から順に、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 1 と両凸形状の正レンズ L 3 2 との接合レンズのみからなる。

負レンズ群 G VR は、物体側から順に、両凸形状の正レンズ L 3 3 と両凹形状の負レンズ L 3 4 との接合レンズと、像側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 5 とからなる。

第 2 正レンズ群 G p 2 は、物体側から順に、両凸形状の正レンズ L 3 6 と、両凸形状の正レンズ L 3 7 と像側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 8 との接合レンズとからなる。

40

【 0 0 4 3 】

本実施例に係る光学系では、第 2 レンズ群 G 2 全体が像側へ移動し、これによって無限遠物体から近距離物体への合焦が行われる。

また本実施例に係る光学系では、第 3 レンズ群 G 3 内の負レンズ群 G VR 全体が防振レンズ群として光軸と直交する方向の成分を含むように移動し、これによって像ぶれの補正を行うことができる。

また本実施例に係る光学系は、第 2 レンズ群 G 2 における両凸形状の正レンズ L 2 2 の物体側レンズ面 (面番号 1 1) と、第 3 レンズ群 G 3 における負メニスカスレンズ L 3 1 の物体側レンズ面 (面番号 1 5) と、第 3 レンズ群 G 3 における両凸形状の正レンズ L 3

50

2の像側レンズ面(面番号17)に、後述する反射防止膜が形成されている。

【0044】

以下の表3に、本実施例に係る光学系の諸元の値を掲げる。

ここで、本実施例に係る光学系は、防振係数が0.92、焦点距離が132.3(mm)であるため、0.3°の回転ぶれを補正するための防振レンズ群の移動量は0.75(mm)となる。

【0045】

(表3)第3実施例

[面データ]

| 面番号 | r | d | n d | d | |
|---------|-----------|--------|----------|-------|----|
| 物面 | | | | | |
| 1 | 99.8339 | 11.000 | 1.603001 | 65.46 | |
| 2 | -592.6523 | 0.200 | | | |
| 3 | 84.1919 | 13.000 | 1.497820 | 82.51 | |
| 4 | -203.6824 | 3.000 | 1.672700 | 32.11 | |
| 5 | 331.1476 | 0.200 | | | |
| 6 | 59.7075 | 3.000 | 1.834807 | 42.72 | |
| 7 | 32.0183 | 14.000 | 1.618000 | 63.37 | |
| 8 | 129.9551 | 5.190 | | | |
| 9 | -417.2325 | 2.500 | 1.804000 | 46.57 | 20 |
| 10 | 74.2498 | 1.659 | | | |
| 11 | 141.2688 | 5.000 | 1.846660 | 23.78 | |
| 12 | -201.1402 | 2.000 | 1.603001 | 65.46 | |
| 13 | 42.5251 | 17.021 | | | |
| 14(絞りS) | | 2.000 | | | |
| 15 | 156.9902 | 1.800 | 1.903660 | 31.27 | |
| 16 | 30.0000 | 8.000 | 1.816000 | 46.62 | |
| 17 | -234.0935 | 2.000 | | | |
| 18 | 403.6661 | 5.000 | 2.000690 | 25.45 | |
| 19 | -56.0817 | 1.500 | 1.548141 | 45.79 | 30 |
| 20 | 34.7886 | 6.892 | | | |
| 21 | -37.1080 | 1.500 | 1.548141 | 45.79 | |
| 22 | -545.2217 | 7.499 | | | |
| 23 | 97.2472 | 6.000 | 1.603001 | 65.46 | |
| 24 | -48.6236 | 0.100 | | | |
| 25 | 74.0949 | 8.000 | 1.497820 | 82.51 | |
| 26 | -40.5063 | 2.000 | 1.612930 | 36.96 | |
| 27 | -788.8992 | B F | | | |
| 像面 | | | | | 40 |

[各種データ]

| | |
|-----|-------|
| f | 132.3 |
| FNO | 1.8 |
| Z | 18.4 |
| Y | 21.6 |
| TL | 172.5 |
| BF | 42.4 |

[レンズ群データ]

| | | | |
|---|----|---|----|
| 群 | 始面 | f | 50 |
|---|----|---|----|

| | | |
|----|----|---------|
| 1 | 1 | 74.741 |
| 2 | 9 | -49.371 |
| 3 | 14 | 76.734 |
| p1 | 15 | 159.420 |
| VR | 18 | -52.643 |
| p2 | 23 | 43.282 |

[条件式対応値]

(1) $f_1 / f = 0.57$

(2) $(- f_2) / f = 0.37$

(3) $f_3 / f = 0.58$

(4) $(- f_{VR}) / f_3 = 0.69$

(5) $(- f_{VR}) / f_{p2} = 1.22$

10

【 0 0 4 6 】

図 7 (a)、及び図 7 (b) はそれぞれ、第 3 実施例に係る光学系の無限遠物体合焦時の諸収差図、及び無限遠物体合焦時に 0.3° の回転ぶれに対して防振を行った場合のメリディオナル横収差図である。

各諸収差図より、本実施例に係る光学系は、諸収差を良好に補正し優れた結像性能を有しており、さらに防振時にも優れた結像性能を有していることがわかる。

20

【 0 0 4 7 】

ここで、本願の光学系に用いられる反射防止膜（多層広帯域反射防止膜）について説明する。

図 10 は、本願の光学系に用いられる反射防止膜の構成の一例を示す図である。

図 10 に示すように反射防止膜 101 は、第 1 層 101 a から第 7 層 101 g までの 7 層構造をしており、レンズ等の光学部材 102 の光学面に設けられている。

第 1 層 101 a は、光学部材 102 の光学面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 2 層 101 b は、第 1 層 101 a 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。

30

【 0 0 4 8 】

第 3 層 101 c は、第 2 層 101 b 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 4 層 101 d は、第 3 層 101 c 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 5 層 101 e は、第 4 層 101 d 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 6 層 101 f は、第 5 層 101 e 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。

【 0 0 4 9 】

40

第 7 層 101 g は、第 6 層 101 f 上にウェットプロセスで形成されたフッ化マグネシウムとシリカの混合物からなる。ここで、第 7 層 101 g の形成には、具体的にはウェットプロセスの一種であるゾル - ゲル法が用いられる。ゾル - ゲル法とは、原料を混合することにより得られたゾルを、加水分解・重縮合反応等によって流動性のないゲルとし、このゲルを加熱・分解して生成物を得る方法であり、光学薄膜の作製においては、光学部材の光学面上に光学薄膜材料ゾルを塗布し、乾燥固化によりゲル膜とすることで膜を生成することができる。なお、このようなゾル - ゲル法に限らず、ゲル状態を経ずに固体膜を生成する方法をウェットプロセスとして用いてもよい。

【 0 0 5 0 】

以上のように、反射防止膜 101 の第 1 層 101 a から第 6 層 101 f まではドライブ

50

プロセスである電子ビーム蒸着によって形成されており、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たウェットプロセスによって形成されている。なお、斯かる第1層101aから第7層101gは、詳細には以下のような手順で形成される。

まず、真空蒸着装置を用いて、レンズ成膜面（上述の光学部材102の光学面）に第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、及び第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。

【0051】

次に、フッ酸/酢酸マグネシウム法により調製したゾル液にシリコンアルコキシドを加えたものをスピコート法によって塗布することにより、第7層101gとなるフッ化マグネシウムとシリカの混合物からなる層を形成する。なお、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は次式(a)である。



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時間高温高圧熟成処理を施した後、成膜に用いられる。また、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、大きさが数nmから数十nmの粒子が空隙を残して堆積することにより第7層101gが形成される。

【0052】

このようにして形成された反射防止膜101を有する光学部材の光学的性能について図11に示す分光特性を用いて説明する。

本願の反射防止膜を有する光学部材（レンズ）は、以下の表4に示す条件で形成されている。ここで、表4は、基準波長を λ_0 とし、基板（光学部材）の屈折率が1.62、1.74、及び1.85について反射防止膜101の各層101a（第1層）～101g（第7層）の光学膜厚をそれぞれ求めたものである。なお、表4及び後記表5、6では、酸化アルミニウムをAl₂O₃、酸化チタンと酸化ジルコニウムの混合物をZrO₂+TiO₂、フッ化マグネシウムとシリカの混合物をMgF₂+SiO₂とそれぞれ表記している。

【0053】

(表4)

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

【0054】

図11は、表4において基準波長 λ_0 を550nmとして反射防止膜101の各層の光学膜厚を設計した光学部材に光線が垂直入射する時の分光特性を示している。

図11から、基準波長 λ_0 を550nmで設計した反射防止膜101を有する光学部材は、光線の波長が420nm～720nmの全域で反射率を0.2%以下に抑えられることがわかる。また、表4において基準波長 λ_0 をd線（波長587.6nm）として各光学膜厚を設計した反射防止膜101を有する光学部材でも、その分光特性にはほとんど影響せず、図11に示す基準波長 λ_0 が550nmの場合と略同等の分光特性を有する。

【 0 0 5 5 】

次に、反射防止膜の変形例について説明する。

変形例に係る反射防止膜は、第 1 層から第 5 層までの 5 層構造をしており、表 4 と同様に、以下の表 5 で示される条件で基準波長 に対する各層の光学膜厚が設計される。本変形例では、第 5 層の形成に前述のゾル - ゲル法を用いている。

【 0 0 5 6 】

(表 5)

| 媒質 | 物質 | 屈折率 | 光学膜厚 | 光学膜厚 |
|--------|-------------|------|-------|-------|
| | 空気 | 1 | | |
| 第 5 層 | MgF2 + SiO2 | 1.26 | 0.275 | 0.269 |
| 第 4 層 | ZrO2 + TiO2 | 2.12 | 0.045 | 0.043 |
| 第 3 層 | Al2O3 | 1.65 | 0.212 | 0.217 |
| 第 2 層 | ZrO2 + TiO2 | 2.12 | 0.077 | 0.066 |
| 第 1 層 | Al2O3 | 1.65 | 0.288 | 0.290 |
| 基板の屈折率 | | 1.46 | 1.52 | |

10

【 0 0 5 7 】

図 1 2 は、表 5 において、基板の屈折率が 1 . 5 2 及び基準波長 を 5 5 0 n m として各光学膜厚を設計した反射防止膜を有する光学部材に光線が垂直入射する時の分光特性を示している。

20

図 1 2 から、本変形例に係る反射防止膜は、光線の波長が 4 2 0 n m ~ 7 2 0 n m の全域で反射率が 0 . 2 % 以下に抑えられることがわかる。なお、表 5 において基準波長 を d 線 (波長 5 8 7 . 6 n m) として各光学膜厚を設計した反射防止膜を有する光学部材でも、その分光特性にはほとんど影響せず、図 1 2 に示す分光特性と略同等の特性を有する。

【 0 0 5 8 】

図 1 3 は、図 1 2 に示す分光特性を有する光学部材への光線の入射角が 3 0 度、4 5 度、及び 6 0 度の場合の分光特性をそれぞれ示す。なお、図 1 2、図 1 3 には、表 5 に示す基板の屈折率が 1 . 4 6 の反射防止膜を有する光学部材の分光特性は図示されていないが、基板の屈折率が 1 . 5 2 と略同等の分光特性を有していることは言うまでもない。

30

【 0 0 5 9 】

また比較のため、図 1 4 に従来の真空蒸着法等のドライプロセスのみで成膜した反射防止膜の一例を示す。図 1 4 は、表 5 と同じ基板の屈折率 1 . 5 2 に以下の表 6 で示される条件で構成される反射防止膜を設計した光学部材に光線が垂直入射する時の分光特性を示す。図 1 5 は、図 1 4 に示す分光特性を有する光学部材への光線の入射角が 3 0 度、4 5 度、及び 6 0 度の場合の分光特性をそれぞれ示す。

【 0 0 6 0 】

(表 6)

| 媒質 | 物質 | 屈折率 | 光学膜厚 |
|--------|-------------|------|-------|
| | 空気 | 1 | |
| 第 7 層 | MgF2 | 1.39 | 0.243 |
| 第 6 層 | ZrO2 + TiO2 | 2.12 | 0.119 |
| 第 5 層 | Al2O3 | 1.65 | 0.057 |
| 第 4 層 | ZrO2 + TiO2 | 2.12 | 0.220 |
| 第 3 層 | Al2O3 | 1.65 | 0.064 |
| 第 2 層 | ZrO2 + TiO2 | 2.12 | 0.057 |
| 第 1 層 | Al2O3 | 1.65 | 0.193 |
| 基板の屈折率 | | 1.52 | |

40

【 0 0 6 1 】

50

図11～図13で示される本願の反射防止膜を有する光学部材の分光特性を、図14及び図15で示される従来例の分光特性と比較すると、本願の反射防止膜はいずれの入射角においてもより低い反射率を有し、しかもより広い帯域を有することがよくわかる。

【0062】

次に、以上に述べた本願の反射防止膜及びその変形例(表4、表5の反射防止膜)の上記各実施例に係る光学系への適用例について説明する。

第1実施例に係る光学系において、第1レンズ群G1の正レンズL13の屈折率は、表1に示したように1.497820であり、第3レンズ群G3の正レンズL32の屈折率は、表1に示したように1.834807である。

そこで、正レンズL13の物体側レンズ面に、表5に示した屈折率が1.52の基板に対応する反射防止膜、正レンズL32の像側レンズ面に、表4に示した屈折率が1.85の基板に対応する反射防止膜を用いる。

これにより、第1実施例に係る光学系は、反射防止膜を用いた各レンズ面からの反射光を少なくすることができ、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0063】

第2実施例に係る光学系において、第1レンズ群G1の正レンズL13の屈折率は、表2に示したように1.497820である。また、第2レンズ群G2の正メニスカスレンズL22の屈折率、及び第3レンズ群G3の正メニスカスレンズL33の屈折率は、表2に示したようにいずれも1.846660である。

そこで、正レンズL13の物体側レンズ面に、表5に示した屈折率が1.46の基板に対応する反射防止膜を用いる。また、正メニスカスレンズL22の物体側レンズ面、及び正メニスカスレンズL33の物体側レンズ面の両方に、表4に示した屈折率が1.85の基板に対応する反射防止膜を用いる。

これにより、第2実施例に係る光学系は、反射防止膜を用いた各レンズ面からの反射光を少なくすることができ、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0064】

第3実施例に係る光学系において、第2レンズ群G2の正レンズL22の屈折率は、表3に示したように1.846660である。また、第3レンズ群G3の負メニスカスレンズL31の屈折率は、表3に示したように1.903660である。また、第3レンズ群G3の正レンズL32の屈折率は、表3に示したように1.816000である。

そこで、正レンズL22の物体側レンズ面、負メニスカスレンズL31の物体側レンズ面、及び正レンズL32の像側レンズ面の全てに、表4に示した屈折率が1.85の基板に対応する反射防止膜を用いる。

これにより、第3実施例に係る光学系は、反射防止膜を用いた各レンズ面からの反射光を少なくすることができ、ゴーストやフレアを効果的に低減させることができる。

【0065】

以上より、上記各実施例によれば、ゴーストやフレアをより低減させ、像ぶれ補正時の収差変動及び合焦時の収差変動を良好に抑えた光学系を実現することができる。

なお、上記各実施例は本願発明の一具体例を示しているものであり、本願発明はこれらに限定されるものではない。以下の内容は、本願の光学系の光学性能を損なわない範囲で適宜採用することが可能である。

本願の光学系の数値実施例として3群構成のものを示したが、本願はこれに限られず、その他の群構成(例えば、4群、5群等)の光学系を構成することもできる。具体的には、本願の光学系の最も物体側や最も像側にレンズ又はレンズ群を追加した構成でも構わない。なお、レンズ群とは、空気間隔で分離された少なくとも1枚のレンズを有する部分を示す。

【0066】

また、本願の光学系は、無限遠物体から近距離物体への合焦を行うために、レンズ群の一部、1つのレンズ群全体、或いは複数のレンズ群を合焦レンズ群として光軸方向へ移動させる構成としてもよい。特に、第2レンズ群の少なくとも一部を合焦レンズ群とするこ

10

20

30

40

50

とが好ましい。また、斯かる合焦レンズ群は、オートフォーカスに適用することも可能であり、オートフォーカス用のモータ、例えば超音波モータ等による駆動にも適している。

また、本願の光学系において、いずれかのレンズ群全体又はその一部を、防振レンズ群として光軸に垂直な成分を含むように移動させ、又は光軸を含む面内方向へ回転移動（揺動）させることで、手ぶれによって生じる像ぶれを補正する構成とすることもできる。特に、本願の光学系では第3レンズ群の少なくとも一部を防振レンズ群とすることが好ましい。

【0067】

また、本願の光学系を構成するレンズのレンズ面は、球面又は平面としてもよく、或いは非球面としてもよい。レンズ面が球面又は平面の場合、レンズ加工及び組立調整が容易になり、レンズ加工及び組立調整の誤差による光学性能の劣化を防ぐことができるため好ましい。また、像面がずれた場合でも描写性能の劣化が少ないため好ましい。レンズ面が非球面の場合、研削加工による非球面、ガラスを型で非球面形状に成型したガラスモールド非球面、又はガラス表面に設けた樹脂を非球面形状に形成した複合型非球面のいずれでもよい。また、レンズ面は回折面としてもよく、レンズを屈折率分布型レンズ（GRINレンズ）或いはプラスチックレンズとしてもよい。

【0068】

また、本願の光学系において開口絞りは第3レンズ群の中又は近傍に配置されることが好ましいが、開口絞りとして部材を設けずにレンズ枠でその役割を代用する構成としてもよい。

また、本願の光学系を構成するレンズのレンズ面に、広い波長域で高い透過率を有する反射防止膜を施してもよい。これにより、フレアやゴーストを軽減し、高コントラストの高い光学性能を達成することができる。

【0069】

次に、本願の光学系を備えたカメラを図8に基づいて説明する。

図8は、本願の光学系を備えたカメラの構成を示す図である。

本カメラ1は、図8に示すように撮影レンズ2として上記第1実施例に係る光学系を備えたデジタル一眼レフカメラである。

本カメラ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。

【0070】

また、撮影者によって不図示のリリース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、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、当該撮像素子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、撮影者は本カメラ1による被写体の撮影を行うことができる。

以上の構成により、上記第1実施例に係る光学系を撮影レンズ2として搭載した本カメラ1は、ゴーストやフレアをより低減させ、像ぶれ補正時の収差変動を良好に抑え、良好な光学性能を実現することができる。なお、上記第2、第3実施例に係る光学系を撮影レンズ2として搭載したカメラを構成しても上記カメラ1と同様の効果を奏することができる。また、クイックリターンミラー3を有しないミラーレスカメラに上記各実施例に係る光学系を搭載した場合でも、上記カメラ1と同様の効果を奏することができる。

【0071】

最後に、本願の光学系の製造方法の概略を図9に基づいて説明する。

図9は、本願の光学系の製造方法を示す図である。

本願の光学系の製造方法は、物体側から順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群とを有する光学系の製造方法であって、以下の各ステップS1～S4を含むものである。

【 0 0 7 2 】

ステップ S 1 : 第 1 レンズ群から第 3 レンズ群における光学面のうちの少なくとも 1 面に反射防止膜を設け、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 層含むように構成する。

ステップ S 2 : 第 1 レンズ群、第 2 レンズ群、及び第 3 レンズ群が以下の条件式 (1)、(2)、(3) を満足するように各レンズ群を用意し、鏡筒内に物体側から順に配置する。

$$(1) \quad 0 . 3 0 < f 1 / f < 0 . 6 0$$

$$(2) \quad 0 . 1 0 < (- f 2) / f < 0 . 6 0$$

$$(3) \quad 0 . 3 0 < f 3 / f < 0 . 6 0$$

10

ただし、

f : 光学系の焦点距離

f 1 : 第 1 レンズ群の焦点距離

f 2 : 第 2 レンズ群の焦点距離

f 3 : 第 3 レンズ群の焦点距離

【 0 0 7 3 】

ステップ S 3 : 公知の移動機構を設ける等することで、無限遠物体から近距離物体への合焦時に、第 2 レンズ群が移動するようにする。

ステップ S 4 : 公知の移動機構を設ける等することで、第 3 レンズ群の少なくとも一部が光軸と直交する方向の成分を含むように移動するようにする。

20

斯かる本願の光学系の製造方法によれば、ゴーストやフレアをより低減させ、像ぶれ補正時の収差変動を良好に抑えた光学系を製造することができる。

【 符号の説明 】

【 0 0 7 4 】

G 1 第 1 レンズ群

G 2 第 2 レンズ群

G 3 第 3 レンズ群

G p 1 第 1 正レンズ群

G p 2 第 2 正レンズ群

G V R 負レンズ群

30

I 像面

S 開口絞り

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

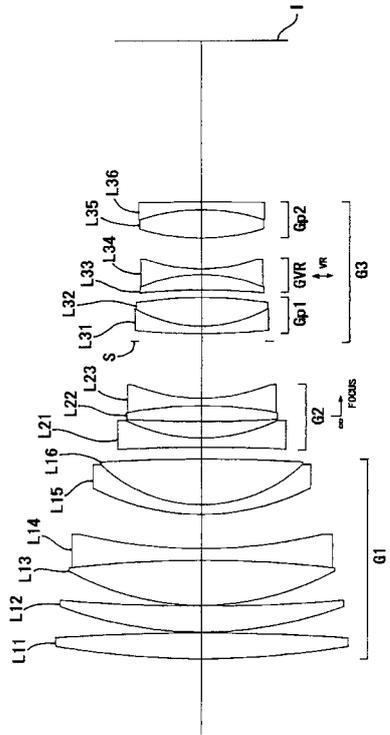
1 0 1 f 第 6 層

1 0 1 g 第 7 層

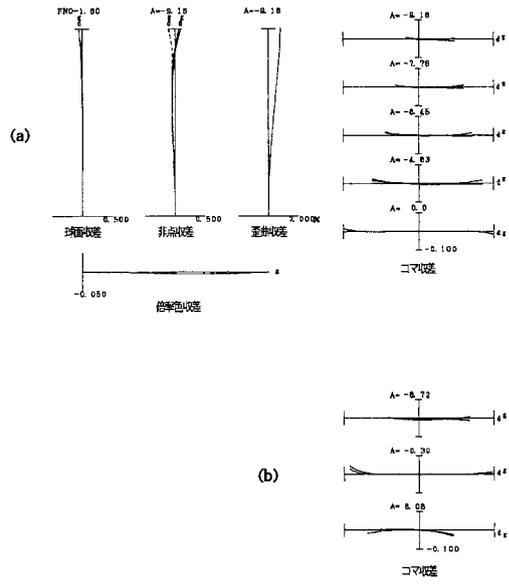
40

1 0 2 光学部材

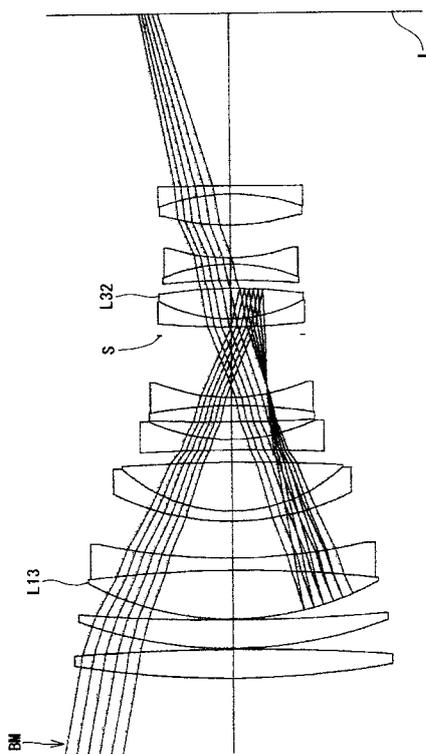
【図1】



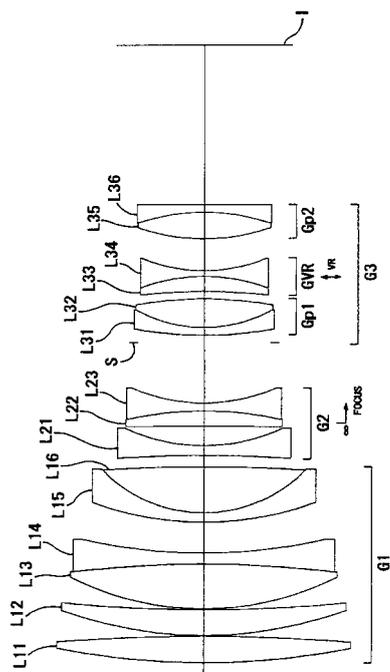
【図2】



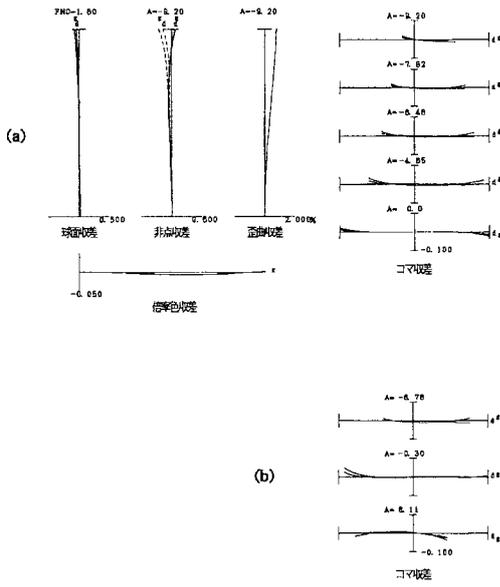
【図3】



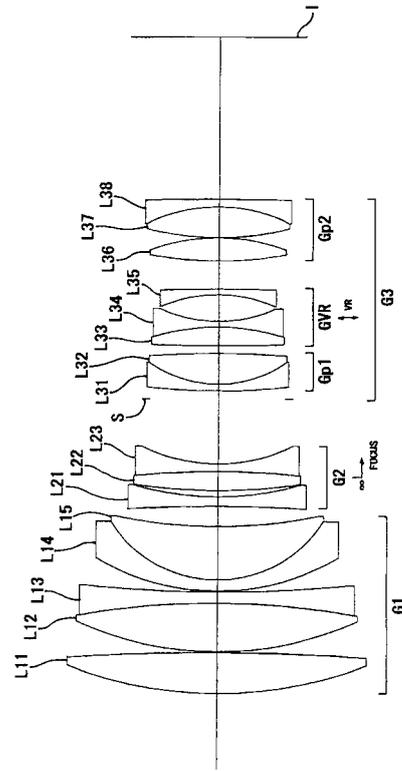
【図4】



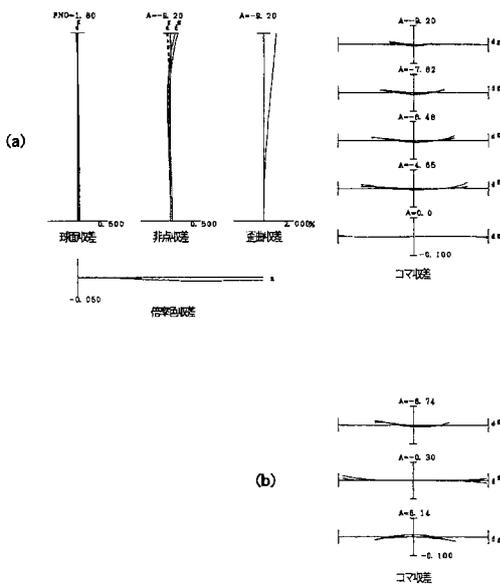
【 図 5 】



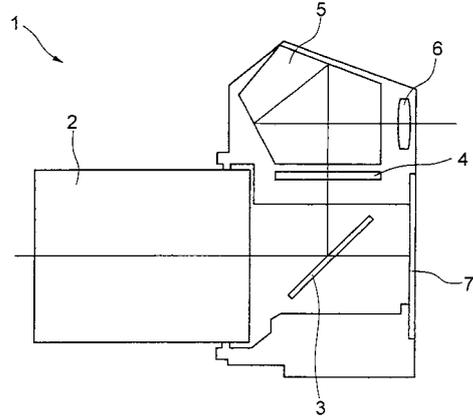
【 図 6 】



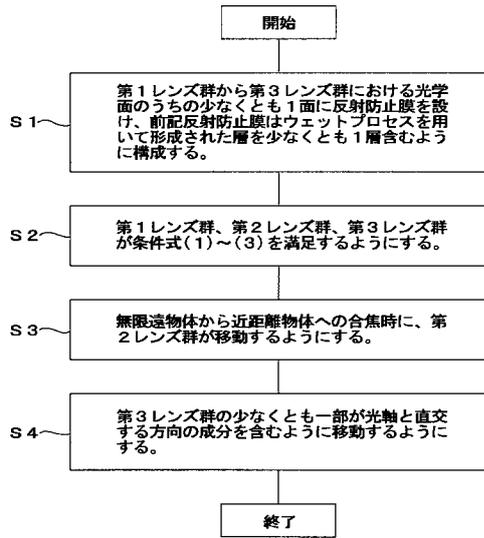
【 図 7 】



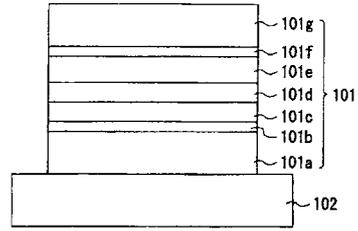
【 図 8 】



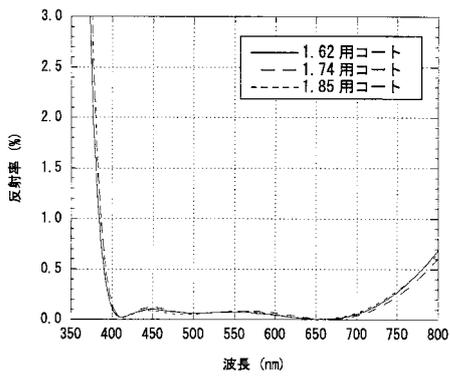
【図9】



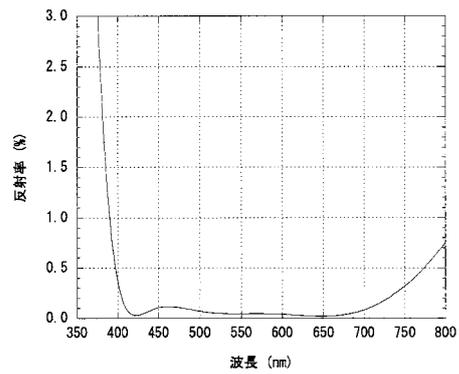
【図10】



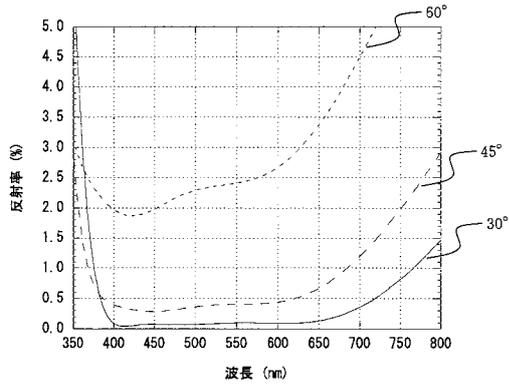
【図11】



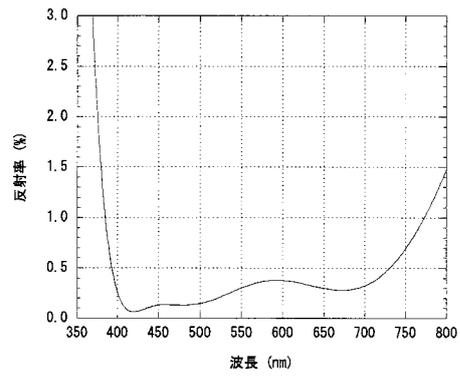
【図12】



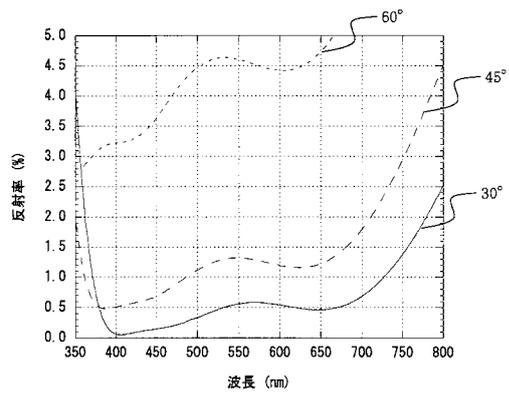
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

(72)発明者 伊藤 智希
東京都千代田区有楽町1丁目12番1号 株式会社ニコン内

審査官 殿岡 雅仁

(56)参考文献 特開平11-160617(JP,A)
特開2010-160240(JP,A)
特開2011-002563(JP,A)
特開2008-233585(JP,A)
特開平07-199123(JP,A)
特開2005-321574(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 9/00 - 17/08
G02B 21/02 - 21/04
G02B 25/00 - 25/04