

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5517568号
(P5517568)

(45) 発行日 平成26年6月11日 (2014. 6. 11)

(24) 登録日 平成26年4月11日 (2014. 4. 11)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 13/00 (2006. 01)

G O 2 B 13/00

G O 2 B 3/00 (2006. 01)

G O 2 B 3/00

Z

G O 2 B 13/18 (2006. 01)

G O 2 B 13/18

G O 2 B 15/20 (2006. 01)

G O 2 B 15/20

G O 2 B 13/02 (2006. 01)

G O 2 B 13/02

請求項の数 11 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2009-257849 (P2009-257849)
 (22) 出願日 平成21年11月11日 (2009. 11. 11)
 (65) 公開番号 特開2011-102906 (P2011-102906A)
 (43) 公開日 平成23年5月26日 (2011. 5. 26)
 審査請求日 平成24年11月6日 (2012. 11. 6)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100086818
 弁理士 高梨 幸雄
 (72) 発明者 前瀬 聡
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内
 (72) 発明者 石橋 友彦
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ヤノン株式会社内

審査官 小倉 宏之

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子及びそれを有する光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の光学要素の上に形成された有機複合物層に接着剤を介して第2の光学要素が接合された光学素子であって、

前記光学素子の光軸を含む断面内において、前記第2の光学素子の前記有機複合物層と接合されている接合面の径を s 、前記有機複合物層の外径を j 、前記接合面の径方向における端部の位置での、前記有機複合物層の前記光軸に沿った長さを $T1$ (mm)、前記有機複合物層の材料の飽和吸水時の伸び率である吸水伸びを $DL1$ (%)、とするとき

$$\frac{s}{T1 \times DL1} < 0.19 \text{ (mm)}$$

なる条件を満たすことを特徴とする光学素子。

【請求項 2】

前記接合面の径方向における端部の位置での、前記第1及び第2の光学要素の前記光軸に沿った長さをそれぞれ $Tg1$ 、 $Tg2$ (mm) とするとき、

$$\frac{(T1 \times DL1)}{(Tg1 + Tg2)} < 0.025$$

なる条件を満たすことを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

【請求項 3】

前記第1及び第2の光学要素の材料のヤング率をそれぞれ $Eg1$ 、 $Eg2$ 、前記有機複合物層の材料のヤング率を $E1$ 、とするとき、

$$\{ (T1 \times D L 1) \times \log E 1 \} / \{ T g 1 \times \log (E g 1) + T g 2 \times \log (E g 2) \} < 0.0090$$

なる条件を満たすことを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】

$$0.0005 \text{ (mm)} < T1 \times D L 1 < 0.19 \text{ (mm)}$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 5】

前記有機複合物層は正メニスカス形状であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

10

【請求項 6】

前記有機複合物層の材料及び前記接着剤の材料の d 線における屈折率をそれぞれ n_r , n_s とするとき、

$$|n_r - n_s| < 0.1$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 7】

前記有機複合物層の空気中における焦点距離を f とするとき、

$$f > 0.0$$

なる条件を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

20

【請求項 8】

前記有機複合物層の材料の異常部分分散性を $|g F r|$ とするとき、

$$0.0272 < |g F r|$$

なる条件を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 9】

3 つ以上の光学要素が接合された光学素子であって、

前記 3 つ以上の光学要素は、2 つの光学面が他の光学要素と接している有機複合物層を含み、かつ、前記有機複合物層の 2 つの光学面のいずれか一方は、接着剤を介して他の光学要素と接合されており、

前記光学素子の光軸を含む断面内において、前記有機複合物層と接着剤を介して接合されている光学要素の接合面の最大径を s 、前記有機複合物層の外径を j 、前記最大径 s を有する接合面の径方向における端部の位置での、前記有機複合物層の前記光軸に沿った長さを $T i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) (mm)、前記有機複合物層の材料の飽和吸水時の伸び率である吸水伸びを $D L i$ ($i = 1, 2, \dots, n$) (%)、とするとき、

30

$$s < j$$

$$(T i \times D L i) < 0.19 \text{ (mm)}$$

なる条件を満たすことを特徴とする光学素子。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光学素子を有することを特徴とする光学系。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の光学系と、該光学系によって形成される像を受光する光電変換素子と、を有することを特徴とする光学機器。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は 3 つ以上の光学要素が接合された光学素子及び該光学素子を含む光学系に関し、銀塩フィルム用カメラ、デジタルスチルカメラ、ビデオカメラ、望遠鏡、双眼鏡、プロジェクター、デジタル複写機等の光学機器に用いられる光学系に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

50

近年、デジタルカメラやビデオカメラ等の撮像装置に用いられる光学系（撮像光学系）には、撮像装置の小型化及び高機能化にともない、全系が小型で高い光学性能を有することが求められている。

【0003】

一般にデジタルカメラやビデオカメラ等の撮像装置に用いられる光学系では、レンズ全長を短縮し、光学系全体の小型化を図るほど諸収差が多く発生してくる。特に軸上色収差及び倍率色収差などの色収差が多く発生してくる。この結果、光学性能が大きく低下してくる。例えばレンズ全長の短縮化を図ったテレフォトタイプの光学系では、焦点距離を伸ばすほど（長くするほど）色収差が多く発生し、光学性能が大きく低下してくる。

【0004】

従来、このときの色収差の発生を低減させる光学系として、異常部分分散性の強い光学材料、例えば樹脂より成る光学要素を用いた光学系が知られている（特許文献1、2参照）。

【0005】

特許文献1では異常部分分散性の強い光学材料、特に樹脂等の有機複合物層を光学系に用いて色収差を低減する方法が開示されている。特許文献2ではレトロフォーカスタイプの光学系において、絞りよりも像側に強い異常部分分散性を持つ樹脂等の有機複合物層を用いて色収差を低減する方法が開示されている。これら特許文献1、2では、強い異常部分分散性を持つ有機複合物層の材料に屈折力を与えた後、他の硝材との色収差のバランスを取ることで全系の色収差を低減している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2006-145823号公報

【特許文献2】特開2006-301416号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

特許文献1、2では、有機複合物層を用いてそれぞれ色収差が良好に補正された光学系を開示している。さらに、効果的に色収差を補正するには、樹脂等の有機複合物層にある程度の屈折力をつけるのが良い。そのためには、有機複合物層にその屈折力に応じた厚みが必要となる。

【0008】

金型を用いてレンズ面に樹脂等の有機複合物層を成形する方法では、有機複合物層の厚みが増す程成形の難易度が増す。これは有機複合物層の量が増えるために、成形時の硬化収縮の絶対量が増し、有機複合物層面を高精度に仕上げるのが困難になるためである。また有機複合物層が厚くなる程、温度変化に対する有機複合物層の寸法変化の絶対量が増し光学性能への影響は大きくなる。

【0009】

特許文献1では、有機複合物層をレンズ面上に付けて色収差を低減している。特許文献2では、有機複合物層をレンズで挟み込んだ光学素子を用いて色収差を低減している。

【0010】

有機複合物層をレンズで挟み込んだ接合型の光学素子では、有機複合物層を片側のレンズ面上に成形した後に、有機複合物層面を接着剤で覆い、もう一方のレンズを張り合わせて製造している。これによって、成形した有機複合物層面の精度の光学性能への影響を最小限に抑えている。また耐環境性の面でも接合型の光学素子は有機複合物層を挟む外部のレンズによって有機複合物層面が規制するため変形が起こりにくいという特徴がある。

【0011】

さらに近年、接合型の光学素子においては、初期の有機複合物層の面精度を満たし、かつ耐環境性、特に高温高湿下での光学素子の性能変化を低減することが要望されている。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

本発明は耐環境性、特に高温高湿下での光学素子の性能変化を低減することができ、優れた光学特性と色収差の補正効果を持つ光学素子及びそれを有する光学系の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

本発明の光学素子は、第 1 の光学要素の上に形成された有機複合物層に接着剤を介して第 2 の光学要素が接合された光学素子であって、前記光学素子の光軸を含む断面内において、前記第 2 の光学素子の前記有機複合物層と接合されている接合面の径を s 、前記有機複合物層の外径を j 、前記接合面の径方向における端部の位置での、前記有機複合物層の前記光軸に沿った長さを T_1 (mm)、前記有機複合物層の材料の飽和吸水時の伸び率である吸水伸びを DL_1 (%)、とするととき、

$$\frac{s < j}{T_1 \times DL_1} < 0.19 \text{ (mm)}$$

なる条件を満たすことを特徴としている。

また、本発明の異なる光学素子は、3 つ以上の光学要素が接合された光学素子であって、前記 3 つ以上の光学要素は、2 つの光学面が他の光学要素と接している有機複合物層を含み、かつ、前記有機複合物層の 2 つの光学面のいずれか一方は、接着剤を介して他の光学要素と接合されており、前記光学素子の光軸を含む断面内において、前記有機複合物層と接着剤を介して接合されている光学要素の接合面の最大径を s 、前記有機複合物層の外径を j 、前記最大径 s を有する接合面の径方向における端部の位置での、前記有機複合物層の前記光軸に沿った長さを T_i ($i = 1, 2, \dots, n$) (mm)、前記有機複合物層の材料の飽和吸水時の伸び率である吸水伸びを DL_i ($i = 1, 2, \dots, n$) (%)、とするととき、

$$\frac{s < j}{(T_i \times DL_i)} < 0.19 \text{ (mm)}$$

なる条件を満たすことを特徴としている。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば耐環境性、特に高温高湿下での光学素子の性能変化を低減することができ、優れた光学特性と色収差の補正効果を持つ光学素子及びそれを有する光学系を達成することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 5 】

【図 1】本発明の実施例 1 の光学素子の要部断面図

【図 2】本発明の実施例 1 の光学素子の外周部の拡大断面図

【図 3】本発明の実施例 2 の光学素子の要部断面図

【図 4】本発明の実施例 2 の光学素子の外周部の拡大断面図

【図 5】本発明の実施例 3 の光学素子の要部断面図

【図 6】実施例 3 の光学素子の外周部の拡大断面図

【図 7】本発明の実施例 1 の光学素子を用いた光学系の要部断面図

【図 8】本発明の実施例 2 の光学素子を用いた光学系の要部断面図

【図 9】本発明の実施例 3 の光学素子を用いた光学系の要部断面図

【図 10】本発明の光学機器（撮像装置）の要部概略図

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 6 】

以下、本発明の光学素子及びそれを用いた光学系について説明する。本発明の光学素子は、3 つ以上の光学要素が接合され一体化されて、所定の屈折力（0 の場合もある）を有している。この 3 つ以上の光学要素のうち、2 つの光学面（光入出射面）を他の光学要素と接している光学要素のうちの一つは有機複合物層より成っている。

【 0 0 1 7 】

有機複合物層は、片側の光学面が気体に曝されている第 1 の光学要素上に成形されている。また、有機複合物層の第 1 の光学要素と反対側の面は接着剤を介して第 2 の光学要素と接合されている。

【 0 0 1 8 】

本発明においては、光学素子の光軸を含む断面内において、前記光学素子を構成する光学要素と光学要素同士を接合した接合面のうち接着剤以外の物を含まない接合面の最大径（有効面径）を s とする。さらに最大径 s における有機複合物層の光軸に沿った長さ（厚み）を T_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) (mm)、有機複合物層の材料の吸水伸び（飽和吸水時の伸び率）を DL_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$) (%) とする。そのとき

$(T_i \times DL_i) < 0.19 \text{ (mm)} \cdots (1)$
なる条件を満たしている。

【 実施例 1 】

以下、図 1 を参照して、本発明の実施例 1 の光学素子について説明する。図 1 は本発明の実施例 1 の光学素子の要部断面図である。図 1 の光学素子 11 は第 1 の光学要素 L 1 の一方の面（凸面）上に第 3 の光学要素として有機複合物層 NL 1 を形成している。この有機複合物層 NL 1 を構成する材料はアクリル系 UV 硬化樹脂 ($Nd = 1.633$ 、 $d = 23.0$ 、 $gF = 0.68$) である。その後、UV 硬化性接着剤 S 1 ($Nd = 1.633$) を介して第 2 の光学要素 L 2 と接合して構成している。なお、第 1 の光学要素 L 1 は S - F S L 5（商品名 株式会社 O H A R A 社製）からなり、第 2 の光学要素 L 2 は S - T I H 5 3（商品名 株式会社 O H A R A 社製）からなる。ここで Nd 、 d 、 gF はそれぞれ順に材料の屈折率、アッペ数、部分分散比である。以下同様である。

【 0 0 1 9 】

第 2 の光学要素 L 2 の一方の面の外周部には遮光剤（遮光部）2 として墨塗りが接合前に予めなされており、これにより有機複合物層 NL 1 の外周から発生するフレアやゴーストを抑えている。

【 0 0 2 0 】

図 1 の光学素子 11 において、光学要素と光学要素同士を接合した接合面のうち接着剤以外の物を含まない接合面の最大径（第 2 の光学要素 L 2 の内径） s は 27.5 mm である。また有機複合物層 NL 1 の外径 j は 28.5 mm である。なお、図 1 において、1 は光学素子 11 の光軸である。

【 0 0 2 1 】

図 2 は図 1 の光学素子 11 の外周部の拡大図である。図 2 において最大径 s における有機複合物層 NL 1、第 1、第 2 の光学要素 L 1、L 2 の光軸に沿った長さ T_1 、 T_{g1} 、 T_{g2} はそれぞれ順に 0.295 mm 、 1.863 mm 、 3.539 mm である。また有機複合物層 NL 1 の材料であるアクリル系 UV 硬化有機複合物の 60 における飽和吸水時の伸び DL_1 は 0.38% であり、ヤング率 E_1 は 4.3 GPa である。さらに第 1、第 2 の光学要素 L 1、L 2 のヤング率 E_{g1} 、 E_{g2} はそれぞれ順に 62.3 GPa 、 96.2 GPa である。

【 0 0 2 2 】

本実施例では、有機複合物層 NL 1 の最大径 s における光軸 1 に沿った長さ T_1 と飽和吸水時の伸び DL_1 の積を所定の値より小さくすることで、高温高湿下での光学素子の変形を低減している。

【 0 0 2 3 】

なお、本実施例においては、第 1 の光学要素 L 1 上に複数の有機複合物層 NL 1、NL 2 \cdots を設けても良い。そして最も上の有機複合物層を接着剤を介して光学要素を接合して光学素子を構成しても良い。以下に示す実施例も同様である。

【 実施例 2 】

以下、図 3 を参照して、本発明の実施例 2 の光学素子について説明する。図 3 は本発明

10

20

30

40

50

の実施例 2 の光学素子の要部断面図である。図 3 の光学素子 1 2 は第 1 の光学要素 L 1 の一方の面（凹面）上に第 3 の光学要素として有機複合物層 N L 1 を形成している。この有機複合物層 N L 1 を構成する材料は N - ポリビニルカルバゾール（ $Nd = 1.696$ 、 $d = 17.7$ 、 $gF = 0.69$ ）である。その後、UV 硬化性接着剤 S 1（ $Nd = 1.633$ ）を介して第 2 の光学要素 L 2 と接合して構成している。なお、第 1 の光学要素 L 1 は S - T I H 5 3（商品名 株式会社 O H A R A 社製）からなり、第 2 の光学要素 L 2 は S - F S L 5（商品名 株式会社 O H A R A 社製）からなる。

【0024】

第 2 の光学要素 L 2 の外周部には遮光部材 3 が配置されており、これにより有機複合物層 N L 1 の外周から発生するフレアやゴーストを抑えている。

10

【0025】

図 3 の光学素子 1 2 において、光学要素と光学要素同士を接合した接合面のうち接着剤以外の物を含まない接合面の最大径（第 2 の光学要素 L 2 の外径） s は 11.0 mm である。また有機複合物層 N L 1 の外径 j は 11.6 mm である。

【0026】

図 4 は図 3 の光学素子 1 2 の外周部の拡大図である。図 4 において最大径 s における有機複合物層 N L 1、第 1、第 2 の光学要素 L 1、L 2 の光軸 1 に沿った長さ T_1 、 Tg_1 、 Tg_2 はそれぞれ順に 0.161 mm 、 1.702 mm 、 0.750 mm である。また有機複合物層 N L 1 の材料である N - ポリビニルカルバゾールの 60 における飽和吸水時の伸び DL_1 は 0.03% であり、ヤング率 E_1 は 1.8 GPa である。さらに第 1、第 2 の光学要素 L 1、L 2 のヤング率 Eg_1 、 Eg_2 はそれぞれ順に 96.2 GPa 、 62.3 GPa である。

20

【0027】

本実施例では、有機複合物層 N L 1 の最大径 s における光軸に沿った長さ T_1 と飽和吸水時の伸び DL_1 の積を所定の値より小さくすることで、高温高湿下での光学素子の変形を低減している。

〔実施例 3〕

以下、図 5 を参照して、本発明の実施例 3 の光学素子について説明する。図 5 は本発明の実施例 3 の光学素子の要部断面図である。図 5 の光学素子 1 3 は第 1 の光学要素 L 1 の一方の面（凸面）上に第 3 の光学要素として有機複合物層 N L 1 を形成している。この有機複合物層 N L 1 を構成する材料はポリマーに微粒子を分散させた有機複合物（ $Nd = 1.806$ 、 $d = 14.9$ 、 $gF = 0.74$ ）である。その後、UV 硬化性接着剤 S 1 を介して第 2 の光学要素 L 2 と接合して構成している。なお、UV 硬化性接着剤 S 1 の材料はポリマー（屈折率 $Nd = 1.580$ 、アッペ数 $d = 37.2$ ）に TiO_2 微粒子を体積比で 15% 分散させたものである。また、第 1 の光学要素 L 1 は S - B S M 1 4（商品名 株式会社 O H A R A 社製）からなり、第 2 の光学要素 L 2 は S - T I H 5 3（商品名 株式会社 O H A R A 社製）からなる。

30

【0028】

図 5 の光学素子 1 3 において、光学要素と光学要素同士を接合した接合面のうち接着剤以外の物を含まない接合面の最大径（第 2 の光学要素 L 2 の内径） s は 67.8 mm である。また有機複合物層 N L 1 の外径 j は 68.8 mm である。

40

【0029】

図 6 は図 5 の光学素子 1 3 の外周部の拡大図である。図 6 において最大径 s における有機複合物層 N L 1、第 1、第 2 の光学要素 L 1、L 2 の光軸に沿った長さ T_1 、 Tg_1 、 Tg_2 はそれぞれ順に 0.281 mm 、 1.720 mm 、 9.9092 mm である。また有機複合物層 N L 1 の材料である有機複合物の 60 における飽和吸水時の伸び DL_1 は 0.61% であり、ヤング率 E_1 は 2.9 GPa である。さらに第 1、第 2 の光学要素 L 1、L 2 のヤング率 Eg_1 、 Eg_2 はそれぞれ順に 61.4 GPa 、 96.2 GPa である。

【0030】

50

本実施例では、有機複合物層NL1の最大径 s における光軸1に沿った長さT1と飽和吸水時の伸びDL1の積を所定の値より小さくすることで、高温高湿下での光学素子の変形を低減している。

【0031】

樹脂等の有機複合物は、硝材にはない光学特性を持つため、光学系の性能向上に寄与することができる。しかし硝材と比べると耐環境性、特に高温高湿下の耐性で劣るため対策が必要となる。

【0032】

本発明者は、光学素子中の有機複合物層NL1が高温高湿下において吸水し変形した際には水蒸気の入り口となる部分の大きさ（長さ）と有機複合物層NL1の材料の吸水時の伸び率が光学系の光学性能に与える影響と関係していることを見出した。条件式（1）はこのような知見によって得られた関係式であり、光学素子中の有機複合物層NL1が高温高湿下において吸水し変形した際の、光学系の光学性能に与える影響を低減させるための条件式である。

【0033】

この条件式（1）の技術的意味について以下でさらに説明する。両側のガラス材等から成る光学要素L1、L2とその光学要素L1、L2に挟まれた有機複合物層NL1の3つの光学要素が接合された光学素子において、高温高湿下での影響を考える場合、有機複合物層NL1への水蒸気の入り口を考えれば良い。このような光学素子において有機複合物層NL1への水蒸気の入り口となるのは両側を挟まれていない有機複合物層NL1の外周部分となる。この外周部から内部（光軸方向）に向かって水蒸気は徐々に浸透していく。また、有機複合物が吸水するとその体積が変化し膨張する。両側を他の光学要素L1、L2に挟まれている場合、該光学要素L1、L2を外側に押し広げることになる。

【0034】

吸水は外周部から徐々に内部へと浸透していくため、光学素子中の有機複合物層NL1はまず外周部から伸びて外側の光学要素を変形させることになる。つまりこのときには光学素子の外周部だけが局所的に変形することになる。光学系に配置されている光学素子を考える場合、光学性能への影響が大きく出るのは、局所的な面の変形である。

【0035】

条件式（1）はその局所的な光学素子の変形を低減するための条件式である。条件式（1）中にある長さTiとは、すなわち、水蒸気の入り口となる部分の大きさ（長さ）を示すものである。また吸水伸びDLiは有機複合物層NL1の材料の吸水時の伸び率を表すものであり、この値が大きければそれだけ伸びやすく外側の光学要素L1、L2を押し広げやすい。TiとDLiの積は光学素子を変形させる力に相当するものであり、これが所定量以下であれば通常の光学系に、本実施例のような接合型光学素子を用いても実用上、高温高湿下での変形量が問題とならない。本実施例の条件式（1）は以上の知見によって得られたものであり、条件式（1）の上限を上回ると光学素子の変形が大きくなり、光学系に大きな影響を及ぼしてしまうので好ましくない。さらに好ましくは上記条件式（1）の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【0036】

$$0.0005(\text{mm}) < (T_i \times D L_i) < 0.19(\text{mm}) \quad (1a)$$

ここで、条件式（1a）の下限を超えると、接合時の歪みや、高温下での接合剥がれや割れを発生し易くなるため好ましくない。

【0037】

なお、本明細書において、光学要素とは屈折、回折等によって光の伝播方向を変える性質を持つ物であり、通常の光学系では硝材等の無機材料やプラスチック等の有機材料で形成されたレンズがこれにあたる。また、有機複合物層とは樹脂材料を硬化させた物や、有機材料に無機微粒子を分散させた物を硬化させた物がこれにあたる。

【0038】

また、本実施例において、光学素子を構成する3つ以上の光学要素のうち、片側の光学

10

20

30

40

50

面が気体に曝されている２つの光学要素の最大径 s における光軸に沿った長さをそれぞれ $T g n$ ($n = 1, 2$) (mm) とする。そのとき、

$$(T i \times D L i) / (T g 1 + T g 2) < 0.025 \cdots (2)$$

なる条件を満たしている。

【００３９】

なお、ここで片側の光学面が気体に曝されている光学要素とは、光学素子を光学要素の中で最も外側（物体側もしくは像側）に位置するものである。

【００４０】

条件式（２）は光学素子の変形をさらに確実に低減させるための条件式である。本実施例の光学素子において有機複合物層 $N L 1$ が吸水によって伸びようとする。しかし、そのとき、両側に位置する他の光学要素 $L 1$ 、 $L 2$ の厚みが厚ければ該光学要素 $L 1$ 、 $L 2$ の剛性が高まり、変形量を低減することができる。さらに、光学素子として変形を低減するためにはどちらかに変形する力が集中しても所定の変形量以下にするために、光学要素 $L 1$ 、 $L 2$ の厚みの和を考えれば良い。条件式（２）は吸水時に有機複合物層で発生する変形力と外側の光学要素の剛性を考えた際の式であり、条件式（２）の上限を上回ると光学素子の変形が大きくなり、光学系に大きな影響を及ぼしてしまうので好ましくない。さらに好ましくは上記条件式（２）の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【００４１】

$$0.0001 < (T i \times D L i) / (T g 1 + T g 2) < 0.025 \cdots (2a)$$

ここで、条件式（２ａ）の下限を超えると、接合時の歪みや、高温下での接合時の剥がれや割れを発生し易くなるため好ましくない。

【００４２】

また、本実施例において、光学素子を構成する３つ以上の光学要素のうち、片側の光学面が気体に曝されている２つの光学要素のヤング率をそれぞれ $E g n$ ($n = 1, 2$)、有機複合物層の材料のヤング率を $E i$ ($i = 1, 2, 3, \cdots n$) とする。そのとき、

$$\{(T i \times D L i) \times \log E i\} / \{T g 1 \times \log (E g 1) + T g 2 \times \log (E g 2)\} < 0.0090 \cdots (3)$$

なる条件を満たしている。

【００４３】

条件式（３）は光学素子の変形をさらに確実に低減させるための条件式である。一般に物質の変形は発生する力とヤング率等の材料特性によって決まる。条件式（３）は吸水時に有機複合物層で発生する変形力と外側の光学要素の剛性を考えた際の式であり、条件式（３）の上限を上回ると光学素子の変形が大きくなり、光学系に大きな影響を及ぼしてしまうので好ましくない。さらに好ましくは上記条件式（３）の数値範囲を次の如く設定するのが良い。

【００４４】

$$0.00001 < \{(T i \times D L i) \times \log E i\} / \{T g 1 \times \log (E g 1) + T g 2 \times \log (E g 2)\} < 0.0090 \cdots (3a)$$

ここで、条件式（３ａ）の下限を超えると、相対的に外側の光学要素の剛性が強くなることになる。この場合、吸水時の変形は低減させることができるが、成形時や接合時の応力の逃げ場が少なくなり、有機複合物層 $N L 1$ に応力が集中しやすくなる。したがって、その分有機複合物層の複屈折が増大し、また、接合剥がれや割れを発生しやすくなり好ましくない。

【００４５】

また本実施例の光学素子は、有機複合物層 $N L 1$ の外径を j とする。そのとき、

$$s < j \cdots (4)$$

なる条件を満たしている。

【００４６】

条件式（４）は有機複合物層が成形された光学要素と、もう一方の光学要素を接合する際の接合時の光学素子の面の歪みを低減させ、また高温や高温高湿下での接合剥がれの発

10

20

30

40

50

生を低減するための条件式である。条件式(4)を満たせば、接着剤層の厚みに分布ができることに起因する接合歪みの発生を低減することができる。条件式(4)の範囲を外れると、接合歪みや接合剥がれの原因となるので好ましくない。

【0047】

なお、条件式(4)は以下の条件とすることで、製造時のバラつきを考慮しても歪みや接合剥がれの発生を低減でき好ましい。

【0048】

$$s + 0.5 < j \quad \dots (4a)$$

また、一方の光学要素上に成形された有機複合物層の材料と、第2の光学要素を接合する際の接着材の材料のd線における屈折率をそれぞれ n_r 、 n_s とする。そのとき

$$|n_r - n_s| < 0.1 \quad \dots (5)$$

なる条件を満たすのが良い。

【0049】

光学要素の面精度の光学性能への影響度は、面精度そのものと、その面の両側の物質の屈折率差によって決まる。屈折率差が大きければ、面精度の微小な変化でも光学性能に多大な影響を及ぼしうる。逆に屈折率差が小さければ、面精度の変化はほとんど光学性能に影響を及ぼさない。したがって特に樹脂厚が厚いなど成形上の難易度が高い場合には、樹脂面精度の光学性能への影響を抑えるために樹脂面の両側の物質の屈折率差を小さくしておくことが好ましい。

【0050】

条件式(5)は、成形された有機複合物層NL1の面精度の光学性能への影響を低減させるための条件式であり、この条件式(5)を満たすことで良好な光学性能を容易に得ることができる。

【0051】

さらに好ましくは上記条件式(5)の数値範囲を次の如く設定すると、更に良好なる光学性能を得ることが容易となる。

【0052】

$$|n_r - n_s| < 0.05 \quad \dots (5a)$$

さらに好ましくは上記条件式(5a)の数値範囲を次の如く設定すると、より良い。

【0053】

$$|n_r - n_s| < 0.01 \quad \dots (5b)$$

また、光学要素上に成形する有機複合物層の材料と接合する際に用いる接着剤は同じものでも良い。また、光学要素上に成形される有機複合物層の空気中における焦点距離を f としたときに、以下の条件式(6)を満たす場合、効果がより顕著になる。

【0054】

$$f > 0.0 \quad \dots (6)$$

また、第1の光学要素上に成形される有機複合物層の材料の異常部分分散性を $|gFr|$ とする。そのとき、

$$0.0272 < |gFr| \quad \dots (7)$$

の条件式を満たすのが良い。

【0055】

ただし、ここでアッペ数 d 、部分分散比 gFr 、異常部分分散性 $|gFr|$ は g 線(波長435.8nm)、 F 線(486.1nm)、 d 線(587.6nm)、 C 線(656.3nm)に対する材料の屈折率を順に N_g 、 N_d 、 N_F 、 N_C とする。このとき、

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

$$gF = (N_g - N_F) / (N_F - N_C)$$

$$|gFr| = |gF - (-1.665 \times 10^{-7} \times d^3 + 5.213 \times 10^{-5} \times d^2 - 5.656 \times 10^{-3} \times d + 7.278 \times 10^{-1})|$$

である。

【0056】

条件式(7)は有機複合物の異常部分分散性に関する条件式であり、この条件式(7)を満たすことで良好な色収差補正能力を持つ光学素子を得ることが容易となる。

【0057】

なお、条件式(7)は以下の数値範囲とすることで更に良好な色収差補正能力を得ることができる。

【0058】

$$0.0342 < |gFr| \dots (7a)$$

条件式(7)を満足する有機複合物の具体例としては、例えばアクリル系UV硬化樹脂($Nd = 1.633$ 、 $d = 23.0$ 、 $gF = 0.68$)やN-ポリビニルカルバゾール($Nd = 1.696$ 、 $d = 17.7$ 、 $gF = 0.69$)がある。尚、条件式(7)を満足する樹脂であれば、これらに限定するものではない。

【0059】

また、一般の硝材とは異なる特性を持つ有機複合物として、下記の無機酸化物ナノ微粒子を合成樹脂中に分散させた混合体がある。すなわち、 TiO_2 ($Nd = 2.758$ 、 $d = 9.54$ 、 $gF = 0.76$)、ITO($Nd = 1.857$ 、 $d = 5.69$ 、 $gF = 0.29$)等がある。

【0060】

この無機酸化物の中では TiO_2 ($Nd = 2.758$ 、 $d = 9.54$ 、 $gF = 0.76$)やITO($Nd = 1.857$ 、 $d = 5.69$ 、 $gF = 0.29$)微粒子を合成樹脂中に適切な体積比で分散させた場合、条件式(7)を満足する光学材料が得られる。なお、条件式(7)を満足する材料であれば、これらに限定するものではない。

【0061】

TiO_2 は様々な用途で使われる材料であり、光学分野では反射防止膜などの光学薄膜を構成する蒸着用材料として用いられている。他にも光触媒、白色顔料などとして、また TiO_2 微粒子は化粧品材料として用いられている。ITOは透明電極を構成する材料として知られており、通常、液晶表示素子、EL(Electroluminescent)素子等に用いられている。また、他の用途として赤外線遮蔽素子、紫外線遮断素子に用いられている。

【0062】

各実施例において樹脂に分散させる微粒子の平均径は、散乱などの影響を考えると $2\text{ nm} \sim 50\text{ nm}$ 程度がよく、凝集を抑えるために分散剤などを添加しても良い。微粒子を分散させる媒体材料としては、ポリマーが良く、成型型等を用いて光重合成形または熱重合成形することにより高い量産性を得ることができる。ナノ微粒子を分散させた混合体の分散特性 $N(\quad)$ は、良く知られたDrudeの式から導きだされた次式によって簡単に計算することができる。即ち、波長 λ における屈折率 $N(\quad)$ は、

$$N(\quad) = [1 + V\{N_{par}(\quad)^2 - 1\} + (1 - V)\{N_{poly}(\quad)^2 - 1\}]^{1/2}$$

である。ここで、 λ は任意の波長、 N_{par} は微粒子の屈折率、 N_{poly} はポリマーの屈折率、 V はポリマー体積に対する微粒子の総体積の分率である。

【0063】

以下、数値実施例1～3の光学素子の具体的な数値を表1～3に示す。各数値実施例において、 i はそれぞれの光学素子において物体側から数えた面の番号を表している。各数値実施例において、 R_i は第 i 番目の光学面(第 i 面)の曲率半径、 D_i は第 i 面と第 $(i+1)$ 面との間の軸上間隔である。 Nd_i 、 d_i 、 gF_i はそれぞれ d 線に対する第 i 番目の光学要素の材料の屈折率、アッペ数、部分分散比を示す。また、第 i 番目の光学面(第 i 面)の光線有効径も合わせて示す。また、非球面形状は、 X を光軸方向の面頂点からの変位置、 h を光軸と垂直な方向の光軸からの高さ、 R を近軸曲率半径、 k を円錐定数、 B 、 C 、 D 、 $E \dots$ を各次数の非球面係数として、

【0064】

10

20

30

40

50

【数 1】

$$x(h) = \frac{(1/R) h^2}{1 + \sqrt{\{1 - (1+k) (h/R)^2\}}} + B h^4 + C h^6 + D h^8 + E h^{10}, \dots$$

【0065】

で表す。なお、各非球面係数における「E ± X X」は「× 1 0 ± X X」を意味している。また、前述の各条件式と各実施例との関係を表 4 に示す。また、前述の各条件式中の T 1、T g 1、T g 2、D L 1、E 1、E g 1、E g 2 の具体的な数値を表 5 に示す。

【0066】

数値実施例 3 ではホストポリマーである UV 硬化樹脂に T i O ₂ 微粒子体積比率で 1 5 % 分散させた有機複合物層より成る光学素子を用いている。T i O ₂ 微粒子分散材料の屈折率は、前述の D r u d e の式を用いて計算した値を用いて算出している。各実施例に用いた有機複合物層を構成する材料の光学特性を表 6 に示す。実施例 3 に用いた微粒子分散材料のホストポリマーと T i O ₂ 微粒子の光学特性を表 7 に示す。

【0067】

【表 1】

[表 1]

数値実施例 1

f=	264.3					
面番号(i)	R	D	Nd	ν d	θ gF	光線有効径
1	65.539	1.50	1.84666	23.9	0.620	30.5
2	28.776	1.40	1.63272	23.0	0.675	27.0
3	40.702	4.60	1.48749	70.3	0.530	27.0
4	-274.859					27.0

10

[表 2]

数値実施例 2

f=	27.7					
面番号(i)	R	D	Nd	ν d	θ gF	光線有効径
1*	14.517	2.80	1.48749	70.3	0.530	9.6
2	-16.440	0.40	1.69590	17.7	0.685	9.5
3	-13.343	1.00	1.84666	23.9	0.620	9.4
4	-31.496					9.5

非球面
係数

20

	円錐定数(K)	4 次の係数 (B)	6 次の係数 (C)	8 次の係数 (D)	10 次の係数 (E)
	k	B	C	D	E
第 1 面	0.000000E+00	9.959870E-06	4.456760E-07	-1.749280E-09	-1.829960E-11

[表 3]

数値実施例 3

f=	359.6					
面番号(i)	R	D	Nd	ν d	θ gF	光線有効径
1	93.465	10.70	1.60311	60.7	0.542	67.9
2	-245.809	1.55	1.80611	14.9	0.738	66.9
3	-160.637	3.40	1.84666	23.9	0.620	66.8
4	301.986					63.6

30

【 0 0 6 8 】

【表 2】

[表 4]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3
$\Sigma (Ti \times DLi)$	0.112	0.005	0.171
$\Sigma (Ti \times DLi) / (Tg1 + Tg2)$	0.0208	0.0020	0.0159
$\Sigma \{ (Ti \times DLi) \times \log Ei \} / \{ (Tg1 \times \log Eg1 + Tg2 \times \log Eg2) \}$	0.0069	0.0003	0.0038
ϕs	27.5	11.0	67.8
ϕj	28.5	11.6	68.8
$\Delta \theta gFr$	0.052	0.042	0.083
nr	1.63272	1.69591	1.80611
ns	1.62959	1.62959	1.80611
$ nr - ns $	0.00313	0.06632	0.00000

10

[表 5]

NL1 材質	アクリル系 UV 硬化樹脂	N-ポリビニル カルバゾール	TiO2 15% - UV 硬化樹脂
T1 (mm)	0.295	0.161	0.281
DL1 (%)	0.38	0.03	0.61
E1 (GPa)	4.3	1.8	2.9
L1 材質	S-FSL5	S-TIH53	S-BSM14
Tg1 (mm)	1.863	1.702	1.720
Eg1 (GPa)	62.3	96.2	61.4
L2 材質	S-TIH53	S-FLS5	S-TIH53
Tg2 (mm)	3.539	0.750	9.092
Eg2 (GPa)	96.2	62.3	96.2

20

30

【 0 0 6 9 】

【表 3】

[表 6]

	実施例 1	実施例 2	実施例 3
	アクリル系 UV 硬化樹脂	N-ポリビニル カルバゾール	TiO ₂ 15% - UV 硬化樹脂
d 線屈折率	1.63272	1.69591	1.80611
g 線屈折率	1.67117	1.75164	1.88606
C 線屈折率	1.62517	1.68528	1.79203
F 線屈折率	1.65264	1.72465	1.84614
ν d	23.0	17.7	14.9
θ gF	0.675	0.686	0.738

10

[表 7]

	UV 硬化樹脂	TiO ₂
d 線屈折率	1.57980	2.75753
g 線屈折率	1.60010	3.03431
C 線屈折率	1.57530	2.71051
F 線屈折率	1.59090	2.89478
ν d	37.2	9.5
θ gF	0.590	0.757

20

次に本発明の光学素子を有する光学系(結像光学系)について説明する。図7は本発明の実施例1の光学素子11を有するズームレンズの広角端におけるレンズ断面図である。レンズ断面図において、左方が物体側(前方)で、右方が像側(後方)である。レンズ断面図において、 i は物体側からのレンズ群の順番を示し、 B_i は第 i レンズ群である。レンズ断面図において、 B_1 は正の屈折力(光学的パワー=焦点距離の逆数)の第1レンズ群、 B_2 は負の屈折力の第2レンズ群、 B_3 は正の屈折力の第3レンズ群、 B_4 は正の屈折力の第4レンズ群である。 SP は開口絞りであり、第3レンズ群 B_3 の物体側に配置している。 G は光学フィルター、フェースプレート、水晶ローパスフィルター、赤外カットフィルター等に相当する光学ブロックである。 IP は像面であり、ビデオカメラやデジタルスチルカメラの撮影光学系として使用する際にはCCDセンサやCMOSセンサ等の固体撮像素子(光電変換素子)の撮像面に、銀塩フィルム用カメラのときはフィルム面に相当する感光面が置かれる。

30

【0070】

本実施例では広角端から望遠端へのズーミングに際して矢印のように各レンズ群と開口絞り SP を移動させている。具体的には広角端から望遠端へのズーミングに際し、第1レンズ群 B_1 は像側へ移動した後に物体側へ移動する。第2レンズ群 B_2 は物体側へ移動する。第3レンズ群 B_3 は物体側に凸状の軌跡の一部を描いて移動する。第4レンズ群 B_4 は物体側に凸状の軌跡を描いて移動する。開口絞り SP は各レンズ群と独立に物体側へ移動する。

40

【0071】

図7のズームレンズは、ズーム比1.6倍、Fナンバー2.9~4.0程度のズームレンズである。このズームレンズの第1レンズ群 B_1 に実施例1の光学素子11を用いている。これにより、主に望遠側において色収差を良好に補正でき、全系がコンパクトかつ高性能のズームレンズを得ている。更に種々な環境下における光学性能の変動の少ないズームレンズを得ている。

【0072】

図8は本発明の実施例2の光学素子12を有するズームレンズの広角端におけるレンズ

50

断面図である。このズームレンズのズームタイプは図 7 のズームレンズと同じである。

【 0 0 7 3 】

図 8 のズームレンズは、ズーム比 1 . 5、F ナンバー 2 . 9 ~ 3 . 6 程度のズームレンズである。このズームレンズの第 4 レンズ群 B 4 に実施例 2 の光学素子 1 2 を用いている。これにより、主に広角側において倍率色収差を良好に補正でき、全系がコンパクト、高性能のズームレンズを得ている。更に種々なかつ環境下における光学性能の変動の少ないズームレンズを得ている。

【 0 0 7 4 】

図 9 は本発明の実施例 3 の光学素子 1 3 を有する望遠レンズ（光学系）のレンズ断面図である。図 9 の望遠レンズは正の屈折力の第 1 レンズ群 B 1、負の屈折力の第 2 レンズ群 B 2、第 3 レンズ群 B 3 より成る望遠レンズである。S P は開口絞り、I P は像面である。

10

【 0 0 7 5 】

無限遠物体から至近物体へのフォーカスにさいしては第 2 レンズ群 B 2 を矢印の如く像側へ移動させている。この望遠レンズは焦点距離 3 0 0 m m、F ナンバー 4 . 0 である。この望遠レンズの絞り S P よりも物体側に実施例 3 の光学素子 1 3 を用いている。これにより、色収差を良好に補正できテレ比 0 . 6 8 のコンパクトを図りつつ、高性能な望遠レンズを得ている。更に種々な環境下における光学性能の変動の少ない望遠レンズ（光学系）を得ている。

【 0 0 7 6 】

20

次に本発明の光学系を撮影光学系として用い、それを有する本発明の光学機器であるデジタルスチルカメラ（撮像装置）の実施例を図 1 0 を用いて説明する。

【 0 0 7 7 】

図 1 0 において、2 0 はカメラ本体、2 1 は本発明の光学系によって構成された撮影光学系である。2 2 はカメラ本体に内蔵され、撮影光学系 2 1 によって形成された被写体像（像）を受光する C C D センサや C M O S センサ等の固体撮像素子（光電変換素子）である。2 3 は撮像素子 2 2 によって光電変換された被写体像に対応する情報を記録するメモリである。2 4 は液晶ディスプレイパネル等によって構成され、固体撮像素子 2 2 上に形成された被写体像を観察するためのファインダである。このように本発明の光学系をデジタルスチルカメラ等の撮像素子に適用することにより、小型で高い光学性能を有する撮像装置を実現している。

30

【 0 0 7 8 】

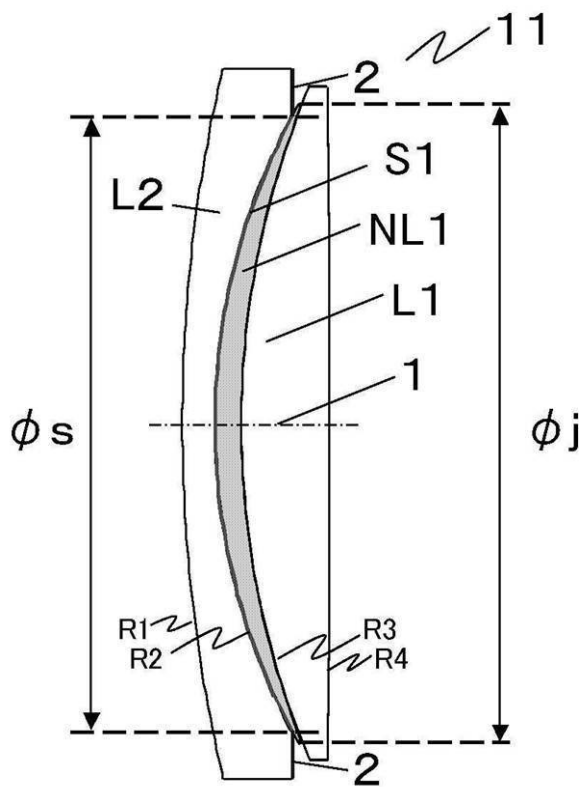
以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【 符号の説明 】

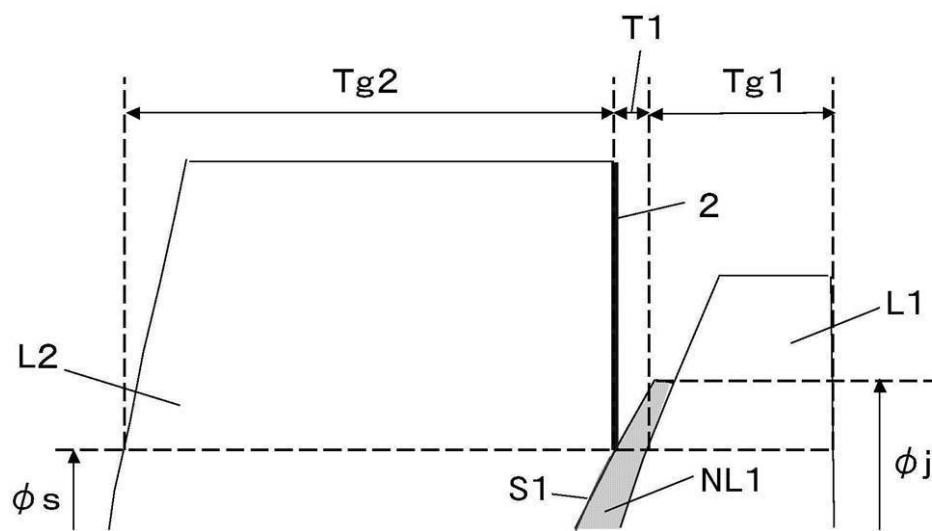
【 0 0 7 9 】

N L 1 有機複合物層、S 1 接着剤、L 1 第 1 の光学要素、L 2 第 2 の光学要素、1 1 光学素子、1 光軸、s 最大径

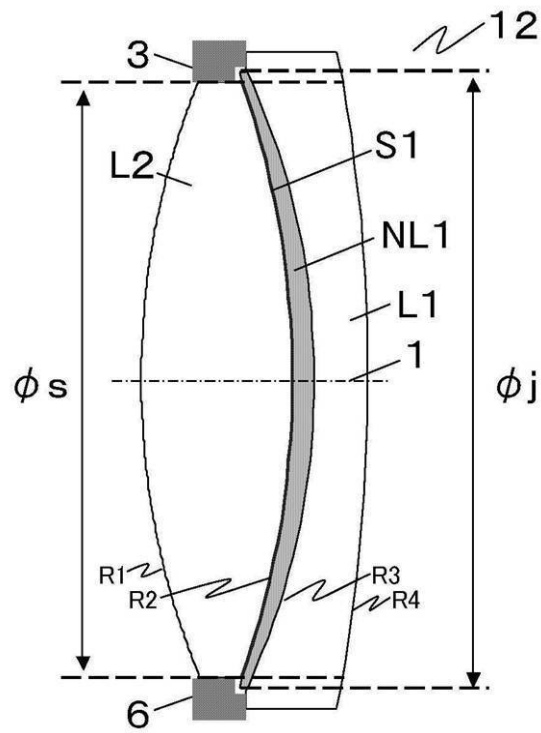
【図 1】



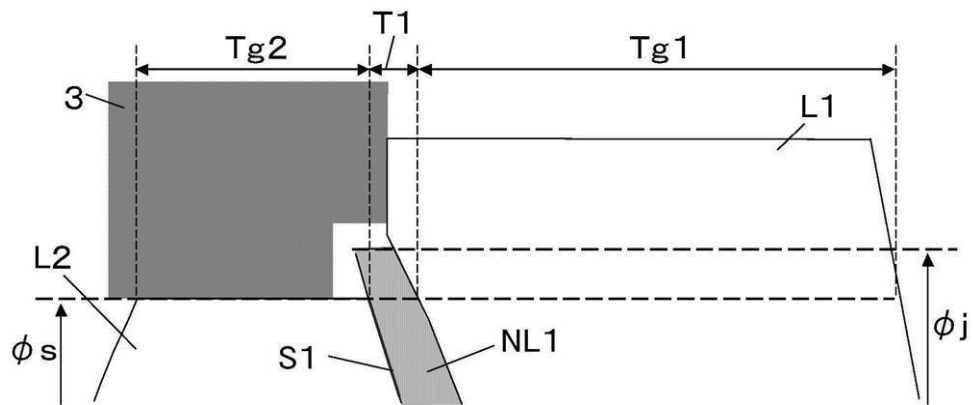
【図 2】



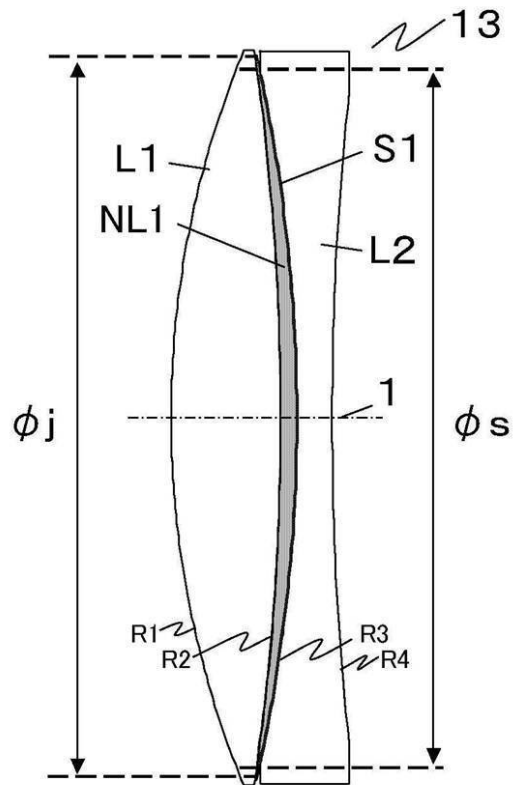
【図 3】



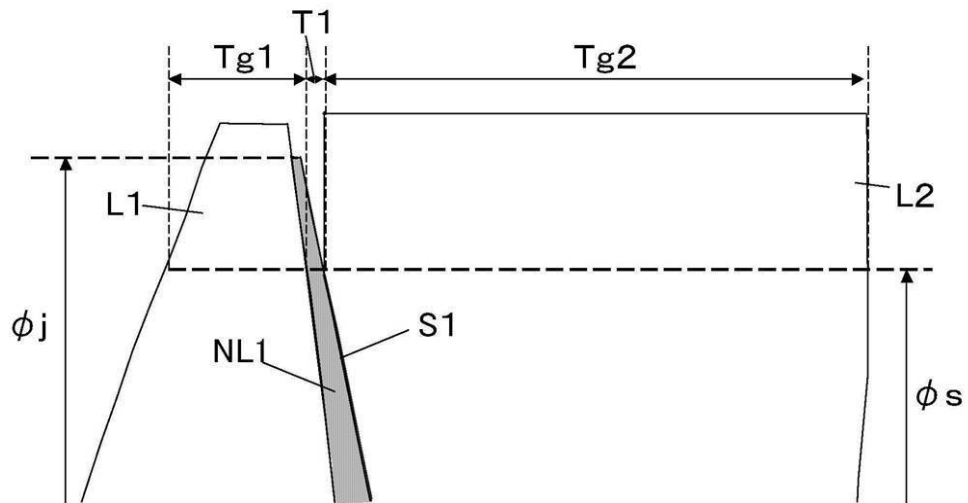
【図 4】



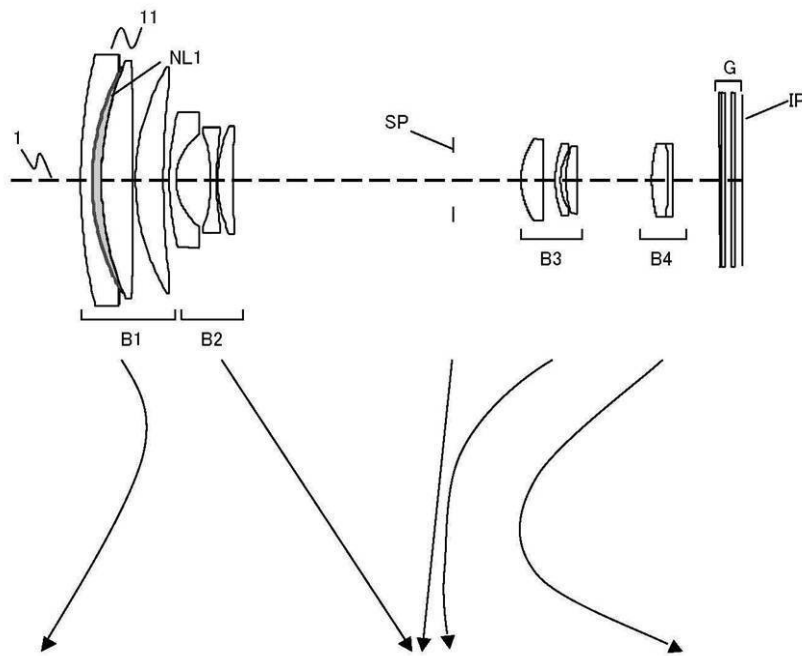
【図 5】



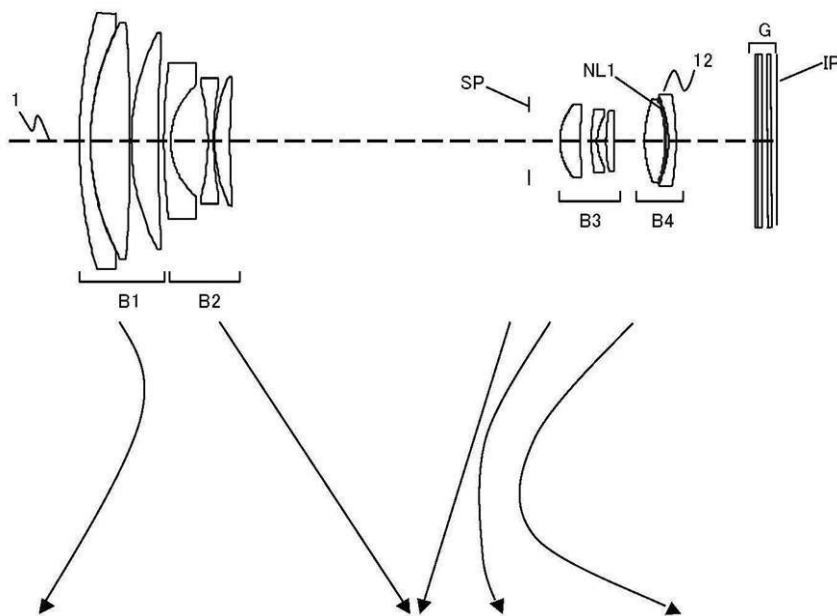
【図 6】



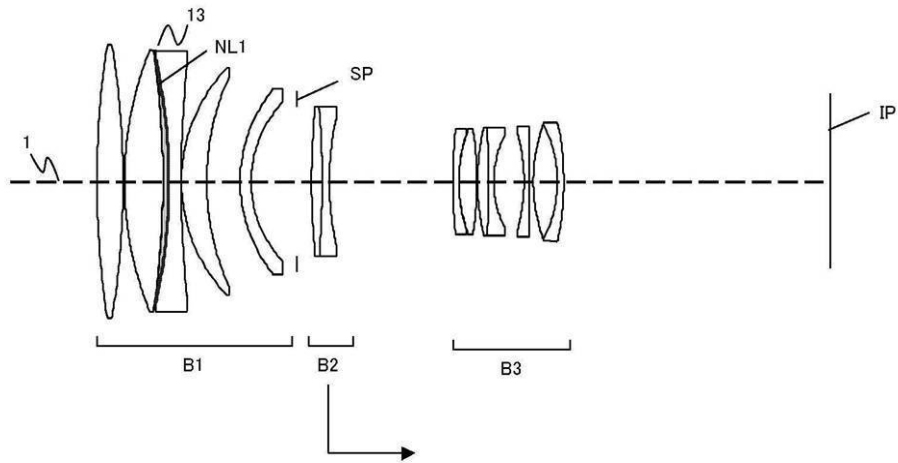
【図 7】



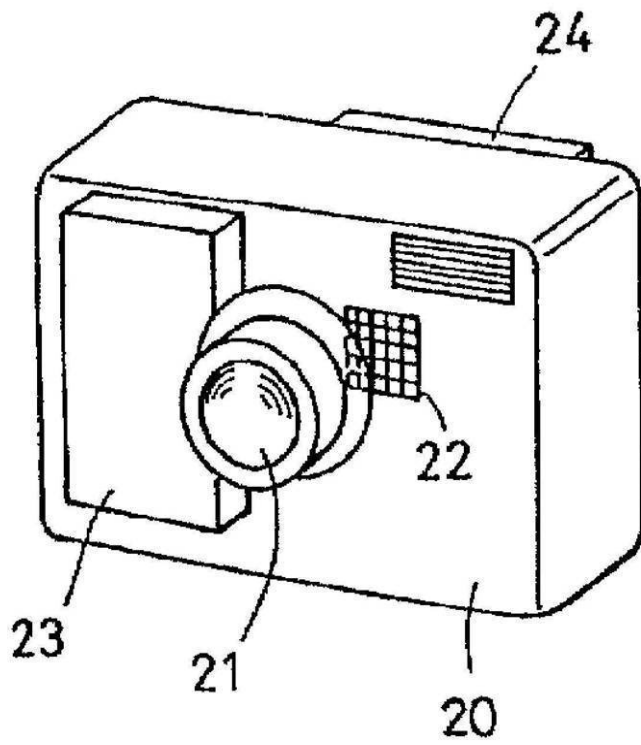
【図 8】



【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2006-301416(JP,A)
特開2005-157120(JP,A)
国際公開第2009/125654(WO,A1)
特開平08-244129(JP,A)
特開2009-169249(JP,A)
国際公開第2008/142807(WO,A1)
特開2003-008065(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B	3/00		
G02B	9/00	-	17/08
G02B	21/02	-	21/04
G02B	25/00	-	25/04