

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6851775号
(P6851775)

(45) 発行日 令和3年3月31日(2021.3.31)

(24) 登録日 令和3年3月12日(2021.3.12)

(51) Int. Cl. F I
GO 2 B 13/02 (2006.01) GO 2 B 13/02
GO 2 B 5/18 (2006.01) GO 2 B 5/18
GO 2 B 13/18 (2006.01) GO 2 B 13/18

請求項の数 16 (全 33 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2016-213545 (P2016-213545) (22) 出願日 平成28年10月31日 (2016.10.31) (65) 公開番号 特開2018-72623 (P2018-72623A) (43) 公開日 平成30年5月10日 (2018.5.10) 審査請求日 令和1年10月29日 (2019.10.29)</p>	<p>(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 100126240 弁理士 阿部 琢磨 (74) 代理人 100124442 弁理士 黒岩 創吾 (72) 発明者 小林 幹生 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ ノン株式会社内 審査官 殿岡 雅仁</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 回折光学素子およびそれを有する光学系、撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

回折光学素子を有する光学系であって、

前記回折光学素子は、物体側から像側へ順に配置された、凸面を有する第1のレンズと、回折による光学的パワーが正である回折格子部と、前記凸面と対向する凹面を有する第2のレンズとを備え、

前記回折格子部は、物体側から像側へ順に配置された、第1の回折格子と、該第1の回折格子よりも高い屈折率を有する第2の回折格子とを含み、

前記回折格子部の格子壁面の内径は、物体側から像側へ向かうにつれて小さくなっていることを特徴とする光学系。

【請求項2】

回折光学素子を有する光学系であって、

前記回折光学素子は、物体側から像側へ順に配置された、凸面を有する第1のレンズと、回折による光学的パワーが正である回折格子部と、前記凸面と対向する凹面を有する第2のレンズとを備え、

前記回折格子部は、物体側から像側へ順に配置された、第1の回折格子と、該第1の回折格子よりも高い屈折率を有する第2の回折格子とを含み、

光軸を含む断面において、前記回折格子部の格子壁面と光軸とが成す角度を θ_H 、前記第1の回折格子の頂部を通る包絡面と前記格子壁面との交点での前記包絡面の法線と光軸とが成す角度を θ_M としたとき、

$$H \times M < 0$$

なる条件式を満たすことを特徴とする光学系。

【請求項 3】

前記第 1 のレンズは正レンズであることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光学系。

【請求項 4】

前記第 2 のレンズは負レンズであることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 5】

前記第 1 のレンズのアップ数を L_L 、前記第 2 のレンズのアップ数を L_R としたとき、

$$2.0 < L_L - L_R < 6.0$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 6】

前記第 1 のレンズの屈折率を N_{L_L} 、前記第 1 の回折格子の屈折率を N_L としたとき、
 $0.8 < N_L / N_{L_L} < 1.2$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 7】

光軸を含む断面において、前記第 1 の回折格子の頂部を通る包絡面と前記格子壁面との交点での前記包絡面の法線と前記格子壁面とが成す角度の絶対値を H_M 、該 H_M の最大値と最小値との差の絶対値を H_M としたとき、

$$5^\circ < H_M < 45^\circ$$

なる条件式を満たすこと特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 8】

前記第 1 及び第 2 の回折格子のうち少なくとも一方は、樹脂材料で構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 9】

前記第 1 及び第 2 の回折格子は、樹脂材料で構成されていることを特徴とする請求項 8 に記載の光学系。

【請求項 10】

前記回折光学素子よりも像側に配置された開口絞りを有することを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 11】

前記回折光学素子よりも物体側に配置されたレンズからなる部分光学系は、正の屈折力を有することを特徴とする請求項 1 乃至 10 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 12】

前記第 1 のレンズの像側のレンズ面から前記光学系の最も物体側のレンズ面までの光軸上の距離を L_d 、前記光学系の全長を L_t としたとき、

$$0.10 < L_d / L_t < 0.50$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 11 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 13】

前記光学系の焦点距離を f 、F ナンバーを F_n 、前記第 1 のレンズの像側のレンズ面の曲率半径を R_d としたとき、

$$-2.0 < f / (R_d \times F_n) < -0.20$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 12 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 14】

前記光学系の最も物体側のレンズ面の有効径を E_1 、前記第 1 のレンズの像側のレンズ面の有効径を E_d 、前記第 1 のレンズの像側のレンズ面から前記光学系の最も物体側のレンズ面までの光軸上の距離を L_d 、前記第 1 のレンズの像側のレンズ面の曲率半径を R_d 、前記第 1 のレンズの物体側のレンズ面の屈折力を P_f としたとき、

$$0.6 < (E_1 - E_d) / L_d + E_d \times P_f - E_d / R_d < 2.0$$

10

20

30

40

50

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 1 3 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 1 5】

無限遠合焦時に軸上マージナル光線が前記回折格子部に入射するときの入射角を θ_D としたとき、

$$10^\circ < |\theta_D| < 57^\circ$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 1 4 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 1 6】

請求項 1 乃至 1 5 の何れか一項に記載の光学系と、該光学系によって形成された像を受光する撮像素子を有することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、デジタルカメラ等の光学系に用いられる回折光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

光学系の色収差を低減するために用いられる光学素子として、鋸刃状の回折格子を有する回折光学素子が知られている。回折光学素子を光学系に用いる場合、回折格子の壁面部において光が反射または屈折することによって生じるフレアを低減することが重要となる。

【0003】

特許文献 1 には、回折光学素子の格子壁面と入射光線が平行となるように回折光学素子を形成することでフレアを低減することができることが記載されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】特開 2008 - 170594 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

一般に、回折格子は型を用いて樹脂等を基板上に成形することで形成される。しかしながら、特許文献 1 のように、格子壁面を光軸に対して傾ける場合、型を離型する際に回折格子と型が干渉してしまう形状となったり、格子面と格子壁面の成す角度が小さくなりすぎたりするおそれがある。この場合、回折光学素子の製造が困難となってしまう。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面としての光学系は、回折光学素子を有し、前記回折光学素子は、物体側から像側へ順に配置された、凸面を有する第 1 のレンズと、回折による光学的パワーが正である回折格子部と、前記凸面と対向する凹面を有する第 2 のレンズとを備え、前記回折格子部は、物体側から像側へ順に配置された、第 1 の回折格子と、該第 1 の回折格子よりも高い屈折率を有する第 2 の回折格子とを含み、前記回折格子部の格子壁面の内径は、物体側から像側へ向かうにつれて小さくなっていることを特徴とする。

40

【0007】

また、本発明の他の側面としての光学系は、回折光学素子を有し、前記回折光学素子は、物体側から像側へ順に配置された、凸面を有する第 1 のレンズと、回折による光学的パワーが正である回折格子部と、前記凸面と対向する凹面を有する第 2 のレンズとを備え、前記回折格子部は、物体側から像側へ順に配置された、第 1 の回折格子と、該第 1 の回折格子よりも高い屈折率を有する第 2 の回折格子とを含み、光軸を含む断面において、前記回折格子部の格子壁面と光軸とが成す角度を θ_H 、前記第 1 の回折格子の頂部を通る包絡面と前記格子壁面との交点での前記包絡面の法線と光軸とが成す角度を θ_M としたとき、

$$\theta_H \times \theta_M < 0 \text{ なる条件式を満たすことを特徴とする。}$$

【発明の効果】

50

【0008】

本発明によれば、フレアの発生を低減しつつ製造が容易な回折光学素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施例1の回折光学素子の概略図である。

【図2】比較例1の回折光学素子の概略図である。

【図3】比較例2の回折光学素子の概略図である。

【図4】無限遠合焦時における実施例2の光学系の断面図である。

【図5】実施例2の光学系の回折光学素子における M 、 H 、 H_M を示す図である。 10

【図6】無限遠合焦時における実施例2の光学系の収差図である。

【図7】無限遠合焦時における実施例3の光学系の断面図である。

【図8】実施例3の光学系の回折光学素子における M 、 H 、 H_M を示す図である。

【図9】無限遠合焦時における実施例3の光学系の収差図である。

【図10】無限遠合焦時における実施例4の光学系の断面図である。

【図11】実施例4の光学系の回折光学素子における M 、 H 、 H_M を示す図である。

【図12】無限遠合焦時における実施例4の光学系の収差図である。

【図13】無限遠合焦時における実施例5の光学系の断面図である。

【図14】実施例5の光学系の回折光学素子における M 、 H 、 H_M を示す図である 20

【図15】無限遠合焦時における実施例5の光学系の収差図である。

【図16】無限遠合焦時における実施例6の光学系の断面図である。

【図17】実施例6の光学系の回折光学素子における M 、 H 、 H_M を示す図である

【図18】無限遠合焦時における実施例6の光学系の収差図である。

【図19】撮像装置の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の実施例について説明する。 30

【0011】

[実施例1]

図1に本実施例の回折光学素子(以下、DOEと称する)の概略図を示す。

【0012】

図1(a)は本実施例のDOE10の断面図である。図1(a)に示すように、本実施例のDOE10は、第1のレンズ12と第2のレンズ13を有する。第1のレンズ12は凸面を有しており、第2のレンズ13は凹面を有している。第2のレンズ13は、第1のレンズ12の凸面に第2のレンズ13の凹面が対向するように配置されている。OLは第1のレンズ12の光軸である。

【0013】 40

第1のレンズ12と第2のレンズ13の間には、回折格子部14が設けられている。DOE10を光学系に用いる場合、第2のレンズ12に対して第1のレンズ12が物体側に配置されるように、DOE10が配置される。すなわち、入射光は第1のレンズ12側からDOE10に入射する。

【0014】

図1(b)は、図1(a)において点線で囲んだ部分を拡大して表示した図である。本実施例のDOE10において、回折格子部14は第1のレンズ12に近い側から順に密着して積層された第1の回折格子15および第2の回折格子16で構成されている。第1の回折格子15と第2の回折格子16の界面は鋸刃状となっており、格子面14aと格子壁面14bが交互に形成されている。 50

【 0 0 1 5 】

なお、第1の回折格子15および第2の回折格子16は共に光軸OLを中心とした同心円状の格子形状となっている。また第1の回折格子15および第2の回折格子16の格子ピッチ（隣接する格子壁面14b同士の間隔）を変化させることで回折格子部14にレンズ作用を付与することができる。本実施例のDOE10では、回折格子部14の回折による光学的パワーは正となっている。

【 0 0 1 6 】

ここで、回折格子部14の格子壁面14bについて説明する。図1(b)に示すように、格子壁面14bは光軸OLに平行な直線17に対して傾いた形状となっている。具体的には、格子壁面14bは第1のレンズ12から第2のレンズ13へ近づくにつれて格子壁面14bの内径が小さくなるように傾いている。別の観点としては、格子壁面14bと光軸OLが成す角度を θ_H 、該格子壁面が第1の回折格子15の頂部を結んだ包絡面19に接する位置での包絡面19の面法線12と光軸OLが成す角度を θ_M としたとき、格子壁面14bは以下の式(1)を満足する。

$$\theta_H \times \theta_M < 0 \quad (1)$$

【 0 0 1 7 】

式(1)において角度は光軸に対して時計回りを負、反時計回りを正としており、式(1)は θ_H と θ_M の符号が異なることを表わしている。

【 0 0 1 8 】

このように格子壁面14bを傾けることで、入射光18が第1のレンズ12側から収斂光として回折格子部14に入射する際に、入射光18と格子壁面14bの成す角度を小さくすることができる。これにより入射光のうち格子壁面14bに入射する光の量を減らすことができ、格子壁面14bに起因するフレアの発生を低減することができる。

【 0 0 1 9 】

次に、DOE10の回折格子部14における光の回折効率について説明する。

【 0 0 2 0 】

DOE10における、第m次の回折光の回折効率が最大となる条件は、波長 λ における第1の回折格子15の屈折率を $N_L(\lambda)$ 、第2の回折格子16の屈折率を $N_R(\lambda)$ としたとき、次の式(2)で与えられる。

$$(\lambda) = (N_R(\lambda) - N_L(\lambda)) \times d = m \quad (2)$$

【 0 0 2 1 】

(λ)は回折格子部14における光路長差を表している。また、dは第1の回折格子15の頂部の包絡面と第2の回折格子16の頂部の包絡面の距離であり、回折格子部14の格子高さに相当する。式(2)におけるmは回折次数であり、任意の整数値をとる。なお、0次の回折光に対して光軸に近づく方向に回折する回折光の回折次数を正とし、0次の回折光に対して光軸から離れる方向に回折する回折光の回折次数を負としている。

【 0 0 2 2 】

式(2)より、第1の回折格子15と第2の回折格子16を互いに屈折率の異なる材料を用いて形成し、格子高さdを適切に設計することで任意の波長での回折効率を高めることができる。なお、より広い波長帯域において回折効率を向上するためには、相対的に高屈折率かつ低分散な材料と、相対的に低屈折率かつ高分散な材料を組み合わせる回折格子部14を形成すれば良い。

【 0 0 2 3 】

ここで回折効率を向上する観点からは、回折格子部14において第1の回折格子15と第2の回折格子16のうちのどちらを相対的に高屈折率にしても良い。しかしながら、本実施例のDOE10では、フレアの発生を低減しつつ容易に製造することができるようにするために、第2の回折格子16の屈折率を第1の回折格子15の屈折率よりも大きくしている。以下に、本発明の構成について比較例を用いながら説明する。

【 0 0 2 4 】

回折格子部14に正の光学的パワーを与える場合、格子面14aの傾斜は第1の回折格

10

20

30

40

50

子 1 5 および第 2 の回折格子 1 6 の屈折率の大小関係によって定まる。第 1 の回折格子 1 5 の屈折率よりも第 2 の回折格子 1 6 の屈折率を大きくする場合には、正の光学的パワーを有する回折格子部 1 4 の格子面 1 4 a は図 1 (b) に示すような形状となる。

【 0 0 2 5 】

また、回折格子部 1 4 の格子壁面 1 4 b は、フレアを低減するために前述のように光軸に対して傾いた形状としている。このため、図 1 (b) に示すように、格子壁面 4 b と格子面 4 a の成す角度 t_o_p を大きくすることができ、第 1 の回折格子 1 5 および第 2 の回折格子 1 6 の成形を容易にすることができる。

【 0 0 2 6 】

また、一般に回折格子は型を用いて樹脂等を成形することにより製造されるが、図 1 (b) に示す本実施例の D O E 1 0 では、型を光軸に平行な方向に離型する際に型と回折格子が干渉しにくい形状となっている。このため、D O E 1 0 を製造する際の離型工程を容易に行うことができる。

【 0 0 2 7 】

図 2 に、比較例 1 として第 1 の回折格子 2 5 の屈折率よりも第 2 の回折格子 2 6 の屈折率を小さくした場合の D O E 2 0 の概略図を示す。比較例 1 の D O E 2 0 は、実施例 1 の D O E 1 0 と同様に、凸面を有する第 1 のレンズ 2 2 と第 1 のレンズ 2 2 の凸面に凹面を向けた第 2 のレンズ 2 3 と、第 1 のレンズ 2 2 と第 2 のレンズ 2 3 の間に設けられた回折格子部 2 4 と、を有する。

【 0 0 2 8 】

図 2 (a) は比較例 1 の D O E 2 0 の断面図である。図 2 (b) は、図 2 (a) に破線で示した領域の拡大図である。比較例 1 の D O E 2 0 では、回折格子部 2 4 は、第 1 のレンズ 2 2 に近い側から順に積層された第 1 の回折格子 2 5 と第 2 の回折格子 2 6 により形成されている。D O E 2 0 の回折格子部 2 4 は実施例 1 の D O E 1 0 と同様に正の光学的パワーを有するが、第 1 の回折格子 2 5 の屈折率よりも第 2 の回折格子 2 6 の屈折率は小さくなっている点で実施例 1 の D O E 1 0 とは異なる。このため比較例 1 の D O E 2 0 における格子面 2 4 a の傾斜は、実施例 1 の D O E 1 0 の格子面 4 a とは反対方向に傾斜している。

【 0 0 2 9 】

比較例 1 の D O E 2 0 では、実施例 1 の D O E 1 0 と同様に、入射光 1 8 と格子壁面 2 4 b の成す角度を小さくするように格子壁面 2 4 b を傾斜させているため、フレアの発生を低減することができる。しかし、図 2 (b) に示すように、D O E 2 0 の格子面 2 4 a と格子壁面 2 4 b の成す角度 t_o_p は、実施例 1 の D O E 1 0 と比較して小さくなっている。さらに、図 2 (b) より、型を用いて D O E 2 0 の第 1 の回折格子 2 5 または第 2 の回折格子 2 6 を成形する場合、光軸に平行な方向に型を離型する際に回折格子と型が干渉してしまう形状となっていることがわかる。すなわち、D O E 2 0 は D O E 1 0 と比較して製造が困難となってしまう。

【 0 0 3 0 】

一方、比較例 1 の D O E 2 0 において、型と回折格子が干渉しないように格子壁面 2 4 b の傾斜を図 2 (c) のようにした場合、離形性を向上することはできるが、入射光 1 8 と格子壁面 2 4 b の成す角度が大きくなってしまふ。その結果、格子壁面 2 4 b に入射する光の量が増加してしまひ、フレアが顕著に発生してしまふ。

【 0 0 3 1 】

次に、第 1 のレンズおよび第 2 のレンズの形状が D O E 1 0 と異なる場合について、比較例 2 を用いて説明する。図 3 (a) に比較例 2 の D O E 3 0 の断面図を示す。比較例 2 の D O E 3 0 は、凹面を有する第 1 のレンズ 3 2 と、第 1 のレンズ 3 2 の凹面に凸面を向けた第 2 のレンズ 3 3 と、第 1 のレンズ 3 2 と第 2 のレンズ 3 3 の間に設けられた回折格子部 3 4 と、を有している。回折格子部 3 4 は、第 1 のレンズ 3 2 から近い側から順に積層された第 1 の回折格子 3 5 と第 2 の回折格子 3 6 により構成されている。実施例 1 の D O E 1 0 と同様に、D O E 3 0 の回折格子部 3 4 は正の光学的パワーを有する。

10

20

30

40

50

【0032】

DOE30において第2の回折格子36の屈折率を第1の回折格子35の屈折率よりも大きくした場合の図3(a)に点線で囲んだ領域の拡大図を図3(b)に示す。実施例1のDOE10と同様に、比較例2のDOE30においても入射光18と格子壁面34bの成す角度を小さくするように格子壁面34bを傾斜させている。このため、DOE30においても格子壁面34bに起因するフレアを低減することができる。

【0033】

しかし、図3(b)に示すようにDOE30の格子面34aと格子壁面34bの成す角度 θ_{op} は実施例1のDOE10と比較して小さくなっている。そのため、DOE10と比較して製造が困難となってしまう。

10

【0034】

一方、DOE30において第1の回折格子35の屈折率を第2の回折格子36の屈折率よりも大きくした場合の図3(a)に点線で囲んだ領域の拡大図を図3(c)に示す。この場合、格子面34aと格子壁面34bの成す角度 θ_{op} は図3(b)に示す場合よりも大きくすることができる。しかしながら図3(c)に示す構成の場合、第1の回折格子35または第2の回折格子36を成形するための型を光軸に平行な方向に離型しようとする際に、回折格子と型が干渉してしまう形状となっている。したがってDOE10と比較して製造が困難となってしまう。

【0035】

以上説明したように、比較例1のDOE20や比較例2のDOE30と異なり、実施例1のDOE10はフレアを低減しつつ容易に製造することができる。これは曲率中心が光入射側にある曲面上に形成された正の光学的パワーの回折格子部14において、第2の回折格子16の屈折率を第1の回折格子15よりも大きくし、格子壁面4bと入射光の成す角度が小さくなるように格子壁面14bを傾斜させたためである。

20

【0036】

なお、フレアを低減しつつDOE10の製造を容易にするためには、回折格子部14の全輪帯のうち5割以上の輪帯で格子壁面14bが第1のレンズ12から第2のレンズ13に近づくにつれて内径が小さくなるように傾斜していることが好ましい。より好ましくは全輪帯のうち7割以上の輪帯で、さらに好ましくは全輪帯で格子壁面14bが第1のレンズ12から第2のレンズ13に近づくにつれて内径が小さくなるように傾斜していると良い。

30

【0037】

また別の観点として、フレアを低減しつつDOE10の製造を容易にするためには、回折格子部14の全輪帯のうち5割以上の輪帯で格子壁面14bが式(1)を満たすように傾斜していることが好ましい。より好ましくは全輪帯のうち7割以上の輪帯で、さらに好ましくは全輪帯で格子壁面14bが式(1)を満たすように傾斜していると良い。

【0038】

なお、DOE10において第1のレンズ12は正レンズとすることが好ましい。ここで、正レンズとは、光軸から離れるにつれて肉厚が薄くなる凸レンズを言う。上述したように、第1のレンズ12は凸面を有している。ゆえに、第1のレンズ12を負レンズにする場合、第1のレンズ12のレンズ面のうち回折格子部14が設けられていない側のレンズ面の曲率の絶対値が大きくなりすぎてしまう。この場合、第1のレンズ12のレンズ面のうち回折格子部14が設けられていない側のレンズ面での収差の発生量が増大してしまう。

40

【0039】

また、DOE10において第2のレンズ13は負レンズとすることが好ましい。ここで、負レンズとは、光軸から離れるにつれて肉厚が厚くなる凹レンズを言う。上述したように、第2のレンズ13は凹面を有している。ゆえに、第2のレンズ13を正レンズにする場合、第2のレンズ13のレンズ面のうち回折格子部14が設けられていない側のレンズ面の曲率の絶対値が大きくなりすぎてしまう。この場合、第2のレンズ13のレンズ面の

50

うち回折格子部 1 4 が設けられていない側のレンズ面での収差の発生量が増大してしまう。

【0040】

さらに、第 1 のレンズ 1 2 のアッペ数を L_L 、第 2 のレンズ 1 3 のアッペ数を L_R としたとき、以下の条件式 (3) を満足することが好ましい。

$$20 < L_L - L_R < 60 \quad (3)$$

【0041】

フラウンホーファー線の g 線 (435.8 nm)、F 線 (486.1 nm)、d 線 (587.6 nm)、C 線 (656.3 nm) に対する屈折率をそれぞれ N_g 、 N_F 、 N_d 、 N_C とするとき、アッペ数 d は $d = (N_d - 1) / (N_F - N_C)$ で与えられる。

10

【0042】

L_L と L_R の差が小さい場合、DOE 10 を用いて色収差を十分に補正するためには第 1 のレンズ 1 2 および第 2 のレンズ 1 3 の回折格子部 1 4 が形成されている側のレンズ面の曲率の絶対値を大きくする必要がある。式 (3) の下限値を下回る場合、第 1 のレンズ 1 2 および第 2 のレンズ 1 3 の回折格子部 1 4 が形成されている側のレンズ面の曲率の絶対値が大きくなりすぎてしまい、回折格子部 1 4 に光が入射する際の入射角度が大きくなりすぎてしまう。この場合、格子壁面 1 4 b に入射する光量が多くなるため、フレアを十分に低減することが難しくなる。

【0043】

一方、式 (3) の上限値を超えるほどに L_L と L_R の差が大きくなると、第 1 のレンズ 1 2 および第 2 のレンズ 1 3 の回折格子部 1 4 が形成されている側のレンズ面の曲率が緩くなりすぎてしまい、球面収差等を補正することが困難となってしまう。

20

【0044】

式 (3) は次の式 (3a) の範囲とすることが好ましく、式 (3b) の範囲とすることがより好ましい。

$$27 < L_L - L_R < 55 \quad (3a)$$

$$30 < L_L - L_R < 53 \quad (3b)$$

【0045】

また、第 1 のレンズ 1 2 の d 線における屈折率を N_{L_L} 、第 1 の回折格子 1 5 の d 線における屈折率を N_L としたとき、以下の式 (4) を満たすことが好ましい。

$$0.8 < N_L / N_{L_L} < 1.2 \quad (4)$$

30

【0046】

N_L が N_{L_L} よりも小さい場合、第 1 のレンズ 1 2 と第 1 の回折格子 1 5 の界面は正の屈折力を有することになる。式 (4) の下限値を下回るほどに N_{L_L} に対して N_L が小さくなると、DOE 10 に入射した光が第 1 のレンズ 1 2 と第 1 の回折格子 1 5 の界面において大きく屈折する結果、回折格子部 1 4 に光が入射する際の入射角度が大きくなりすぎてしまう。この場合、格子壁面 1 4 b に入射する光量が多くなるため、フレアを十分に低減することが難しくなる。

【0047】

一方、式 (4) の上限値を上回るほどに第 1 のレンズ 1 2 に対して第 1 の回折格子 1 5 の屈折率が大きくなる場合、第 1 の回折格子 1 5 と第 2 の回折格子 1 6 に用いる材料の選択肢が狭くなってしまう。その結果、広い波長範囲で高い回折効率を得ることが困難となってしまう。

40

【0048】

なお、式 (4) は次の式 (4a) の範囲とすることが好ましい。

$$0.9 < N_L / N_{L_L} < 1.1 \quad (4a)$$

【0049】

また、任意の格子壁面 1 4 b が第 1 の回折格子 1 5 の頂部を連ねた包絡面に接する位置における該包絡面の面法線と該格子壁面 1 4 b が成す角度の絶対値を H_M とする。このとき、回折格子部 1 4 における H_M の最大値と最小値の差の絶対値である H_M は以

50

下の条件式(5)を満足することが好ましい。

$$5^\circ < \theta_{HM} < 45^\circ \quad (5)$$

【0050】

式(5)の値が小さくなることは、第1のレンズ12および第2のレンズ13の回折格子部14が形成されている側のレンズ面の曲率半径が大きくなることに相当する。式(5)の下限値を下回る程に第1のレンズ12および第2のレンズ13の回折格子部14が形成されている側のレンズ面の曲率半径が大きくなる場合、球面収差等の諸収差の補正が困難となってしまう。

【0051】

一方、式(5)の上限値を上回る程に第1のレンズ12および第2のレンズ13の回折格子部14が形成されている側のレンズ面の曲率半径が小さくなりすぎる場合、回折格子部14に光が入射する際の入射角度が大きくなりすぎてしまう。この場合、回折格子部14におけるフレアの発生を低減することが難しくなる。

【0052】

なお、式(5)は次の式(5a)の範囲とすることが好ましい。

$$10^\circ < \theta_{HM} < 40^\circ \quad (5a)$$

【0053】

また、第1の回折格子15と第2の回折格子16のうち少なくとも一方は樹脂を用いて形成されていることが好ましい。樹脂は型を用いて成形しやすいため、第1の回折格子15と第2の回折格子16のうち少なくとも一方を、樹脂を用いて形成することで回折格子部14の成形を容易に行うことができる。

【0054】

なお、図1に示したDOE10では、回折格子部14において第1の回折格子15と第2の回折格子16が密着して接合されているが、第1の回折格子15と第2の回折格子16の間に薄膜を設けても良い。例えば格子壁面14bのみに薄膜を設けても良いし、格子面14aと格子壁面14bのいずれにも薄膜を設けても良い。なお、図1(b)における格子面14aに相当する部分に薄膜が設けられている場合、第1の回折格子15と薄膜の界面を格子面14aとする。また、図1(b)における格子壁面14bに相当する部分に薄膜が設けられている場合、第1の回折格子15と薄膜の界面を格子壁面14bとする。

【0055】

次に、本発明の光学系の実施例として実施例2から6について説明する。

【0056】

各実施例の光学系は、ビデオカメラ、デジタルスチルカメラ、銀塩フィルムカメラ等の撮像装置に用いられる撮影光学系である。

【0057】

[実施例2]

次に、実施例2の光学系について説明する。図4に無限遠合焦時の本実施例の光学系100の断面図を示す。図4において左方が物体側であり右方が像側である。光学系100は、物体側から像側へ順に配置された正の屈折力の第1レンズ群L1、負の屈折力の第2レンズ群L2、開口絞りSP、負の屈折力の第3レンズ群L3で構成されている。無限遠から最至近距離へのフォーカシングに際して、第2レンズ群L2は像側に移動する。なお、第1レンズ群L1および第3レンズ群L3はフォーカシングに際して不動である。

【0058】

図4においてIPは像面である。光学系100をデジタルカメラの撮影光学系に用いる場合、像面IPにはCMOSセンサやCCDなどの固体撮像素子が配置される。また、光学系100を銀塩フィルムカメラの撮影光学系に用いる場合、像面IPはフィルム面に相当する。

【0059】

第1レンズ群L1はDOE110を有している。DOEを光学系に用いることによって、色収差をはじめとした諸収差を良好に補正することができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 0 】

図 4 に示すように、D O E 1 1 0 は像側に凸面を有する第 1 のレンズ 1 1 2 と、物体側に凹面を有する第 2 のレンズ 1 1 3 を備えており、第 1 のレンズ 1 1 2 と第 2 のレンズ 1 1 3 の間には回折格子部 1 1 4 が設けられている。光学系 1 0 0 において、第 2 のレンズ 1 1 3 に対して第 1 のレンズ 1 1 2 が物体側に配置されるように D O E 1 1 0 が配置されている。

【 0 0 6 1 】

回折格子部 1 1 4 の構成は実施例 1 の D O E 1 0 と同様である。すなわち、回折格子部 1 1 4 は第 1 のレンズ 1 1 2 から順に第 1 の回折格子と第 1 の回折格子よりも屈折率の大きな第 2 の回折格子を有し、回折格子部 1 1 4 の回折による光学的パワーは正である。

10

【 0 0 6 2 】

また、回折格子部 1 1 4 の格子壁面は、第 1 のレンズ 1 1 2 から第 2 のレンズ 1 1 3 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。別の観点としては、回折格子部 1 1 4 の格子壁面は式 (1) を満たすように傾斜している。

【 0 0 6 3 】

D O E 1 1 0 の回折格子部 1 1 4 における各格子壁面について、格子壁面から光軸までの距離と θ_H (°)、 θ_M (°)、 θ_{HM} (°) の関係を図 5 に示す。図 4 に示す光学系 1 0 0 の断面図において回折格子部 1 1 4 の形状は光軸に対して対称であるが、図 5 は光軸よりも上側についてのみ示している。なお、 θ_H および θ_M は光軸から反時計回りを正、時計回りを負としている。また、 θ_{HM} は $\theta_{HM} = | \theta_H - \theta_M |$ により算出される。

20

【 0 0 6 4 】

図 5 に示すとおり、D O E 1 1 0 では全ての格子壁面が光軸に対して負の傾きとなっており、第 1 のレンズ 1 1 2 から第 2 のレンズ 1 1 3 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。また、D O E 1 1 0 は式 (1) を満たしている。したがって、実施例 1 で説明したように、D O E 1 1 0 はフレアの発生を低減しつつ製造が容易な形状となっている。さらに、図 5 に示すように D O E 1 1 0 は式 (5) を満足する形状となっている。

【 0 0 6 5 】

なお、本実施例の D O E 1 1 0 において、第 1 の回折格子はアクリル系樹脂に I T O 微粒子を混合させた樹脂 ($N_d = 1.566$ 、 $n_d = 19.0$ 、 $n_{gF} = 0.418$) により形成されている。 n_{gF} は部分分散比であり、フラウンホーファー線の g 線、F 線、d 線、C 線に対する屈折率を N_g 、 N_F 、 N_d 、 N_C としたとき次の式 (6) で与えられる値である。

30

$$n_{gF} = (N_g - N_F) / (N_F - N_C) \quad (6)$$

【 0 0 6 6 】

また、第 2 の回折格子はアクリル系樹脂に ZrO_2 微粒子を混合させた樹脂 ($N_d = 1.619$ 、 $n_d = 43.2$ 、 $n_{gF} = 0.564$) により形成されている。また、格子高さ d は $10.79 \mu m$ としている。

【 0 0 6 7 】

このような材料を用いて第 1 の回折格子および第 2 の回折格子を形成することにより、広い波長範囲で高い回折効率を得ている。

40

【 0 0 6 8 】

図 6 に無限遠合焦時の光学系 1 0 0 の収差図を示す。図 6 における d、g、C はフラウンホーファー線の d 線、g 線、C 線に対する収差曲線を表わしている。非点収差図において M はメリディオナル像面、S はサジタル像面である。また、Y は像高 (mm) であり、F n は F ナンバーである。

【 0 0 6 9 】

図 6 に示すように、光学系 1 0 0 は色収差をはじめとした諸収差が良好に補正されている。

【 0 0 7 0 】

50

なお、DOE110による色収差を補正する効果をより高めるためには、軸上光束の光束径が大きくなる位置にDOE110を配置することが好ましい。一般に、望遠レンズにおける軸上光束の光束径は開口絞りSPの像側と比較して開口絞りSPの物体側の方が大きい。そのため、開口絞りSPよりも物体側にDOE110を配置することが好ましい。

【0071】

また、DOE110よりも物体側に配置されている全てのレンズからなる部分光学系は正の屈折力を有する。DOE110よりも物体側に配置されている部分光学系の屈折力を正とすると、軸上光束は収斂光としてDOE110に入射することになる。このため、DOE110の格子壁面と入射光の成す角度を小さくすることができ、効果的にフレアを低減することができる。なお、DOE110よりも物体側に配置されているレンズが1枚のみである場合、該レンズがDOE110よりも物体側に配置されている部分光学系となる。

10

【0072】

また、光学系の最も物体側のレンズ面から第1のレンズ112の回折格子部114が設けられている側のレンズ面までの光軸上の距離を L_d 、光学系の全長を L_t としたとき、以下の条件式(7)を満たすことが好ましい。なお、 L_t は光学系における最も物体側のレンズ面から像面までの光軸上の距離である。

$$0.10 < L_d / L_t < 0.50 \quad (7)$$

【0073】

前述のようにDOE110を開口絞りSPよりも物体側に配置することでより効果的に色収差を補正することができるが、撮影画角外からの光等の本来像面に到達しない光(不要光)がDOE110に入射しやすくなってしまふ。DOE110に入射した不要光が格子壁面で反射されると不要光が像面に到達してフレアを生じてしまふ。式(7)の下限値を下回る程に L_d が小さくなる場合、DOE110に対して撮影光以外の不要な光が入射しやすくなり、フレアが生じやすくなってしまふ。一方、式(7)の上限値を上回る場合、DOE110に入射する軸上光束の光束径が小さくなってしまふ結果、色収差を十分に補正することが難しくなる。また、式(7)の上限値を上回る場合、光学系が大型化してしまふ。

20

【0074】

なお、式(7)は以下の式(7a)の範囲とすることが好ましい。

$$0.20 < L_d / L_t < 0.45 \quad (7a)$$

30

【0075】

また、第1のレンズ112の回折格子部114が設けられている側のレンズ面の曲率半径を R_d 、光学系の全系の焦点距離を f 、Fナンバーを F_n としたとき、以下の条件式(8)を満たすことが好ましい。

$$-2.0 < f / (R_d \times F_n) < -0.20 \quad (8)$$

【0076】

式(8)の下限値を下回る程に第1のレンズの回折格子部114が設けられている側のレンズ面の曲率の絶対値が大きくなる場合、光が回折格子部114に入射する際の入射角度が大きくなってしまふ。その結果、格子壁面へ入射する光量が増大してしまひ、フレアを低減することが困難となってしまふ。

40

【0077】

一方、式(8)の上限値を上回る程に第1のレンズの回折格子部114が設けられている側のレンズ面の曲率の絶対値が小さくなると、球面収差等の諸収差の補正が困難となってしまふ。

【0078】

なお、式(8)の範囲は以下の式(8a)の範囲とすることが好ましく、式(8b)の範囲とすることがより好ましい。

$$-1.9 < f / (R_d \times F_n) < -0.30 \quad (8a)$$

$$-1.8 < f / (R_d \times F_n) < -0.41 \quad (8b)$$

50

【0079】

さらに、光学系において最も物体側のレンズ面の有効径を E_1 、第1のレンズ112の回折格子部114が形成されている側のレンズ面の有効径を E_d とする。また、第1のレンズ112の物体側のレンズ面（第1のレンズ112の回折格子部114が形成されていない側のレンズ面）の屈折力を P_f とする。このとき、以下の条件式(9)を満たすことが好ましい。

$$0.6 < (E_1 - E_d) / L_d + E_d \times P_f - E_d / R_d < 2.0 \quad (9)$$

【0080】

ここで、第1のレンズ112の物体側のレンズ面の屈折力 P_f は、第1のレンズ112の物体側のレンズ面の曲率半径を R_{LL} としたとき、以下の式(10)で与えられる。

$$P_f = (N_{LL} - 1) / R_{LL} \quad (10)$$

【0081】

光学系100に入射した軸上マージナル光線が第1のレンズ112に入射する際の軸上マージナル光線と光軸の成す角度は、近似的に $(E_1 - E_d) / (2L_d)$ で表わすことができる。また、軸上マージナル光線が第1のレンズ112の物体側のレンズ面に入射する前後の光線の進行方向が成す角度は、近似的に $E_d \times P_f / 2$ で表わすことができる。

【0082】

また、軸上マージナル光線が入射する位置における第1のレンズ112の回折格子部114が形成されている側のレンズ面の面法線が光軸と成す角度は、 $E_d / (2R_d)$ で表わすことができる。すなわち、式(9)の値は軸上マージナル光線が回折格子部114に入射する際の入射角度に対応した値となっている。

【0083】

式(9)の上限値を上回ると、軸上マージナル光線が回折格子部114に入射する際の入射角度が大きくなりすぎてしまう。その結果、格子壁面へ入射する光量が増大してしまい、フレアを低減することが困難となってしまう。

【0084】

式(9)の下限値を下回ると、回折格子部114よりも物体側における屈折力が小さくなりすぎたり、DOE110による収差補正効果を十分に得ることができなかつたりする結果、光学系全体の収差補正が困難となってしまう。

【0085】

式(9)式は以下の式(9a)範囲とすることが好ましく、式(9b)の範囲とすることがより好ましい。

$$0.70 < (E_1 - E_d) / L_d + E_d \times P_f - E_d / R_d < 1.8 \quad (9a)$$

$$0.75 < (E_1 - E_d) / L_d + E_d \times P_f - E_d / R_d < 1.7 \quad (9b)$$

【0086】

また、無限遠合焦時に軸上マージナル光線が回折格子部114に入射する際の入射角度を θ_D としたとき、以下の式(11)を満たすことが好ましい。なお入射角度 θ_D とは、回折格子部114に軸上マージナル光線が入射する位置における第1のレンズ112の像側のレンズ面の面法線と軸上マージナル光線が成す角度である。

$$10^\circ < |\theta_D| < 57^\circ \quad (11)$$

【0087】

式(11)の上限値を上回ると、軸上マージナル光線が回折格子部114に入射する際の入射角度が大きくなりすぎてしまう。その結果、格子壁面へ入射する光量が増大してしまい、フレアを低減することが困難となってしまう。

【0088】

式(11)の下限値を下回ると、回折格子部114よりも物体側における屈折力が小さくなりすぎたり、DOE110による収差補正効果を十分に得ることができなかつたりする結果、光学系全体の収差補正が困難となってしまう。

【0089】

なお、式(11)は以下の式(11a)の範囲とすることが好ましく、式(11b)の

10

20

30

40

50

範囲とすることがより好ましい。

$$15^\circ < |\theta_D| < 51^\circ \quad (11a)$$

$$20^\circ < |\theta_D| < 45^\circ \quad (11b)$$

【0090】

[実施例3]

次に、実施例3の光学系について説明する。図7に無限遠合焦時の本実施例の光学系200の断面図を示す。光学系200は、物体側から像側へ順に配置された正の屈折力の第1レンズ群L1、負の屈折力の第2レンズ群L2、開口絞りSP、負の屈折力の第3レンズ群L3で構成されている。無限遠から最至近距離へのフォーカシングに際して、第2レンズ群L2は像側に移動する。なお、第1レンズ群L1および第3レンズ群L3はフォーカシングに際して不動である。

10

【0091】

第1レンズ群L1はDOE210を有している。図7に示すように、DOE210は像側に凸面を有する第1のレンズ212と、物体側に凹面を有する第2のレンズ213を備えており、第1のレンズ212と第2のレンズ213の間には回折格子部214が設けられている。光学系200において、第2のレンズ213に対して第1のレンズ212が物体側に配置されるようにDOE210が配置されている。

【0092】

回折格子部214の構成は実施例1のDOE10と同様である。すなわち、回折格子部214は第1のレンズ212から順に第1の回折格子と第1の回折格子よりも屈折率の大きな第2の回折格子を有し、回折格子部214の回折による光学的パワーは正である。

20

【0093】

また、回折格子部214の格子壁面は、第1のレンズ212から第2のレンズ213へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。別の観点としては、回折格子部214の格子壁面は式(1)を満たすように傾斜している。

【0094】

DOE210の回折格子部214における各格子壁面について、格子壁面から光軸までの距離と θ_H (°)、 θ_M (°)、 θ_{HM} (°)の関係を図8に示す。図7に示す光学系200の断面図において回折格子部214の形状は光軸に対して対称であるが、図8は光軸よりも上側についてのみ示している。

30

【0095】

図8に示すとおり、DOE210では全ての格子壁面が光軸に対して負の傾きとなっており、第1のレンズ212から第2のレンズ213へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。また、DOE210は式(1)を満たしている。したがって、実施例1で説明したように、DOE210はフレアの発生を低減しつつ製造が容易な形状となっている。さらに、図8に示すようにDOE210は式(5)を満足する形状となっている。

【0096】

なお、本実施例のDOE210において、第1の回折格子は樹脂材料($N_d = 1.528$ 、 $n_d = 34.7$ 、 $g_F = 0.605$)により形成されている。

40

【0097】

また、第2の回折格子は樹脂材料($N_d = 1.557$ 、 $n_d = 50.2$ 、 $g_F = 0.568$)により形成されている。また、格子高さdは $19.9 \mu\text{m}$ である。

【0098】

このような材料を用いて第1の回折格子および第2の回折格子を形成することにより、広い波長範囲で高い回折効率を得ている。

【0099】

図9に無限遠合焦時の光学系200の収差図を示す。図9に示すように、光学系200は色収差をはじめとした諸収差が良好に補正されている。

【0100】

50

[実施例 4]

次に、実施例 4 の光学系について説明する。図 10 に無限遠合焦時の本実施例の光学系 300 の断面図を示す。光学系 300 は、物体側から像側へ順に配置された正の屈折力の第 1 レンズ群 L1、負の屈折力の第 2 レンズ群 L2、開口絞り SP、正の屈折力の第 3 レンズ群 L3 で構成されている。無限遠から最至近距離へのフォーカシングに際して、第 2 レンズ群 L2 は像側に移動する。なお、第 1 レンズ群 L1 および第 3 レンズ群 L3 はフォーカシングに際して不動である。

【 0101 】

第 1 レンズ群 L1 は DOE 310 を有している。図 10 に示すように、DOE 310 は像側に凸面を有する第 1 のレンズ 312 と、物体側に凹面を有する第 2 のレンズ 313 を備えており、第 1 のレンズ 312 と第 2 のレンズ 313 の間には回折格子部 314 が設けられている。光学系 300 において、第 2 のレンズ 313 に対して第 1 のレンズ 312 が物体側に配置されるように DOE 310 が配置されている。

10

【 0102 】

回折格子部 314 の構成は実施例 1 の DOE 10 と同様である。すなわち、回折格子部 314 は第 1 のレンズ 312 から順に第 1 の回折格子と第 1 の回折格子よりも屈折率の大きな第 2 の回折格子を有し、回折格子部 314 の回折による光学的パワーは正である。

【 0103 】

また、回折格子部 314 の格子壁面は、第 1 のレンズ 312 から第 2 のレンズ 313 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。別の観点としては、回折格子部 314 の格子壁面は式 (1) を満たすように傾斜している。

20

【 0104 】

DOE 310 の回折格子部 314 における各格子壁面について、格子壁面から光軸までの距離と θ_H (°)、 θ_M (°)、 θ_{HM} (°) の関係を図 11 に示す。図 10 に示す光学系 300 の断面図において回折格子部 314 の形状は光軸に対して対称であるが、図 11 は光軸よりも上側についてのみ示している。

【 0105 】

図 11 に示すとおり、DOE 310 では全ての格子壁面が光軸に対して負の傾きとなっており、第 1 のレンズ 312 から第 2 のレンズ 313 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。また、別の観点としては、DOE 310 は式 (1) を満たしている。したがって、実施例 1 で説明したように、DOE 310 はフレアの発生を低減しつつ製造が容易な形状となっている。さらに、図 11 に示すように DOE 310 は式 (5) を満足する形状となっている。

30

【 0106 】

なお、本実施例の DOE 310 において、第 1 の回折格子は樹脂材料 ($N_d = 1.615$ 、 $n_d = 26.5$ 、 $g_F = 0.612$) により形成されている。

【 0107 】

また、第 2 の回折格子は樹脂材料 ($N_d = 1.643$ 、 $n_d = 38.8$ 、 $g_F = 0.578$) により形成されている。また、格子高さ d は $21.5 \mu\text{m}$ である。

【 0108 】

このような材料を用いて第 1 の回折格子および第 2 の回折格子を形成することにより、広い波長範囲で高い回折効率を得ている。

40

【 0109 】

図 12 に無限遠合焦時の光学系 300 の収差図を示す。図 12 に示すように、光学系 300 は色収差をはじめとした諸収差が良好に補正されている。

【 0110 】

[実施例 5]

次に、実施例 5 の光学系について説明する。図 13 に無限遠合焦時の本実施例の光学系 400 の断面図を示す。光学系 400 は、物体側から像側へ順に配置された正の屈折力の第 1 レンズ群 L1、負の屈折力の第 2 レンズ群 L2、開口絞り SP、正の屈折力の第 3 レ

50

レンズ群 L 3 で構成されている。無限遠から最至近距離へのフォーカシングに際して、第 2 レンズ群 L 2 は像側に移動する。なお、第 1 レンズ群 L 1 および第 3 レンズ群 L 3 はフォーカシングに際して不動である。

【 0 1 1 1 】

第 1 レンズ群 L 1 は D O E 4 1 0 を有している。図 1 3 に示すように、D O E 4 1 0 は像側に凸面を有する第 1 のレンズ 4 1 2 と、物体側に凹面を有する第 2 のレンズ 4 1 3 を備えており、第 1 のレンズ 4 1 2 と第 2 のレンズ 4 1 3 の間には回折格子部 4 1 4 が設けられている。光学系 4 0 0 において、第 2 のレンズ 4 1 3 に対して第 1 のレンズ 4 1 2 が物体側に配置されるように D O E 4 1 0 が配置されている。

【 0 1 1 2 】

回折格子部 4 1 4 の構成は実施例 1 の D O E 1 0 と同様である。すなわち、回折格子部 4 1 4 は第 1 のレンズ 4 1 2 から順に第 1 の回折格子と第 1 の回折格子よりも屈折率の大きな第 2 の回折格子を有しており、回折格子部 4 1 4 の回折による光学的パワーは正である。

【 0 1 1 3 】

また、回折格子部 4 1 4 の格子壁面は、第 1 のレンズ 4 1 2 から第 2 のレンズ 4 1 3 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。別の観点としては、回折格子部 4 1 4 の格子壁面は式 (1) を満たすように傾斜している。

【 0 1 1 4 】

D O E 4 1 0 の回折格子部 4 1 4 における各格子壁面について、格子壁面から光軸までの距離と θ_H (°)、 θ_M (°)、 θ_{HM} (°) の関係を図 1 4 に示す。図 1 3 に示す光学系 4 0 0 の断面図において回折格子部 4 1 4 の形状は光軸に対して対称であるが、図 1 4 は光軸よりも上側についてのみ示している。

【 0 1 1 5 】

図 1 4 に示すとおり、D O E 4 1 0 では全ての格子壁面が光軸に対して負の傾きとなっており、第 1 のレンズ 4 1 2 から第 2 のレンズ 4 1 3 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。また、D O E 4 1 0 は式 (1) を満たしている。したがって、実施例 1 で説明したように、D O E 4 1 0 はフレアの発生を低減しつつ製造が容易な形状となっている。さらに、図 1 4 に示すように D O E 4 1 0 は式 (5) を満足する形状となっている。

【 0 1 1 6 】

なお、本実施例の D O E 4 1 0 において、第 1 の回折格子はアクリル系樹脂に I T O 微粒子を混合させた樹脂 ($N_d = 1.566$ 、 $n_d = 1.9.0$ 、 $n_{gF} = 0.418$) により形成されている。

【 0 1 1 7 】

また、第 2 の回折格子はアクリル系樹脂に ZrO_2 微粒子を混合させた樹脂 ($N_d = 1.619$ 、 $n_d = 4.3.2$ 、 $n_{gF} = 0.564$) により形成されている。また、格子高さ d は $10.79 \mu m$ である。

【 0 1 1 8 】

このような材料を用いて第 1 の回折格子および第 2 の回折格子を形成することにより、広い波長範囲で高い回折効率を得ている。

【 0 1 1 9 】

図 1 5 に無限遠合焦時の光学系 4 0 0 の収差図を示す。図 1 5 に示すように、光学系 4 0 0 は色収差をはじめとした諸収差が良好に補正されている。

【 0 1 2 0 】

[実施例 6]

次に、実施例 6 の光学系について説明する。図 1 6 に無限遠合焦時の本実施例の光学系 5 0 0 の断面図を示す。光学系 5 0 0 は、物体側から像側へ順に配置された正の屈折力の第 1 レンズ群 L 1、負の屈折力の第 2 レンズ群 L 2、開口絞り S P、正の屈折力の第 3 レンズ群 L 3 で構成されている。無限遠から最至近距離へのフォーカシングに際して、第 2

10

20

30

40

50

レンズ群 L 2 は像側に移動する。なお、第 1 レンズ群 L 1 および第 3 レンズ群 L 3 はフォーカシングに際して不動である。

【 0 1 2 1 】

第 1 レンズ群 L 1 は D O E 5 1 0 を有している。図 1 6 に示すように、D O E 5 1 0 は像側に凸面を有する第 1 のレンズ 5 1 2 と、物体側に凹面を有する第 2 のレンズ 5 1 3 を備えており、第 1 のレンズ 5 1 2 と第 2 のレンズ 5 1 3 の間には回折格子部 5 1 4 が設けられている。光学系 5 0 0 において、第 2 のレンズ 5 1 3 に対して第 1 のレンズ 5 1 2 が物体側に配置されるように D O E 5 1 0 が配置されている。

【 0 1 2 2 】

回折格子部 5 1 4 の構成は実施例 1 の D O E 1 0 と同様である。すなわち、回折格子部 5 1 4 は第 1 のレンズ 5 1 2 から順に第 1 の回折格子と第 1 の回折格子よりも屈折率の大きな第 2 の回折格子を有し、回折格子部 5 1 4 の回折による光学的パワーは正である。

10

【 0 1 2 3 】

また、回折格子部 5 1 4 の格子壁面は、第 1 のレンズ 5 1 2 から第 2 のレンズ 5 1 3 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。別の観点としては、回折格子部 5 1 4 の格子壁面は式 (1) を満たすように傾斜している。

【 0 1 2 4 】

D O E 5 1 0 の回折格子部 5 1 4 における各格子壁面について、格子壁面から光軸までの距離と θ_H (°)、 θ_M (°)、 θ_{HM} (°) の関係を図 1 7 に示す。図 1 6 に示す光学系 5 0 0 の断面図において回折格子部 5 1 4 の形状は光軸に対して対称であるが、図 1 7 は光軸よりも上側についてのみ示している。

20

【 0 1 2 5 】

図 1 7 に示すとおり、D O E 5 1 0 では全ての格子壁面が光軸に対して負の傾きとなっており、第 1 のレンズ 5 1 2 から第 2 のレンズ 5 1 3 へ近づくにつれて格子壁面の内径が小さくなるように光軸に対して傾斜している。また、D O E 5 1 0 は式 (1) を満たしている。したがって、実施例 1 で説明したように、D O E 5 1 0 はフレアの発生を低減しつつ製造が容易な形状となっている。さらに、図 1 7 に示すように D O E 5 1 0 は式 (5) を満足する形状となっている。

【 0 1 2 6 】

なお、本実施例の D O E 5 1 0 において、第 1 の回折格子はフッ素系樹脂に I T O 微粒子を混合させた樹脂 ($N_d = 1.480$ 、 $n_d = 2.1.7$ 、 $g_F = 0.383$) により形成されている。

30

【 0 1 2 7 】

また、第 2 の回折格子は樹脂材料 ($N_d = 1.524$ 、 $n_d = 5.1.6$ 、 $g_F = 0.562$) により形成されている。また、格子高さ d は $12.95 \mu\text{m}$ である。

【 0 1 2 8 】

このような材料を用いて第 1 の回折格子および第 2 の回折格子を形成することにより、広い波長範囲で高い回折効率を得ている。

【 0 1 2 9 】

図 1 8 に無限遠合焦時の光学系 5 0 0 の収差図を示す。図 1 8 に示すように、光学系 5 0 0 は色収差をはじめとした諸収差が良好に補正されている。

40

【 0 1 3 0 】

以下に、実施例 2 から 6 で説明した光学系 1 0 0 から光学系 5 0 0 に対応する数値実施例 1 から 5 を示す。

【 0 1 3 1 】

各数値実施例の面データにおいて、 r は各光学面の曲率半径、 d (mm) は第 m 面と第 ($m + 1$) 面との間の軸上間隔 (光軸上の距離) を表わしている。ただし、 m は光学系の面を光入射側から数えた時の番号である。また、 n_d は各光学部材の d 線に対する屈折率、 g_d は光学部材の d 線に対するアッペ数を表わしている。

【 0 1 3 2 】

50

非球面データおよび回折面データにおける「 $e \pm B$ 」は「 $\times 10^{\pm B}$ 」を意味している。光学面の非球面形状は、光軸方向における面頂点からの変位量を X 、光軸方向に垂直な方向における光軸からの高さを H 、近軸曲率半径を R 、円錐定数を k 、非球面係数を $A_4, A_6, A_8, A_{10}, A_{12}, A_{14}$ とするとき、以下の式 (18) により表される。

【0133】

【数1】

$$x(h) = \frac{(1/r)h^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)(h/r)^2}} + A_4h^4 + A_6h^6 + A_8h^8 + A_{10}h^{10} + A_{12}h^{12} + A_{14}h^{14} \quad (11)$$

10

【0134】

なお、各数値実施例において、 d 、焦点距離 (mm)、 F ナンバー、半画角 ($^\circ$) は全て各実施例の光学系が無遠物体に焦点を合わせた時の値である。バックフォーカス B_F は最終レンズ面から像面までの距離である。レンズ全長は第1レンズ面から最終レンズ面までの距離にバックフォーカスを加えた値である。

【0135】

また、各数値実施例の回折光学素子の回折面の位相形状は、次の式 (12) によって表される。

$$(h, m) = (2\pi / m \cdot 0) (C_2 h^2 + C_4 h^4 + C_6 h^6 \dots) \quad (12)$$

【0136】

式 (12) において、 h は光軸からの高さ、 0 は設計波長、 m は回折次数、 C_i ($i = 2, 4, 6 \dots$) は位相係数である。

20

【0137】

このとき、任意の波長、任意の回折次数 m に対する回折格子のパワー D は、最も低次の位相係数 C_2 を用いて次の式 (13) によって表すことができる。

$$D(\lambda, m) = -2 C_2 m / 0 \quad (13)$$

【0138】

各数値実施例において、回折光学素子を構成する各回折格子の回折次数 m は全て1であり、設計波長 0 は全て d 線の波長 (587.56 nm) である。

【0139】

[数値実施例1]

30

単位 (mm)

面データ

面番号	r	d	nd	d	有効径
1 (非球面)	139.485	16.40	1.4875	70.2	134.48
2	600.728	144.94			133.46
3 (非球面)	85.670	13.09	1.4970	81.5	72.94
4	-320.403	0.002	1.5660	19.0	71.19
5 (回折面)	-320.403	0.05	1.6199	43.2	71.18
6	-320.403	3.50	2.0033	28.3	71.16
7	648.053	2.88			68.88
8	679.319	2.34	1.8081	22.8	67.15
9	584.762	3.20	1.8348	42.7	66.22
10 (非球面)	134.826	86.48			63.93
11 (絞り)		34.82			40.14
12	76.077	4.06	1.8081	22.8	29.69
13	-67.737	1.50	1.8348	42.7	29.36
14	69.304	9.24			27.89
15	142.465	3.69	1.8467	23.9	27.97

40

50

16	-94.529	2.50	1.6056	43.7	27.80
17	64.379	2.50			27.11
18	-132.204	2.00	1.8040	46.6	27.12
19	78.220	5.70			27.56
20 (非球面)	44.962	6.66	1.7380	32.3	31.33
21	-65.436	0.40			31.24
22	-57.768	3.00	1.8929	20.4	31.17
23	40.092	7.40	1.6134	44.3	31.43
24	-80.410	9.15			31.92
25	62.000	11.57	1.5673	42.8	32.68
26	-22.748	2.00	1.5952	67.7	32.26
27	61.925	25.00			30.99
28		4.40	1.5163	64.1	33.73
29		77.59			34.07
30					

10

非球面データ

第1面

$k = -1.42907E-02$
 $A4 = -2.35660E-09$
 $A6 = -2.78502E-13$
 $A8 = -3.73974E-18$
 $A10 = -1.71054E-21$
 $A12 = -1.71054E-21$

20

第3面

$k = -1.88438E+00$
 $A4 = 3.08070E-07$
 $A6 = -9.77306E-13$
 $A8 = -3.56770E-15$
 $A10 = 1.58909E-18$
 $A12 = -4.86078E-22$

30

第10面

$k = -2.05982E+00$
 $A4 = 8.09083E-08$
 $A6 = 5.54689E-12$
 $A8 = -3.18893E-15$
 $A10 = 4.15591E-19$

40

第20面

$k = 1.19638E+00$
 $A4 = -1.76591E-06$
 $A6 = -8.99919E-10$
 $A8 = 7.80397E-13$
 $A10 = 8.35620E-17$

回折面データ

第5面

$C2 = -4.03065E-05$

50

C4 = 2.26824E-09
C6 = -9.56622E-13

各種データ

焦点距離 780.0
Fナンバー 5.80
半画角(°) 1.6
像高 21.6
レンズ全長 486.06
BF 77.59

10

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	224.5
2	8	-202.7
3	12	-200.0

【 0 1 4 0 】

[数值実施例 2]

単位(mm)

20

面番号	r	d	nd	d	有効径
1 (非球面)	125.499	16.25	1.4875	70.2	134.48
2	371.022	143.96			133.34
3 (非球面)	87.614	14.70	1.4970	81.5	74.01
4	-190.068	0.05	1.5276	34.7	72.22
5 (回折面)	-190.068	0.05	1.5569	50.2	72.19
6	-190.068	3.50	1.9108	35.3	72.17
7	427.093	11.90			69.30
8	344.680	8.00	1.8830	40.8	63.16
9 (非球面)	140.097	84.85			59.69
10 (絞り)		31.74			36.31
11	98.207	3.53	1.8081	22.8	28.10
12	-64.390	1.50	1.8348	42.7	27.96
13	76.509	9.24			27.39
14	3660.189	3.67	1.8467	23.9	27.88
15	-59.545	2.50	1.6056	43.7	27.94
16	140.542	1.77			27.75
17	-133.850	2.00	1.8040	46.6	27.77
18	78.158	5.70			28.27
19 (非球面)	47.721	6.64	1.7380	32.3	32.25
20	-69.436	0.40			32.23
21	-58.607	3.00	1.8929	20.4	32.21
22	48.545	7.61	1.6134	44.3	32.80
23	-65.327	10.00			33.35
24	64.850	11.75	1.5673	42.8	33.70
25	-23.631	2.00	1.5952	67.7	33.23
26	57.876	25.00			31.71
27		4.40	1.5163	64.1	34.46
28		70.34			34.81

30

40

50

29 (像面)

非球面データ

第1面

$$k = -1.42907E-02$$

$$A4 = -2.35660E-09$$

$$A6 = -2.78502E-13$$

$$A8 = -3.73974E-18$$

$$A10 = -1.71054E-21$$

$$A12 = -1.71054E-21$$

10

第3面

$$k = -1.88438E+00$$

$$A4 = 3.08070E-07$$

$$A6 = -9.77306E-13$$

$$A8 = -3.56770E-15$$

$$A10 = 1.58909E-18$$

$$A12 = -4.86078E-22$$

第9面

$$k = -2.05982E+00$$

$$A4 = 8.09083E-08$$

$$A6 = 5.54689E-12$$

$$A8 = -3.18893E-15$$

$$A10 = 4.15591E-19$$

20

第19面

$$k = 1.19638E+00$$

$$A4 = -1.76591E-06$$

$$A6 = -8.99919E-10$$

$$A8 = 7.80397E-13$$

$$A10 = 8.35620E-17$$

30

回折面データ

第5面

$$C2 = -4.03065E-05$$

$$C4 = 2.26824E-09$$

$$C6 = -9.56622E-13$$

各種データ

$$\text{焦点距離} \quad 780.0$$

$$\text{Fナンバー} \quad 5.80$$

$$\text{半画角 (} ^\circ \text{)} \quad 1.6$$

$$\text{像高} \quad 21.6$$

$$\text{レンズ全長} \quad 486.05$$

$$\text{BF} \quad 70.34$$

40

レンズ群データ

群 始面 焦点距離

$$1 \quad 1 \quad 268.4$$

50

2 8 -272.3
3 11 -204.5

【 0 1 4 1 】

[数值实施例 3]

单位 (mm)

面番号	r	d	nd	d	有効径	
1 (非球面)	119.357	22.64	1.4875	70.2	134.48	
2	763.342	83.12			132.44	10
3 (非球面)	92.232	17.81	1.4970	81.5	82.94	
4	-179.273	0.05	1.6151	26.5	80.36	
5 (回折面)	-179.273	0.05	1.6431	38.8	80.35	
6	-179.273	2.95	1.8503	32.3	80.32	
7	-2248.283	11.49			77.26	
8	515.704	5.13	1.8081	22.8	65.99	
9	-509.658	3.20	1.8830	40.8	64.40	
10 (非球面)	78.038	69.22			59.43	
11 (絞り)		26.48			46.26	
12	461.982	1.80	1.8081	22.8	40.66	20
13	57.130	7.10	1.7570	47.8	40.40	
14	-148.092	4.62			40.54	
15	84.730	6.11	1.8467	23.9	39.79	
16	-105.171	1.70	1.6056	43.7	39.28	
17	39.636	7.85			36.33	
18	-90.783	1.80	1.8040	46.6	36.34	
19	69.793	2.85			37.50	
20 (非球面)	72.730	7.03	1.7380	32.3	40.31	
21	-225.107	0.20			41.03	
22	55.025	3.00	1.8467	23.9	42.35	30
23	40.048	5.86	1.6134	44.3	41.24	
24	115.63	15.00			41.01	
25		2.20	1.5163	64.1	41.41	
26		59.79			41.45	
27 (像面)						

非球面データ

第1面

k = -3.23271E-01
A4 = 2.49708E-08
A6 = 1.09496E-12
A8 = 3.71896E-17
A10 = 7.60080E-21

40

第3面

k = -3.13925E+00
A4 = 3.75224E-07
A6 = -5.06005E-11
A8 = 4.11091E-15
A10 = -8.01472E-19

50

A12 = -1.03023E-22

第10面

k = -9.30267E-02

A4 = 4.40544E-08

A6 = 1.08005E-11

A8 = 3.85360E-15

A10 = -1.69391E-18

第20面

k = 8.04214E-01

A4 = -5.78950E-07

A6 = -1.51948E-10

A8 = -9.75920E-14

A10 = 5.87507E-17

10

回折面データ

第5面

C2 = -4.81608E-05

C4 = 2.48823E-09

C6 = -7.84815E-13

20

各種データ

焦点距離 390.0

Fナンバー 2.90

半画角(°) 3.2

像高 21.6

レンズ全長 369.07

BF 59.79

30

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	163.2
2	8	-101.9
3	12	345.2

【 0 1 4 2 】

[数值実施例 4]

単位(mm)

40

面番号	r	d	nd	d	有効径
1 (非球面)	79.068	20.71	1.4875	70.2	102.86
2	643.847	37.00			100.65
3 (非球面)	64.836	16.86	1.4875	70.2	63.99
4	-106.833	0.002	1.5660	19.0	60.48
5 (回折面)	-106.833	0.05	1.6199	43.2	60.47
6	-106.833	3.95	1.6727	32.1	60.43
7	267.129	7.51			54.81
8	3209.381	5.34	1.8081	22.8	49.50
9	-251.490	3.00	1.7292	54.7	47.63

50

10	52.944	25.10			43.36
11 (絞リ)		4.44			39.22
12 (非球面)	100.674	2.10	1.8081	22.8	37.93
13	47.692	8.03	1.7725	49.6	36.74
14	-577.611	2.89			35.51
15	-160.477	1.75	1.6968	55.5	34.15
16	50.108	2.99			32.80
17	195.498	4.88	1.8467	23.8	32.84
18	-122.150	1.80	1.5407	47.2	32.69
19	71.436	3.12			32.16
20	81.909	4.69	1.7200	43.7	34.92
21	-246.705	2.00	1.8081	22.8	35.50
22	188.446	0.20			36.42
23	70.535	5.76	1.8830	40.8	37.67
24	-1243.51	3.40			37.86
25		2.20	1.5163	64.1	38.18
26		56.05			38.30
27 (像面)					

10

非球面データ

20

第1面

$k = 2.94671E-01$
 $A4 = -2.65433E-08$
 $A6 = -1.12941E-11$
 $A8 = -1.23216E-15$
 $A10 = -9.03682E-19$
 $A12 = 2.64633E-22$
 $A14 = -8.68831E-26$

第3面

30

$k = 0.00000E+00$
 $A4 = -4.13485E-07$
 $A6 = -1.01773E-10$
 $A8 = -4.09820E-14$
 $A10 = -1.35393E-16$
 $A12 = 1.46462E-19$

第12面

$k = 2.40879E+00$
 $A4 = 8.23477E-07$
 $A6 = -1.07278E-09$
 $A8 = 7.33823E-12$
 $A10 = -1.88191E-14$
 $A12 = 1.75521E-17$

40

回折面データ

第5面

$C2 = -1.13342E-04$
 $C4 = 3.23399E-08$
 $C6 = -1.50255E-11$

50

各種データ

焦点距離	195.9
Fナンバー	2.05
半画角 (°)	6.3
像高	21.6
レンズ全長	225.84
BF	56.05

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	117.5
2	8	-75.9
3	12	122.8

10

【 0 1 4 3 】

[数値実施例 5]

単位 (mm)

面番号	r	d	nd	d	有効径
1 (非球面)	76.590	22.07	1.4875	70.2	103.11
2	577.345	37.00			100.30
3 (非球面)	68.307	16.10	1.5378	74.7	63.32
4	-104.952	0.005	1.4799	21.7	59.94
5 (回折面)	-104.952	0.05	1.5242	51.6	59.93
6	-104.952	3.95	1.7380	32.3	59.88
7	261.364	7.51			54.37
8	4389.915	3.76	1.8929	20.4	49.07
9	-357.754	3.00	1.7292	54.7	47.81
10	52.588	26.13			43.63
11 (絞り)		4.44			39.33
12 (非球面)	81.722	2.10	1.8081	22.8	37.97
13	47.021	7.57	1.7725	49.6	36.76
14	1282.624	2.89			35.41
15	-386.649	1.75	1.6968	55.5	33.98
16	47.511	2.97			32.47
17	230.898	4.72	1.8467	23.8	32.46
18	-120.061	1.80	1.5407	47.2	32.24
19	62.398	3.12			31.54
20	71.396	5.78	1.7200	43.7	34.36
21	-260.885	2.00	1.8081	22.8	35.11
22	187.059	0.20			35.93
23	67.544	5.42	1.8830	40.8	37.13
24	745.89	3.40			37.22
25		2.20	1.5163	64.1	37.55
26		54.00			37.70
27 (像面)					

20

30

40

非球面データ

第1面

50

$k = 2.62030E-01$
 $A4 = -3.96383E-08$
 $A6 = -1.15385E-11$
 $A8 = -1.45058E-15$
 $A10 = -1.53259E-18$
 $A12 = 5.53728E-22$
 $A14 = -1.45712E-25$

第3面

$k = 0.00000E+00$
 $A4 = -3.77246E-07$
 $A6 = -1.31037E-10$
 $A8 = 5.75632E-14$
 $A10 = -2.71228E-16$
 $A12 = 2.43543E-19$
 $A14 = -8.48835E-23$

10

第12面

$k = 7.32909E-01$
 $A4 = 9.05629E-07$
 $A6 = -1.17485E-09$
 $A8 = 7.56204E-12$
 $A10 = -1.88342E-14$
 $A12 = 1.72746E-17$

20

回折面データ

第5面

$C2 = -8.84624E-05$
 $C4 = 3.09506E-08$
 $C6 = -1.63650E-11$

30

各種データ

焦点距離	196.4
Fナンバー	2.05
半画角 (°)	6.3
像高	21.6
レンズ全長	223.96
BF	54.00

レンズ群データ

群	始面	焦点距離
1	1	117.5
2	8	-75.9
3	12	125.6

40

【 0 1 4 4 】

実施例 2 から 6 の光学系における種々の数値を表 1 にまとめて示す。

【 0 1 4 5 】

【表 1】

条件式	実施例				
	2	3	4	5	6
ν_{LL}	81.5	81.5	81.5	70.2	74.7
ν_{LR}	28.3	35.3	32.3	32.1	32.3
式(3)	53.3	46.3	49.3	38.1	42.4
N_L	1.5660	1.5276	1.6151	1.5660	1.4799
N_{LL}	1.4970	1.4970	1.4970	1.4875	1.5378
式(4)	1.046	1.020	1.079	1.053	0.962
式(5)	18.9	23.3	26.2	33.0	36.3
L_d	174.44	174.90	123.57	74.57	75.17
L_t	486.06	486.05	369.07	225.84	223.96
式(7)	0.36	0.36	0.33	0.33	0.34
f	780.00	780.00	390.00	195.90	196.40
F_n	5.80	5.80	2.90	2.05	2.05
R_d	-320.403	-190.068	-179.273	-106.833	-104.952
式(8)	-0.420	-0.708	-0.750	-0.894	-0.913
式(9)	0.998	1.146	1.319	1.589	1.617
$ \theta_D $	22.17	26.69	31.30	37.01	37.09

10

20

【0146】

〔光学機器〕

30

図19は、本発明の一実施例としての撮像装置（デジタルスチルカメラ）600の概略図である。本実施形態の撮像装置600は、カメラ本体601と、上述した実施例2から6のいずれかと同様である光学系602と、光学系602によって形成される像を光電変換する受光素子（撮像素子）603を備える。

【0147】

本実施形態の撮像装置600は、実施例2から6のいずれかと同様である光学系602を有するため、DOEの格子壁面に起因するフレアが低減された高品位な画像を得ることができる。なお、受光素子603としては、CCDセンサやCMOSセンサ等の撮像素子を用いることができる。

【0148】

40

なお、上述した各実施例の光学系は、図19に示したデジタルスチルカメラに限らず、銀塩フィルム用カメラやビデオカメラ、望遠鏡等の種々の光学機器に適用することができる。

【0149】

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

【符号の説明】

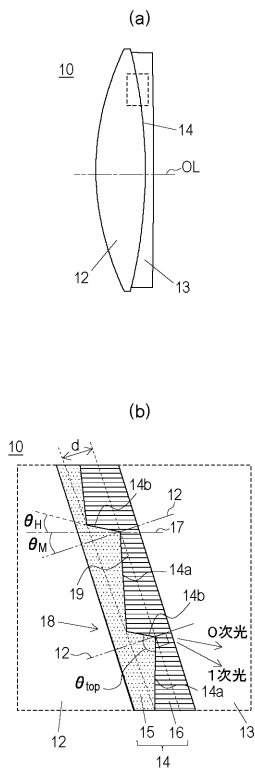
【0150】

10, 110, 210, 310, 410, 510 回折光学素子

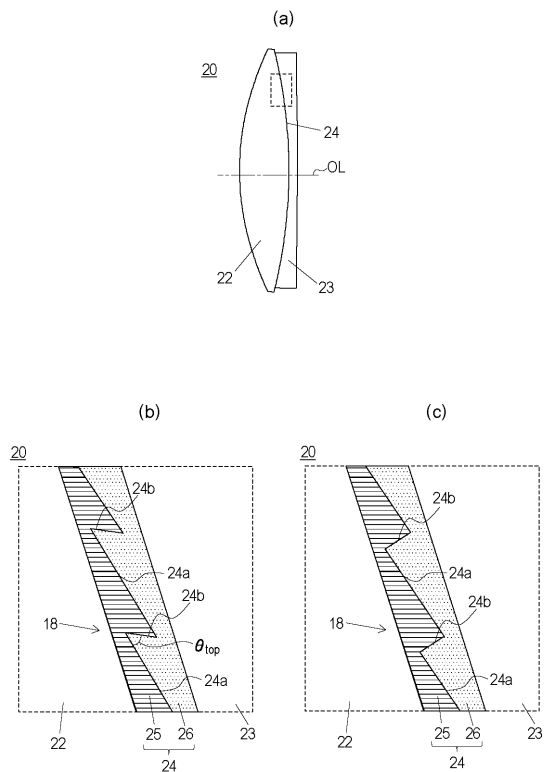
50

- 1 2 , 1 1 2 , 2 1 2 , 3 1 2 , 4 1 2 , 5 1 2 第 1 の レンズ
- 1 3 , 1 1 3 , 2 1 3 , 3 1 3 , 4 1 3 , 5 1 3 第 2 の レンズ
- 1 4 , 1 1 4 , 2 1 4 , 3 1 4 , 4 1 4 , 5 1 4 回 折 格 子 部
- 1 5 第 1 の 回 折 格 子
- 1 6 第 2 の 回 折 格 子

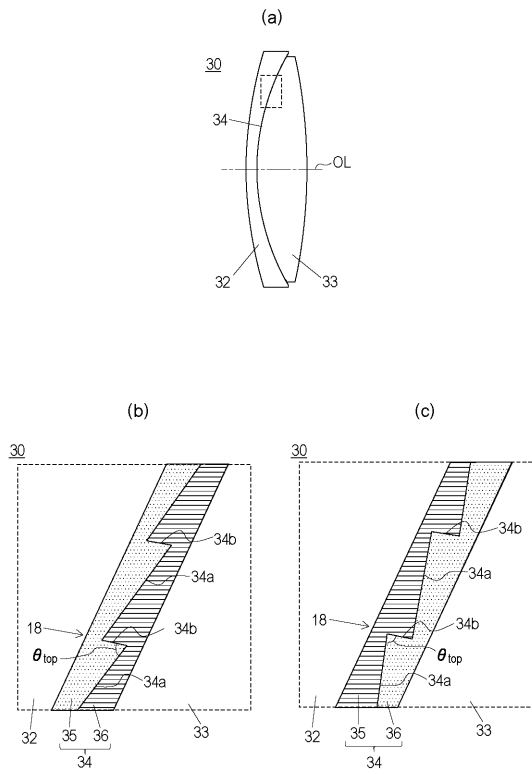
【 図 1 】



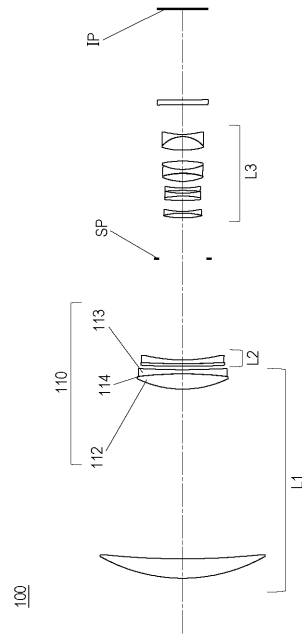
【 図 2 】



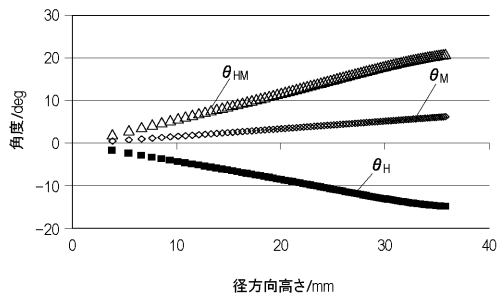
【図3】



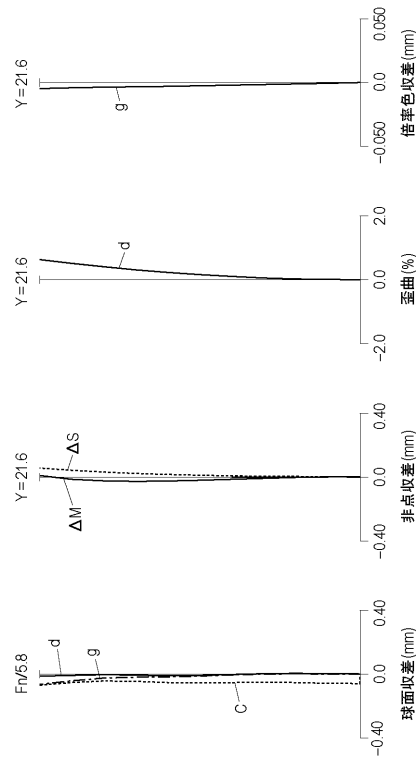
【図4】



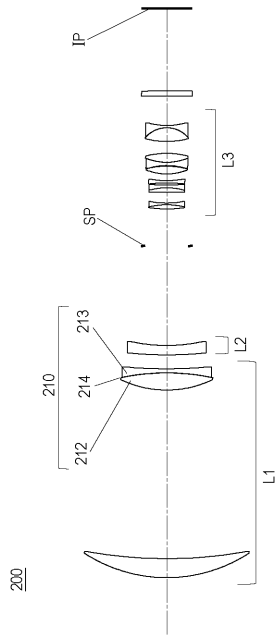
【図5】



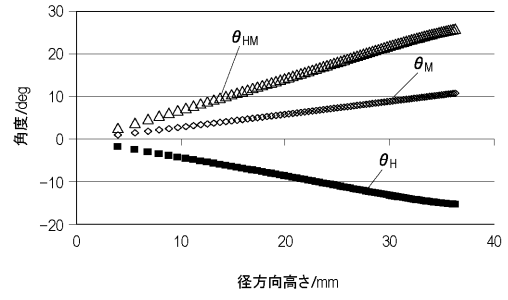
【図6】



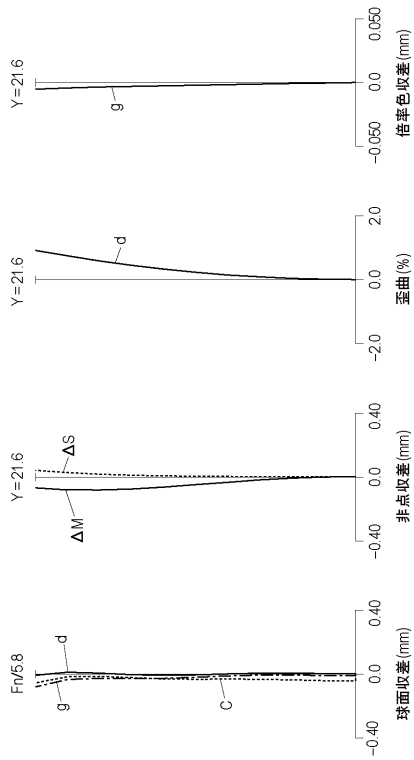
【 図 7 】



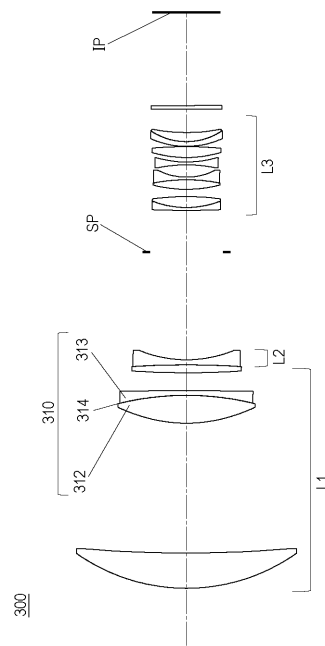
【 図 8 】



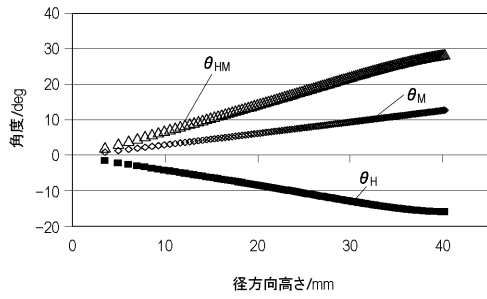
【 図 9 】



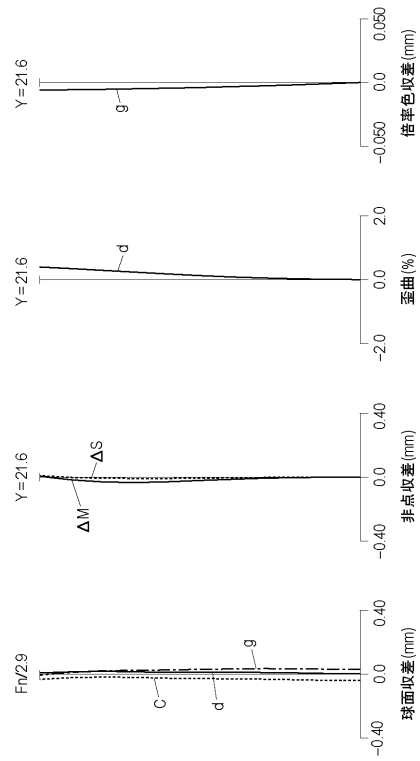
【 図 10 】



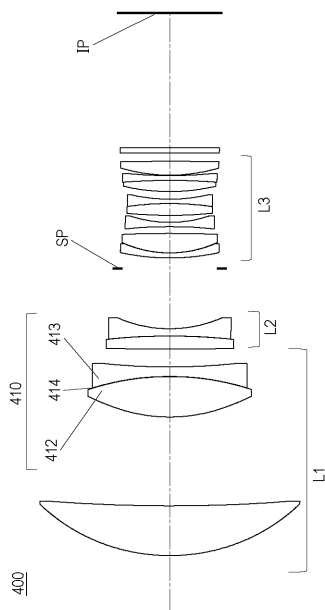
【 図 1 1 】



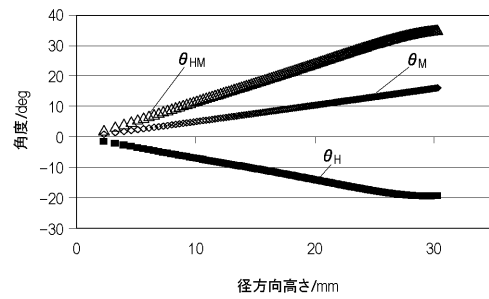
【 図 1 2 】



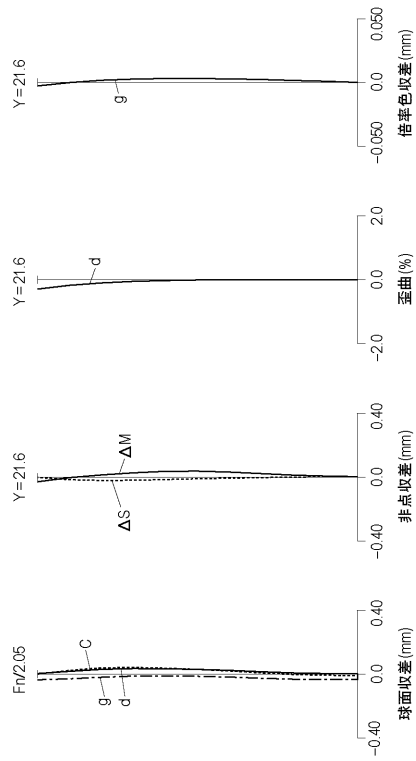
【 図 1 3 】



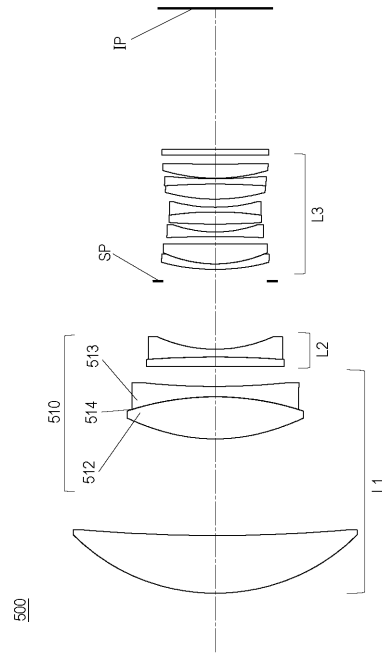
【 図 1 4 】



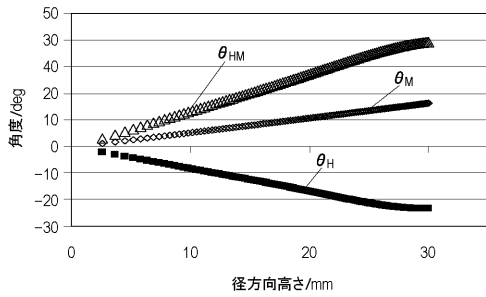
【 図 15 】



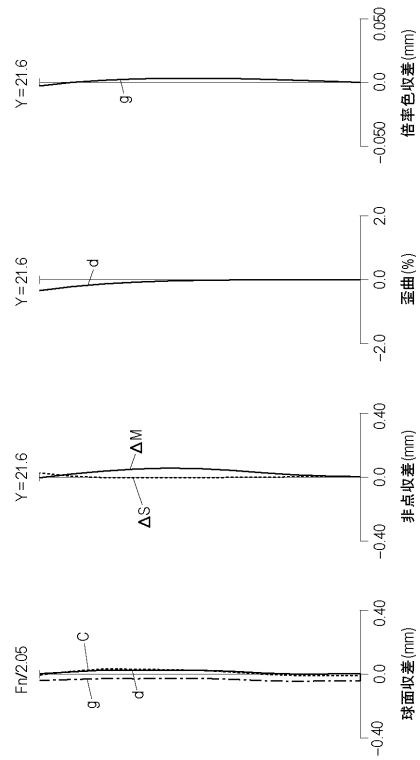
【 図 16 】




【 図 17 】

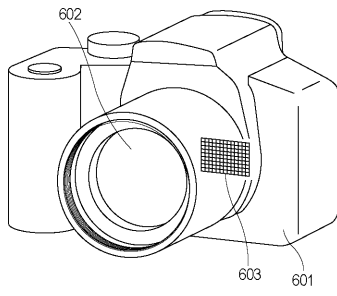


【 図 18 】



【 19】

600



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2013-064858(JP,A)
特開2000-321429(JP,A)
特開2015-011171(JP,A)
特開2015-232662(JP,A)
特開2012-048081(JP,A)
特開2014-145871(JP,A)
特開2016-173439(JP,A)
中国特許出願公開第1936645(CN,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
G02B 5/18