

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7071085号

(P7071085)

(45)発行日 令和4年5月18日(2022.5.18)

(24)登録日 令和4年5月10日(2022.5.10)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 5/18 (2006.01)

G 0 2 B 5/18

G 0 2 B 13/00 (2006.01)

G 0 2 B 13/00

請求項の数 11 (全23頁)

(21)出願番号	特願2017-198312(P2017-198312)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	平成29年10月12日(2017.10.12)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2019-74551(P2019-74551A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43)公開日	令和1年5月16日(2019.5.16)	(74)代理人	100110412
審査請求日	令和2年10月6日(2020.10.6)		弁理士 藤元 亮輔
		(74)代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(74)代理人	100121614
			弁理士 平山 倫也
		(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	池田 博一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 回折光学素子、光学系、および、撮像装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1の格子面及び第1の格子壁面の夫々を複数備えた第1の回折格子と、
第2の格子面及び第2の格子壁面の夫々を複数備えた第2の回折格子と、を有し、
前記複数の第1の格子壁面の夫々と前記複数の第2の格子壁面の夫々は、薄膜を介して互いに密着しており、
設計波長 d (nm) において、前記第1及び第2の回折格子の屈折率をそれぞれ n_1 及び n_2 、有効径内の第 m 輪帯 ($m = 1, 2, \dots$) における前記薄膜の屈折率及び膜厚 (nm) をそれぞれ n_{hm} 及び d_m 、該屈折率 n_{hm} の平均値を n_{ha} 、有効径内の前記薄膜と前記第1の回折格子との位相差を $P_m = (n_{hm} - n_1) \times d_m / d$ 、該 P_m の最大値を P_{max} 、前記位相差 P_m のうち最も周辺側の前記薄膜と前記第1の回折格子との位相差を P_e 、前記位相差 P_m のうち最も周辺側ではない少なくとも一つの輪帯における前記薄膜と前記第1の回折格子との間の位相差を P_{ma} とし、前記第 m 輪帯における前記薄膜の屈折率及び前記膜厚は均一であるとするととき、

$$n_2 < n_1 < n_{ha}$$

$$-0.500 < P_e / P_{max} < 0.700$$

$$0.013 < P_{ma} < 0.035$$

なる条件式を満足することを特徴とする回折光学素子。

【請求項2】

前記位相差 P_m のうち有効径の2割から6割の範囲内の前記薄膜と前記第1の回折格子と

の間の位相差の平均値を P_{cnt} とするとき、

$$0.013 < P_{cnt} < 0.035$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の回折光学素子。

【請求項 3】

$$-0.015 < P_e < 0.018$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の回折光学素子。

【請求項 4】

前記位相差 P_m のうち有効径の 8 割から 10 割の範囲内の前記薄膜と前記第 1 の回折格子との間の位相差の平均値を P_{edg} とするとき、

$$-0.005 < P_{edg} < 0.021$$

なる条件式を満足す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回折光学素子。

【請求項 5】

前記膜厚 d_m の最大値を d_{max} 、前記膜厚 d_m のうち最も周辺側の前記薄膜の膜厚を d_e とするとき、

$$0.000 < d_e / d_{max} < 0.700$$

なる条件式を満足する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回折光学素子。

【請求項 6】

前記屈折率 n_{hm} と前記屈折率 n_1 との差の最大値を N_{max} 、前記屈折率 n_{hm} のうち最も周辺側の前記薄膜の屈折率と前記屈折率 n_1 との差を N_e とするとき、

$$-0.500 < N_e / N_{max} < 0.700$$

なる条件式を満足する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回折光学素子。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の回折光学素子と、該回折光学素子の物体側又は像側に配置された光学素子とを有することを特徴とする光学系。

【請求項 8】

最も物体側の面から前記回折光学素子の回折面までの距離を L_d 、該最も物体側の面の有効径を E_0 とするとき、

$$0.300 < E_0 / L_d < 2.000$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項 7 に記載の光学系。

【請求項 9】

最大像高光束の前記回折光学素子における通過位置は、軸上光束の前記回折光学素子における通過位置よりも光軸に近いことを特徴とする請求項 7 又は 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絞りを有することを特徴とする請求項 7 乃至 9 の何れか一項に記載の光学系。

【請求項 11】

請求項 7 乃至 10 の何れか一項に記載の光学系と、

該光学系により形成された像を受光する撮像素子とを有することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学系に適して用いられる回折光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、回折格子の壁面部に格子材料とは異なる材料層を設けることにより、設計入射光束とは異なる斜入射光束が入射したときに発生する不要光を低減した回折光学素子が開示されている。また、特許文献 2 には、回折格子の壁面部に格子材料とは異なる材

10

20

30

40

50

料層を設けることにより、回折効率を向上させた回折光学素子が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2014-170109号公報

国際公開第2011/099550号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1および特許文献2には、回折光学素子の径方向の位置に応じて壁面部の膜の特性を適切に設定することが開示されていない。このため、回折光学素子の光学性能を向上させることができない。

10

【0005】

そこで本発明は、径方向の位置に応じて膜の特性を適切に設定することにより光学性能を向上させた回折光学素子、光学系、および、撮像装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面としての回折光学素子は、第1の格子面及び第1の格子壁面の夫々を複数備えた第1の回折格子と、第2の格子面及び第2の格子壁面の夫々を複数備えた第2の回折格子と、を有し、複数の第1の格子壁面の夫々と複数の第2の格子壁面の夫々は、薄膜を介して互いに密着しており、設計波長 $d(nm)$ において、第1及び第2の回折格子のそれぞれの屈折率 n_1 、 n_2 、有効径内の第 m 輪帯 ($m = 1, 2, \dots$) における薄膜の屈折率及び膜厚 (nm) n_{hm} 及び d_m 、該屈折率 n_{hm} の平均値 n_{ha} 、有効径内の薄膜と第1の回折格子との位相差 $P_m = (n_{hm} - n_1) \times d_m / d$ 、該 P_m の最大値 P_{max} 、位相差 P_m のうち最も周辺側の薄膜と第1の回折格子との位相差 P_e 、位相差 P_m のうち最も周辺側ではない少なくとも一つの輪帯における薄膜と第1の回折格子との間の位相差 P_{ma} は、所定の条件を満足する。第 m 輪帯における薄膜の屈折率及び膜厚は均一であるとする。

20

【0007】

本発明の他の側面としての光学系は、前記回折光学素子と、該回折光学素子の物体側又は像側に配置された光学素子とを有する。

30

【0008】

本発明の他の側面としての撮像装置は、前記光学系と、前記光学系により形成された像を受光する撮像素子とを有する。

【0009】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施例において説明される。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、径方向の位置に応じて膜の特性を適切に設定することにより光学性能を向上させた回折光学素子、光学系、および、撮像装置を提供することができる。

40

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】実施例1における回折光学素子の正面図および側面図である。

【図2】実施例1における回折光学素子の部分断面図である。

【図3】実施例1における回折格子へ斜入射光線が入射している状態を示す断面図である。

【図4】実施例1における回折格子へ斜入射光線が入射した際の回折効率を示す図である。

【図5】比較例としての回折格子へ斜入射光線が入射した際の回折効率を示す図である。

【図6】実施例1における回折格子の壁面誘電体膜の特性を示す図である。

【図7】実施例2における回折光学素子の正面図および側面図である。

【図8】実施例2における回折光学素子の部分断面図である。

50

【図 9】実施例 2 における回折格子の壁面誘電体膜の特性を示す図である。

【図 10】実施例 3 における回折格子の壁面誘電体膜の特性を示す図である。

【図 11】実施例 4 における回折光学素子の部分断面図である。

【図 12】実施例 5 における光学系の光路図である。

【図 13】実施例 6 における光学系の光路図である。

【図 14】実施例 7 における観察光学系の構成図である。

【図 15】実施例 8 における撮像装置の概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。

10

【実施例 1】

【0013】

まず、図 1 および図 2 を参照して、本発明の実施例 1 における回折光学素子の構成について説明する。図 1 (a) は、本実施例の回折光学素子 1 の正面図、図 1 (b) は回折光学素子 1 の側面図である。図 2 は、回折光学素子 1 を図 1 (a) 中の A - A' 線で切断したときの断面形状の一部を拡大した部分拡大図である。ただし、図 2 は格子深さ方向にデフォルメされた図として示されている。

【0014】

図 1 および図 2 に示されるように、回折光学素子 1 は、第 1 の素子部 2 と第 2 の素子部 3 とを備えて構成される。また、第 1 の回折格子 8 と第 2 の回折格子 9 は、誘電体薄膜 10 を挟んで密着して積層されている。図 2 に示されるように、第 1 の素子部 2 は、第 1 の透明基板 4 と第 1 の格子ベース部 6 と第 1 の回折格子 8 とを備えて構成される。第 1 の回折格子 8 は第 1 の格子ベース部 6 と一体的に形成されており、第 1 の格子ベース部 6 と第 1 の回折格子 8 は第 1 の格子形成層を構成する。第 2 の素子部 3 は、第 2 の透明基板 5 と第 2 の格子ベース部 7 と第 2 の回折格子 9 とを備えて構成される。第 2 の回折格子 9 は第 2 の格子ベース部 7 と一体的に形成されており、第 2 の格子ベース部 7 と第 2 の回折格子 9 は第 2 の格子形成層を構成する。第 1 の回折格子 8 と第 2 の回折格子 9 は、第 1 の回折格子 8 の格子斜面 (第 1 の格子面) 8 a と第 2 の回折格子 9 の格子斜面 (第 2 の格子面) 9 a とを互いに密着して積層されている。第 1 の回折格子 8 の格子壁面 (第 1 の格子壁面) 8 b と第 2 の回折格子 9 の格子壁面 (第 2 の格子壁面) 9 b との間には、誘電体薄膜 (薄膜) 10 が設けられている。誘電体薄膜 10 は、格子壁面 8 b および格子壁面 9 b の両方と接している。

20

30

【0015】

第 1 の素子部 2 および第 2 の素子部 3 の全体で、1 つの回折光学素子 1 として作用する。第 1 の回折格子 8 および第 2 の回折格子 9 は、光軸 O を中心とした同心円状の格子形状を有し、径方向における格子ピッチが変化することによりレンズ作用を有する。本実施例において、回折光学素子 1 に入射させる光の波長領域、すなわち使用波長領域は可視領域であり、第 1 の回折格子 8 および第 2 の回折格子 9 を構成する材料および格子厚さは、可視領域全体で 1 次の回折光の回折効率が高くなるように選択される。

【0016】

次に、回折光学素子 1 の具体的な構成について説明する。図 2 に示される回折光学素子 1 において、第 1 の回折格子 8 を形成する第 1 の材料として、アクリル系樹脂に ZrO_2 微粒子を混合させた樹脂 ($N_d = 1.619$ 、 $N_{55} = 1.6216$ 、 $d = 44.3$ 、 $g_F = 0.569$) が用いられる。一方、第 2 の回折格子 9 を形成する第 2 の材料として、アクリル系樹脂に ITO 微粒子を混合させた樹脂 ($N_d = 1.565$ 、 $N_{55} = 1.5718$ 、 $d = 19.2$ 、 $g_F = 0.425$) が用いられる。

40

【0017】

格子壁面部の誘電体薄膜 10 としては、 Al_2O_3 と ZrO_2 の混合材料の薄膜が用いられており、格子壁面上の膜厚 (誘電体薄膜 10 の膜厚) は、回折光学素子 1 の径方向における位置に応じて変化する。また、回折光学素子 1 の径方向における位置に応じて屈折率

50

が変化する。なお各実施例において、アッペ数 d および部分分散比 g_F のそれぞれの定義は、一般に用いられる定義と同じである。すなわち、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それぞれ N_g 、 N_F 、 N_d 、 N_C とするとき、アッペ数 d および部分分散比 g_F はそれぞれ以下の式 (a)、(b) で表される。

【0018】

$$d = (N_d - 1) / (N_F - N_C) \quad \dots (a)$$

$$g_F = (N_g - N_F) / (N_F - N_C) \quad \dots (b)$$

N_{55} は波長 550 nm における屈折率である。第1の格子ベース部6の厚さは $40 \mu\text{m}$ 、第2の格子ベース部7の厚さは $2 \mu\text{m}$ 、回折ピッチ P は $100 \sim 3000 \mu\text{m}$ 、格子高さ d_1 は $10.96 \sim 11.00 \mu\text{m}$ である。

10

【0019】

次に、本実施例の回折光学素子1の位相差と回折効率との関係について説明する。本実施例の回折光学素子1において、波長 λ の場合に回折次数 m の回折光の回折効率が最大となる条件は、光路長差 ΔL が以下の条件式 (c) を満足することである。

【0020】

$$\Delta L = - (n_{02} - n_{01}) \times d_1 = m \lambda \quad \dots (c)$$

条件式 (c) において、 n_{01} は第1の回折格子8を形成する材料の波長 λ の光に対する屈折率、 n_{02} は第2の回折格子9を形成する材料の波長 λ の光に対する屈折率である。 d_1 は第1の回折格子8および第2の回折格子9のそれぞれの格子厚さである。

【0021】

図2中の0次回折光から下向きに回折する光の回折次数を負の回折次数、0次回折光から上向きに回折する光の回折次数を正の回折次数とする。このとき、図2に示されるような入射側の第1の回折格子8の格子厚さが図2中の下から上に増加する格子形状を有する回折格子の場合、条件式 (c) における格子厚 d_1 の符号は、正となる。また、任意の波長 λ での回折効率 η_m は、以下の式 (d) で表すことができる。

20

【0022】

$$\eta_m = \text{sinc}^2 \left[\left\{ m - \left(\frac{\Delta L}{\lambda} \right) \right\} \right] \quad \dots (d)$$

式 (d) において、 m は評価すべき回折光の次数、 λ は波長 λ の光に対する回折光学素子1の1つの単位格子における光路長差である。また、 $\text{sinc}(x)$ は、 $\{\sin(x)/x\}$ で表される関数である。なお、本実施例の回折光学素子1の設計波長は 550 nm である。本実施例の回折光学素子1において、格子高さ $d_1 = 10.96 \mu\text{m}$ のときに視波長域で最も回折効率が高い状態となる。

30

【0023】

本実施例において、第1の回折格子8および第2の回折格子9は互いに異なる材料により形成されている。第2の回折格子9は低屈折率高分散材料から構成され、第1の回折格子8は第2の回折格子9よりも高い屈折率を有する高屈折率低分散材料から構成されている。以下の条件式 (1)、(2)、および (3) を満足することにより、高い回折効率を得ることができる。

【0024】

$$d_1 > 35 \quad \dots (1)$$

$$d_2 < 25 \quad \dots (2)$$

$$0.960 < (n_{1d} - n_{2d}) \times d / (m \times \lambda) < 1.040 \quad \dots (3)$$

条件式 (1) ~ (3) において、 d 線における第1の回折格子8および第2の回折格子9を構成する材料の屈折率をそれぞれ n_{1d} 、 n_{2d} 、アッペ数を d_1 、 d_2 、格子高さを d 、設計次数を m とする。

40

【0025】

次に、本実施例における回折格子の壁面部に設けられた誘電体薄膜10について説明する。誘電体薄膜10は、格子壁面に沿って略均一な厚さを有し、第1の回折格子8と第2の回折格子9との境界面の少なくとも一部に配置されている。本実施例において、誘電体薄膜10は、第1の回折格子8の壁面部と第2の回折格子9の壁面部との間に密着接合され

50

ている。誘電体薄膜 10 は、格子壁面付近に入射する光束がその内部に閉じ込められ、光導波路になっている。

【0026】

回折光学素子 1 に光導波路効果を持たせるには、設計波長 d (nm) の光に対して、誘電体薄膜 10 の有効径内における屈折率 (平均屈折率) n_{ha} 、第 1 の回折格子 8 および第 2 の回折格子 9 の屈折率 n_1 、 n_2 が以下の条件式 (4) を満足することが好ましい。ここで有効径とは、光束が通過する領域の光軸 O からの最大径である。

【0027】

$$n_2 < n_1 < n_{ha} \quad \dots \quad (4)$$

条件式 (4) に加えて、比屈折率差 Δ が以下の条件式 (5) を満足することが好ましい。これにより、設計入射角度で入射する光束の設計次数の回折効率を向上し、設計次数 ± 1 次の回折効率を低減させ、かつ斜入射角度で入射する光束による不要光のうち、結像面に到達する不要光を低減させ、かつ波長特性および偏光特性を低減することができる。

【0028】

$$0.005 < \Delta < 0.090 \quad \dots \quad (5)$$

ただし、比屈折率差 Δ は以下の式 (5a) より求められる。

【0029】

【数 1】

$$\Delta = \frac{n_{ha}^2 - n_1^2}{2n_{ha}^2} \quad \dots \quad (5a)$$

【0030】

条件式 (5) の下限を満足することにより、斜入射角度で入射する光束による不要光のうち、結像面に到達する不要光を低減させることができる。また、条件式 (5) の上限を満足することにより、偏光依存性を低減することができる。

【0031】

好ましくは、条件式 (5) は、以下の条件式 (5b) を満足する。

【0032】

$$0.010 < \Delta < 0.080 \quad \dots \quad (5b)$$

誘電体薄膜 10、第 1 の回折格子 8、および、第 2 の回折格子 9 を構成する材料は非対称 3 層平板導波路を構成するため、導波モードが以下の式 (6)、(7) で表される固有値方程式を満たすことが知られている。式 (6) は TE 偏光、式 (7) は TM 偏光に関する。

【0033】

【数 2】

$$\begin{aligned} \tan(\kappa_{TE} W) &= \frac{\kappa_{TE}(\gamma_{TE} + \delta_{TE})}{(\kappa_{TE}^2 - \gamma_{TE}\delta_{TE})} \\ \kappa_{TE} &= \sqrt{k_0^2 n_h^2 - \beta_{TE}^2} \\ \gamma_{TE} &= \sqrt{\beta_{TE}^2 - k_0^2 n_1^2} \\ \delta_{TE} &= \sqrt{\beta_{TE}^2 - k_0^2 n_2^2} \quad \dots \quad (6) \end{aligned}$$

【 0 0 3 4 】

【数 3】

$$\tan(\kappa_{TM}W) = \frac{n_h^2 \kappa_{TM} (n_2^2 \gamma_{TM} + n_1^2 \delta_{TM})}{(n_2^2 n_1^2 \kappa_{TM}^2 - n_h^4 \gamma_{TM} \delta_{TM})}$$

$$\kappa_{TM} = \sqrt{k_0^2 n_h^2 - \beta_{TM}^2}$$

$$\gamma_{TM} = \sqrt{\beta_{TM}^2 - k_0^2 n_1^2} \quad \dots \quad (7)$$

$$\delta_{TM} = \sqrt{\beta_{TM}^2 - k_0^2 n_2^2}$$

10

【 0 0 3 5 】

式 (6)、(7)において、 k_0 は以下の式 (8) で表される。

【 0 0 3 6 】

【数 4】

$$k_0 = 2\pi/\lambda \quad \dots \quad (8)$$

20

【 0 0 3 7 】

また、非対称 3 層平板導波路の単一モードが発生するカットオフ幅は、TE 偏光が式 (8 a)、TM 偏光が式 (8 b) でそれぞれ表される。

【 0 0 3 8 】

【数 5】

$$W_{C,TE} = \frac{1}{\kappa_C} \tan^{-1} \left(\frac{\delta_C}{\kappa_C} \right) \quad \dots \quad (8a)$$

30

【 0 0 3 9 】

【数 6】

$$W_{C,TM} = \frac{1}{\kappa_C} \tan^{-1} \left(\frac{n_h^2 \delta_C}{n_2^2 \kappa_C} \right) \quad \dots \quad (8b)$$

【 0 0 4 0 】

式 (8 a)、(8 b)において、 κ_C 、 δ_C は以下の式 (9) で表される。

【 0 0 4 1 】

【数 7】

$$\kappa_C = k_0 \sqrt{n_h^2 - n_1^2}$$

$$\delta_C = k_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \dots \quad (9)$$

【 0 0 4 2 】

50

本実施例において、壁面部の誘電体薄膜 10 の膜幅 d_m と式 (11) の TE 偏光と TM 偏光の単一モードが発生するカットオフ幅の平均 W_c が以下の条件式 (10) を満足することが好ましい。これにより、設計入射角度で入射する光束の設計次数の回折効率が向上し、設計次数 ± 1 次の回折効率を低減させることができる。また、斜入射角度で入射する光束による不要光のうち、結像面に到達する不要光を低減させ、かつ波長特性および偏光特性を低減することができる。

【0043】

$$0.500 \leq d_m / W_c \leq 2.000 \quad \dots (10)$$

式 (10) において、カットオフ幅の平均 W_c は、以下の式 (11) で表される。

【0044】

【数 8】

$$W_c = \frac{W_{c,TE} + W_{c,TM}}{2} \quad \dots (11)$$

【0045】

好ましくは、条件式 (10) は、以下の条件式 (10a) を満足する。

【0046】

$$0.750 \leq d_m / W_c \leq 1.750 \quad \dots (10a)$$

本発明の回折光学素子においては、壁面部の誘電体薄膜 10 からなる導波路の屈折率と第 1 の回折格子 8 の高屈折率材料との位相差を適切に制御する。これにより、誘電体薄膜 10 が設けられていない場合は不要光となっていた光を光導波路内に閉じ込め、導波モードと回折格子の位相整合させることができる。

【0047】

その結果、設計次数の回折効率を向上や斜入射角度（画面外光入射角度）で入射する光束による不要光のうち、結像面に到達する不要光を低減することができる。好ましくは、少なくとも一つ以上の第 m 輪帯に関し、壁面部の位相差 P_{ma} は、以下の条件式 (12) を満足する。ここで、第 m 輪帯とは、回折格子の格子番号であり、光軸中心から光軸中心に対して垂直方向に離れる順に付される格子番号 ($m = 1, 2, \dots$) である。

【0048】

$$0.013 < P_{ma} < 0.035 \quad \dots (12)$$

式 (12) において、 $P_{ma} = (n_{hm} - n_1) \times d_m / \lambda$ で与えられる。ここで、 n_{hm} は第 m 輪帯における格子壁面上の誘電体薄膜 10 の屈折率、 d_m は第 m 輪帯における格子壁面上の誘電体薄膜 10 の膜厚 (nm)、 λ は設計波長 (nm) である。設計波長 λ は、回折光学素子 1 の使用波長の平均値付近の値であり、具体的には、使用波長の平均値を λ_{ave} (nm) とするとき、以下の条件式 (13) を満足する波長範囲にある。

【0049】

$$0.900 < \lambda / \lambda_{ave} < 1.100 \quad \dots (13)$$

本実施例の回折光学素子は可視域において使用され、その使用波長は 400 nm ~ 700 nm、使用波長の平均値 λ_{ave} は 550 nm である。条件式 (12) の上限を超えるかまたは下限を下回ると、導波モードの最適条件から外れるため、光の閉じ込め効果が少なくなり、例えば斜入射角度（画面外光入射角度）で入射する光束による不要光のうち、結像面に到達する不要光の低減効果が少なくなる。

【0050】

好ましくは、条件式 (12)、以下の条件式 (12a) を満足する。

【0051】

$$0.015 < P_{ma} < 0.030 \quad \dots (12a)$$

より好ましくは、条件式 (12) は、以下の条件式 (12b) を満足する。

【0052】

10

20

30

40

50

0.017 < P_{ma} < 0.026 ... (12b)

次に、本実施例の回折光学素子1に斜入射角度（画面外光入射角度）で入射した光束による不要光の振る舞いについて、厳密波動計算のうち厳密結合波解析（RCWA: Rigorous Coupled Wave Analysis）を用いて説明する。図3は、RCWAで計算した回折格子の断面図である。図3に示される断面図は、図1(b)に示される回折光学素子1の下側の部分断面図に相当する。

【0053】

回折光学素子1の格子先端を連ねた包絡面の面法線と格子壁面がなす角度 θ は15°であり、角度 θ は回折光学素子1に入射する有効光束（撮影に使用する光束）の重心角度と略一致するように設定されている。また回折光学素子1において、像面に到達する出射光線角度は、角度 $\theta = 15^\circ$ で入射した光線の出射角度の方向に相当し、回折光学素子1の格子先端を連ねた包絡面の面法線に対して、15.5°前後の方向となる。

10

【0054】

回折光学素子1は、回折ピッチが100 μm 、格子高さ d_1 が10.65 μm であり、1次の回折光が最大の強度となるように最適化されており、正の屈折力を有する。第1の回折格子8および第2の回折格子9の格子材料は、図2を参照して説明した材料と同じである。格子壁面上の誘電体薄膜10は、波長550 nmにおける屈折率が1.7460、膜厚が99 nmである。

【0055】

図3の回折光学素子1の格子壁面に対し、斜入射角度（画面外光入射角度）で入射した光束（図3中の光線1、光線2）の2つの光線においてRCWA計算を行う。図3中の上側から入射する光線1は、回折光学素子1の格子先端を連ねた包絡面の面法線に対して25°で入射している。図3中の下側から入射する光線2は、回折光学素子1の格子先端を連ねた包絡面の面法線に対して5°で入射している。それぞれの光線の波長は550 nmである。

20

【0056】

図4(a)は、光線1(25°)における、出射角度に対する回折効率を示す。同様に、図4(b)は、光線2(5°)における、出射角度に対する回折効率を示す。また、比較例として、図3と同様の回折光学素子の構成において、誘電体薄膜10を設けていない回折光学素子（格子壁面上の誘電体薄膜10と第1の回折格子8との間の位相差が小さい構成）についても、同様のRCWAによる回折効率の計算を行う。図5(a)は、比較例としての回折光学素子に関し、光線1(25°)における出射角度に対する回折効率を示す。同様に、図5(b)は、比較例としての回折光学素子に関し、光線2(5°)における出射角度に対する回折効率を示す。

30

【0057】

図4および図5から分かるように、光線1に関しては、格子壁面部に所望の誘電体薄膜10を設けることにより不要回折光の光量が若干増加している。一方、光線2に関しては、不要回折光の光量が大幅に低減しているため、全体として不要回折光を減らすことができる。また、本実施例の回折光学素子1に関しては、格子壁面上の誘電体薄膜10と第1の回折格子8との間の位相差を回折光学素子1の径方向の位置に応じて変化させている。すなわち、回折光学素子1の周辺部において格子壁面上の誘電体薄膜10と第1の回折格子8との間の位相差を減らすような構成としている。

40

【0058】

ここで、回折光学素子1の周辺部において格子壁面上の誘電体薄膜10と第1の回折格子8との間の位相差を減らすことによる効果について説明する。図3に示されるような回折光学素子1の場合、回折光学素子1の周辺部に近くなるほど回折光学素子1を保持する鏡筒や、回折光学素子1より入射側に配置したレンズ等により、入射光線が遮蔽されやすくなる。すなわち、光線2のような格子壁面部に対して光軸と反対側から入射する光線は、周辺部に近くなるほど遮蔽されやすくなる。逆に、光線1のような格子壁面部に対して光軸側から入射する光線は、周辺部においても遮蔽されにくい。このため、回折光学素子1

50

の周辺部においては、光線 1 のような格子壁面部に対して光軸側から入射する光線の割合が多くなる。

【 0 0 5 9 】

そこで、回折光学素子 1 の周辺部において、格子壁面上の誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との間の位相差を減らすことにより、図 4 (a) に示される不要光の光量から図 5 (a) に示される不要光の光量へシフトさせ、不要な回折光量を低減することができる。具体的には、以下の条件式 (1 4) を満足する。

【 0 0 6 0 】

$$- 0 . 5 0 0 < P e / P m a x < 0 . 7 0 0 \quad \dots (1 4)$$

条件式 (1 4) において、 $P m$ は第 m 輪帯 ($m = 1, 2, \dots$) のそれぞれにおける格子壁面上の誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との間の位相差、 $P m a x$ は全輪帯の位相差 $P m$ の最大値である。 $P e$ は、有効径 (光線最大有効径部) における誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との位相差である。

【 0 0 6 1 】

条件式 (1 4) の上限を超えると、回折光学素子 1 の周辺部において格子壁面上の誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との間の位相差が増加し、不要回折光の光量が増加してしまう。一方、条件式 (1 4) の下限値を下回ると、格子壁面上の屈折率が小さくなり過ぎ、誘電体薄膜 10 内での導波モードがくずれ、不要回折光の光量が増加してしまう。

【 0 0 6 2 】

好ましくは、条件式 (1 4) は、以下の条件式 (1 4 a) を満足する。

【 0 0 6 3 】

$$- 0 . 4 0 0 < P e / P m a x < 0 . 6 0 0 \quad \dots (1 4 a)$$

より好ましくは、条件式 (1 4) は、以下の条件式 (1 4 b) を満足する。

【 0 0 6 4 】

$$- 0 . 2 0 0 < P e / P m a x < 0 . 4 0 0 \quad \dots (1 4 b)$$

また、有効径における位相差 $P e$ が以下の条件式 (1 5) を満足することにより、周辺部の位相差を低減することができ、不要回折光の光量を低減することができるため、好ましい。

【 0 0 6 5 】

$$- 0 . 0 1 5 < P e < 0 . 0 1 8 \quad \dots (1 5)$$

好ましくは、条件式 (1 5) は、以下の条件式 (1 5 a) を満足する。

【 0 0 6 6 】

$$- 0 . 0 0 5 < P e < 0 . 0 1 2 \quad \dots (1 5 a)$$

本実施例の回折光学素子 1 において、有効径の 8 割から 10 割の範囲の輪帯における壁面上の位相差 $P m$ の平均値を $P e d g$ とするとき、以下の条件式 (1 6) を満足することが好ましい。

【 0 0 6 7 】

$$- 0 . 0 0 5 < P e d g < 0 . 0 2 1 \quad \dots (1 6)$$

条件式 (1 6) を満足することにより、最周辺部だけでなく周辺部の広い領域において、不要回折光の光量の低減効果を最適化することができる。

【 0 0 6 8 】

好ましくは、条件式 (1 6) は、以下の条件式 (1 6 a) を満足する。

【 0 0 6 9 】

$$0 . 0 0 0 < P e d g < 0 . 0 1 9 \quad \dots (1 6 a)$$

また、本実施例の回折光学素子 1 に関して、周辺部においては前述したように光軸から離れた側からの入射光線を遮蔽しやすいが、中心部においては入射光線の遮蔽効果は少なくなる。このため、中心部においては、格子壁面上の誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との間の位相差を確保して、導波モードが成り立つ範囲とすることにより、図 4 および図 5 を参照して説明したように、全体として不要回折光を低減することができる。具体的には、有効径の 2 割から 6 割の範囲の輪帯における壁面上の位相差 $P m$ の平均値を $P c n t$ と

10

20

30

40

50

するとき、以下の条件式 (17) を満足する。

【 0 0 7 0 】

$$0.013 < Pcnt < 0.035 \quad \dots \quad (17)$$

好ましくは、条件式 (17) は、以下の条件式 (17 a) を満足する。

【 0 0 7 1 】

$$0.017 < Pcnt < 0.026 \quad \dots \quad (17a)$$

条件式 (17) を満足することにより、中心部の広い領域において、不要回折光の光量を低減することができる。有効径の 0 割 (光軸) から 2 割の範囲においても、条件式 (17) の範囲を満足することが好ましい。ただし、光軸付近の回折格子は格子ピッチが広いいため、不要回折光の強度が小さい。このため、条件式 (17) の範囲を超えたとしても不要回折光の影響が小さい。また、光軸付近においては、誘電体薄膜 10 の制御が難しくなるため、位相差 Pm の制御範囲を緩和することにより、容易に回折光学素子 1 を製造することができる。

【 0 0 7 2 】

以上の関係を満足する誘電体薄膜 10 の材料および膜幅を適切に設定することにより、本実施例の効果を得ることができるため、誘電体薄膜 10 の材料は特に限定されるものではない。また、誘電体薄膜 10 の製造方法も特に限定されるものではない。例えば、第 2 の回折格子 9 を製造し、その後、誘電体薄膜 10 を選択的に形成してもよい。具体的には、誘電体薄膜 10 を構成する材料を真空蒸着等の物理蒸着手法やスピンコート法等で薄膜形状に成膜した後、リソグラフィー手法やナノインプリント法等によるパターンニングしてエッチング手法等で選択的に形成する手法を用いることができる。また、マスクパターンを用いて選択的に蒸着手法等で形成する方法等を用いることができる。また、回折光学素子 1 の輪帯毎に薄膜の幅、屈折率、または形状を変えることにより輪帯毎に制御してもよい。いずれの製法においても、格子壁面部と格子斜面部の誘電体薄膜 10 とを同じ原材料とすることにより、壁面部と斜面部を同時に形成することが可能になり、より簡素な製造方法となるため好ましい。

【 0 0 7 3 】

本実施例の回折光学素子 1 において、周辺部における格子壁面上の誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との間の位相差を小さくしている。位相差を小さくする方法としては、誘電体薄膜 10 の厚さを減らす方法と、誘電体薄膜 10 の屈折率を小さくする方法があるが、膜厚と屈折率とを同時に制御して位相差を所望の値に制御することは困難である。このため、回折光学素子 1 の周辺部の位相差を小さくする際に、誘電体薄膜 10 の膜厚を主体的に制御して周辺部の位相差を小さくするか、誘電体薄膜 10 の屈折率を主体的に制御して周辺部の位相差を小さくするかのいずれか一方を選択する。これにより、回折光学素子 1 を容易に製造することができる。

【 0 0 7 4 】

図 6 (a) は、本実施例の回折光学素子 1 の径方向の位置における、壁面部の誘電体薄膜 10 の屈折率を示す。図 6 (b) は、壁面部の誘電体薄膜 10 の膜厚を示す。図 6 (c) は、壁面部の誘電体薄膜 10 の位相差 Pm を示す。図 6 (a)、図 6 (b)、図 6 (c) において、横軸は径方向の比率を示し、0 は光軸上を表し、1 は光線有効径を示している。図 6 (b) において、膜厚 dm は実線で示し、式 (11) から計算されるカットオフ幅 Wc は破線で示している。

【 0 0 7 5 】

本実施例の回折光学素子 1 において、壁面部の誘電体薄膜 10 の膜厚 dm を光線最大径の 9 割付近の位置から最大有効径となる位置へ徐々に減らすことにより、周辺部において壁面部の誘電体薄膜 10 の位相差 Pm を減らしている。このため、周辺部の不要回折光を低減することができる。光軸付近から光線最大径の 9 割付近の範囲においては、所望の位相差を確保した構成となっているため、斜入射光束が入射した際の不要回折光を良好に低減することが可能となる。

【 0 0 7 6 】

膜厚の制御により壁面部の誘電体薄膜 10 の位相差を制御する場合、格子壁面上の誘電体薄膜 10 の膜厚の最大値を d_{max} 、光線最大有効径部における格子壁面上の誘電体薄膜の膜厚を d_e とするとき、以下の条件式 (18) を満足することが好ましい。

【0077】

$$0.000 \leq d_e / d_{max} < 0.700 \quad \dots (18)$$

より好ましくは、条件式 (18) は、以下の条件式 (18a) を満足する。

【0078】

$$0.000 \leq d_e / d_{max} < 0.500 \quad \dots (18a)$$

【実施例 2】

【0079】

次に、本発明の実施例 2 における回折光学素子について説明する。実施例 1 の回折光学素子は、光線入射側から高屈折率低分散材料、低屈折率高分散材料からなる格子の順に構成されているが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0080】

図 7 (a) は、本実施例における回折光学素子 1 a の正面図であり、図 7 (b) は回折光学素子 1 a の側面図である。図 8 は、図 7 (a) に示される回折光学素子 1 a を A - A' 線で切断したときの断面形状の一部を拡大して示している。ただし、図 8 は格子深さ方向にデフォルメされた図となっている。本実施例の回折光学素子 1 a は、実施例 1 の回折光学素子 1 と同様に、それぞれ異なる材料からなる第 1 の素子部 2 a (第 1 の回折格子 8) および第 2 の素子部 3 b (第 2 の回折格子 9) が誘電体薄膜 10 を挟んで密着して積層されている。図 8 に示される回折光学素子 1 a において、光線出射側の第 2 の回折格子 9 を形成する第 2 の材料として、アクリル系樹脂に ZrO_2 微粒子を混合させた樹脂 ($n_d = 1.619$ 、 $n_{55} = 1.6216$ 、 $d = 44.3$ 、 $g_F = 0.569$) が用いられる。一方、第 1 の回折格子 8 を形成する第 1 の材料として、アクリル系樹脂に ITO 微粒子を混合させた樹脂 ($n_d = 1.565$ 、 $n_{55} = 1.5718$ 、 $d = 19.2$ 、 $g_F = 0.425$) が用いられる。

【0081】

第 1 の材料からなる第 1 の格子ベース部 6 の厚さは $40 \mu m$ 、第 2 の材料からなる第 2 の格子ベース部 7 の厚さは $2 \mu m$ 、回折ピッチ P は $100 \sim 3000 \mu m$ 、格子高さ d_1 は $10.96 \sim 11.00 \mu m$ である。格子壁面部の誘電体薄膜 10 としては、 Al_2O_3 と ZrO_2 の混合材料の薄膜が用いられており、回折光学素子 1 a の径方向の位置に応じて格子壁面上の膜厚が変化している。また、回折光学素子 1 a の径方向の位置に応じて屈折率もわずかに変化している。本実施例の回折光学素子 1 a においても、実施例 1 の回折光学素子 1 と同様に、回折光学素子の周辺部の誘電体薄膜 10 の厚さを薄くすることにより、誘電体薄膜 10 の位相差 P_m を小さくして不要回折光を低減することができる。

【0082】

図 9 (a) は、本実施例の回折光学素子 1 a の径方向の位置における、誘電体薄膜 10 の屈折率を示す。図 9 (b) は、誘電体薄膜 10 の膜厚を示す。図 9 (c) は、誘電体薄膜 10 の位相差 P_m を示す。図 9 (a)、図 9 (b)、図 9 (c) において、横軸は径方向の比率を示し、0 は光軸上を表し、1 は光線有効径を示している。図 9 (b) において、膜厚 d_m は実線で示し、式 (11) から計算されるカットオフ幅 W_c は破線で示している。

【0083】

本実施例の回折光学素子 1 a において、誘電体薄膜 10 の膜厚を光線最大径の 7 割付近の位置から最大有効径となる位置へ徐々に減らすことにより、周辺部において誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との間の位相差 P_m を小さくしている。このため、周辺部の不要回折光を低減することができる。また、光軸付近から光線最大径の 7 割付近の範囲においては、所望の位相差を確保した構成となっているため、斜入射光束が入射した際の不要回折光を良好に低減することが可能である。

【実施例 3】

【0084】

10

20

30

40

50

次に、本発明の実施例 3 における回折光学素子について説明する。前述の回折光学素子 1 a においては、周辺部の膜厚を減らすことにより、壁面部における誘電体薄膜 10 と第 1 の回折格子 8 との間の位相差 P m を小さくしているが、本発明はこれに限定されるものではない。

【 0 0 8 5 】

本実施例の回折光学素子において、第 1 の回折格子 8 および第 2 の回折格子 9 は実施例 2 の構成と同じであり、壁面部の誘電体薄膜 10 の特性を変更した構成となっている。

【 0 0 8 6 】

図 10 (a) は、本実施例の回折光学素子の径方向の位置における、壁面部の誘電体薄膜 10 の屈折率を示す。図 10 (b) は、誘電体薄膜 10 の膜厚を示す。図 10 (c) は、誘電体薄膜 10 の位相差 P m を示す。図 10 (a)、図 10 (b)、図 10 (c) において、横軸は径方向の比率を示し、0 は光軸上を表し、1 は光線有効径を示している。図 10 (b) において、膜厚 d m は実線で示し、式 (1 1) から計算されるカットオフ幅 W c は破線で示している。図 10 (a) ~ (c) に示されるように、本実施例の回折光学素子は、回折光学素子の周辺部の誘電体薄膜 10 の屈折率を小さくすることにより、誘電体薄膜 10 の位相差 P m を小さくし、斜入射光束が入射した際の不要回折光を低減している。

【 0 0 8 7 】

本実施例のように、屈折率を制御することで壁面部の誘電体薄膜 10 の位相差を制御する場合、以下の条件式 (1 9) を満足することが好ましい。

【 0 0 8 8 】

$$- 0 . 5 0 0 < N e / N m a x < 0 . 7 0 0 \quad \dots (1 9)$$

条件式 (1 9) において、N m a x は格子壁面上の誘電体薄膜 10 の屈折率と第 1 の回折格子 8 の屈折率との差の最大値、N e は有効径における格子壁面上の誘電体薄膜 10 の屈折率と第 1 の回折格子 8 の屈折率との差である。より好ましくは、式 (1 9) は、以下の条件式 (1 9 a) を満足する。

【 0 0 8 9 】

$$- 0 . 2 0 0 < N e / N m a x < 0 . 5 0 0 \quad \dots (1 9 a)$$

表 1 は、実施例 1 ~ 3 の回折光学素子の各条件式に対応する値を示す。

【 0 0 9 0 】

10

20

30

40

50

【表 1】

条件式	数値実施例		
	1	2	3
N1d	1.619	1.619	1.619
N2d	1.565	1.565	1.565
$\nu d1$	44.3	44.3	44.3
$\nu d2$	19.2	19.2	19.2
n1	1.623	1.623	1.623
n2	1.572	1.572	1.572
nha	1.730	1.745	1.727
Δ	0.060	0.068	0.058
Pe/P_{max}	0.264	0.135	-0.171
Pe	0.0057	0.0029	-0.0037
Pmax	0.0217	0.0217	0.0216
Pedg	0.0171	0.0108	0.0091
Pcnt	0.0212	0.0214	0.0212
de/d_{max}	0.262	0.133	—
$\Delta Ne/\Delta N_{max}$	—	—	-0.174

【実施例 4】

【0091】

次に、本発明の実施例 4 における回折光学素子について説明する。実施例 1～3 の回折光学素子においては、格子壁面部のみに誘電体薄膜 10 が形成された構成であるが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0092】

図 11 は、本実施例における回折光学素子 1b の断面図である。本実施例の回折光学素子 1b において、第 1 の回折格子 8 の格子斜面 8a と第 2 の回折格子 9 の格子斜面 9a との間に、誘電体薄膜 10a を密着して積層させている。また、第 1 の回折格子 8 の格子壁面 8b と第 2 の回折格子 8 の格子壁面 9b との間に、誘電体薄膜 10b を密着して積層させている。

【0093】

本実施例のように格子斜面 8a と格子斜面 9a とが互いに密着していない構成でも、前述の条件式 (1)～(19) を満足することにより、回折光学素子 1b に斜入射光束が入射した場合に像面に不要回折光が到達することを抑制することができる。格子斜面部の誘電体薄膜 10a と格子壁面部の誘電体薄膜 10b は、同一の材料または異なる材料のいずれであってもよい。

【実施例 5】

【0094】

次に、図 12 を参照して、本発明の実施例 5 における光学系について説明する。図 12 は、回折光学素子 Ldo (実施例 1～4 の回折光学素子に相当) を有する光学系 100a の光路図である。

【0095】

本実施例の光学系 100a は、焦点距離 $f = 780 \text{ mm}$ 、F ナンバー = 5.8、最大像高 $Y = 21.6 \text{ mm}$ である。光学系 100 は、物体側から像側へ順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 L1、フォーカス群 LF、開口絞り SP、および、負の屈折力を有する第 2 レンズ群 L2 を有する。IP は像面である。光学系 100a は、フォーカシングの際に、

フォーカス群 L F を像側に移動することにより、近距離物体への合焦が可能である。また、第 1 レンズ群 L 1 は、レンズ L 1 1 および回折光学素子 L d o を有する。

【 0 0 9 6 】

図 1 2 において、R 0 は軸上光束、R 1 は最大像高となる軸外光束、R 2 は回折光学素子 L d o に入射する画面外光束（最大像高光束以上の入射角度で入射する光束）をそれぞれ示す。光学系 1 0 0 a において、回折光学素子 L d o を物体側のレンズ L 1 1 から離れた位置に配置しているため、像高が図 1 2 中の上側にシフトして光束の入射角度が大きくなるにつれて、回折光学素子 L d o の図 1 2 中の下側に当たる光線の範囲が狭くなっている。このため、図 3 を参照して説明した光線 2 のように格子壁面に対して光軸 O と反対側から入射する光束が、回折光学素子 L d o よりも物体側のレンズ L 1 1 により遮光されて回折光学素子 L d o の周辺部に入射しなくなる。すなわち光学系 1 0 0 a は、軸上光束の回折光学素子 L d o における最大有効径よりも最大像高光束の回折光学素子 L d o における最大有効径の方が小さい。このため、条件式 (1 4) のように回折光学素子の周辺部の位相差を小さくしたことによる不要光の低減効果を効果的に得ることができる。

10

【 0 0 9 7 】

本実施例において、最も物体側の面から回折面までの距離を L d (m m)、最も物体側の面の光線有効径を E 0 (m m) とするとき、以下の条件式 (2 0) を満足することが好ましい。

【 0 0 9 8 】

$$0.300 < E0 / Ld < 2.000 \quad \dots (20)$$

20

条件式 (2 0) の上限値を上回ると、回折光学素子 L d o よりも物体側のレンズ L 1 1 による入射光束の遮蔽効果が小さくなり、不要光の低減効果が小さくなる。一方、条件式 (2 0) の下限値を下回ると、回折光学素子 L d o による収差補正効果が小さくなるため、光学系 1 0 0 a の諸収差の影響を受けることになる。

【 0 0 9 9 】

また、本実施例の回折光学素子 L d o は、開口絞り S P よりも物体側に配置されることが好ましい。開口絞り S P よりも像側に回折光学素子 L d o を配置すると、画面外光束が回折光学素子 L d o に入射しにくくなる。このため、回折光学素子 L d o の周辺部における、壁面部の位相差を小さくしても十分な不要光の低減効果が得られにくい。また不要光の低減効果が得られた場合でも、効果が得られる画角が一部の画角のみとなり、好ましくない。

30

【 実施例 6 】

【 0 1 0 0 】

次に、図 1 3 を参照して、本発明の実施例 6 における光学系について説明する。図 1 2 は、回折光学素子 L d o （前述の各実施例の回折光学素子に相当）を有する光学系 1 0 0 b の光路図である。

【 0 1 0 1 】

本実施例の光学系 1 0 0 b は、焦点距離 $f = 196 \text{ mm}$ 、F ナンバー = 2.05、最大像高 $Y = 21.6 \text{ mm}$ である。光学系 1 0 0 b は、物体側から像側へ順に、正の屈折力を有する第 1 レンズ群 L 1、フォーカス群 L F、開口絞り S P、および、正の屈折力を有する第 2 レンズ群 L 2 を有する。I P は像面である。光学系 1 0 0 b は、フォーカシングの際に、フォーカス群 L F を像側に移動することにより、近距離物体への合焦が可能である。また、第 1 レンズ群 L 1 は、レンズ L 1 1、および、回折光学素子 L d o （実施例 1 ~ 4 の回折光学素子に相当）を有する。

40

【 0 1 0 2 】

図 1 3 において、R 0 は軸上光束、R 1 は最大像高となる軸外光束をそれぞれ示す。光学系 1 0 0 b において、回折光学素子 L d o を物体側のレンズ L 1 1 から離れた位置に配置しているため、像高が図 1 3 中の上側にシフトして光束の入射角度が大きくなるにつれて、回折光学素子 L d o の図 1 3 中の下側に当たる光線の範囲が狭くなっている。このため、図 3 を参照して説明した光線 2 のように格子壁面に対して光軸 O と反対側から入射する

50

光束が、回折光学素子 L d o よりも物体側のレンズ L 1 1 により遮光されて回折光学素子 L d o の周辺部に入射しなくなる。回折光学素子の周辺部の位相差を小さくしたことによる不要光の低減効果を効果的に得ることができる。

【 0 1 0 3 】

表 2 は、実施例 5 および実施例 6 の光学系 1 0 0 a、1 0 0 b の各条件式に対応する値を示す。

【 0 1 0 4 】

【表 2】

条件式	数値実施例	
	5	6
EO	134	103
Ld	175	75
EO/Ld	0.77	1.38

10

【 0 1 0 5 】

なお実施例 5 および実施例 6 において、光学系 1 0 0 a、1 0 0 b には 1 つの回折光学素子 L d o が配置されているが、これに限定されるものではなく、光学系 1 0 0 a、1 0 0 b に複数の回折光学素子 L d o を配置してもよい。

【実施例 7】

20

【 0 1 0 6 】

次に、図 1 4 を参照して、本発明の実施例 7 における双眼鏡の観察光学系について説明する。図 1 4 は、観察光学系 1 1 0 の構成図である。

【 0 1 0 7 】

図 1 4 において、1 0 3 は結像面、1 0 4 は対物レンズ、1 0 5 は倒立像を正立させるためのプリズム、1 0 6 は接眼レンズ、1 0 7 は瞳面である。対物レンズ 1 0 4 は、レンズ L 1 1 および回折光学素子 L d o (実施例 1 ~ 4 の回折光学素子に相当) を有する。回折光学素子 L d o は、対物レンズ 1 0 4 の結像面 1 0 3 での色収差等を補正する目的で設けられている。観察光学系 1 1 0 は、実施例 1 ~ 4 にて説明したように、回折効率特性が従来に比べて大幅に改善されているため、フレア光が少なく低周波数での解像力も高く、高い光学性能を有する。なお本実施例では、平板ガラス面に回折光学素子 L d o を設けているが、本発明はこれに限定されるものではなく、回折光学素子 L d o をレンズの凹面又は凸面上に設けてもよい。また、観察光学系 1 1 0 に複数の回折光学素子 L d o を配置してもよい。

30

【 0 1 0 8 】

また本実施例では、対物レンズ 1 0 4 に回折光学素子 L d o を設けているが、これに限定されるものではなく、プリズム 1 0 5 の表面や接眼レンズ 1 0 6 内に開設光学素子 L d o を設けることもでき、この場合にも前述と同様の効果が得られる。ただし、回折光学素子 L d o を結像面 1 0 3 よりも物体側に設けることにより、対物レンズ 1 0 4 における色収差低減効果がある。このため、肉眼の観察系の場合、少なくとも対物レンズ 1 0 4 に回折光学素子 L d o を設けることが好ましい。なお本実施例では、双眼鏡の観察光学系 1 1 0 について説明したが、回折光学素子 L d o は、地上望遠鏡や天体観測用望遠鏡等の観察光学系にも適用可能である。また回折光学素子 L d o は、レンズシャッターカメラやビデオカメラなどの光学式ファインダにも適用可能である。これらの場合にも、前述と同様の効果が得られる。

40

【実施例 8】

【 0 1 0 9 】

次に、図 1 5 を参照して、本発明の実施例 8 における撮像装置について説明する。図 1 5 は、撮像装置 1 2 0 の概略図である。撮像装置 1 2 0 は、実施例 1 ~ 4 の回折光学素子を有する光学系を撮像光学系として用いたデジタルスチルカメラである。

50

【 0 1 1 0 】

図 1 5 において、1 2 5 はカメラ本体、1 2 1 は撮像光学系である。1 2 2 は、カメラ本体 1 2 5 に内蔵され、撮像光学系 1 2 1 により形成された被写体像（光学像）を受光する C C D センサや C M O S センサ等の撮像素子（光電変換素子）である。1 2 3 は撮像素子 1 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、1 2 4 は液晶ディスプレイパネル等により構成され、撮像素子 1 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。このように各実施例の回折光学素子を備えた撮像光学系を用いることにより、フレアやゴーストが少ない、高い光学性能を有する撮像装置を実現することができる。

【 0 1 1 1 】

各実施例によれば、簡素な構成の回折光学素子において可視域全域で高い回折効率を得ると共に、設計入射光束とは異なる斜入射光束が回折光学素子に入射したときの、不要光の低減効果が場所ごとに最適化された回折光学素子を得ることができる。また、回折光学素子を光学系中に用いることにより、色収差等の諸収差やフレアが良好に低減された光学系を得ることができる。このため各実施例によれば、径方向の位置に応じて膜の特性を適切に設定することにより光学性能を向上させた回折光学素子、光学系、および、撮像装置を提供することができる。

【 0 1 1 2 】

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

【 符号の説明 】

【 0 1 1 3 】

- 1 回折光学素子
- 8 第 1 の回折格子
- 9 第 2 の回折格子
- 1 0 誘電体薄膜（薄膜）

10

20

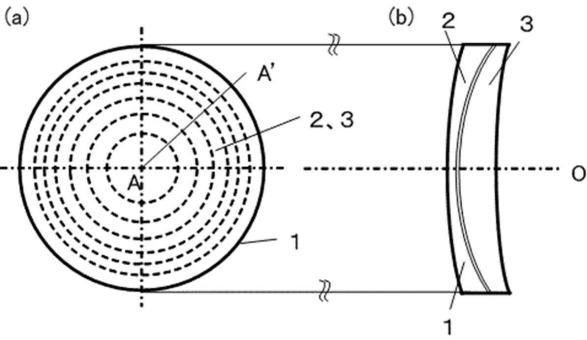
30

40

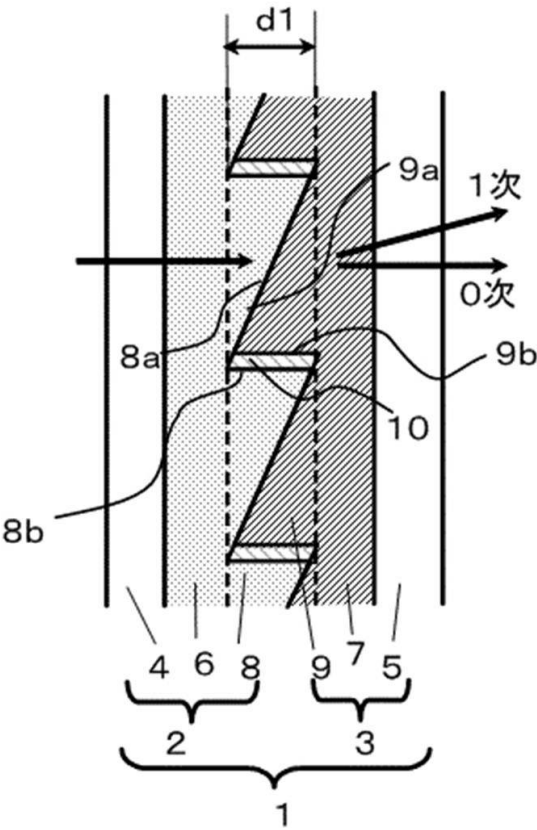
50

【図面】

【図 1】



【図 2】



10

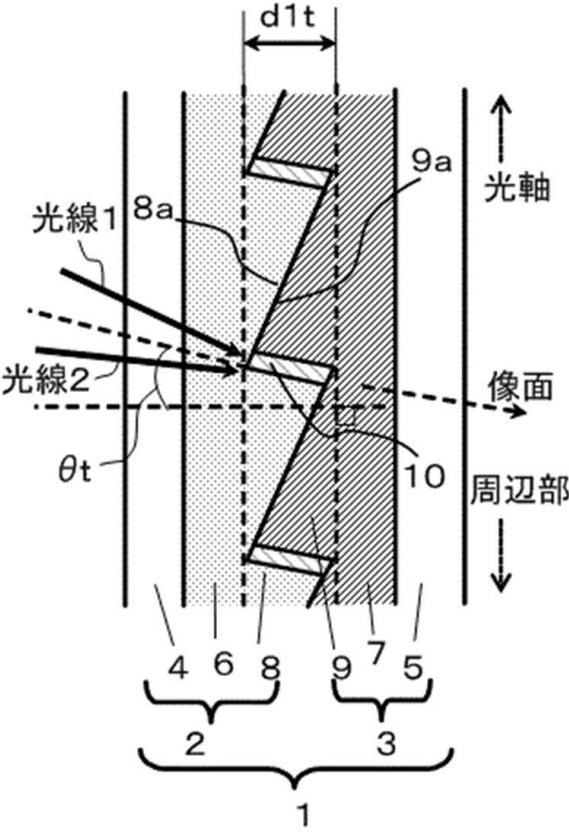
20

30

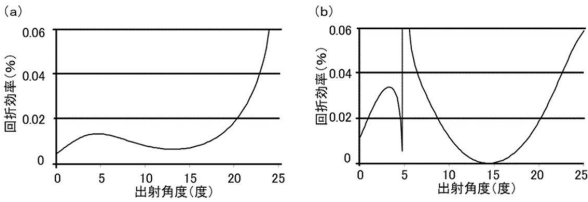
40

50

【図 3】



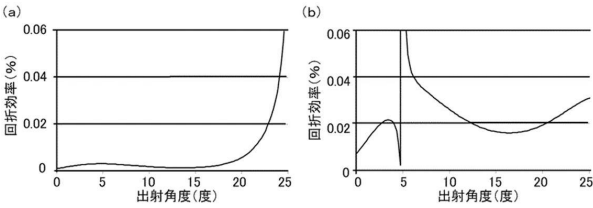
【図 4】



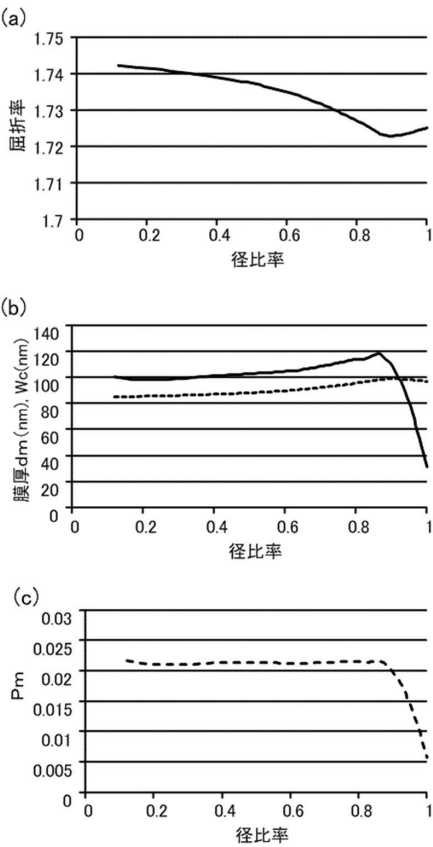
10

20

【図 5】



【図 6】

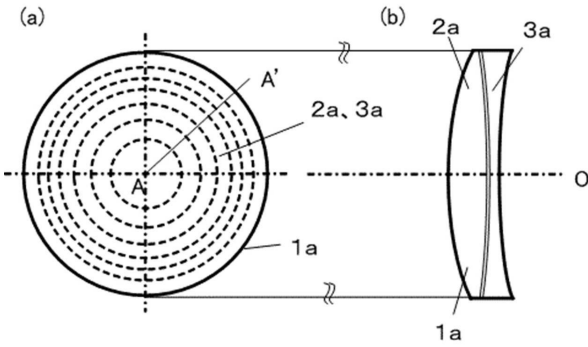


30

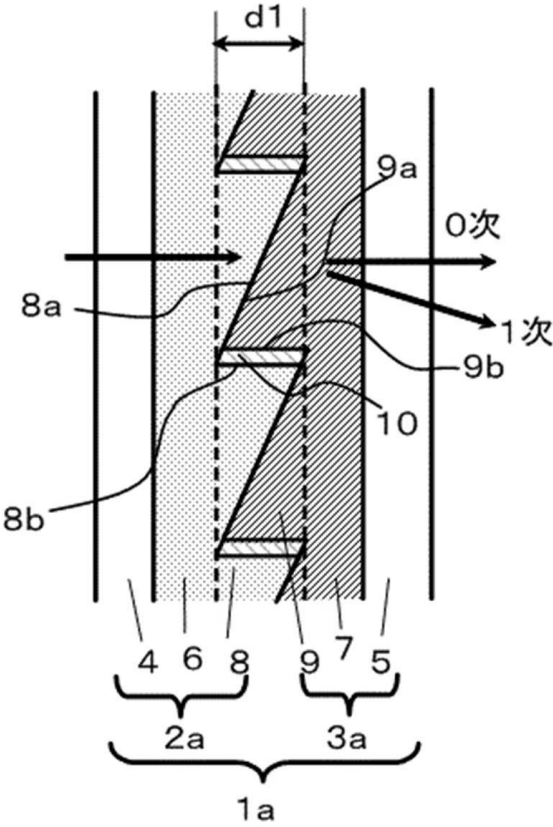
40

50

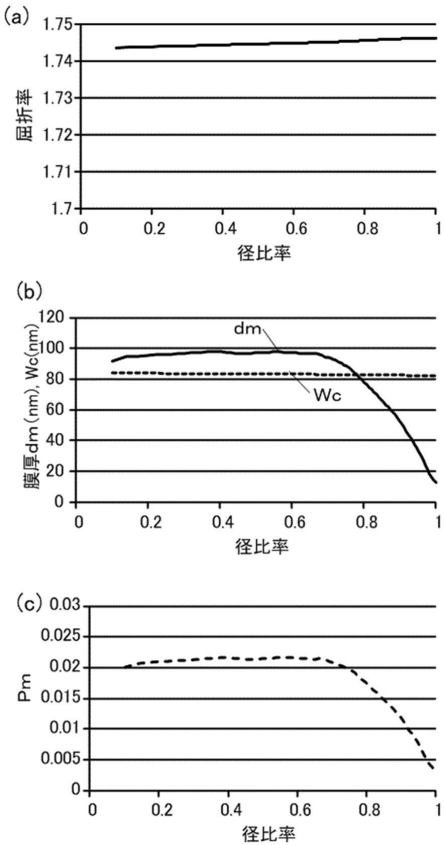
【図 7】



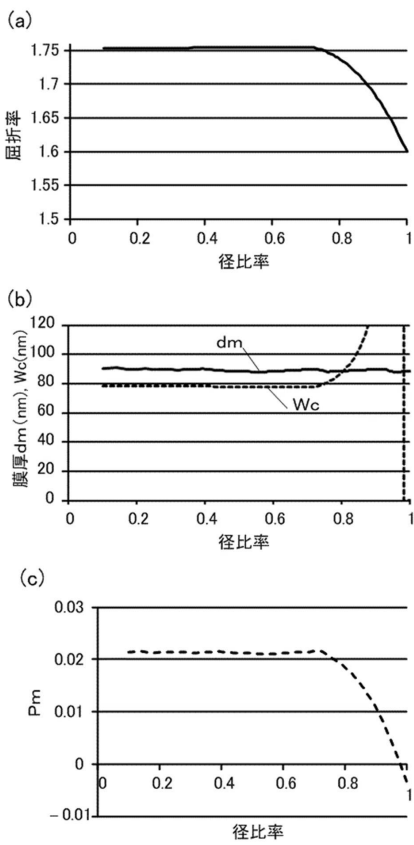
【図 8】



【図 9】



【図 10】



10

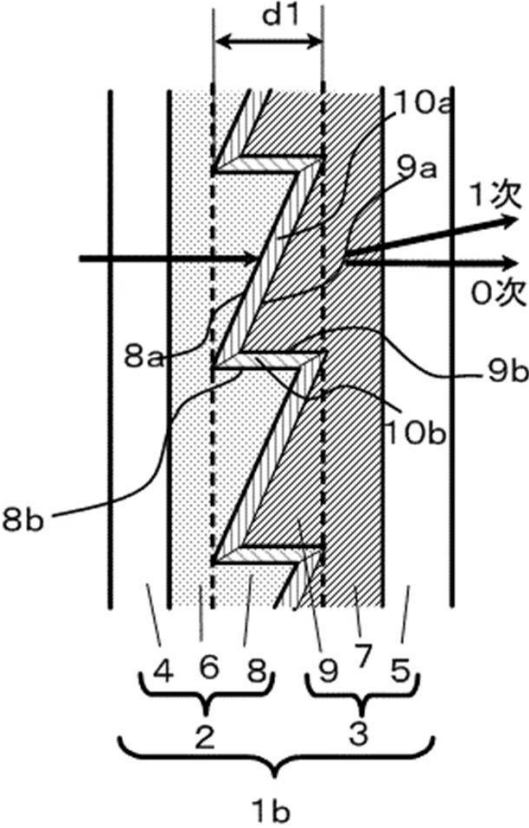
20

30

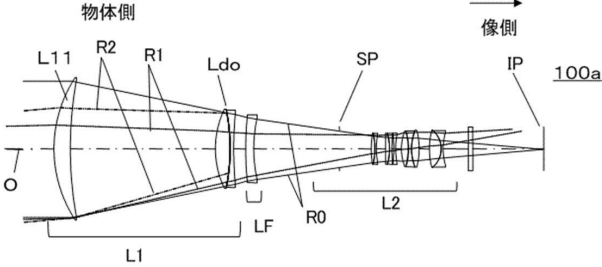
40

50

【図 1 1】



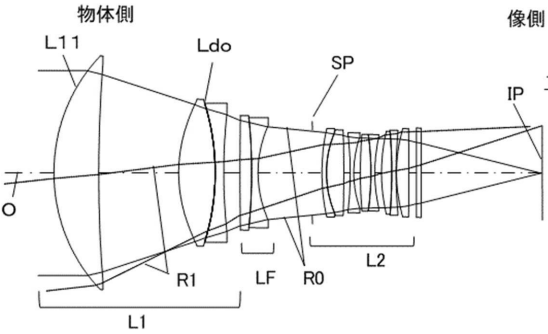
【図 1 2】



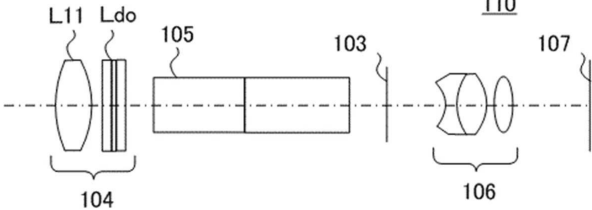
10

20

【図 1 3】



【図 1 4】

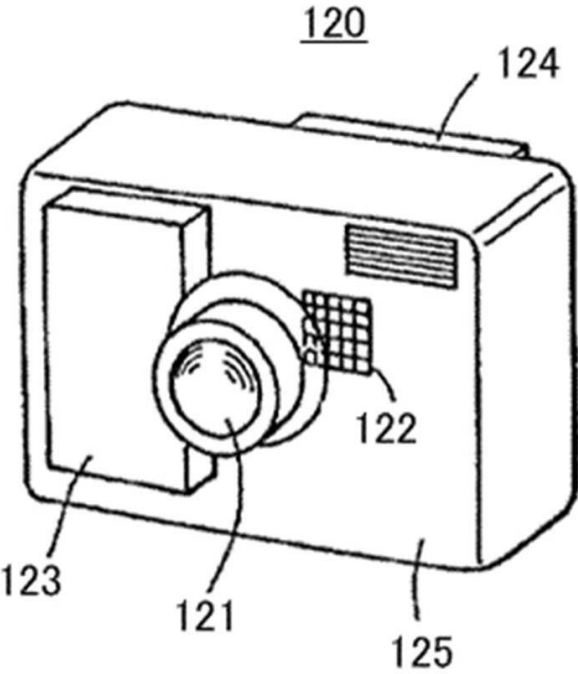


30

40

50

【図 15】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開 2 0 1 6 - 2 1 8 4 3 6 (J P , A)
米国特許出願公開第 2 0 1 7 / 0 1 2 3 2 0 8 (U S , A 1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- G 0 2 B 5 / 1 8
G 0 2 B 1 3 / 0 0