

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 6 部門第 2 区分

【発行日】平成 23 年 2 月 10 日 (2011.2.10)

【公開番号】特開 2009-139897 (P2009-139897A)

【公開日】平成 21 年 6 月 25 日 (2009.6.25)

【年通号数】公開・登録公報 2009-025

【出願番号】特願 2007-319250 (P2007-319250)

【国際特許分類】

G 0 2 B 27/02 (2006.01)

G 0 2 B 5/18 (2006.01)

H 0 4 N 5/64 (2006.01)

G 0 2 B 17/04 (2006.01)

【F I】

G 0 2 B 27/02 Z

G 0 2 B 5/18

H 0 4 N 5/64 5 1 1 A

G 0 2 B 17/04

【手続補正書】

【提出日】平成 22 年 12 月 8 日 (2010.12.8)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

原画を形成する画像形成素子と、

前記画像形成素子からの光を射出瞳に導く光学系と、

前記画像形成素子と前記光学系との間又は前記光学系と前記射出瞳との間に配置された回折光学素子とを有し、

前記回折光学素子は、互いに異なる材料により形成され、互いに間隔をあけて配置された複数の回折格子部を有し、

前記各回折格子部には、それぞれ格子面と格子側面を有する複数の格子輪帯が形成され、

前記各格子輪帯において、前記格子側面は、前記複数の格子輪帯の頂部を通る包絡面の法線に対して前記格子面とは反対側に傾いており、

前記回折光学素子は、前記複数の回折格子部のうち  $j$  番目の回折格子部における前記複数の格子輪帯のうち  $k$  番目の格子輪帯に関し、少なくとも  $k = k_E$  において、以下の条件を満足することを特徴とする画像観察装置。

$$d(j, k) = \sin^{-1} \left[ \frac{\{n_i \cdot \sin \theta_i(j, k) - m(j, k) \cdot \sin \theta_e(j, k)\}}{P(j, k)} \right] / n_d$$

$$M(k) = \sum_{j=1}^s m(j, k) = \text{const.}$$

ただし、 $d(j, k)$  は、前記回折光学素子の設計波長、 $\theta_i(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部において前記  $k$  番目の格子輪帯と前記射出瞳

を通る光線の前記包絡面の法線に対してなす角度であり、 $|\theta_i(j, k)|$  は前記光学系の最大画角よりも小さい、

$d(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記  $k$  番目の格子輪帯での設計回折次数光の回折角、

$m(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記  $k$  番目の格子輪帯の設計回折次数、

$P(j, k)$  は、前記  $k$  番目と  $k - 1$  番目の格子輪帯間のピッチ、

$k_E$  は、前記格子輪帯のピッチが最小となる又は  $|\theta_i(j, k)|$  が最大となる前記格子輪帯の番号、

$M(k)$  は、前記回折光学素子の回折次数、

$n_i$  及び  $n_d$  はそれぞれ、前記  $j$  番目の回折格子部における入射側媒質と回折側媒質の屈折率、

$s$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記複数の格子輪帯の総数、

$\theta$  は、前記格子側面が前記包絡面の法線に対してなす角度、

である。

#### 【請求項 2】

前記回折光学素子は、さらに以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の画像観察装置。

$d(j, k)$

$$m(j, k) \cdot \frac{1}{\{n_i \cdot \cos \theta_i(j, k) - n_d \cdot \cos \theta_d(j, k)\}}$$

ただし、 $d(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記  $k$  番目の格子輪帯の前記法線に沿った方向での高さである。

#### 【請求項 3】

原画を形成する画像形成素子と、

前記画像形成素子からの光を射出瞳に導く光学系と、

前記画像形成素子と前記光学系との間又は前記光学系と前記射出瞳との間に配置された回折光学素子とを有し、

前記回折光学素子は、互いに異なる材料により形成され、互いに間隔をあけて配置された複数の回折格子部を有し、

前記各回折格子部には、それぞれ格子面と格子側面を有する複数の格子輪帯が形成され、

前記各格子輪帯において、前記格子側面は、前記複数の格子輪帯の頂部を通る包絡面の法線に対して前記格子面と同じ側に傾いており、

前記回折光学素子は、前記複数の回折格子部のうち  $j$  番目の回折格子部における前記複数の格子輪帯のうち  $k$  番目の格子輪帯に関し、少なくとも  $k = k_E$  において、以下の条件を満足することを特徴とする画像観察装置。

$$\begin{aligned} & d(j, k) \\ &= \sin^{-1} \left[ \frac{\{n_i \cdot \sin \theta_i(j, k) - m(j, k) \cdot \frac{1}{P(j, k)}\}}{n_d} \right] \\ & \theta_i(j, k) \end{aligned}$$

$$M(k) = \sum_{j=1}^s \{m(j, k)\} = \text{const.}$$

$$\theta_i(j, k) \quad \theta_d(j, k)$$

ただし、 $\theta$  は、前記回折光学素子の設計波長、

$\theta_i(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部において前記  $k$  番目の格子輪帯と前記射出瞳を通る光線の前記包絡面の法線に対してなす角度であり、 $|\theta_i(j, k)|$  は前記光学系の最大画角よりも小さい、

$d(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記  $k$  番目の格子輪帯での設計回折次数光の回折角、

$m(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記  $k$  番目の格子輪帯の設計回折次数

、

$P(j, k)$  は、前記  $k$  番目と  $k - 1$  番目の格子輪帯間のピッチ、

$k_E$  は、前記格子輪帯のピッチが最小となる又は  $\theta_i(j, k)$  が最大となる前記格子輪帯の番号、

$M(k)$  は、前記回折光学素子の回折次数、

$n_i$  及び  $n_d$  はそれぞれ、前記  $j$  番目の回折格子部における入射側媒質と回折側媒質の屈折率、

$s$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記複数の格子輪帯の総数、

$\theta$  は、前記格子側面が前記包絡面の法線に対してなす角度、

である。

#### 【請求項 4】

前記回折光学素子は、さらに以下の条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の画像観察装置。

$d(j, k)$

$$m(j, k) \cdot \sin \theta_i(j, k) / \{ n_i \cdot \cos \theta_i(j, k) - n_d \cdot \cos \theta_d(j, k) \}$$

ただし、 $d(j, k)$  は、前記  $j$  番目の回折格子部における前記  $k$  番目の格子輪帯の前記法線に沿った方向での高さである。

#### 【請求項 5】

$\theta_i(j, k)$  は、該回折光学素子及び前記光学系を含む観察光学系の射出瞳の位置よりも該回折光学素子から遠い位置にある光軸上の特定点を通る光線の前記回折光学素子への入射角であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 つに記載の画像観察装置。

#### 【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0025

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0025】

$$d(j, k) = \sin^{-1} [ \{ n_i \cdot \sin \theta_i(j, k) - m(j, k) \cdot \sin \theta_d(j, k) \} / n_d ] \cdot P(j, k)$$

$$M(k) = \sum_{j=1}^s \{ m(j, k) \} = \text{const.}$$

$$\lambda_d(j, k) = \lambda_i(j, k) / n_d$$

ただし、 $\lambda_d(j, k)$  は、回折光学素子の設計波長、

$\theta_i(j, k)$  は、 $j$  番目の回折格子部において  $k$  番目の格子と射出瞳を通る光線の包絡面の法線に対してなす角度であり、 $|\theta_i(j, k)|$  は光学系の最大画角よりも小さい、

$\theta_d(j, k)$  は、 $j$  番目の回折格子部における  $k$  番目の格子輪帯での設計回折次数光の回折角、

$m(j, k)$  は、 $j$  番目の回折格子部における  $k$  番目の格子輪帯の設計回折次数、

$P(j, k)$  は、 $k$  番目と  $k - 1$  番目の格子輪帯間のピッチ、

$k_E$  は、格子輪帯のピッチが最小となる又は  $\theta_i(j, k)$  が最大となる格子輪帯の番号、

、

$M(k)$  は、回折光学素子の回折次数、

$n_i$  及び  $n_d$  はそれぞれ、 $j$  番目の回折格子部における入射側媒質と回折側媒質の屈折率、

$s$  は、 $j$  番目の回折格子部における複数の格子の総数、

$\theta$  は、格子側面が包絡面の法線に対してなす角度、

である。

#### 【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0027

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0027】

$$d(j, k) = \sin^{-1} [\{n_i \cdot \sin \theta_i(j, k) - m(j, k) \cdot \sin \theta_d(j, k) / P(j, k)\} / n_d]$$

$$M(k) = \sum_{j=1}^s \{m(j, k)\} = \text{const.}$$

$\theta_i(j, k)$  は、 $\theta_d(j, k)$

ただし、 $\lambda$  は、回折光学素子の設計波長、

$\theta_i(j, k)$  は、 $j$  番目の回折格子部において  $k$  番目の格子輪帯と射出瞳を通る光線の包絡面の法線に対してなす角度であり、 $|\theta_i(j, k)|$  は光学系の最大画角よりも小さい、

$\theta_d(j, k)$  は、 $j$  番目の回折格子部における  $k$  番目の格子輪帯での設計回折次数光の回折角、

$m(j, k)$  は、 $j$  番目の回折格子部における  $k$  番目の格子輪帯の設計回折次数、

$P(j, k)$  は、 $k$  番目と  $k - 1$  番目の格子輪帯間のピッチ、

$k_E$  は、格子のピッチが最小となる又は  $\theta_i(j, k)$  が最大となる格子輪帯の番号、

$M(k)$  は、回折光学素子の回折次数、

$n_i$  及び  $n_d$  はそれぞれ、 $j$  番目の回折格子部における入射側媒質と回折側媒質の屈折率、

$s$  は、 $j$  番目の回折格子部における複数の格子の総数、

$\theta$  は、格子側面が包絡面の法線に対してなす角度、

である。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0034

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0034】

ここで、 $\lambda$  は、回折光学素子の設計波長であり、回折光学素子に入射する光の波長（使用波長ともいう）である。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0036】

$\theta_d(j, k)$  は、 $j$  番目の回折格子部における  $k$  番目の格子輪帯での設計回折次数光の回折角である。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0038】

$P(j, k)$  は、 $k$  番目と  $k - 1$  番目の格子輪帯間のピッチであり、以下、 $k$  番目の格子

輪帯のピッチという。

【手続補正 7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0047

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0047】

$j$  番目の回折格子部における  $k$  番目の格子輪帯への入射角  $\theta_i(j, k)$  と、設計回折次数光の回折角  $\theta_d(j, k)$  は、設計回折次数  $m(j, k)$  に対して、上記式 (1) のように表される。

【手続補正 8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0053

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0053】

このとき、式 (1) の条件を満足せずに高い回折効率を得られる波長域が最も広くなるように各回折格子部の  $m(j, k)$  を決めた場合に比べると、式 (1) の条件を満足することで短波長側と長波長側とで設計回折次数のスカラー回折効率は低下する。しかし、式 (1) の条件を満足しないと、 $d/P$  が 0.2 を超える程度に大きい場合に上述したような格子構造の影響を大きく受けるため、実際の不要回折次数光はスカラー近似計算で求まるよりも大きくなる。したがって、式 (1) の条件を満足する方が良好な性能を得ることができる。

【手続補正 9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0062

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0062】

格子側面が先端包絡面の法線に対して平行である場合に、 $j$  番目の回折格子面において、広波長域にわたってスカラー回折効率が高くなるように、 $k$  番目の格子について設計回折次数  $m(j, k)$  を決めると、格子高さ  $d_0(j, k)$  は、以下のようになる。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0070

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0070】

本実施例では、図 11B に示すように、入射光線が光軸から離れる方向に向かって進む場合を想定しており、格子側面 2 は、光線の入射角と同じ角度（厳密に同じ角度だけでなく同じとみなせる角度も含む）だけ該法線に対して格子面 1 と同じ側に傾けられている。つまり、格子側面 2 は、格子面 1 とのなす角度（格子頂角）が、格子側面 2 を傾けない場合に比べて小さくなるように設定されている。この場合、格子溝部 5 の最下点は、格子側面 2 を傾けない場合に比べて格子先端 4 から遠くなる。このため、格子先端 4 と格子溝部 5 の最下点の間の距離  $d(j, k)$  は、各格子先端位置での先端包絡面 3 の法線に沿った方向において、格子側面 2 を傾けない場合の格子高さ  $d_0(j, k)$  よりも大きくなる。したがって、格子高さ  $d(j, k)$  の値は、式 (8) の条件を満足する。

【手続補正 11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0084

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0084】

したがって、本実施例では、図13A及び図13Bに示すように、平面状の回折光学素子7をプリズム素子8と射出瞳6との間、又は画像形成素子9とプリズム素子（接眼光学系）8との間に配置する。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0087

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0087】

図14A及び図14Bには、観察者の眼球10と、眼球側から見た光学系の最前面との距離（アイレリーフ）をできるだけ長くとるため、光学系の射出瞳6の位置に眼球10の瞳孔が配置されるように光学設計された例を示す。光学設計は、後述する逆光線トレースにおいて、射出瞳6の位置から射出した所定の画角を持つ各光線について行われる。射出瞳6は、回折光学素子7と前述した接眼光学系とを含む観察光学系（光学全系）の射出瞳である。

【手続補正13】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0090

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0090】

図14A及び図14Bに示す構成は、逆光線トレースにおいて、射出瞳6の中心Oから回折光学素子7上のある点Aに入射する光線の入射角を $\theta_1$ として、回折効率が最大になるように格子高さdを設定した例である。この構成では、眼球10（観察者の視線）が光軸AXLの方向（画像の中心方向）を向いているときには、順光線トレースにおいて瞳孔を通して網膜に到達する設計回折次数光の回折効率が最大になり、不要回折次数光の回折効率が最小に抑えられる。

【手続補正14】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0119

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0119】

格子輪帯間のピッチは、

$$P(k) = R(k) - R(k-1)$$

となる。

【手続補正15】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0121

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0121】

ここでは、図18に示すように、格子輪帯間のピッチが最も小さくなる290番目（ $k = 290$ ）の格子輪帯について、第1及び第2の回折格子部31, 32での回折次数 $m_1$ ,  $m_2$ を求める。

【手続補正16】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】 0 1 2 3

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 1 2 3 】

第 1 の回折格子部の材料の屈折率： $n_1 ( ) = 1.52415$  (分散  $d = 51.57$ )

第 2 の回折格子部の材料の屈折率： $n_2 ( ) = 1.63554$  (分散  $d = 22.75$ )

各回折素子層の厚み： $50 \mu m$

各基板の材料の屈折率： $n_3 ( ) = 1.57090$  (分散  $d = 33.81$ )

各基板の厚み： $1.0 mm$

第 1 及び第 2 の回折格子部間の距離 (間隔)  $G : 1.5 \mu m$

この場合、290 番目の格子輪帯について、半径  $R (290)$  は上記位相関数から  $13.958 [mm]$  となり、ピッチ  $P (290)$  は  $29.667 [\mu m]$  となる。眼球の回転中心 (特定点) が射出瞳の位置から光軸方向に  $10 mm$  の位置にあるとし、290 番目の格子輪帯に入射する光線がこの特定点からの光線とすると、画角は  $24.4975^\circ$  となり、入射角  $\theta_1$  は、 $\theta_1 = 15.787 [^\circ]$  となる。

【手続補正 17】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 1 3 0

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 1 3 0 】

また、第 1 及び第 2 の回折格子部のトータルでのスカラー回折効率は、

$(h, )$

$= \sin^2 [ \cdot \{ (m_1 + m_2) - \{ \theta_1 (h, ) + \theta_2 (h, ) \} / \} ]$

として算出される。ここで、 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  は第 1 及び第 2 の回折格子部 31, 32 での光路差であり、実施例 2 では  $h = 13.958$  である。

【手続補正 18】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 1 4 2

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 1 4 2 】

一方、光軸上で射出瞳よりも回折光学素子から遠い位置を通る光線に対して不要回折次数光が発生しないように格子高さを最適化すると、眼球を回転させて光軸方向を向いたときに、画像の周辺部 (290 番目の格子輪帯) から不要回折次数光が見えることが懸念される。しかしながら、この場合は、眼球は光軸方向を向いている (凝視している) ため、周辺部からの不要光は網膜の中心窩から外れた領域に達するので、視認度は小さい。

【手続補正 19】

【補正対象書類名】 明細書

【補正対象項目名】 0 1 4 4

【補正方法】 変更

【補正の内容】

【 0 1 4 4 】

以上のように、上記実施例によれば、格子輪帯のピッチが小さく、格子高さの格子輪帯のピッチに対する比が大きい回折光学素子が、該回折光学素子への入射角が大きくなる光学系に採用された場合でも、設計回折次数光に対する不要光を抑えることが可能である。したがって、そのような回折光学素子を採用した画像観察装置において、高品位の画像観察が可能となる。