

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2013-125259

(P2013-125259A)

(43) 公開日 平成25年6月24日(2013.6.24)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G O 2 B</b> 5/18 (2006.01)	G O 2 B 5/18	2 H 0 8 7
<b>G O 2 B</b> 3/02 (2006.01)	G O 2 B 3/02	2 H 2 4 9
<b>G O 2 B</b> 13/02 (2006.01)	G O 2 B 13/02	

審査請求 未請求 請求項の数 19 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2011-275790 (P2011-275790)	(71) 出願人	000001007
(22) 出願日	平成23年12月16日 (2011.12.16)		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	100110412
			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	牛込 礼生奈
			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

最終頁に続く

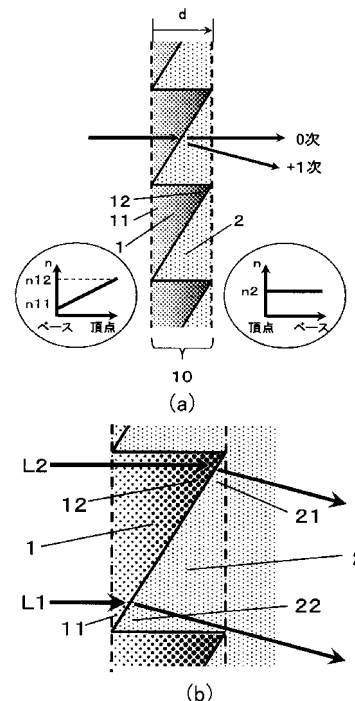
(54) 【発明の名称】 回折光学素子、光学系および光学機器

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】設計次数の回折光における回折効率の波長特性を均一にする。

【解決手段】ブレイズ構造を有する第1の回折格子1と第2の回折格子2を密着することによって形成される回折光学素子10において、第1、第2の回折格子1、2の少なくとも一つは面法線方向に屈折率分布を有する材料から構成され、可視波長帯域内の任意の波長 に対して、以下の式を満たす。
$$1(\lambda) = 1 - \{n_{22}(\lambda) - n_{11}(\lambda)\} d / m$$
$$2(\lambda) = 1 - \{n_{21}(\lambda) - n_{12}(\lambda)\} d / m$$
$$1(\lambda) \times 2(\lambda) < 0$$
。但し、 $n_{11}(\lambda)$ 、 $n_{12}(\lambda)$ は第1の回折格子のベース部11、頂点部12の前記波長 の光に対する屈折率、 $n_{21}(\lambda)$ 、 $n_{22}(\lambda)$ は前記第2の回折格子のベース部21、頂点部22の前記波長 の光に対する屈折率、 $d$ は前記第1、第2の回折格子の格子高さの絶対値、 $m$ は設計次数である。

【選択図】図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

それぞれ鋸歯形状を有する複数の格子が格子周期方向に並ぶブレース構造を有する第 1 の回折格子と第 2 の回折格子を密着することによって形成される回折光学素子であって、前記第 1 の回折格子と前記第 2 の回折格子の少なくとも一つは前記格子周期方向に垂直な面法線方向に屈折率分布を有する材料から構成され、可視波長帯域内の任意の波長に対して、以下の式を満たすことを特徴とする回折光学素子。

$$1(\lambda) = 1 - \{n_{22}(\lambda) - n_{11}(\lambda)\} d / m$$

$$2(\lambda) = 1 - \{n_{21}(\lambda) - n_{12}(\lambda)\} d / m$$

$$1(\lambda) \times 2(\lambda) < 0$$

10

ただし、 $n_{11}(\lambda)$ 、 $n_{12}(\lambda)$  はそれぞれ前記第 1 の回折格子の前記鋸歯形状のベース部、前記第 1 の回折格子の前記鋸歯形状の頂点部の前記波長の光に対する屈折率、 $n_{21}(\lambda)$ 、 $n_{22}(\lambda)$  はそれぞれ前記第 2 の回折格子の前記鋸歯形状のベース部、前記第 2 の回折格子の前記鋸歯形状の頂点部の前記波長の光に対する屈折率、 $d$  は前記第 1、第 2 の回折格子の格子高さの絶対値、 $m$  は設計次数である。

## 【請求項 2】

前記屈折率分布は前記面法線方向に単調に増加または単調に減少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】

$1(\lambda) \times 2(\lambda)$  は前記波長が短波長になるほど小さくな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。

20

## 【請求項 4】

$1(\lambda) + 2(\lambda)$  が 0 となる波長が前記可視波長帯域内に一つ以上あることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちいずれか 1 項に記載の回折光学素子。

## 【請求項 5】

$1(\lambda) + 2(\lambda)$  が前記波長に対して、以下の式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちいずれか 1 項に記載の回折光学素子。

$$|1(\lambda) + 2(\lambda)| < 0.03$$

## 【請求項 6】

$1(\lambda) + 2(\lambda)$  が前記可視波長帯域内の  $1/2$  以上の帯域において、前記波長が短波長になるほど大きくなるまたは小さくなることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のうちいずれか 1 項に記載の回折光学素子。

30

## 【請求項 7】

前記波長に対して、以下の式を満たすことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のうちいずれか 1 項に記載の回折光学素子。

$$0.98 < \{n_{1av}(\lambda) - n_{2av}(\lambda)\} d / m < 1.02$$

ただし、 $n_{1av}(\lambda)$ 、 $n_{2av}(\lambda)$  はそれぞれ次式に示す平均屈折率である。

$$n_{1av}(\lambda) = \{n_{11}(\lambda) + n_{12}(\lambda)\} / 2$$

$$n_{2av}(\lambda) = \{n_{21}(\lambda) + n_{22}(\lambda)\} / 2$$

## 【請求項 8】

40

前記屈折率分布の  $d$  線の屈折率差の最大が  $0.002$  以上で  $0.015$  以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のうちいずれか 1 項に記載の回折光学素子。

## 【請求項 9】

前記屈折率分布を有する前記第 1 の回折格子と前記第 2 の回折格子の少なくとも一つは微粒子を分散させた樹脂を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のうちいずれか 1 項に記載の回折光学素子。

## 【請求項 10】

前記微粒子の分散比率が前記面法線方向で異なっていることを特徴とする請求項 9 に記載の回折光学素子。

## 【請求項 11】

50

前記微粒子はITO微粒子であることを特徴とする請求項9または10に記載の回折光学素子。

【請求項12】

前記屈折率分布が体積比率で0.5%以上で5%以下であることを特徴とする請求項9乃至11のうちいずれか1項に記載の回折光学素子。

【請求項13】

前記屈折率分布は前記ベース部よりも前記頂点部のほうが大きいことを特徴とする請求項1乃至12のうちいずれか1項に記載の回折光学素子。

【請求項14】

前記第1の回折格子と前記第2の回折格子の一方は前記ベース部よりも前記頂点部の方が大きい前記屈折率分布を有し、前記第1の回折格子と前記第2の回折格子の他方は屈折率が一定であるか前記ベース部よりも前記頂点部の方が小さい前記屈折率分布を有し、

前記第1の回折格子と前記第2の回折格子の一方の前記屈折率分布の最大屈折率差の絶対値は、前記第1の回折格子と前記第2の回折格子の他方の最大屈折率の絶対値よりも大きいことを特徴とする請求項13に記載の回折光学素子。

【請求項15】

前記第1の回折格子と前記第2の回折格子がともに前記ベース部よりも前記頂点部の方が大きい屈折率分布を有する材料から構成されていることを特徴とする請求項13に記載の回折光学素子。

【請求項16】

前記設計次数は+1次または-1次であることを特徴とする請求項1乃至15のうちいずれか1項に記載の回折光学素子。

【請求項17】

前記回折光学素子は格子ピッチが80μm以上で10mm以下あることを特徴とする請求項1乃至16のうちいずれか1項に記載の回折光学素子。

【請求項18】

請求項1乃至17のいずれか1項に記載の回折光学素子を有することを特徴とする光学系。

【請求項19】

請求項18に記載の光学系を有することを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回折光学素子、光学系および光学機器に関する。

【背景技術】

【0002】

ブレイズ構造の回折光学素子は特定の一つの次数（以下、「特定次数」又は「設計次数」とも言う）と特定の波長に対して高い効率で光を回折することができる。特許文献1は、特定次数の回折効率を可視波長帯域全域で十分高く得るために、2つの回折格子を密着配置し、各回折格子を構成する材料に低屈折率高分散材料と高屈折率低分散材料を用い、回折格子の高さを適切に設定した構成を開示している。なお、以下、このような回折光学素子を「密着2層DOE」という。特許文献2は、可視波長域全域で99%以上の高い回折効率を得るために部分分散比  $g_F$  が通常の方法より小さな値（リニア異常分散性）を有する材料を用いることを開示している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特登録3717555号公報

【特許文献2】特開2008-241734号公報

【発明の概要】

10

20

30

40

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

しかしながら、回折作用しない壁面部の振る舞いによって、設計次数の回折光における回折効率の波長特性が長波長側のほうが低くなり、青波長よりも赤波長帯域の回折効率が低く、設計次数以外の不要回折光も赤波長のほうが目立ち易くなる。また、設計次数の回折光のカラーバランスをとるために反射防止膜や画像処理等を用いて赤波長帯域を相対的に上げると、不要光である赤波長がさらに強調され、目立ってしまう。

## 【0005】

本発明は、設計次数の回折光における回折効率の波長特性のばらつきを低減することが可能な回折光学素子、光学系および光学機器を提供することを目的とする。

10

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

本発明の回折光学素子は、それぞれ鋸歯形状を有する複数の格子が格子周期方向に並ぶブレイズ構造を有する第1の回折格子と第2の回折格子を密着することによって形成される回折光学素子であって、前記第1の回折格子と前記第2の回折格子の少なくとも一つは前記格子周期方向に垂直な面法線方向に屈折率分布を有する材料から構成され、可視波長帯域内の任意の波長 に対して、以下の式を満たすことを特徴とする。

## 【0007】

$$\begin{aligned} 1( ) &= 1 - \{ n_{22}( ) - n_{11}( ) \} d / m \\ 2( ) &= 1 - \{ n_{21}( ) - n_{12}( ) \} d / m \\ 1( ) \times 2( ) &< 0 \end{aligned}$$

20

但し、 $n_{11}( )$ 、 $n_{12}( )$ は前記第1の回折格子の前記鋸歯形状のベース部、前記第1の回折格子の前記鋸歯形状の頂点部の前記波長 の光に対する屈折率、 $n_{21}( )$ 、 $n_{22}( )$ はそれぞれ前記第2の回折格子の前記鋸歯形状のベース部、前記第2の回折格子の前記鋸歯形状の頂点部の前記波長 の光に対する屈折率、 $d$ は前記第1、第2の回折格子の格子高さの絶対値、 $m$ は設計次数である。

## 【発明の効果】

## 【0008】

本発明によれば、設計次数の回折光における回折効率の波長特性のばらつきを低減することが可能な回折光学素子、光学系および光学機器を提供することができる。

30

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図1】回折光学素子の平面図及び側面図である。（実施例1～8）

【図2】図1のA-A'線に沿った回折光学素子の部分拡大断面図である。（実施例1、2）

【図3】図2に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例1）

【図4】図2に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例2）

【図5】本発明の回折光学素子の部分拡大断面図である。（実施例3）

【図6】図5に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例3）

【図7】本発明の回折光学素子の部分拡大断面図である。（実施例4）

40

【図8】図7に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例4）

【図9】本発明の回折光学素子の部分拡大断面図である。（実施例5）

【図10】図9に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例5）

【図11】本発明の回折光学素子の部分拡大断面図である。（実施例6）

【図12】図11に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例6）

【図13】本発明の回折光学素子の部分拡大断面図である。（実施例7）

【図14】図13に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例7）

【図15】本発明の回折光学素子の部分拡大断面図である。（実施例8）

【図16】図13に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。（実施例8）

【図17】図1に示す回折光学素子を有する光学系の断面図である。（実施例1～8）

50

【図 18】比較例 1 の回折光学素子の部分断面図である。

【図 19】図 18 に示す回折光学素子の回折効率のグラフである。

【図 20】比較例 2 の回折光学素子の回折効率のグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

図 1 は本実施形態の DOE 10 の正面図及び側面図である。平板又はレンズより成る基板レンズ 20、30 の面に回折光学素子 (DOE) 10 が形成されている。本実施例では、DOE 10 が形成されている基板レンズ 20、30 の面は曲面となっている。DOE 10 は光軸 O を中心とした同心円状の回折格子形状からなり、レンズ作用を有している。

【0011】

図 17 は、デジタルスチルカメラの撮影レンズ (撮影光学系) 101 の断面図であり、撮影レンズ 101 は絞り 40 と DOE 10 を有している。41 は結像面で、フィルムまたは CCD 等の光電変換素子が配置されている。DOE 10 は撮影レンズ 101 の色収差を補正する。DOE 10 は、後述するように、波長特性が良好で高い回折効率を有するので、高性能な撮影レンズが得られる。

【0012】

図 17 では前玉のレンズの貼り合せ面に DOE 10 が設けられているが、これに限定されるものではなく、別の個所に設けたり、撮影レンズ内に複数 DOE 10 を使用したりしてもよい。

【0013】

また、光学機器と光学系はデジタルスチルカメラの撮影レンズに限定されず、ビデオカメラの撮影レンズ、事務機のイメージスキャナー、デジタル複写機のリーダーレンズなど広波長域で使用される光学機器に適用可能である。

【0014】

以下に、DOE 10 の実施例を、添付の図面に基づいて詳細に説明する。

【実施例 1】

【0015】

図 2 (a) は、図 1 の A - A 線に沿った実施例 1 の DOE 10 の部分拡大断面図である。図 2 (a) は、格子形状を分かりやすくするために、格子高さ (深さ) 方向にかなりデフォルメされ、基板レンズ 20、30 の DOE 10 が形成される面を平面としている。

【0016】

DOE 10 は、第 1 の回折格子 1 と第 2 の回折格子 2 が密着配置 (積層) した密着 DOE の構成となっている。第 1、第 2 の回折格子 1、2 は同心円状のブレード構造の格子形状からなり、格子ピッチを中心 (光軸) から周辺へ向かって徐々に変化させることでレンズ作用 (収斂作用又は発散作用) を得ている。そして、各回折格子 1、2 は、全層を通して一つの DOE 10 として作用している。また、ブレード構造にすることで、DOE 10 に入射した入射光は特定の回折次数 (図では +1 次) 方向に集中して回折する。ブレード構造は鋸歯形状を有する複数の格子が格子周期方向 (図 1 では光軸から周辺に向かう方向) に並ぶ構造を有する。

【0017】

また、DOE 10 の使用波長領域は可視域であるため、可視領域全体で設計次数の回折光の回折効率が高くなるように、第 1 の回折格子 1 及び第 2 の回折格子 2 を構成する材料及び格子高さを選択している。即ち、複数の回折格子 (第 1、第 2 の回折格子 1、2) を通過する光の最大光路長差 (回折部の山と谷の光学光路長差の最大値) が使用波長域内で、その波長の整数倍付近となるよう、各回折格子の材料及び格子高さが定められている。このように回折格子の材料、形状を適切に設定することによって、使用波長全域で高い回折効率を得られる。なお、一般的に、回折格子の格子高さは、格子周期方向に垂直な方向 (面法線方向) の格子先端と格子溝の高さで定義される。

【0018】

まず、従来のスカラー回折理論を用いた回折効率について図 18 を用いて説明する。図

10

20

30

40

50

18は、図2(a)に対応した比較例としてのDOE50の部分拡大断面図であり、DOE50は、第1の回折格子51と第2の回折格子52からなる密着DOEである。

【0019】

図18の左下のグラフの横軸は第1の回折格子51のベース面(破線)の面法線方向におけるベース部61から頂点部62の位置、縦軸は第1の回折格子51の位置に対して第1の回折格子51を構成する材料の屈折率である。図18の右下のグラフの横軸は第2の回折格子52のベース面(破線)の面法線方向におけるベース部61から頂点部62の位置、縦軸は第2の回折格子52の位置に対して第2の回折格子52を構成する材料の屈折率である。スカラー回折理論において、回折格子を構成する材料は均一屈折率であることを想定している。

10

【0020】

DOE50は2つの回折格子の格子面を密着した構成のため、回折格子のベース面に対する垂直入射、波長 $\lambda$ で、回折次数 $m$ の回折光の回折効率が最大となる条件式は以下となる。

【0021】

$$(n_2 - n_1)d = m\lambda \quad (1)$$

(1)式で、 $n_1$ は第1の回折格子51を形成する材料の波長 $\lambda$ での屈折率、 $n_2$ は第2の回折格子52を形成する材料の波長 $\lambda$ での屈折率、 $d$ は第1の回折格子51および第2の回折格子52の格子高さ、 $m$ は回折次数である。 $d$ の符号は図18中のように0次回折光から下向きに回折する光線を正の回折次数とした場合、図中下から上に回折格子の格子高さが増加する場合は負、減少する場合は正とする。

20

【0022】

図18の構成において、波長 $\lambda$ での回折効率 $\eta$ (%)は以下となる。

【0023】

$$\eta = \text{sinc}^2 \left[ \frac{m - (n_2 - n_1)d / \lambda}{d} \right] \quad (2)$$

第1の回折格子51に低屈折率高分散材料、第2の回折格子52に高屈折率低分散材料を用いることによって密着2層DOEにおいて広い波長帯域で高い回折効率を得ることができる。さらに、可視域全域で99%以上の回折効率を得るためには低屈折率高分散材料に部分分散比 $g_F$ が通常材料より小さいリニア分散特性を有する材料を用いることが知られている。このリニア分散特性を得るために、ITO微粒子をベース樹脂材料に分散させる方法が知られている。

30

【0024】

特許文献1~2に開示されている回折光学素子はいずれもスカラー回折理論を用いて回折効率を計算し、設計評価を行っている。スカラー回折理論は回折格子のピッチが波長と比べて十分大きい場合に精度高く計算できることが知られているが、回折格子の壁面部54の振る舞いについては考慮されていない。

【0025】

次に、厳密電磁場計算を用いた回折効率について説明する。回折光学素子の壁面部も考慮して計算できる手法として厳密電磁場計算が挙げられる。我々は厳密電磁場計算のうち厳密結合波解析(以下、RCWA: Rigorous Coupled Wave Analysis)を用いて回折光学素子の回折効率の評価を行った。

40

【0026】

従来の回折格子はスカラー回折理論に従った均一材料を用いているが、本実施例の回折光学素子は回折格子がベース面の面法線方向に屈折率分布を有する材料から構成されている。本実施例は、図2(a)に示すように、第1の回折格子1が面法線方向に屈折率分布を有する材料を用いている。

【0027】

図2(a)の左下のグラフの横軸は第1の回折格子1のベース面(破線)の面法線方向におけるベース部11から頂点部12の位置、縦軸は第1の回折格子1を構成する材料の屈折率である。図2(a)の右下のグラフは回折格子2について、回折格子1と同様のグ

50

ラフである。

【 0 0 2 8 】

第 1 の回折格子 1 はフッ素アクリル系紫外線硬化樹脂に I T O 微粒子を混合させた紫外線硬化樹脂で構成され、屈折率分布を有している。ベース部 1 1 の屈折率  $n_{11}$  は I T O 微粒子が 1 3 . 9 5 % 混合された屈折率に相当し、頂点部 1 2 の屈折率  $n_{12}$  は I T O 微粒子が 1 6 . 0 5 % 混合された屈折率に相当する。そして、ベース部 1 1 から頂点部 1 2 に対して線形に（または単調に）増加する屈折率分布を形成している。このように、I T O 微粒子の分散比率は面法線方向で 1 3 . 9 5 % と 1 6 . 0 5 % と異なっている。

【 0 0 2 9 】

第 2 の回折格子 2 はアクリル系紫外線硬化樹脂に  $ZrO_2$  微粒子を均一に 6 % 混合された紫外線硬化樹脂で構成されている。

【 0 0 3 0 】

表 1 に第 1、第 2 の回折格子 1、2 のそれぞれのベース部の屈折率、頂点部の屈折率の数値を示す。格子高さ  $d$  は 1 1 . 0 2  $\mu m$ 、設計次数は + 1 次、格子ピッチは 1 0 0  $\mu m$  である。

【 0 0 3 1 】

【 表 1 】

波長	第1の回折格子		第2の回折格子
	ベース部の 屈折率 $n_{11}$	頂点部の 屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$ =ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-13.95%	ITO-16.05%	$ZrO_2$ -6%
400nm	1.52696	1.53916	1.56975
450nm	1.51519	1.52646	1.56192
500nm	1.50560	1.51600	1.55631
550nm	1.49774	1.50739	1.55229
600nm	1.49076	1.49968	1.54932
650nm	1.48401	1.49219	1.54705
700nm	1.47709	1.48446	1.54523

【 0 0 3 2 】

屈折率分布を有する密着 2 層 D O E 構成の回折光学素子の屈折率関係について、以下の式で 1 および 2 で定義する。

【 0 0 3 3 】

$$1(\quad) = 1 - \{n_{22}(\quad) - n_{11}(\quad)\} d / m$$

$$2(\quad) = 1 - \{n_{21}(\quad) - n_{12}(\quad)\} d / m \quad (3)$$

図 2 ( b ) に示すように、( 3 ) 式の 1 は第 1 の回折格子のベース部と第 2 の回折格子の頂点部による位相変化（図 2 ( b ) の光線 L 1 ）、2 は第 1 の回折格子の頂点部と第 2 の回折格子のベース部による位相変化（図 2 ( b ) の光線 L 2 ）に相当する。また、1 および 2 が 0 となる場合がスカラー回折理論で設計次数の回折効率が 1 0 0 % となる条件で、正の場合は位相が進み、負の場合は位相が遅れることに相当する。

【 0 0 3 4 】

回折格子の構成する材料に屈折率分布がある場合は 1 と 2 が異なり、位相ズレが発生するため、回折効率が悪化することになる。しかしながら、1 と 2 の位相変化を相殺する（例えば 1 を正、2 を負）ことによって、屈折率分布を有する密着 2 層 D O E の設計次数の回折光の回折効率を高くすることができる。

【 0 0 3 5 】

図 3 は、R C W A 計算を用いて入射角度 0 度 ( d e g ) における回折効率を評価した結果を示すグラフである。

## 【 0 0 3 6 】

図 3 ( a ) は、設計次数である + 1 次回折光の回折効率の波長特性を示すグラフである。横軸は波長 ( nm )、縦軸は回折効率 ( % ) である。可視波長帯域である 4 3 0 ~ 6 8 0 nm に対して、壁面部の振る舞いを考慮した回折効率がほぼ均一になっている。

## 【 0 0 3 7 】

図 3 ( b ) は、波長 4 5 0 nm ( 黒丸 )、5 5 0 nm ( 黒四角 )、6 5 0 nm ( 黒三角 ) の - 3 次から + 5 次の低次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数 ( m )、縦軸は回折効率 ( % ) である。0 次および + 2 次の回折光が 6 5 0 nm と比較して 4 5 0 nm のほうが大きくなっている。

## 【 0 0 3 8 】

図 3 ( c ) は、波長 4 5 0 nm ( 実線 )、5 5 0 nm ( 破線 )、6 5 0 nm ( 点線 ) の高次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数 ( m )、縦軸は回折効率 ( % ) である。

## 【 0 0 3 9 】

図 3 ( c ) より - 6 0 次 ~ - 4 0 次付近の不要回折光のピークは 4 5 0 nm と比較して 6 5 0 nm のほうが大きい。これは壁面部に垂直入射でも発生する回折現象で、波長に応じてほぼ同じ割合で変化している。この高次光と低次光の不要光をバランスさせることによって、設計次数の回折効率の波長特性がほぼ均一になっている。

## 【 0 0 4 0 】

この短波長側の低次の回折光については比較的目立たないため問題はない。また、最近の光学機器のデジタル化や大型プリントに要求される撮影光学系の高画質化に伴うレンズ枚数の増加によって、短波長側の吸収が大きくなる傾向にあるため、短波長側の低次の回折光はより問題のない傾向にある。

## 【 0 0 4 1 】

実施例 1 の ( 3 ) 式の  $\Phi_{av}$  および  $\Phi_{av}^2$ 、 $\Phi_{av} \times \Phi_{av}^2$ 、 $\Phi_{av} + \Phi_{av}^2$ 、次式で定義する  $\Phi_{av}$  の各数値を表 2 に示す。

## 【 0 0 4 2 】

$$\Phi_{av} = \{ n_1 \Phi_{av} - n_2 \Phi_{av} \} d / m \quad (4)$$

ただし、 $n_1 \Phi_{av}$ 、 $n_2 \Phi_{av}$  はそれぞれ第 1、第 2 の回折格子 1、2 の材料のベース部、頂点部の波長における平均屈折率であり、次式で定義する。

## 【 0 0 4 3 】

$$n_1 \Phi_{av} = \{ n_{11} + n_{12} \} / 2 \quad (5)$$

$$n_2 \Phi_{av} = \{ n_{21} + n_{22} \} / 2 \quad (6)$$

## 【 0 0 4 4 】

## 【表 2】

波長	$\Delta \Phi_1$	$\Delta \Phi_2$	$\Delta \Phi_1 \times \Delta \Phi_2$	$\Delta \Phi_1 + \Delta \Phi_2$	$\Phi_{av}$
400nm	-0.1792	0.1570	-0.0281	-0.0222	1.0111
450nm	-0.1447	0.1314	-0.0190	-0.0133	1.0066
500nm	-0.1180	0.1114	-0.0132	-0.0066	1.0033
550nm	-0.0932	0.1001	-0.0093	0.0069	0.9965
600nm	-0.0758	0.0882	-0.0067	0.0124	0.9938
650nm	-0.0688	0.0699	-0.0048	0.0011	0.9995
700nm	-0.0729	0.0432	-0.0031	-0.0297	1.0149

## 【 0 0 4 5 】

回折格子の少なくとも 1 つの回折格子が面法線方向に屈折率分布を有する材料で構成され、屈折率が可視波長帯域内の任意の波長に対して、以下の式を満たすことによって、回折効率の波長特性がほぼ均一になることを見出した。

## 【 0 0 4 6 】



$$1(\quad) \times 2(\quad) < 0 \quad (7)$$

(7)式を満足することによって、第1の回折格子のベース部と第2の回折格子の頂点部による位相変化と第1の回折格子の頂点部と第2の回折格子のベース部による位相変化を相殺することができ、高い回折効率を得ることができる。(7)式を満足しないと位相変化を相殺することができないため、回折効率が低下するために好ましくない。

【0047】

(3)式の1と2の積  $1 \times 2$  が短波長ほど小さくなることによって回折効率の波長特性をほぼ均一にすることができる。この関係を満足することによって短波長側の高次光と低次光の不要光をバランスさせることができる。

【0048】

(3)式の1と2の和  $1 + 2$  が0となる波長が可視波長帯域内に少なくとも存在することによって回折効率の波長特性をほぼ均一にすることができる。この関係を満足することによって可視波長全域に対して回折効率の波長特性をほぼ均一にすることができる。

【0049】

$1 + 2$  が可視波長帯域内の任意の波長に対して、以下の式を満たすことによって波長特性の均一性と高い回折効率を得ることができる。

【0050】

$$|1(\quad) + 2(\quad)| < 0.03 \quad (8)$$

この関係を満足することによって、第1の回折格子のベース部と第2の回折格子の頂点部による位相変化と第1の回折格子の頂点部と第2の回折格子のベース部による位相変化を相殺し、高い回折効率を得ることができる。

【0051】

$1 + 2$  が可視波長帯域内の1/2以上の帯域において、短波長ほど連続して大きくなるまたは連続して小さくなることによって波長特性の均一性が向上できる。 $1 + 2$  が0の場合は屈折率分布を相殺でき、スカラー回折理論と同等の回折格子となる。

【0052】

$1 + 2$  が短波長ほど連続して大きくなるまたは連続して小さくなると、短波長ほど低次の不要光が多くなる。高次回折光の不要光は壁面部による回折現象から短波長ほど不要光は小さい。この結果、高次光と低次光の不要光をバランスさせることができるため、設計次数の回折効率の波長特性の均一性を向上させることができる。実施例では連続して小さくなっているが連続して大きくなっても同様である。

【0053】

回折光学素子の屈折率分布内の屈折率が可視波長帯域内の任意の波長に対して、以下の式を満たすことによって高い回折効率を得ることができる。

【0054】

$$0.98 < \{n1av(\quad) - n2av(\quad)\} d / m < 1.02 \quad (9)$$

ただし、 $n1av(\quad)$ 、 $n2av(\quad)$  はそれぞれ第1、第2の回折格子1、2の材料のベース部、頂点部の波長における平均屈折率である。(9)式を満たさないとスカラー回折理論から離れ、屈折率分布を相殺しても高い回折効率を得ることが困難になる。

【0055】

回折光学素子の屈折率分布のd線の屈折率差の最大が0.015以下でないと、屈折率分布の量が大きすぎてしまい、波長特性の均一性と高い回折効率を得ることが困難になるため、好ましくない。また、回折光学素子の屈折率分布のd線の屈折率差の最大が0.002以上でないとスカラー回折理論に近づき、本実施例の効果が得られなくなるため、好ましくない。

【0056】

本実施例はベース樹脂材料に微粒子を混合した材料を用いているが、屈折率を調整するために微粒子の混合比率を変化させて屈折率を調整することができる。また、紫外線で硬

10

20

30

40

50

化させる製造プロセスを変化させて各回折格子の屈折率を調整してもよい。

【0057】

特に、屈折率分布については、紫外線照射プロセスを最適化することで制御することができる。照射条件を調整すると、紫外線硬化樹脂成分が硬化していくために微粒子は紫外線照射方向側の反対方向に集まる。この結果、紫外線照射方向に対して微粒子混合比率が変化し、屈折率分布が発生する。具体的には、紫外線照射エネルギーが同じでも、紫外線照射強度を低くして照射時間を増やすことによって紫外線硬化樹脂成分が硬化する時間が長く、硬化時間がかかるため屈折率分布を大きくすることができる。

【0058】

本実施例の回折光学素子が可視波長域全域で99%以上の高い回折効率を得るためには、部分分散比  $g_F$  が通常の方法より小さな値（リニア異常分散性）を有する材料を用いることが好ましく、ITO微粒子を分散させた樹脂を用いることが好ましい。

【0059】

また、屈折率分布を有する微粒子を分散させた樹脂の屈折率の差が体積比率で0.5%以上でないと本実施例の効果が得られなくなり、5%以下でないと屈折率分布の量が大きすぎてしまい、波長特性の均一性と高い回折効率を得ることが困難になる。

【0060】

本実施例はベース樹脂材料と微粒子を混合した材料を用いているが、屈折率分布があればよいので、回折格子の材料が微粒子を分散させた樹脂に限定されることはない。

【0061】

回折格子の製造方法は適宜変更されてもよい。また、回折格子の面法線方向の屈折率分布はベース部より頂点部が大きい方が、回折効率の絶対値が大きくなる。

【0062】

記第1の回折格子1と第2の回折格子2の一方はベース部11よりも頂点部12の方が大きい屈折率分布を有し、第1の回折格子1と第2の回折格子2の他方は屈折率が一定であるかベース部11よりも頂点部12のほうが小さい前記屈折率分布を有するとする。この時、第1の回折格子1と第2の回折格子2の一方の屈折率分布の最大屈折率差の絶対値は、第1の回折格子1と第2の回折格子2の他方の最大屈折率の絶対値より大きい方が回折効率の絶対値が大きくなるため、より好ましい。これはベース部よりも頂点部が大きい屈折率分布を有する回折格子の影響を大きくすることによって、回折効率の絶対値を上げることができるためである。

【0063】

第1、第2の回折格子の面法線方向の屈折率分布は、共にベース部よりも頂点部が大きい方が、回折効率の絶対値が大きくなるため、好ましい。回折光学素子の斜入射の回折効率が低下するため、設計次数は+1次または-1次が好ましい。回折光学素子の格子壁面の回折現象の寄与が大きくなり、設計次数の回折効率が低下するため、格子ピッチは80  $\mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。また、撮影レンズに用いる場合、一般に、DOE10の格子ピッチは10mm以下である。

（比較例1）

本実施例の効果をより明らかにするために比較例1を示す。比較例1はスカラー回折理論に基づいて設計されている。第1の回折格子の材料としてフッ素アクリル系紫外線硬化樹脂にITO微粒子を均一に15%混合させた紫外線硬化樹脂、第2の回折格子の材料はアクリル系紫外線硬化樹脂に $\text{ZrO}_2$ 微粒子を均一に6%混合された紫外線硬化樹脂を用いている。表3に第1の回折格子、第2の回折格子のそれぞれの屈折率の数値を示す。なお、格子高さdは11.02  $\mu\text{m}$ 、設計次数は+1次、格子ピッチは100  $\mu\text{m}$ である。

【0064】

10

20

30

40

【表 3】

波長	第1の回折格子	第2の回折格子
	ベース部の屈折率 $n_{11}$ ＝頂点部の屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$ ＝ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-15%	ZrO <sub>2</sub> -6%
400nm	1.53346	1.56975
450nm	1.52109	1.56192
500nm	1.51095	1.55631
550nm	1.50239	1.55229
600nm	1.49488	1.54932
650nm	1.48807	1.54705
700nm	1.48172	1.54523

## 【0065】

図19は、RCWA計算を用いて入射角度0度(deg)における回折効率を評価した結果を示すグラフである。

## 【0066】

図19(a)は、設計次数+1次回折光の回折効率の波長特性を示すグラフである。横軸は波長(nm)、縦軸は回折効率(%)である。可視波長帯域に対して、壁面の振る舞いを考慮した回折効率が長波長側の方が低く、波長特性が好ましくないことがわかる。

## 【0067】

図19(b)は、波長450nm(黒丸)、550nm(黒四角)、650nm(黒三角)の-3次から+5次の低次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数(m)、縦軸は回折効率(%)である。低次の回折光は450nm~650nmでほぼ同等である。

## 【0068】

図19(c)は、波長450nm(実線)、550nm(破線)、650nm(点線)の高次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数(m)、縦軸は回折効率(%)である。-60次~-40次付近の不要回折光のピークは実施例1と同様に、450nmと比較して650nmの方が大きい。低次光はほぼ同等で高次光は長波長のほうが大きいため、設計次数の回折効率が長波長側のほうが低くなっている。

## 【0069】

このように、従来のスカラー回折理論に基づいた回折光学素子は格子壁面を考慮すると好ましくないことがわかる。

## 【実施例2】

## 【0070】

実施例2は実施例1と第1の回折格子の屈折率分布および格子ピッチが異なっている。第1の回折格子1はフッ素アクリル系紫外線硬化樹脂にITO微粒子を混合させた紫外線硬化樹脂で構成され、屈折率分布を有している。ベース部11の屈折率 $n_{11}$ はITO微粒子が14.25%混合された屈折率に相当し、頂点部12の屈折率 $n_{12}$ はITO微粒子が15.75%混合された屈折率に相当し、ベース部11から頂点部12に対して線形増加する屈折率分布を形成している。第2の回折格子2はアクリル系紫外線硬化樹脂にZrO<sub>2</sub>微粒子を均一に6%混合された紫外線硬化樹脂で構成されている。

## 【0071】

表4に第1、第2の回折格子1、2のそれぞれのベース部の屈折率、頂点部の屈折率の数値を示す。格子高さdは11.02μm、設計次数は+1次、格子ピッチは200μm

である。

【 0 0 7 2 】

【 表 4 】

波長	第1の回折格子		第2の回折格子
	ベース部の 屈折率 $n_{11}$	頂点部の 屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$ ＝ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-14.25%	ITO-15.75%	ZrO <sub>2</sub> -6%
400nm	1.52870	1.53742	1.56975
450nm	1.51680	1.52485	1.56192
500nm	1.50709	1.51452	1.55631
550nm	1.49912	1.50601	1.55229
600nm	1.49204	1.49841	1.54932
650nm	1.48518	1.49103	1.54705
700nm	1.47814	1.48341	1.54523

10

【 0 0 7 3 】

図 4 は、R C W A 計算を用いて入射角度 0 度 ( d e g ) における回折効率を評価した結果を示すグラフである。

20

【 0 0 7 4 】

図 4 ( a ) は、設計次数である + 1 次回折光の回折効率の波長特性を示すグラフである。横軸は波長 ( n m )、縦軸は回折効率 ( % ) である。可視波長帯域に対して、壁面部の振る舞いを考慮した回折効率がほぼ均一になっていることがわかる。

【 0 0 7 5 】

図 4 ( b ) は、波長 4 5 0 n m ( 黒丸 )、5 5 0 n m ( 黒四角 )、6 5 0 n m ( 黒三角 ) の - 3 次から + 5 次の低次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数 ( m )、縦軸は回折効率 ( % ) である。0 次および + 2 次の回折光が 6 5 0 n m と比較して 4 5 0 n m のほうが大きくなっている。

【 0 0 7 6 】

図 4 ( c ) は、波長 4 5 0 n m ( 実線 )、5 5 0 n m ( 破線 )、6 5 0 n m ( 点線 ) の高次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数 ( m )、縦軸は回折効率 ( % ) である。

30

【 0 0 7 7 】

図 4 ( c ) より - 1 2 0 次 ~ - 8 0 次付近の不要回折光のピークは 4 5 0 n m と比較して 6 5 0 n m のほうが大きい。格子ピッチが小さい実施例 1 および比較例 1 と比較するとピークの回折効率が低くなっている。これは格子ピッチが大きいことによって格子壁面の回折現象の寄与が全体の格子に対して小さくなっているためである。このように、格子ピッチが異なっても、高次光と低次光の不要光とのバランスをとることによって、設計次数の回折効率の波長特性がほぼ均一になっている。

40

【 0 0 7 8 】

このように格子ピッチが異なっても本発明の効果が得られる。実施例 2 の 1 および 2、 $1 \times 2$ 、 $1 + 2$ 、 $a v$  の各数値を表 5 に示す。

【 0 0 7 9 】

【表 5】

波長	$\Delta \Phi 1$	$\Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 \times \Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 + \Delta \Phi 2$	$\Phi_{av}$
400nm	-0.1310	0.1091	-0.0143	-0.0219	1.0110
450nm	-0.1051	0.0921	-0.0097	-0.0130	1.0065
500nm	-0.0851	0.0788	-0.0067	-0.0064	1.0032
550nm	-0.0655	0.0726	-0.0048	0.0071	0.9965
600nm	-0.0523	0.0648	-0.0034	0.0125	0.9938
650nm	-0.0490	0.0501	-0.0025	0.0011	0.9994
700nm	-0.0563	0.0266	-0.0015	-0.0297	1.0148

10

## 【0080】

実施例 2 においても実施例 1 で示した関係を満たしている。

## (比較例 2)

本実施例の効果をより明らかにするために比較例 2 を示す。比較例 2 は格子ピッチが実施例 2 と同じでスカラー回折理論に基づいて設計されている。スカラー回折理論は格子ピッチに依存しない。比較例 2 の屈折率は比較例 1 の表 3 と同じである。なお、格子高さ  $d$  は  $11.02 \mu\text{m}$ 、設計次数は +1 次、格子ピッチは  $200 \mu\text{m}$  である。

## 【0081】

図 20 は、RCWA 計算を用いて入射角度 0 度 (deg) における回折効率を評価した結果を示すグラフである。

20

## 【0082】

図 20 (a) は、設計次数 +1 次回折光の回折効率の波長特性を示すグラフである。横軸は波長 (nm)、縦軸は回折効率 (%) である。可視波長帯域に対して、壁面の振る舞いを考慮した回折効率が長波長側の方が低く、波長特性が好ましくないことがわかる。

## 【0083】

図 20 (b) は、波長 450 nm (黒丸)、550 nm (黒四角)、650 nm (黒三角) の -3 次から +5 次の低次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数 (m)、縦軸は回折効率 (%) である。低次の回折光は 450 nm ~ 650 nm でほぼ同等である。

30

## 【0084】

図 20 (c) は、波長 450 nm (実線)、550 nm (破線)、650 nm (点線) の高次回折光の回折効率で、回折効率の低い部分を拡大して示すグラフである。横軸は回折次数 (m)、縦軸は回折効率 (%) である。-120 次 ~ -80 次付近の不要回折光のピークは比較例 1 と同様に、450 nm と比較して 650 nm の方が大きい。格子ピッチが小さい比較例 1 と比較するとピークの回折効率が低くなっている。これは格子ピッチが大きいことによって格子壁面の回折現象の寄与が全体の格子に対して小さくなっているためである。格子ピッチが異なっても比較例 1 と同様に、低次光はほぼ同等で高次光は長波長のほうが大きいため、設計次数の回折効率が長波長側のほうが低くなっている。

## 【0085】

このように、格子ピッチが異なっても従来のスカラー回折理論に基づいた回折光学素子は格子壁面を考慮すると好ましくないことがわかる。

40

## 【実施例 3】

## 【0086】

実施例 3 は、第 1 の回折格子の屈折率分布の方向が実施例 1、2 と異なっている。図 5 は、図 1 の A - A 線に沿った実施例 3 の DOE 10 の部分拡大断面図である。

## 【0087】

図 5 に示すように、本実施例の第 1 の回折格子 1 はフッ素アクリル系紫外線硬化樹脂に ITO 微粒子を混合させた紫外線硬化樹脂で構成され、屈折率分布を有している。ベース部 11 の屈折率  $n_{11}$  は ITO 微粒子が 15.75 % 混合された屈折率に相当し、頂点部

50

12の屈折率 $n_{12}$ はITO微粒子が14.25%混合された屈折率に相当し、ベース部11から頂点部12に対して単調に減少する屈折率分布を形成している。本実施例の第2の回折格子2はアクリル系紫外線硬化樹脂に $ZrO_2$ 微粒子を均一に6%混合された紫外線硬化樹脂で構成されている。

【0088】

表6に第1、第2の回折格子1、2のそれぞれのベース部の屈折率、頂点部の屈折率の数値を示す。格子高さ $d$ は11.02 $\mu m$ 、設計次数は+1次、格子ピッチは100 $\mu m$ である。

【0089】

【表6】

波長	第1の回折格子		第2の回折格子
	ベース部の屈折率 $n_{11}$	頂点部の屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$ = ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-15.75%	ITO-14.25%	$ZrO_2$ -6%
400nm	1.53742	1.52870	1.56975
450nm	1.52485	1.51680	1.56192
500nm	1.51452	1.50709	1.55631
550nm	1.50601	1.49912	1.55229
600nm	1.49841	1.49204	1.54932
650nm	1.49103	1.48518	1.54705
700nm	1.48341	1.47814	1.54523

【0090】

図6は、RCWA計算を用いて入射角度0度(deg)における回折効率を評価した結果を示すグラフであり、図3、4と対応している。実施例1、2と同様に、高次光と低次光の不要光とのバランスをとることによって設計次数の回折効率の波長特性がほぼ均一になっている。回折格子の屈折率分布の方向が実施例1、2と逆であっても本発明の効果が得られることがわかる。

【0091】

実施例3の $\Delta\phi_1$ および $\Delta\phi_2$ 、 $\Delta\phi_1 \times \Delta\phi_2$ 、 $\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2$ 、 $\phi_{av}$ の各数値を表7に示す。

【0092】

【表7】

波長	$\Delta\phi_1$	$\Delta\phi_2$	$\Delta\phi_1 \times \Delta\phi_2$	$\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2$	$\phi_{av}$
400nm	0.1091	-0.1310	-0.0143	-0.0219	1.0110
450nm	0.0921	-0.1051	-0.0097	-0.0130	1.0065
500nm	0.0788	-0.0851	-0.0067	-0.0064	1.0032
550nm	0.0726	-0.0655	-0.0048	0.0071	0.9965
600nm	0.0648	-0.0523	-0.0034	0.0125	0.9938
650nm	0.0501	-0.0490	-0.0025	0.0011	0.9994
700nm	0.0266	-0.0563	-0.0015	-0.0297	1.0148

【0093】

実施例3においても実施例1で示した関係を満たしている。

【実施例4】

【0094】

実施例 4 は、第 1 の回折格子の屈折率分布が線形ではない点で実施例 1、2 と異なっている。図 7 は、図 1 の A - A 線に沿った実施例 4 の DOE 10 の部分拡大断面図である。

【 0 0 9 5 】

図 7 に示すように、本実施例の第 1 の回折格子 1 はフッ素アクリル系紫外線硬化樹脂に ITO 微粒子を混合させた紫外線硬化樹脂で構成され、屈折率分布を有している。ベース部 11 の屈折率  $n_{11}$  は ITO 微粒子が 14.40% 混合された屈折率に相当し、頂点部 12 の屈折率  $n_{12}$  は ITO 微粒子が 15.60% 混合された屈折率に相当する。そして、ベース部 11 から頂点部 12 に対して図 7 の左下のグラフに示すように、上に凸の形状に増加する屈折率分布を形成している。本実施例の第 2 の回折格子 2 はアクリル系紫外線硬化樹脂に  $ZrO_2$  微粒子を均一に 6% 混合された紫外線硬化樹脂で構成されている。

【 0 0 9 6 】

表 8 に第 1、第 2 の回折格子 1、2 のそれぞれのベース部の屈折率、頂点部の屈折率の数値を示す。なお、格子高さ  $d$  は  $11.02 \mu m$ 、設計次数は +1 次、格子ピッチは  $100 \mu m$  である。

【 0 0 9 7 】

【 表 8 】

波長	第1の回折格子		第2の回折格子
	ベース部の 屈折率 $n_{11}$	頂点部の 屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$ ＝ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-14.4%	ITO-15.6%	$ZrO_2$ -6%
400nm	1.52958	1.53655	1.56975
450nm	1.51761	1.52405	1.56192
500nm	1.50783	1.51378	1.55631
550nm	1.49981	1.50532	1.55229
600nm	1.49267	1.49778	1.54932
650nm	1.48577	1.49044	1.54705
700nm	1.47867	1.48288	1.54523

【 0 0 9 8 】

図 8 は、RCWA 計算を用いて入射角度 0 度 (deg) における回折効率を評価した結果を示すグラフであり、図 3、4 と対応している。実施例 1～3 と同様に、高次光と低次光の不要光とのバランスをとることによって、設計次数の回折効率の波長特性がほぼ均一になっている。回折格子の屈折率分布が実施例 1～3 ように線形でなくても、本発明の効果が得られることがわかる。

【 0 0 9 9 】

実施例 4 の 1 および 2、 $1 \times 2$ 、 $1 + 2$ 、 $a \vee$  の各数値を表 9 に示す。

【 0 1 0 0 】

10

20

30

40

【表 9】

波長	$\Delta \Phi 1$	$\Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 \times \Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 + \Delta \Phi 2$	$\Phi_{av}$
400nm	-0.1070	0.0852	-0.0091	-0.0218	1.0109
450nm	-0.0854	0.0724	-0.0062	-0.0129	1.0065
500nm	-0.0687	0.0624	-0.0043	-0.0063	1.0032
550nm	-0.0517	0.0588	-0.0030	0.0071	0.9964
600nm	-0.0406	0.0531	-0.0022	0.0125	0.9937
650nm	-0.0390	0.0402	-0.0016	0.0012	0.9994
700nm	-0.0480	0.0183	-0.0009	-0.0296	1.0148

10

## 【0101】

実施例 4 においても実施例 1 で示した関係を満たしている。

## 【実施例 5】

## 【0102】

実施例 5 は、第 1 の回折格子と第 2 の回折格子がともに屈折率分布を有する実施例である。図 9 は、図 1 の A - A 線に沿った実施例 5 の DOE 10 の部分拡大断面図である。

## 【0103】

図 9 に示すように、本実施例の第 1 の回折格子 1 はフッ素アクリル系紫外線硬化樹脂に ITO 微粒子を混合させた紫外線硬化樹脂で構成され、屈折率分布を有している。ベース部 11 の屈折率  $n_{11}$  は ITO 微粒子が 14.40% 混合された屈折率に相当し、頂点部 12 の屈折率  $n_{12}$  は ITO 微粒子が 15.60% 混合された屈折率に相当し、ベース部 11 から頂点部 12 に対して線形に増加する屈折率分布を形成している。

20

## 【0104】

本実施例の第 2 の回折格子 2 はアクリル系紫外線硬化樹脂に  $ZrO_2$  微粒子を混合させた紫外線硬化樹脂で構成され、屈折率分布を有している。頂点部 22 の屈折率  $n_{22}$  は  $ZrO_2$  微粒子が 6.3% 混合された屈折率に相当し、ベース部 21 の屈折率  $n_{21}$  は  $ZrO_2$  微粒子が 5.7% 混合された屈折率に相当し、頂点部 22 からベース部 21 に対して線形に減少する屈折率分布を形成している。

## 【0105】

表 10 に第 1、第 2 の回折格子 1、2 のそれぞれのベース部の屈折率、頂点部の屈折率の数値を示す。格子高さ  $d$  は  $11.02 \mu m$ 、設計次数は +1 次、格子ピッチは  $100 \mu m$  である。

30

## 【0106】

## 【表 10】

波長	第1の回折格子		第2の回折格子	
	ベース部の屈折率 $n_{11}$	頂点部の屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$	ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-14.4%	ITO-15.6%	$ZrO_2$ -6.3%	$ZrO_2$ -5.7%
400nm	1.52870	1.53742	1.57109	1.56841
450nm	1.51680	1.52485	1.56324	1.56060
500nm	1.50709	1.51452	1.55761	1.55501
550nm	1.49912	1.50601	1.55358	1.55100
600nm	1.49204	1.49841	1.55060	1.54804
650nm	1.48518	1.49103	1.54832	1.54577
700nm	1.47814	1.48341	1.54649	1.54396

40

## 【0107】

50



図10は、RCWA計算を用いて入射角度0度(deg)における回折効率を評価した結果を示すグラフであり、図3、4と対応している。実施例1～4と同様に、高次光と低次光の不要光とのバランスをとることによって設計次数の回折効率の波長特性がほぼ均一になっている。実施例1～4のように片方の回折格子だけでなく、両方の回折格子が屈折率分布を有していても、本発明の効果が得られることがわかる。

【0108】

実施例5の 1 および 2、 1 × 2、 1 + 2、  $\phi_{av}$  の各数値を表11に示す。

【0109】

【表11】

波長	$\Delta\phi_1$	$\Delta\phi_2$	$\Delta\phi_1 \times \Delta\phi_2$	$\Delta\phi_1 + \Delta\phi_2$	$\phi_{av}$
400nm	-0.1680	0.1461	-0.0245	-0.0219	1.0109
450nm	-0.1375	0.1245	-0.0171	-0.0130	1.0065
500nm	-0.1138	0.1075	-0.0122	-0.0064	1.0032
550nm	-0.0913	0.0984	-0.0090	0.0071	0.9965
600nm	-0.0758	0.0883	-0.0067	0.0125	0.9937
650nm	-0.0705	0.0717	-0.0051	0.0012	0.9994
700nm	-0.0762	0.0465	-0.0035	-0.0296	1.0148

【0110】

実施例5においても実施例1で示した関係を満たしている。

【実施例6】

【0111】

実施例6は、第1の回折格子の屈折率分布の方向が実施例5と異なっている。図11は、図1のA-A線に沿った実施例6のDOE10の部分拡大断面図である。表12にそれぞれの屈折率、図12にRCWA計算による評価結果、表13に 1 および 2、 1 × 2、 1 + 2、  $\phi_{av}$  の各数値を示す。

【0112】

【表12】

波長	第1の回折格子		第2の回折格子	
	ベース部の屈折率 $n_{11}$	頂点部の屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$	ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-16.05%	ITO-13.95%	ZrO <sub>2</sub> -6.3%	ZrO <sub>2</sub> -5.7%
400nm	1.53916	1.52696	1.57109	1.56841
450nm	1.52646	1.51519	1.56324	1.56060
500nm	1.51600	1.50560	1.55761	1.55501
550nm	1.50739	1.49774	1.55358	1.55100
600nm	1.49968	1.49076	1.55060	1.54804
650nm	1.49219	1.48401	1.54832	1.54577
700nm	1.48446	1.47709	1.54649	1.54396

【0113】

【表 1 3】

波長	$\Delta \Phi 1$	$\Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 \times \Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 + \Delta \Phi 2$	$\Phi_{av}$
400nm	0.1201	-0.1423	-0.0171	-0.0222	1.0111
450nm	0.0990	-0.1123	-0.0111	-0.0133	1.0066
500nm	0.0828	-0.0893	-0.0074	-0.0065	1.0033
550nm	0.0744	-0.0674	-0.0050	0.0069	0.9965
600nm	0.0647	-0.0523	-0.0034	0.0124	0.9938
650nm	0.0483	-0.0473	-0.0023	0.0011	0.9995
700nm	0.0233	-0.0530	-0.0012	-0.0297	1.0149

10

## 【実施例 7】

## 【0 1 1 4】

実施例 7 は、第 1 の回折格子の屈折率分布の方向が実施例 5、6 と異なっている。図 1 3 は、図 1 の A - A 線に沿った実施例 7 の D O E 1 0 の部分拡大断面図である。表 1 4 にそれぞれの屈折率、図 1 4 に R C W A 計算による評価結果、表 1 5 に  $\Delta \Phi 1$  および  $\Delta \Phi 2$ 、 $\Delta \Phi 1 \times \Delta \Phi 2$ 、 $\Delta \Phi 1 + \Delta \Phi 2$ 、 $\Phi_{av}$  の各数値を示す。

## 【0 1 1 5】

## 【表 1 4】

20

波長	第1の回折格子		第2の回折格子	
	ベース部の 屈折率 $n_{11}$	頂点部の 屈折率 $n_{12}$	頂点部の 屈折率 $n_{22}$	ベース部の 屈折率 $n_{21}$
	ITO-13.8%	ITO-16.2%	ZrO <sub>2</sub> -5.7%	ZrO <sub>2</sub> -6.3%
400nm	1.52608	1.54003	1.56841	1.57109
450nm	1.51438	1.52726	1.56060	1.56324
500nm	1.50485	1.51675	1.55501	1.55761
550nm	1.49705	1.50807	1.55100	1.55358
600nm	1.49012	1.50032	1.54804	1.55060
650nm	1.48343	1.49278	1.54577	1.54832
700nm	1.47656	1.48498	1.54396	1.54649

30

## 【0 1 1 6】

## 【表 1 5】

波長	$\Delta \Phi 1$	$\Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 \times \Delta \Phi 2$	$\Delta \Phi 1 + \Delta \Phi 2$	$\Phi_{av}$
400nm	-0.1664	0.1440	-0.0240	-0.0224	1.0112
450nm	-0.1321	0.1187	-0.0157	-0.0134	1.0067
500nm	-0.1058	0.0991	-0.0105	-0.0067	1.0033
550nm	-0.0813	0.0881	-0.0072	0.0068	0.9966
600nm	-0.0641	0.0764	-0.0049	0.0123	0.9938
650nm	-0.0572	0.0582	-0.0033	0.0010	0.9995
700nm	-0.0613	0.0316	-0.0019	-0.0298	1.0149

40

## 【実施例 8】

## 【0 1 1 7】

実施例 8 は、第 1 の回折格子の屈折率分布の方向が実施例 5 ~ 7 と異なっている。図 1 5 は、図 1 の A - A 線に沿った実施例 8 の D O E 1 0 の部分拡大断面図である。表 1 6

50

にそれぞれの屈折率、図 16 に R C W A 計算による評価結果、表 17 に 1 および 2、 $1 \times 2$ 、 $1 + 2$ 、 $\phi_{av}$  の各数値を示す。

【0118】

【表 16】

波長	第1の回折格子		第2の回折格子	
	ベース部の屈折率 $n_{11}$	頂点部の屈折率 $n_{12}$	頂点部の屈折率 $n_{22}$	ベース部の屈折率 $n_{21}$
	ITO-15.6%	ITO-14.4%	ZrO <sub>2</sub> -5.7%	ZrO <sub>2</sub> -6.3%
400nm	1.53655	1.52958	1.56841	1.57109
450nm	1.52405	1.51761	1.56060	1.56324
500nm	1.51378	1.50783	1.55501	1.55761
550nm	1.50532	1.49981	1.55100	1.55358
600nm	1.49778	1.49267	1.54804	1.55060
650nm	1.49044	1.48577	1.54577	1.54832
700nm	1.48288	1.47867	1.54396	1.54649

10

【0119】

【表 17】

波長	$\Delta \phi_1$	$\Delta \phi_2$	$\Delta \phi_1 \times \Delta \phi_2$	$\Delta \phi_1 + \Delta \phi_2$	$\phi_{av}$
400nm	0.1221	-0.1439	-0.0176	-0.0217	1.0109
450nm	0.1048	-0.1177	-0.0123	-0.0129	1.0065
500nm	0.0911	-0.0974	-0.0089	-0.0063	1.0031
550nm	0.0846	-0.0775	-0.0066	0.0071	0.9964
600nm	0.0766	-0.0641	-0.0049	0.0126	0.9937
650nm	0.0618	-0.0606	-0.0037	0.0012	0.9994
700nm	0.0382	-0.0679	-0.0026	-0.0296	1.0148

20

【0120】

30

このように、第1の回折格子と第2の回折格子の屈折率分布の方向の大小関係の組み合わせがいずれの場合においても、本発明の効果が得られることがわかる。

【0121】

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。

【産業上の利用可能性】

【0122】

回折光学素子は回折作用を必要とする光学機器に適用することができる。

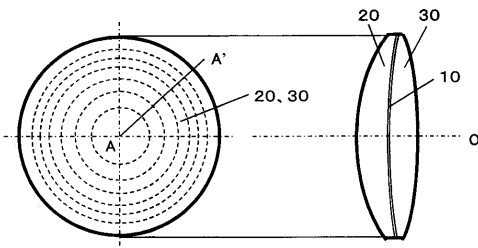
【符号の説明】

【0123】

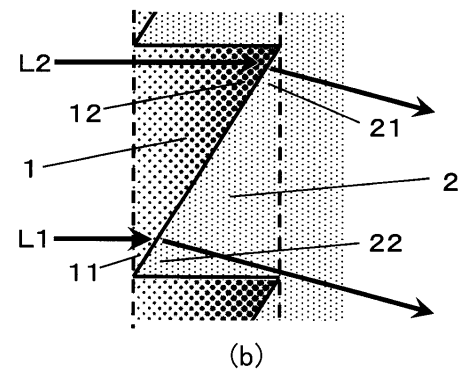
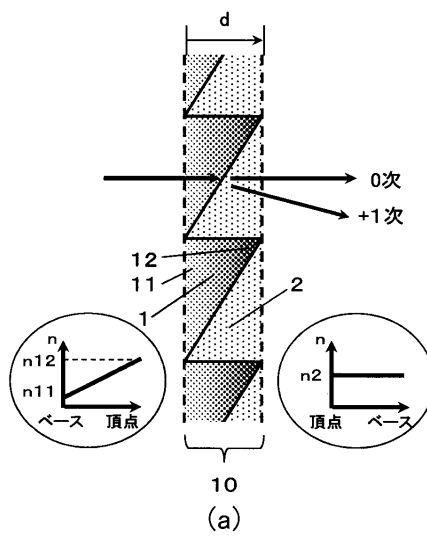
40

1 ... 第1の回折格子、2 ... 第2の回折格子、10 ... 回折光学素子、11 ... ベース部、12 ... 頂点部

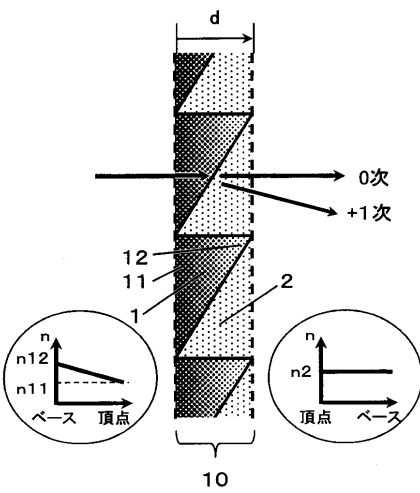
【図 1】



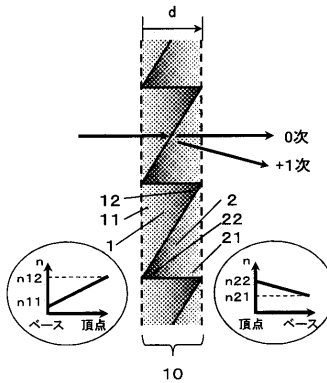
【図 2】



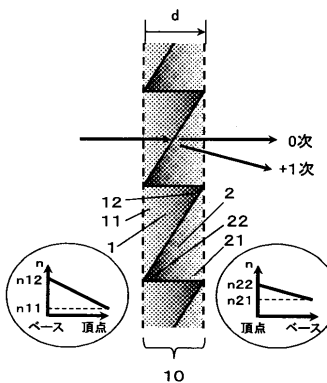
【図 5】



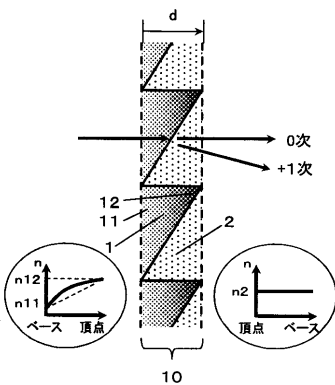
【図 9】



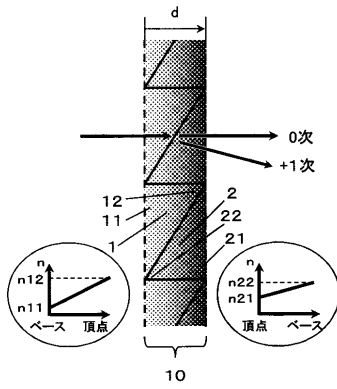
【図 11】



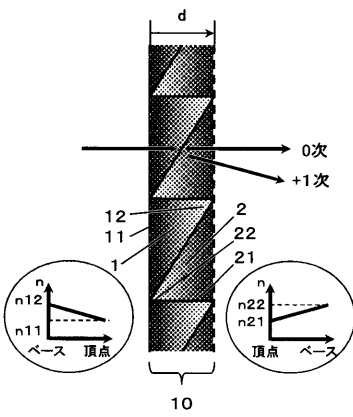
【図 7】



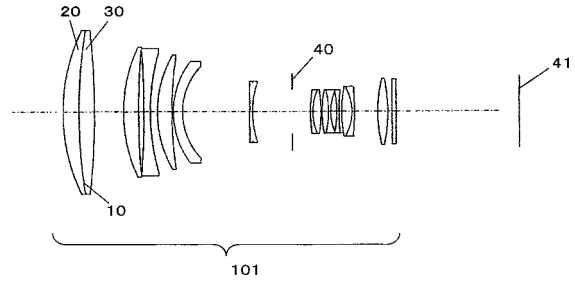
【図 13】



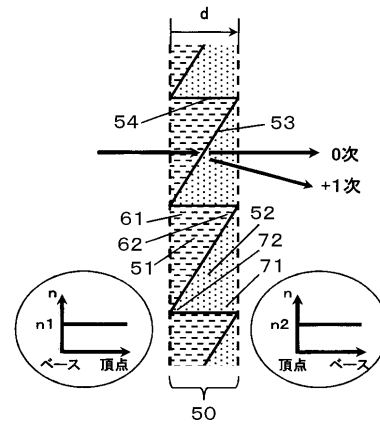
【図 15】



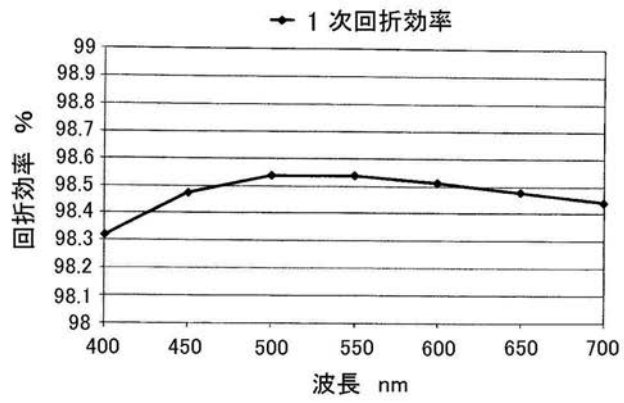
【図 17】



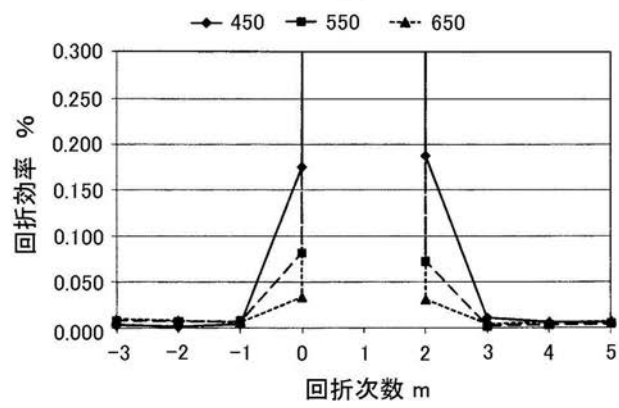
【図 18】



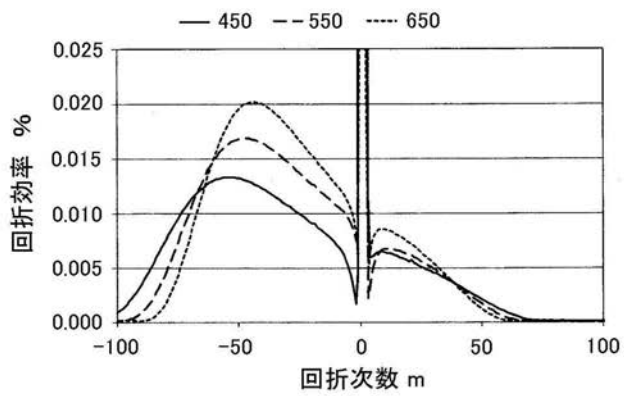
【 図 3 】



(a)

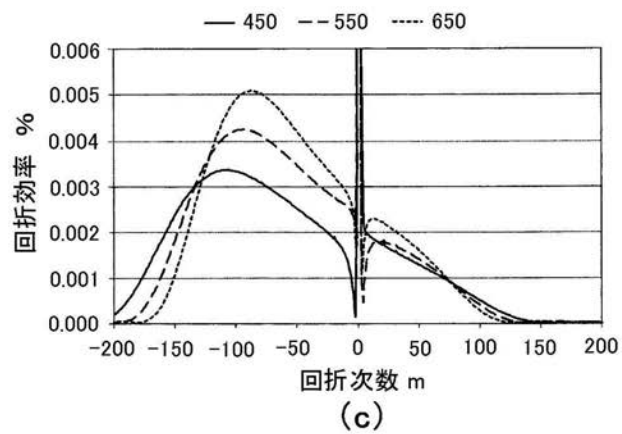
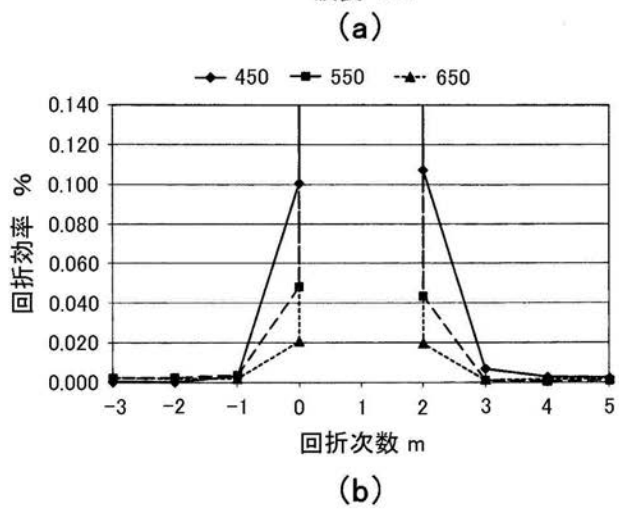
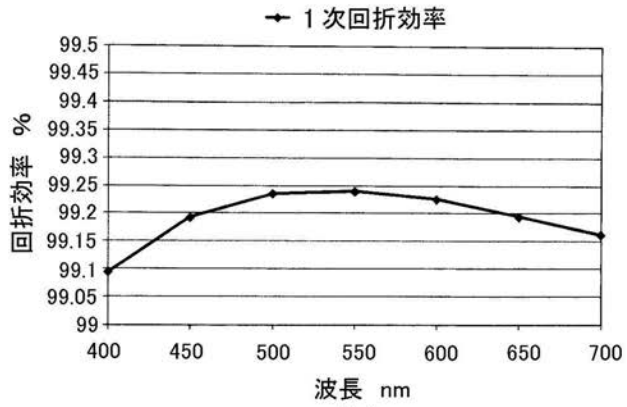


(b)

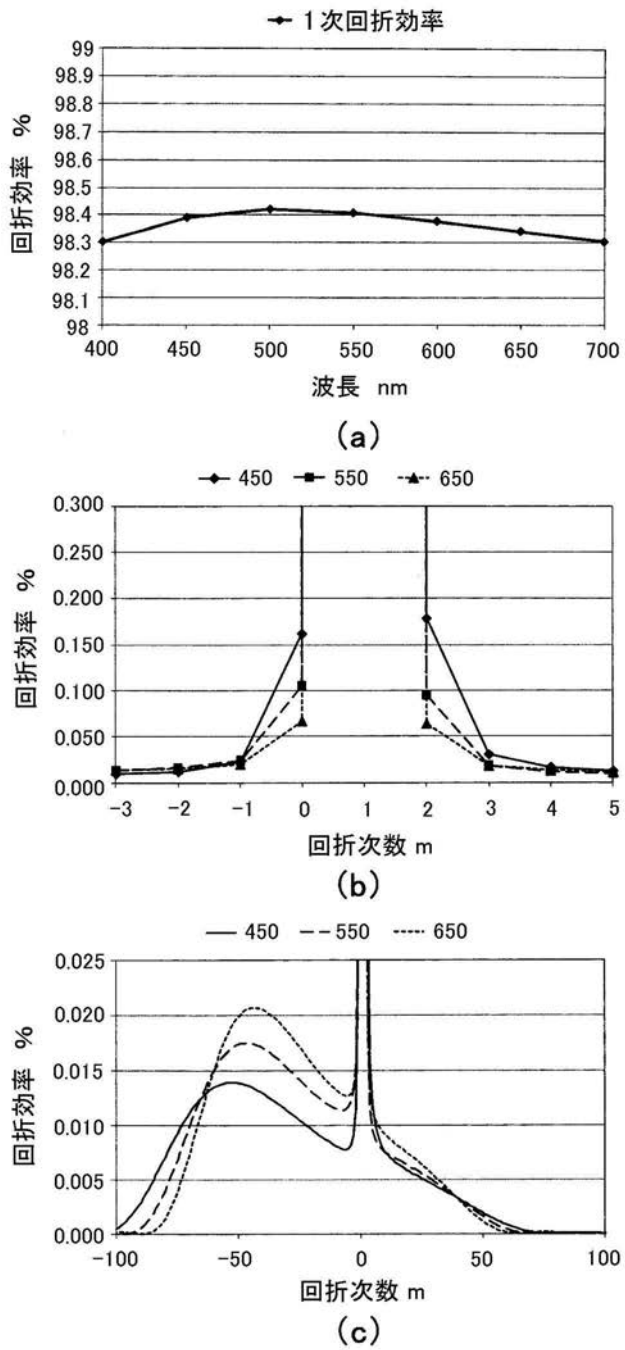


(c)

【 図 4 】

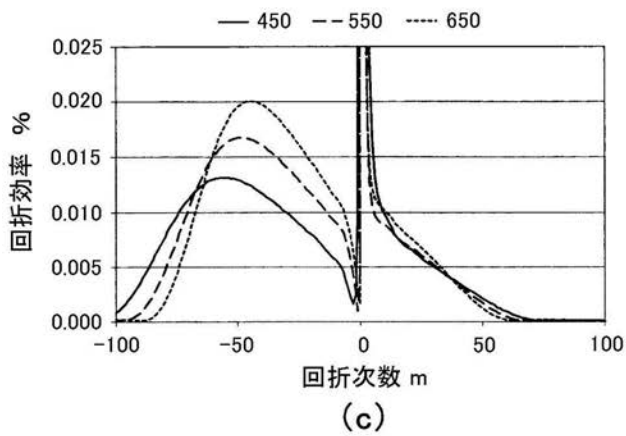
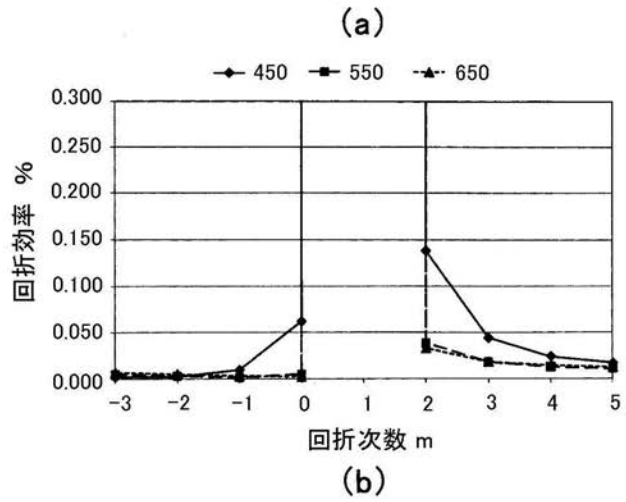
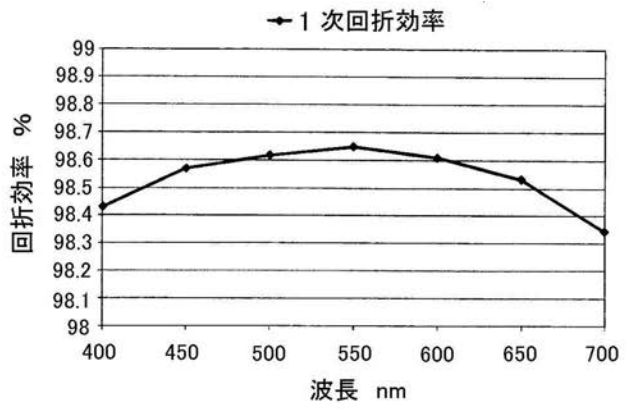


【 図 6 】

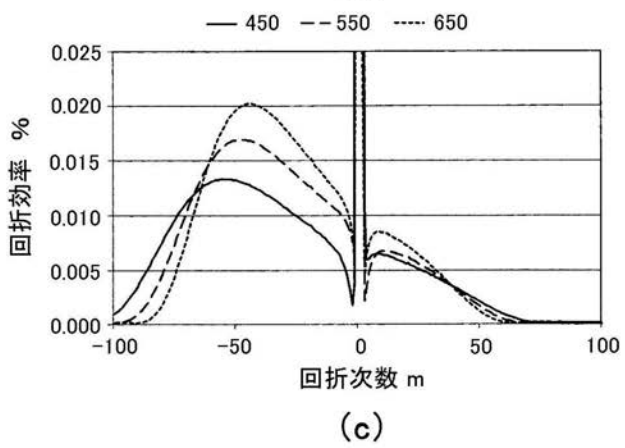
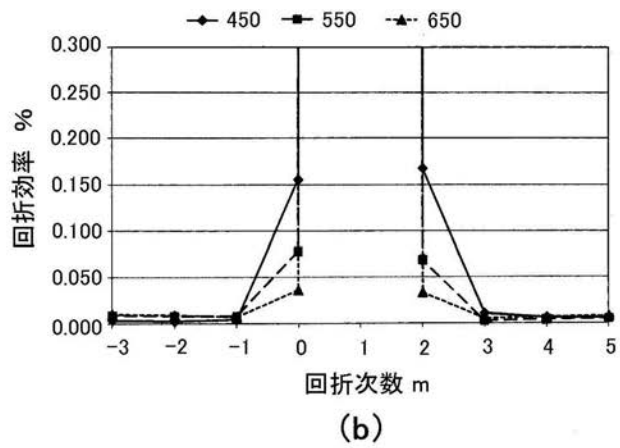
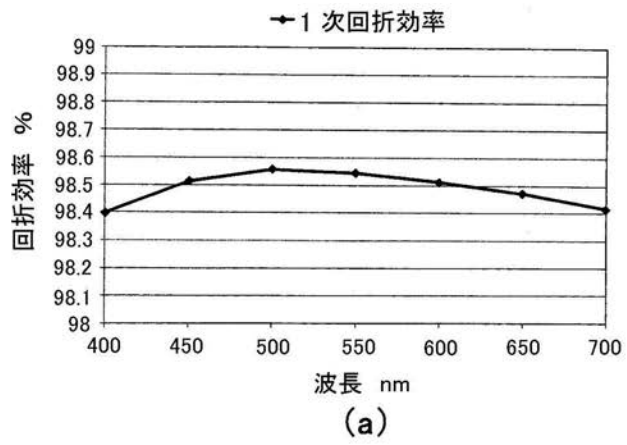




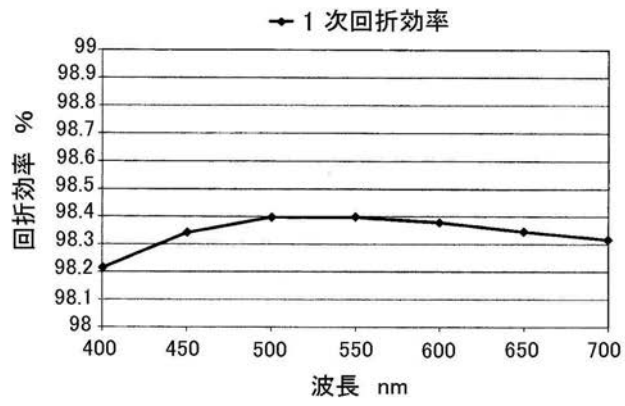
【 図 8 】



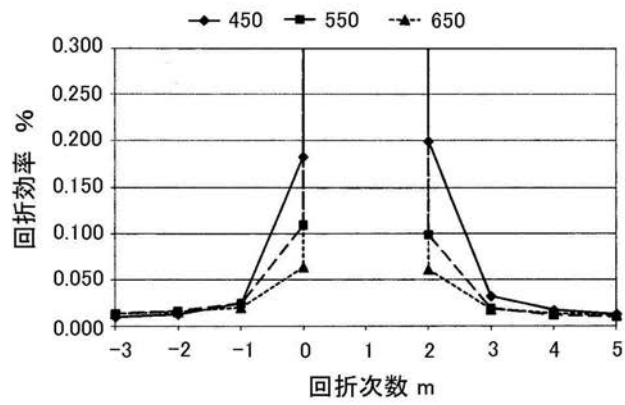
【図 10】



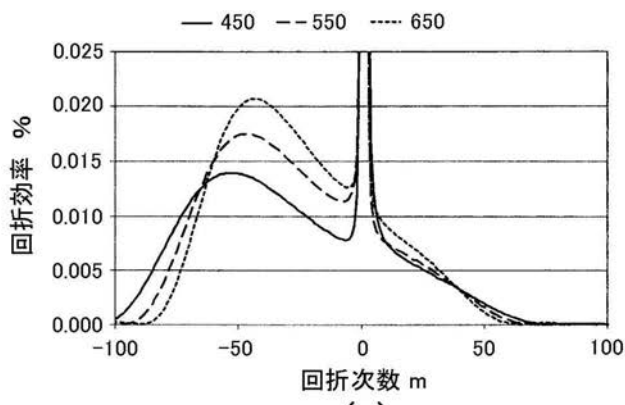
【 図 1 2 】



(a)

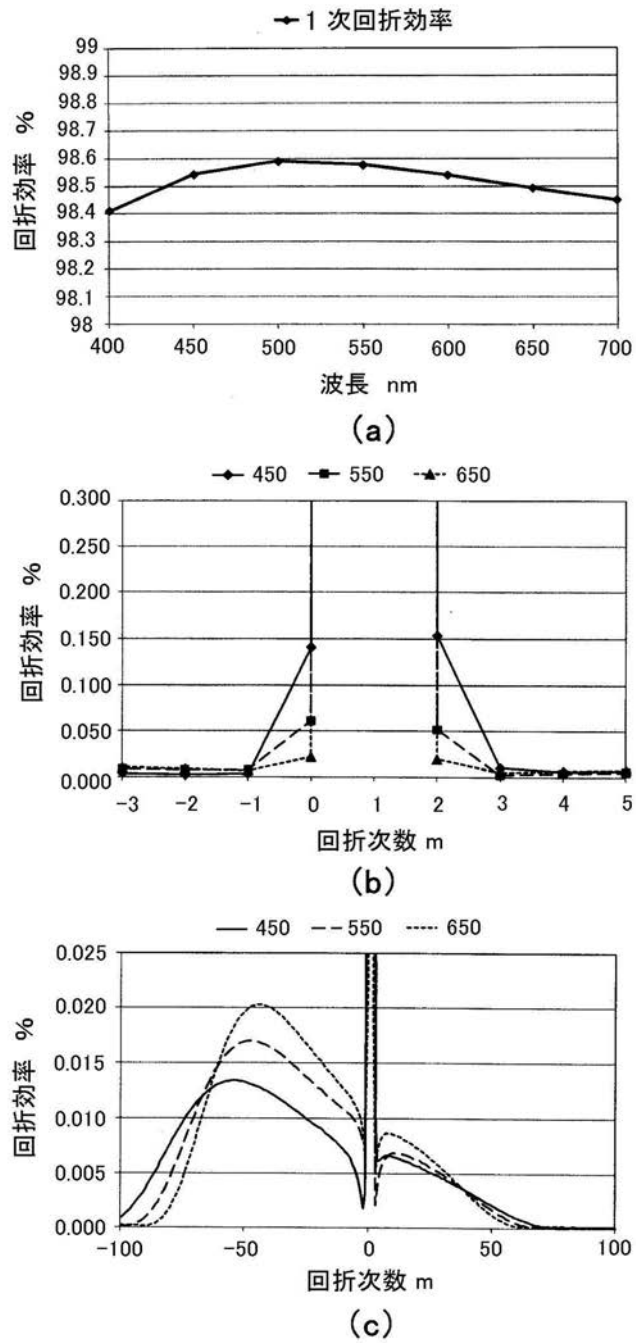


(b)

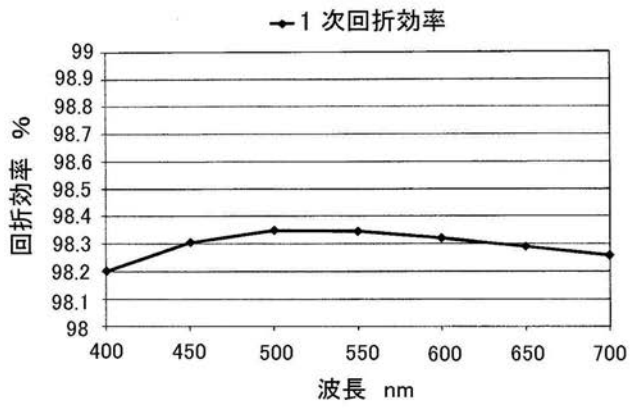


(c)

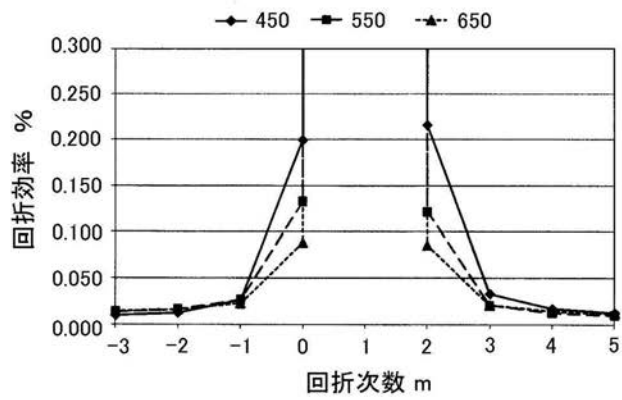
【図 1 4】



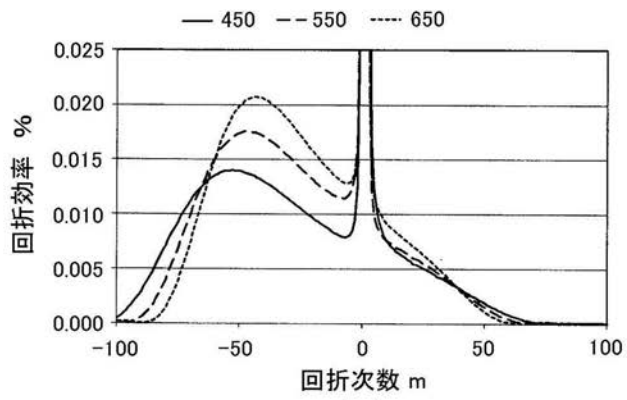
【図 16】



(a)

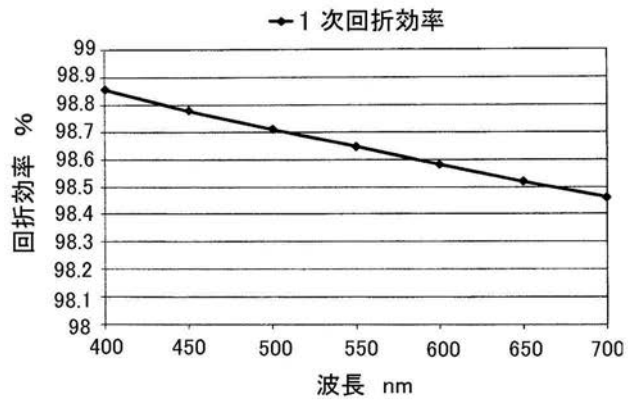


(b)

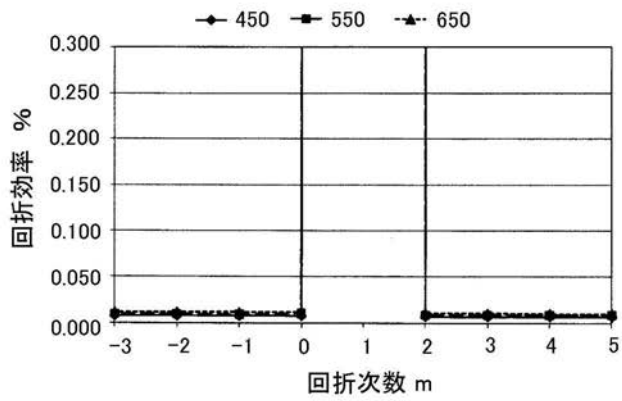


(c)

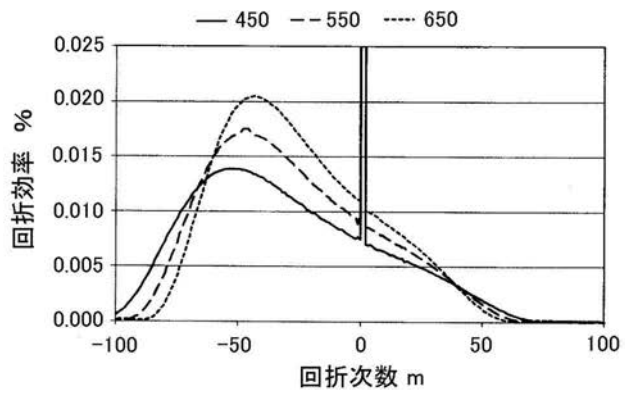
【図 19】



(a)

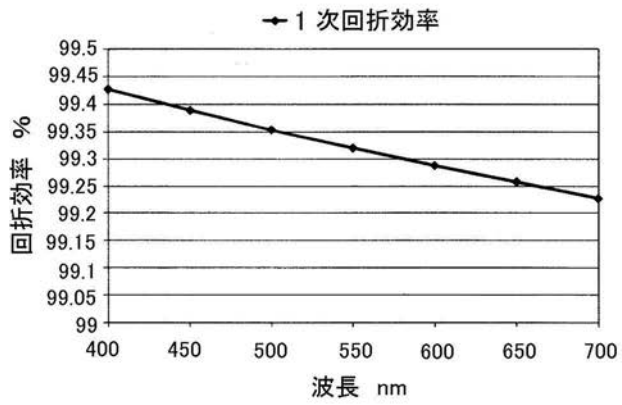


(b)

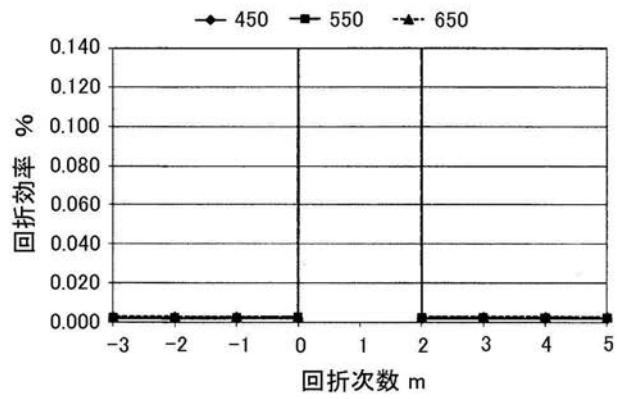


(c)

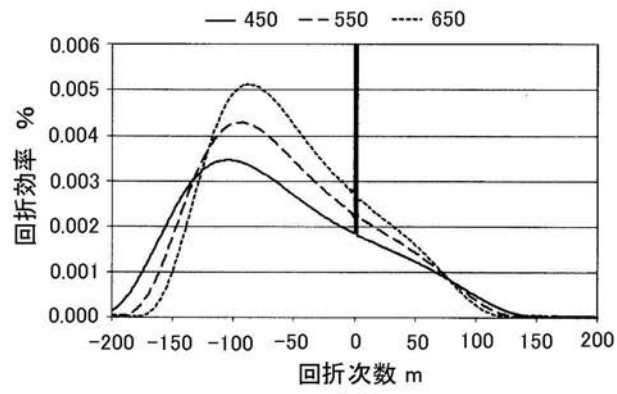
【図 20】



(a)



(b)



(c)

---

フロントページの続き

F ターム(参考) 2H087 KA01 LA02 PA11 PA16 PB15 QA02 QA07 QA12 QA21 QA25  
QA34 QA42 QA45 RA01 RA12 RA23 RA32 RA42 RA46 UA01  
2H249 AA04 AA14 AA43 AA44 AA51 AA55 AA63 AA65