

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6893083号
(P6893083)

(45) 発行日 令和3年6月23日 (2021. 6. 23)

(24) 登録日 令和3年6月2日 (2021. 6. 2)

(51) Int. Cl.	F I
G O 2 B 5/18 (2006. 01)	G O 2 B 5/18
G O 2 B 3/00 (2006. 01)	G O 2 B 3/00 Z
G O 2 B 1/00 (2006. 01)	G O 2 B 1/00
C O 3 C 3/32 (2006. 01)	C O 3 C 3/32

請求項の数 9 (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2016-203547 (P2016-203547)	(73) 特許権者	000133227
(22) 出願日	平成28年10月17日 (2016. 10. 17)		株式会社タムロン
(65) 公開番号	特開2017-90904 (P2017-90904A)		埼玉県さいたま市見沼区蓮沼 1 3 8 5 番地
(43) 公開日	平成29年5月25日 (2017. 5. 25)	(74) 代理人	100124327
審査請求日	平成30年12月19日 (2018. 12. 19)		弁理士 吉村 勝博
(31) 優先権主張番号	特願2015-219103 (P2015-219103)	(72) 発明者	小森 一範
(32) 優先日	平成27年11月9日 (2015. 11. 9)		埼玉県さいたま市見沼区蓮沼 1 3 8 5 番地
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		株式会社タムロン内

前置審査

審査官 植野 孝郎

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 密着積層型回折光学素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

下記式 (1) 及び下記式 (2) を満足する第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層及び第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層が密着積層され、

その密着面に下記式 (i) で規定される回折格子構造を有し、

前記第一のカルコゲナイドガラス材の組成が、

G e 及び G a のうちいずれか 1 種以上 : 2 m o l % 以上 2 5 m o l % 以下、

S b 及び B i のうちいずれか 1 種以上 : 6 m o l % 以上 3 8 m o l % 以下、

S n 及び Z n のうちいずれか 1 種以上 : 1 m o l % 以上 2 5 m o l % 以下、及び、

S、S e 及び T e のうちいずれか 1 種以上 : 5 8 m o l % 以上 8 0 m o l % 以下であり 10

、

前記第二のカルコゲナイドガラス材の組成が、

S e : 2 2 m o l % 以上 7 3 m o l % 以下、及び

A s : 3 m o l % 以上 5 0 m o l % 以下であることを特徴とする密着積層型回折光学素子。

$$n_1 < n_2 \quad \cdots (1)$$

$$v_1 < v_2 \quad \cdots (2)$$

$$\Phi(r) = (\varphi_2 r^2 + \varphi_4 r^4 + \varphi_6 r^6 + \cdots) \times m / \lambda \quad \cdots (i)$$

但し、

n₁ は、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_T の光線に対する屈折率であり、

20

n_2 は、第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、
 v_1 は、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、
 v_2 は、第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、
 $\phi(r)$ は、位相差関数であり、
 r は、径方向における光軸からの長さであり、
 ϕ_2 、 ϕ_4 、 $\phi_6 \cdots$ は、任意の係数であり、
 m は、回折次数であり、
 λ_I は、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長であり、
 λ は、設計波長であり、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長である。

【請求項 2】

10

前記第一のカルコゲナイドガラス材と前記第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス転移点温度差が 10 以上である請求項 1 に記載の密着積層型回折光学素子。

【請求項 3】

前記第一のカルコゲナイドガラス材と前記第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス屈伏点温度差が 10 以上である請求項 1 又は請求項 2 に記載の密着積層型回折光学素子。

【請求項 4】

前記第一のカルコゲナイドガラス材と前記第二のカルコゲナイドガラス材との熱膨張係数差が $100 \times 10^{-7} /$ 以内である請求項 1 から請求項 3 のいずれか一項に記載の密着積層型回折光学素子。

【請求項 5】

20

回折段差高さが 0.01 mm 以上 1.50 mm 以下である請求項 1 から請求項 4 のいずれか一項に記載の密着積層型回折光学素子。

【請求項 6】

前記第一のカルコゲナイドガラス材及び前記第二のカルコゲナイドガラス材は、それぞれ下記式 (3) を満足するカルコゲナイドガラス材である請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の密着積層型回折光学素子。

$$-0.025\alpha + 2.6 < \alpha(n-1)/v + n < -0.028\alpha + 2.9 \cdots (3)$$

但し、

n は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、

30

$2.50 < n < 3.00$ であり、

v は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、

$20 < v < 600$ であり、

α は、 $-1.5 > \alpha > -5.0$ を満足する任意の数値である。

【請求項 7】

前記第二のカルコゲナイドガラス材が、Ge、Te、Sb 及び Sn のうち少なくともいずれか 1 種以上を $20 \text{ mol } \%$ 以下含む請求項 1 に記載の密着積層型回折光学素子。

【請求項 8】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の密着積層型回折光学素子を含むことを特徴とする赤外線光学系。

40

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 7 のいずれか一項に記載の密着積層型回折光学素子を含む赤外線光学系を備え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】

本件発明は、密着積層型回折光学素子に関し、特に、赤外線光学系用の密着積層型回折光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

50

従来より、監視や人体認証等の他、医学や工業分野において被写体の熱分布解析等の種々の用途で赤外線光学系が用いられている。赤外線光学系は、一般に、ゲルマニウム等の赤外線に対する屈折率の高い赤外線透過レンズにより構成される（例えば、「特許文献 1」参照）。

【0003】

赤外線光学系を構成する赤外線透過レンズ用の硝材は、可視光レンズ用の硝材に比べて種類が少ない。例えば、ゲルマニウム（Ge）、カルコゲナイドガラス、硫化亜鉛（ZnS）、セレン化亜鉛（ZnSe）等が赤外線透過レンズ用の硝材として知られている。ゲルマニウムは低分散な材料であるが高価である。このため、赤外線透過レンズ用の硝材として比較的安価なカルコゲナイドガラス、硫化亜鉛、或いはセレン化亜鉛が用いられることが多い。

10

【0004】

近年、可視光光学系では単層型回折光学素子を利用して、色収差を補正することが行われている。単層型回折光学素子を利用することにより、色収差を効率的に補正することができ、光学系をコンパクトに構成することができるためである。単層型回折光学素子では、一般に、使用波長領域の光束を特定の次数（以下、「設計次数」と称する。）に集中させ、設計次数の回折光の回折効率が所定の波長（以下、「設計波長」と称する。）において最大になるようにその回折格子構造を決定する。

【0005】

赤外線光学系でも、単層型回折光学素子を利用して、色収差を補正することが行われている。特に、カルコゲナイドガラス、硫化亜鉛、セレン化亜鉛は高分散な材料なので、色収差補正のために単層型回折光学素子が利用されることが多い。

20

【0006】

しかしながら、単層型回折光学素子の回折効率は波長依存性を示し、設計波長からの波長ずれが大きくなるにつれて、回折効率は低下する。赤外線光学系では、光量不足による画質への影響が大きいことから、特に回折効率の波長依存性の少ない回折光学素子を利用することが求められる。

【0007】

例えば、可視光光学系では、分散の異なる 2 種類の材料を密着積層し、その境界面に回折格子構造を設けることにより、回折効率の波長依存性を低減した密着積層型回折光学素子が提案されている（例えば、（例えば、「特許文献 2」及び「特許文献 3」参照）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献 1】特許第 5 1 3 6 3 5 8 号公報

【特許文献 2】特許第 3 7 1 7 5 5 5 号公報

【特許文献 3】特許第 5 3 3 9 7 2 0 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、赤外線光学系に適用可能な密着積層型の回折光学素子は知られていない。密着積層型の回折光学素子では、互いに密着積層させる材料の選択が回折効率の波長依存性に大きく影響するため、材料の選択が重要になる。また、互いに密着積層させる材料の組み合わせによっては、境界面に回折格子構造を設けることが困難であったり、両材料の密着性が不十分であるなど、製造時の加工が困難である場合がある。

40

【0010】

そこで、本件発明の課題は、製造時の加工が容易であり、且つ、赤外線光学系に好適な回折効率の波長依存性の少ない密着積層型回折光学素子、当該回折光学素子を用いた赤外線光学系及び撮像装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 1 1 】

上記課題を解決するため、本件発明に係る密着積層型回折光学素子は、下記式（１）及び下記式（２）を満足する第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層及び第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層とが密着積層され、その密着面に下記式（ｉ）で規定される回折格子構造を有することを特徴とする。

【 0 0 1 2 】

$$n_1 < n_2 \quad \cdots (1)$$

$$v_1 < v_2 \quad \cdots (2)$$

$$\Phi(r) = (\varphi_2 r^2 + \varphi_4 r^4 + \varphi_6 r^6 + \cdots) \times m / \lambda \quad \cdots (i)$$

但し、

n_1 は、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、

n_2 は、第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、

v_1 は、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、

v_2 は、第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、

$\Phi(r)$ は、位相差関数であり、

r は、径方向における光軸からの長さであり、

φ_2 、 φ_4 、 $\varphi_6 \cdots$ は、任意の係数であり、

m は、回折次数であり、

λ_I は、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長であり、

λ は、設計波長であり、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長である。

上記において、 $\lambda_I = \lambda$ であることが好ましい。

【 0 0 1 3 】

また、上記課題を解決するため、本件発明に係る赤外線光学系は、上記本件発明に係る密着積層型回折光学素子を含むことを特徴とする。

【 0 0 1 4 】

さらに、上記課題を解決するため、本件発明に係る撮像装置は、上記本件発明に係る密着積層型回折光学素子を含む赤外線光学系を備えることを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

本件発明によれば、製造時の加工が容易であり、且つ、赤外線光学系に好適な回折効率の波長依存性の少ない密着積層型回折光学素子、当該回折光学素子を用いた赤外線光学系及び撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 6 】

【図 1】本実施の形態の密着積層型回折光学素子の断面構成例を示す模式図（a）、等位相差座標系で表したときの回折格子構造の断面形状例を示す模式図（b）である。

【図 2】本実施の形態の密着積層型回折光学素子の製造方法の一例を示す模式図である。

【図 3】実施例 1 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 4】実施例 2 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 5】実施例 3 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 6】実施例 4 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 7】実施例 5 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 8】実施例 6 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 9】実施例 7 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回

10

20

30

40

50

折効率の波長依存性を示す図である。

【図 1 0】実施例 8 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 1 1】実施例 9 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 1 2】実施例 1 0 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【図 1 3】実施例 1 1 の密着積層型回折光学素子（実線）と単層型回折光学素子（点線）の回折効率の波長依存性を示す図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0 0 1 7】

以下、本件発明に係る密着積層型回折光学素子、赤外線光学系及び撮像装置の実施の形態を順に説明する。

【0 0 1 8】

1．密着積層型回折光学素子

1 - 1．基本構造

図 1 (a) に本実施の形態の密着積層型回折光学素子 1 0 0 の断面を模式的に示す。図 1 に示す密着積層型回折光学素子 1 0 0 は、下記式 (1) 及び下記式 (2) を満足する第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層 1 0 及び第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層 2 0 が密着積層され、その密着面に下記式 (i) で規定される回折格子構造 3 0 を有する。

20

【0 0 1 9】

$$n_1 < n_2 \quad \cdots (1)$$

$$v_1 < v_2 \quad \cdots (2)$$

$$\Phi(r) = (\varphi_2 r^2 + \varphi_4 r^4 + \varphi_6 r^6 + \cdots) \times m / \lambda \quad \cdots (i)$$

但し、

n_1 は、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、

n_2 は、第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、

v_1 は、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、

v_2 は、第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、

30

$\Phi(r)$ は、位相差関数であり、

r は、同径方向における光軸からの長さであり、

φ_2 、 φ_4 、 φ_6 、 $\cdots$ は、任意の係数であり、

m は、回折次数であり、

λ_I は、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長であり、

λ は、設計波長であり、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長である。

なお、 λ_I は上述のとおり $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長であって、当該密着積層型回折光学素子の使用波長域内の波長、例えば、 $2 \mu\text{m}$ 以上 $15 \mu\text{m}$ 以下、或いは $8 \mu\text{m}$ 以上 $14 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。本実施の形態では $\lambda_I = \lambda$ とするが、当該 λ_I は設計波長 λ と異なる波長であってもよい。

40

【0 0 2 0】

ここで、波長 λ_I の光線に対するアッペ数 v_{λ_I} は、以下の式で定義される。

$$v_{\lambda_I} = (n_I - 1) / (n_J - n_K)$$

但し、 n_I 、 n_J 、 n_K は、波長 λ_I 、 λ_J 、 λ_K の光線に対する屈折率であり、 λ_I 、 λ_J 、 λ_K は、 $1 \mu\text{m}$ 以上 $18 \mu\text{m}$ 以下の任意の波長であり、 $\lambda_J < \lambda_I < \lambda_K$ の関係である。 λ_I 、 λ_J 、 λ_K は、上記条件を満たす限り、任意の波長を採用することができる。本実施の形態では $\lambda_I = 10 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_J = 9 \mu\text{m}$ 、 $\lambda_K = 11 \mu\text{m}$ とする。

【0 0 2 1】

カルコゲナイドガラス材は赤外線を透過するため、第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層 1 0 と第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層 2 0 とを積層したこの密

50

着積層型回折光学素子 100 は赤外線光学系に好適である。また、第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とは、上記式 (1) 及び式 (2) を満足し、それぞれ屈折率と分散の異なる材料である。これらのカルコゲナイドガラス材からなる第一層 10 及び第二層 20 を回折格子構造 30 を介して密着することにより、赤外線波長域の光線について、回折効率の波長依存性の少ない密着積層型回折光学素子 100 を得ることができる。また、カルコゲナイドガラス材はモールド成型が容易な材料であり、モールド成型により回折格子構造を形成することができる。このため、切削等により回折格子構造を形成する場合と比較すると、製造時の加工が容易であり、量産も可能である。従って、本実施の形態の密着積層型回折光学素子 100 によれば、製造時の加工が容易であり、且つ、赤外線光学系に好適な回折効率の波長依存性の少ない密着積層型回折光学素子 100 を提供することができる。

10

【0022】

(1) 回折格子構造

まず、本実施の形態の密着積層型回折光学素子 100 の断面形状について説明する。位相差関数は前記式 (i) のように径方向に対して高次多項式の形をとる。ここで、説明を簡略化するため径方向に位相差関数を単位とした座標系を用いると、回折段差の形状は図 1 (b) に示すように、各回折段差 (輪帯) の断面が同じ略鋸歯形状で表される周期構造を有することになる。このとき、当該設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1λ となるときの回折段差高さが 0.01 mm 以上 1.50 mm 以下であることが好ましい。当該設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1λ となるときの回折段差高さを 0.01 mm 以上 1.50 mm 以下とすることにより、回折効率の波長依存性を低減することが容易になる。これと共に、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材との密着面に回折格子構造 30 を形成することが容易になる。すなわち、密着面に直接回折格子構造 30 を形成する場合、或いは、モールド成型等により金型を用いて回折格子構造 30 を形成する場合等があるが、いずれの場合においても回折段差の高さが上述した範囲内であると回折格子構造 30 を形成するための機械加工が容易になる。但し、光路長差は 1λ に限らず、 0.6λ 以上 1.4λ 以下でよく、回折面に実際に形成される回折段差の高さ (回折段差高さ) は 0.02 mm 以上 1.20 mm 以下であればよい。

20

【0023】

ここで、回折効率の波長依存性の最適化等を図る上で、図 1 (b) に示す各回折段差の具体的な形状は適宜変更することができる。設計波長及び積層する二つのカルコゲナイドガラス材の屈折率等に応じて、回折段差の幅、高さ及び傾斜角などを適宜変化させることにより、赤外線波長域においてより広い波長範囲で回折効率の波長依存性を低減することができる。また、図 1 (b) に示す例では、等位相差座標系で表したときに、各回折段差の断面は同じ鋸歯形状を示すが、これに限定されるものではない。例えば、上記密着面に設けられる回折段差のうち、一部の回折段差が、他の回折段差とは幅、高さ及び傾斜角のうち、いずれか一つ以上が異なってもよい。一部の回折段差の形状を他の回折段差の形状と異なる形状にすることで、回折効率の波長依存性をより低減することができる場合がある。

30

40

【0024】

(2) モールド成型

当該密着積層型回折光学素子 100 の製造方法は特に限定されるものではないが、上述したとおり、カルコゲナイドガラス材は一般にモールド成型が容易な材料であり、モールド成型により製造することが好ましい。例えば、次のような方法を採用することができる。ここでは、便宜的に第一のカルコゲナイドガラス材の軟化点等 (軟化点、ガラス転移点及びガラス屈伏点を含むものとする。以下、同じ) が第二のカルコゲナイドガラス材の軟化点等よりも高いものとして、以下説明する。まず、モールド型 50 に第一のカルコゲナイドガラス材 (10) をプレスし、回折格子構造 30 を備えた所定の形状を有する第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層 10 を形成する (図 2 (a1) 参照)。次に、こ

50

の第一層 10 をモールド型の一部として用い（図 2（a2）参照）、第一層 10 に、第二のカルコゲナイドガラス材（20）をプレスし、第一層 10 に第二のカルコゲナイドガラス材を密着させると共に、回折格子構造 30 を第二のカルコゲナイドガラス材（20）に転写する。これにより、第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層 10 と第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層 20 とが密着積層され、その密着面に回折格子構造 30 を備えた本実施の形態の密着積層型回折光学素子 100 を得ることができる（図 2（a3）参照）。但し、第一のカルコゲナイドガラス材の軟化点等よりも第二のカルコゲナイドガラス材の軟化点等が高い場合は、上記と順序を逆にする。すなわち、モールド型 50 に第二のカルコゲナイドガラス材をプレスした後、第二のカルコゲナイドガラス材に第一のカルコゲナイドガラス材をプレスして、両カルコゲナイドガラス材を密着積層する。

10

【0025】

このような方法を採用すれば、第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層 10 と第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層 20 との密着面に、回折格子構造 30 を形成することが容易であり、両カルコゲナイドガラス材の良好な密着性を得ることができる。また、当該密着積層型回折光学素子 100 を量産することも容易になる。但し、上述したとおり、当該密着積層型回折光学素子 100 の製造方法は特に限定されるものではない。例えば、超精密機械加工等により第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材のそれぞれに予め回折格子構造 30 を形成し、回折格子構造 30 が形成されたそれぞれの回折面を密着面として、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とを接着もしくは接合すること等により、当該密着積層型回折光学素子 100

20

【0026】

1-2. カルコゲナイドガラス材

次に、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材について説明する。本実施の形態の密着積層型回折光学素子 100 において、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、上記条件式（1）及び条件式（2）を満足すればよく、条件式（1）及び条件式（2）を満足する限り、その物性や組成は限定されるものではない。しかしながら、製造時の加工が容易であり、且つ、赤外線光学系に好適な回折効率の波長依存性の少ない密着積層型回折光学素子 100 を得るという観点から、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は物性面及び組成面から以下の条件を満足する組み合わせであることが好ましい。

30

【0027】

1-2-1. 物性

第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は以下の熱的性質及び光学的性質のうち、少なくともいずれか一を満足する組み合わせであることが好ましい。

【0028】

（1）熱的性質

i）ガラス転移点温度差

第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス転移点温度差は 10 以上であることが好ましい。第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材のガラス転移点温度差が 10 以上あると、両カルコゲナイドガラス材のうちガラス転移点温度の低い他方のカルコゲナイドガラス材を軟化させても、ガラス転移点温度の高いカルコゲナイドガラス材をガラス状態に保つことが容易になる。そのため、図 2 に示したようなモールド成型により本実施の形態の密着積層型回折光学素子 100 を製造することができ、製造時の加工が容易になる。

40

【0029】

50

第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス転移点温度差が10未満であると、モールド成型により一方のカルコゲナイドガラス材に他方のカルコゲナイドガラス材を密着積層する際に、一方のカルコゲナイドガラス材をガラス状態に保ったまま、他方のカルコゲナイドガラス材を軟化させることが困難になる。そのため、回折格子構造を維持することができなくなるので、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とを密着積層する際にモールド成型以外の方法を採用する必要がある。モールド成型以外の方法により、第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層10と第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層20とを密着積層する場合、第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材との双方に予め回折格子構造30を形成した上で、両カルコゲナイドガラス材を接着剤で接着する必要があるが生じる。接着剤が第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材との間にあると、上記条件式(1)及び条件式(2)を満足することが出来なくなるため好ましくない。

10

【0030】

上記観点から、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス転移点温度差は30以上あることがより好ましい。第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス転移点温度差が30以上あれば、モールド成型により第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を密着積層させる際に、一方のカルコゲナイドガラス材をガラス状態に維持したまま、他方のカルコゲナイドガラス材を密着積層することができ、その密着面に成された回折格子構造30を維持することがより容易になる。このため、当該密着積層型回折光学素子100を製造する際の加工がより容易になる。

20

【0031】

カルコゲナイドガラス材のガラス転移点温度は、概ね90～400である。第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス転移点温度差の上限は特に限定されるものではないが、250以下であることが妥当である。

【0032】

i i) ガラス屈伏点温度差

第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス屈伏点温度差は10以上であることが好ましい。ガラス転移点温度差の場合と同様に、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス屈伏点温度差が10以上あれば、モールド成型により、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とを密着積層すると共に、その密着面に回折格子構造30を容易に設けることができる。

30

【0033】

上記観点から、ガラス転移点温度差の場合と同様に、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス屈伏点温度差は30以上あることがより好ましい。また、ガラス転移点温度差の場合と同様に、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とのガラス屈伏点温度差の上限は特に限定されるものではないが、250以下であることが妥当である。

【0034】

i i i) 熱膨張係数差

第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材との熱膨張係数差が $100 \times 10^{-7} /$ 以内であることが好ましい。熱膨張係数差が当該範囲内であれば、上記モールド成型により、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材とを密着積層すると共に、その密着面に回折格子構造30を容易に設けることができる。また、熱膨張係数差が当該範囲内であれば、雰囲気温度が変化したときも、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材との良好な密着性を維持することができる。

40

【0035】

これに対して、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラスとの熱膨

50

張係数差が $100 \times 10^{-7} /$ を超える場合、すなわち熱膨張係数差が大きくなると、雰囲気温度が変化したときに密着面に設けられた回折格子構造 30 が変化して、他方のカルコゲナイドガラス材との密着性が低下したりして好ましくない。

【0036】

上記観点から、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材との熱膨張係数差は $80 \times 10^{-7} /$ 以内であることがより好ましい。

【0037】

(2) 光学的性質

次に、光学的観点から、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材の選択について説明する。上記条件式(1)及び条件式(2)に加えて、次に示す条件式(3)、条件式(4)及び条件式(5)のうち、いずれか一の条件式を満足することが好ましい。

【0038】

i) 条件式(1)

条件式(1)は、上述したとおりである。すなわち、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対する屈折率 (n_1) が第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対する屈折率 (n_2) よりも低いことを条件とする。第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材の屈折率 (n_1, n_2) はこの条件式(1)を満足する限り、その数値は特に限定されるものではない。

【0039】

ii) 条件式(2)

条件式(2)も上述したとおりである。すなわち、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対するアッペ数 (v_1) が第二のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対するアッペ数 (v_2) よりも低いことを条件とする。ここで、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材のアッペ数 (v_1, v_2) はこの条件式(2)を満足する限り、その数値は特に限定されるものではない。しかしながら、より広い波長範囲において、回折効率の波長依存性を低減するという観点から、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対するアッペ数 (v_1) は 250 以下であることが好ましく、230 以下であることがより好ましい。

【0040】

iii) 条件式(3)

まず、条件式(3)について説明する。第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、上記条件式(1)及び条件式(2)に加えて、下記に示す条件式(3)を満足することが好ましい。

【0041】

$$-0.025\alpha + 2.6 < \alpha(n-1)/v + n < -0.028\alpha + 2.9 \quad \dots (3)$$

【0042】

但し、上記式(3)において、

n は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対する屈折率であり、

$2.50 < n < 3.00$ であり、

v は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対するアッペ数であり、

$20 < v < 600$ であり、

α は、 $-1.5 > \alpha > -5.0$ を満足する任意の数値である。

【0043】

条件式(1)及び条件式(2)を満足し、且つ、条件式(3)を満足する材料の中から第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を選択することにより、赤外線波長域においてより広い波長範囲で回折効率の波長依存性のより少ない密着積層型回折光学素子 100 を得ることができる。そのため、回折効率の波長依存性に起因する光量の低下をより有効に抑制することができる。また、設計次数以外の次数の回折光(不

10

20

30

40

50

要回折光)の光量が低下するため、不要回折フレアの発生等を抑制することができる。従って、このような条件を満足する当該密着積層型回折光学素子100を用いれば、結像性能がより高く、より小型の赤外線光学系を得ることができる。

【0044】

条件式(3)を満足する場合、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数(v_1)は200以下であることがより好ましく、100以下であることがさらに好ましい。

【0045】

i v) 条件式(4)

次に、条件式(4)について説明する。第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、上記条件式(1)及び条件式(2)に加えて、下記に示す条件式(4)を満足することが好ましい。

【0046】

$-0.024\alpha + 2.4 < \alpha(n-1)/v + n < -0.025\alpha + 2.7 \dots (4)$

【0047】

但し、条件式(4)において、

n は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、

$2.50 < n < 2.80$ であり、

v は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、

$50 < v < 600$ であり、

α は、 $-1.5 > \alpha > -5.0$ を満足する任意の数値である。

【0048】

条件式(1)及び条件式(2)を満足し、且つ、条件式(4)を満足する材料の中から第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を選択することにより、条件式(3)の場合と同様の効果が得られる。すなわち、赤外線波長域においてより広い波長範囲で回折効率の波長依存性のより少ない密着積層型回折光学素子100を得ることができ、回折効率の波長依存性に起因する光量の低下をより有効に抑制し、不要回折光に起因する不要回折フレアの発生等を抑制することができる。従って、このような条件を満足する当該密着積層型回折光学素子100を用いれば、結像性能がより高く、より小型の赤外線光学系を得ることができる。

【0049】

条件式(4)を満足する場合、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数(v_1)は上述したとおり250以下であることがより好ましく、230以下であることがさらに好ましい。

【0050】

v) 条件式(5)

次に、条件式(5)について説明する。第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、上記条件式(1)及び条件式(2)に加えて、下記に示す条件式(5)を満足することが好ましい。

【0051】

$-0.036\alpha + 2.3 < \alpha(n-1)/v + n < -0.039\alpha + 2.5 \dots (5)$

【0052】

但し、条件式(5)において、

n は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対する屈折率であり、

$2.40 < n < 2.60$ であり、

v は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_I の光線に対するアッペ数であり、

$50 < v < 600$ であり、

α は、 $-1.5 > \alpha > -5.0$ を満足する任意の数値である。

【 0 0 5 3 】

条件式 (1) 及び条件式 (2) を満足し、且つ、条件式 (5) を満足する材料の中から第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を選択することにより、条件式 (3) の場合と同様の効果が得られる。すなわち、赤外線波長域においてより広い波長範囲で回折効率の波長依存性のより少ない密着積層型回折光学素子 1 0 0 を得ることができ、回折効率の波長依存性に起因する光量の低下をより有効に抑制し、不要回折光に起因する不要回折フレアの発生等を抑制することができる。従って、このような条件を満足する当該密着積層型回折光学素子 1 0 0 を用いれば、結像性能がより高く、より小型の赤外線光学系を得ることができる。

【 0 0 5 4 】

10

条件式 (5) を満足する場合、第一のカルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対するアッペ数 (v_1) は 2 2 0 以下であることがさらに好ましい。

【 0 0 5 5 】

次に、条件式 (6) について説明する。第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、上記条件式 (1) 及び条件式 (2) に加えて、下記条件式 (6) を満足することが好ましい。

【 0 0 5 6 】

$$-0.035\alpha + 2.3 < \alpha(n-1)/v + n < -0.028\alpha + 2.9 \quad \dots (6)$$

【 0 0 5 7 】

但し、条件式 (6) において、

20

n は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対する屈折率であり、

$2.40 < n < 3.00$ であり、

v は、前記カルコゲナイドガラス材の波長 λ_1 の光線に対するアッペ数であり、

$20 < v < 600$ であり、

α は、 $-1.5 > \alpha > -5.0$ を満足する任意の数値である。

【 0 0 5 8 】

条件式 (1) 及び条件式 (2) を満足し、且つ、条件式 (6) を満足する材料の中から第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を選択することにより、条件式 (3) の場合と同様の効果が得られる。すなわち、赤外線波長域においてより広い波長範囲で回折効率の波長依存性のより少ない密着積層型回折光学素子 1 0 0 を得ることができ、回折効率の波長依存性に起因する光量の低下をより有効に抑制し、不要回折光に起因する不要回折フレアの発生等を抑制することができる。従って、このような条件を満足する当該密着積層型回折光学素子 1 0 0 を用いれば、結像性能がより高く、より小型の赤外線光学系を得ることができる。

30

【 0 0 5 9 】

1 - 2 - 2 . 組成

次に、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材の組成について説明する。第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、次に示す第一の組成条件～第三の組成条件のうちいずれか一つの組成条件を満足することが好ましい。

40

【 0 0 6 0 】

(1) 第一の組成条件

第一の組成条件として、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、以下の組成を有することが好ましい。

【 0 0 6 1 】

第一のカルコゲナイドガラス材の組成：

G e 及び G a のうちいずれか 1 種以上：2 m o l % 以上 2 5 m o l % 以下、

S b 及び B i のうちいずれか 1 種以上：6 m o l % 以上 3 8 m o l % 以下、

S n 及び Z n のうちいずれか 1 種以上：1 m o l % 以上 2 5 m o l % 以下、及び、

S、S e 及び T e のうちいずれか 1 種以上：5 8 m o l % 以上 8 0 m o l % 以下である

50

。

【0062】

第二のカルコゲナイドガラス材の組成：

Se：22mol%以上73mol%以下、及び、

As：3mol%以上50mol%以下である。

【0063】

ここで、第二のカルコゲナイドガラス材が、上記Se及びAsに加えて、Ge、Te、Sb及びSnのうち少なくともいずれか1種以上を20mol%以下含んでもよい。

【0064】

但し、上記組成は組成物全体に対する各元素の組成をモル比(mol%)で表したものであり、第一のカルコゲナイドガラス材はGe及びGaのうちいずれか1種以上と、Sb及びBiのうちいずれか1種以上と、Sn及びZnのうちいずれか1種以上と、S、Se及びTeのうちいずれか1種以上とをそれぞれ各組成比内で含めばよく、他の元素を含んでもよい。第二のカルコゲナイドガラス材についても同様である。また、第二の組成条件についても同様である。

10

【0065】

第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材が上記組成を有する場合、上述した条件式(1)、条件式(2)及び条件式(3)を満足する。また、物性(熱的性質及び光学的性質)に関する条件も満足し、上述した効果が得られる。

【0066】

(2) 第二の組成条件

第二の組成条件として、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、以下の組成を有することが好ましい。

20

【0067】

第一のカルコゲナイドガラス材の組成：

Se：50mol%以上75mol%以下、

Ge：10mol%以上38mol%以下、及び、

Sb：2mol%以上25mol%以下である。

【0068】

第二のカルコゲナイドガラス材の組成：

Se：40mol%以上60mol%以下、及び、

Ge：30mol%以上50mol%以下である。

【0069】

ここで、第二のカルコゲナイドガラス材が、上記Se及びGeに加えて、Asを20mol%以下含んでもよい。

30

【0070】

第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材が上記組成を有する場合、上述した条件式(1)、条件式(2)及び条件式(4)を満足する。また、物性(熱的性質及び光学的性質)に関する条件も満足し、上述した効果が得られる。

【0071】

(3) 第三の組成条件

第三の組成条件として、第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材は、以下の組成を有することが好ましい。

40

【0072】

第一のカルコゲナイドガラス材の組成：

Se：40mol%以上70mol%以下、

Ge：15mol%以上40mol%以下、及び

Sb及びAsのうちいずれか一種以上：5mol%以上30mol%以下である。

【0073】

第二のカルコゲナイドガラス材の組成：

50

Se : 40 mol % 以上 65 mol % 以下、
As : 20 mol % 以上 50 mol % 以下、及び
Ge : 5 mol % 以上 15 mol % 以下である。

【0074】

第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材が上記組成を有する場合、上述した条件式(1)、条件式(2)及び条件式(5)を満足する。また、物性(熱的性質及び光学的性質)に関する条件も満足し、上述した効果が得られる。

【0075】

2. 赤外線光学系

次に、本件発明に係る赤外線光学系の実施の形態について説明する。本実施の形態の赤外線光学系は、上記説明した密着積層型回折光学素子100を含むものであればよく、その他の構成は特に限定されるものではない。例えば、当該赤外線光学系は、上記密着積層型回折光学素子100単独で構成するか、又は、上記密着積層型回折光学素子100と、1枚又は複数枚の光学要素(赤外線透過レンズ等)とを組み合わせることで構成することができ、焦点距離が固定の単焦点レンズとして構成されてもよいし、焦点距離が可変の可変焦点距離レンズとして構成されてもよい。当該赤外線光学系によれば、上記密着積層型回折光学素子100を用いることにより、色収差等の補正を良好に行うことができ、少ない光学要素で高い結像性能を実現することができる。これと同時に、回折効率の波長依存性に起因する光量低下を抑制することができる。また、少ない光学要素で当該赤外線光学系を構成することができるため、各光学要素における赤外線の吸収を抑制することができる。これらのことから、結像性能が高く、より小型で明るい赤外線光学系を得ることができる。

【0076】

3. 撮像装置

次に、本件発明に係る撮像装置の実施の形態について説明する。本実施の形態の撮像装置は、上記密着積層型回折光学素子100を含む赤外線光学系を備える。例えば、当該赤外線光学系と、当該赤外線光学系の像面側に設けられ、当該赤外線光学系によって形成された赤外線光学像を電気的信号に変換する赤外線センサ等を備える構成とすることができる。本件発明に係る撮像装置は、上記密着積層型回折光学素子100を含む赤外線光学系を備えるため、夜間や悪天候のときも、赤外線により輪郭の鮮明な被写体像を得ることができるため、監視用撮像装置などに好適である。さらに、肺ガンなどの検査の際に用いる医療用画像診断装置にも好適である。

【0077】

次に、実施例および比較例を示して本件発明を具体的に説明する。但し、本件発明は以下の実施例に限定されるものではない。

【実施例1】

【0078】

実施例1では、以下の物性及び組成を有する第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を用いて、本件発明に係る密着積層型回折光学素子を図2に示したモールド成型による方法で製造した。

【0079】

(第一のカルコゲナイドガラス材)(株式会社五鈴精光硝子製IIR-SF1)

i) 物性

熱的性質: ガラス転移点233、ガラス屈伏点253、軟化点278、熱膨張係数 $156 \times 10^{-7}/$

光学的性質: 屈折率(n_1)2.724、アッペ数(v_1)64

【0080】

なお、上記屈折率は $10\mu\text{m}$ の波長($\lambda_I = 10\mu\text{m}$)の光線に対する値である。上記アッペ数は、上述したとおり、 $\lambda_I = 10\mu\text{m}$ 、 $\lambda_J = 9\mu\text{m}$ 、 $\lambda_K = 11\mu\text{m}$ としたときの値である。以下の実施例においても同じである。

【0081】

i i) 組成 (S - S b - S n - G e)

S : 65 mol %

S b : 30 mol %

S n : 3 mol %

G e : 2 mol %

【 0082 】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕 (Amorphous Materials Inc社製 C - 1)

i) 物性

熱的性質： ガラス転移点 167 、ガラス屈伏点 188 、軟化点 209 、熱膨張係数 $230 \times 10^{-7} /$

10

光学的性質： 屈折率 (n₂) : 2.8051、アッペ数 384

【 0083 】

i i) 組成 (A s - S e - T e)

A s : 40 mol %

S e : 40 mol %

T e : 20 mol %

【 0084 】

〔回折面データ〕

設計波長 λ (ブレーズ波長) : 10 μ m

設計次数 m : 1

20

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1 λ となるときの回折段差高さ : 0.125 mm

上記光路長差が 0.6 λ のときの回折段差高さ : 0.075 mm

上記光路長差が 1.4 λ のときの回折段差高さ : 0.175 mm

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0.6 λ から 1.4 λ の値に応じて、回折段差高さは 0.075 mm から 0.175 mm の値をとる。

【 0085 】

図 3 に、実施例 1 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 3 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 3 に示すように、第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

30

【実施例 2】

【 0086 】

実施例 2 では、実施例 1 と同じ第一のカルコゲナイドガラス材 (株式会社五鈴精光硝子製 IIR-SF1) を用いると共に、以下の物性及び組成を有する第二のカルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【 0087 】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕 (S C H O T T A G 社製 I R G 23)

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 275 、ガラス屈伏点 295 、軟化点 305 、熱膨張係数 $134 \times 10^{-7} /$

光学的性質： 屈折率 (n₂) : 2.7869、アッペ数 337

【 0088 】

i i) 組成 (G e - A s - S e - T e)

G e : 30 mol %

A s : 13 mol %

40

50

Se : 32 mol %

Te : 25 mol %

【0089】

〔回折面データ〕

設計波長 λ : 10 μ m

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1 λ となるときの回折段差高さ : 0.160 mm

上記光路長差が 0.6 λ のときの回折段差高さ : 0.096 mm

上記光路長差が 1.4 λ のときの回折段差高さ : 0.224 mm

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0.6 λ から 1.4 λ の値に応じて、回折段差高さは 0.096 mm から 0.224 mm の値をとる。

【0090】

図 4 に、実施例 2 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 4 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 4 に示すように、実施例 2 の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

【実施例 3】

【0091】

実施例 3 では、実施例 1 と同じ第一のカルコゲナイドガラス材（株式会社五鈴精光硝子製 IIR-SF1）を用いると共に、以下の物性及び組成を有する第二のカルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【0092】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕（VITRON Spezialwerkstoffe GmbH 社製 IG6）

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 180、ガラス屈伏点 185、軟化点 217、熱膨張係数 $207 \times 10^{-7} /$

光学的性質：屈折率 (n_2) : 2.7781、アッペ数 317

【0093】

ii) 組成 (Se - As)

Se : 60 mol %

As : 40 mol %

【0094】

〔回折面データ〕

設計波長 λ : 10 μ m

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1 λ となるときの回折段差高さ : 0.188 mm

上記光路長差が 0.6 λ のときの回折段差高さ : 0.113 mm

上記光路長差が 1.4 λ のときの回折段差高さ : 0.263 mm

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0.6 λ から 1.4 λ の値に応じて、回折段差高さは 0.113 mm から 0.263 mm の値をとる。

【0095】

図 5 に、実施例 3 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 5 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効

率の波長依存性を示す。図 5 に示すように、実施例 3 の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

【実施例 4】

【0096】

実施例 4 では、以下の物性及び組成を有する第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【0097】

〔第一のカルコゲナイドガラス材〕（湖北新華光信息材料有限公司製 I R G 2 0 3 ）

10

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 2 6 6 、ガラス屈伏点 2 8 5 、軟化点 3 0 4 、熱膨張係数 $1 5 7 \times 10^{-7} /$

光学的性質： 屈折率 (n 1) : 2 . 5 8 8 6 、アッペ数 1 2 5

【0098】

i i) 組成 (S e - G e - S b)

S e : 6 5 m o l %

G e : 2 0 m o l %

S b : 1 5 m o l %

20

【0099】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕（VITRON Spezialwerkstoffe GmbH社製 I G 4 ）

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 2 0 5 、ガラス屈伏点 2 2 5 、軟化点 2 4 5 、熱膨張係数 $2 0 4 \times 10^{-7} /$

光学的性質： 屈折率 (n 2) : 2 . 6 0 8 4 、アッペ数 3 4 5

【0100】

i i) 組成 (S e - A s - G e)

S e : 5 0 m o l %

A s : 4 0 m o l %

G e : 1 0 m o l %

30

【0101】

〔回折面データ〕

設計波長 λ : 1 0 μ m

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1 λ となるときの回折段差高さ : 0 . 5 0 7 m m

上記光路長差が 0 . 6 λ のときの回折段差高さ : 0 . 3 0 4 m m

上記光路長差が 1 . 4 λ のときの回折段差高さ : 0 . 7 1 0 m m

40

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0 . 6 λ から 1 . 4 λ の値に応じて、回折段差高さは 0 . 3 0 4 m m から 0 . 7 1 0 m m の値をとる。

【0102】

図 6 に、実施例 4 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 6 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 6 に示すように、実施例 4 の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

【実施例 5】

50

【 0 1 0 3 】

実施例 5 では、以下の物性及び組成を有する第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【 0 1 0 4 】

〔第一のカルコゲナイドガラス材〕（SCHOTT AG 社製 IRG 2 5 ）

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 2 7 5 、ガラス屈伏点 2 8 5 、軟化点 3 1 5 、熱膨張係数 $1 4 0 \times 1 0^{-7} /$

10

光学的性質： 屈折率 (n 1) : 2 . 6 0 3 2 、アッペ数 2 2 0

【 0 1 0 5 】

i i) 組成 (S e - G e - S b)

S e : 6 0 m o l %

G e : 2 8 m o l %

S b : 1 2 m o l %

【 0 1 0 6 】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕（SCHOTT AG 社製 IRG 2 3 と、SCHOTT AG 社製 IRG 2 4 とを 5 : 9 5 の重量比で混合した混合物）

i) 物性

20

熱的性質：

ガラス転移点 2 5 3 、ガラス屈伏点 2 7 3 、軟化点 2 8 3 、熱膨張係数 $2 0 8 \times 1 0^{-7} /$

光学的性質： 屈折率 (n 2) : 2 . 6 1 7 8 、アッペ数 3 5 0

【 0 1 0 7 】

i i) 組成 (S e - A s - G e - T e)

S e : 4 9 m o l %

A s : 3 9 m o l %

G e : 1 1 m o l %

T e : 1 m o l %

30

【 0 1 0 8 】

〔回折面データ〕

設計波長 λ : 1 0 μ m

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1 λ となるときの回折段差高さ : 0 . 6 8 6 m m

上記光路長差が 0 . 6 λ のときの回折段差高さ : 0 . 4 1 2 m m

上記光路長差が 1 . 4 λ のときの回折段差高さ : 0 . 9 6 0 m m

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0 . 6 λ から 1 . 4 λ の値に応じて、回折段差高さは 0 . 4 1 2 m m から 0 . 9 6 0 m m の値をとる。

40

【 0 1 0 9 】

図 7 に、実施例 5 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 7 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 7 に示すように、実施例 5 の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

【実施例 6】

【 0 1 1 0 】

実施例 6 では、以下の物性及び組成を有する第一のカルコゲナイドガラス材及び第二の

50

カルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【0111】

〔第一のカルコゲナイドガラス材〕(Sunny Japan 社製 SIG2)

i) 物性

熱的性質:

ガラス転移点 262、ガラス屈伏点 283、軟化点 304、熱膨張係数 $161 \times 10^{-7} /$

光学的性質: 屈折率 (n_1): 2.586、アッペ数 209

【0112】

ii) 組成 (Se - Ge - Sb)

Se: 65 mol %

Ge: 20 mol %

Sb: 15 mol %

【0113】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕(SCHOTT AG 社製 IRG24)

i) 物性

熱的性質:

ガラス転移点 205、ガラス屈伏点 225、軟化点 245、熱膨張係数 $204 \times 10^{-7} /$

光学的性質: 屈折率 (n_2): 2.609、アッペ数 358

【0114】

ii) 組成 (Se - As - Ge)

Se: 50 mol %

As: 40 mol %

Ge: 10 mol %

【0115】

〔回折面データ〕

設計波長 λ : 10 μm

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1λ となるときの回折段差高さ: 0.432 mm

上記光路長差が 0.6λ のときの回折段差高さ: 0.259 mm

上記光路長差が 1.4λ のときの回折段差高さ: 0.605 mm

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0.6λ から 1.4λ の値に応じて、回折段差高さは 0.259 mm から 0.605 mm の値をとる。

【0116】

図 8 に、実施例 6 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 8 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 8 に示すように、実施例 6 の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

【実施例 7】

【0117】

実施例 7 では、以下の物性及び組成を有する第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【0118】

〔第一のカルコゲナイドガラス材〕(湖北新華光信息材料有限公司製 IRG201)

10

20

30

40

50

i) 物性

熱的性質:

ガラス転移点 362、ガラス屈伏点 385、軟化点 410、熱膨張係数 $117 \times 10^{-7} /$

光学的性質: 屈折率 (n_1): 2.498、アッペ数 214

【0119】

ii) 組成 (Se - Ge - Sb)

Se: 55 mol %

Ge: 33 mol %

Sb: 12 mol %

10

【0120】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕 (SCHOTT AG 社製 IRG 24)

i) 物性

熱的性質:

ガラス転移点 205、ガラス屈伏点 225、軟化点 245、熱膨張係数 $204 \times 10^{-7} /$

光学的性質: 屈折率 (n_2): 2.609、アッペ数 358

【0121】

ii) 組成 (Se - As - Ge)

Se: 50 mol %

As: 40 mol %

Ge: 10 mol %

20

【0122】

〔回折面データ〕

設計波長 λ : 10 μm

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1λ となるときの回折段差高さ: 0.090 mm

上記光路長差が 0.6λ のときの回折段差高さ: 0.054 mm

上記光路長差が 1.4λ のときの回折段差高さ: 0.126 mm

30

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0.6λ から 1.4λ の値に応じて、回折段差高さは 0.054 mm から 0.126 mm の値をとる。

【0123】

図 9 に、実施例 7 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 9 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 9 に示すように、実施例 7 の場合も僅かではあるが第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

40

【実施例 8】

【0124】

実施例 8 では、以下の物性及び組成を有する第一のカルコゲナイドガラス材及び第二のカルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【0125】

〔第一のカルコゲナイドガラス材〕 (株式会社五鈴精光硝子製 IIR - SF 2)

i) 物性

熱的性質:

ガラス転移点 233、ガラス屈伏点 253、軟化点 278、熱膨張係数 156×1

50

0 - 7 /

光学的性質： 屈折率 (n1) : 2 . 6 6 8、アッペ数 6 5

【 0 1 2 6 】

i i) 組成 (Ga - Sb - Sn - S)

Ga : 2 mol %

Sb : 30 mol %

Sn : 3 mol %

S : 65 mol %

【 0 1 2 7 】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕 (湖北新華光信息材料有限公司製 I R G 2 0 4 (?)) 10

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 1 6 7 、ガラス屈伏点 2 0 7 、軟化点 2 4 7 、熱膨張係数 $205 \times 10^{-7} /$

光学的性質： 屈折率 (n2) : 2 . 7 6 5、アッペ数 3 1 6

【 0 1 2 8 】

i i) 組成 (Se - As - Sb - Sn)

Se : 63 mol %

As : 30 mol %

Sb : 4 mol %

Sn : 3 mol %

【 0 1 2 9 】

〔回折面データ〕

設計波長 λ : 1 0 μ m

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1λ となるときの回折段差高さ : 0 . 1 0 0 mm

上記光路長差が $0 . 6 \lambda$ のときの回折段差高さ : 0 . 0 6 0 mm

上記光路長差が $1 . 4 \lambda$ のときの回折段差高さ : 0 . 1 4 0 mm 30

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 $0 . 6 \lambda$ から $1 . 4 \lambda$ の値に応じて、回折段差高さは $0 . 0 6 0$ mm から $0 . 1 4 0$ mm の値をとる。

【 0 1 3 0 】

図 1 0 に、実施例 8 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 1 0 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 1 0 に示すように、実施例 8 の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

【実施例 9】 40

【 0 1 3 1 】

実施例 9 では、実施例 8 と同じ第一のカルコゲナイドガラス材 (株式会社五鈴精光硝子製 I I R - S F 2) を用いると共に、以下の物性及び組成を有する第二のカルコゲナイドガラス材を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【 0 1 3 2 】

〔第二のカルコゲナイドガラス材〕 (VITRON Spezialwerkstoffe GmbH社製 I G 3)

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 2 7 5 、ガラス屈伏点 3 4 5 、軟化点 4 1 5 、熱膨張係数 134×1 50

0 - 7 /

光学的性質： 屈折率 (n_2) : 2 . 7 8 7、アッペ数 3 2 5

【 0 1 3 3 】

i i) 組成 (G e - A s - S e - T e)

G e : 3 3 m o l %

A s : 1 3 m o l %

S e : 5 2 m o l %

T e : 2 5 m o l %

【 0 1 3 4 】

〔 回折面データ 〕

設計波長 λ : 1 0 μ m

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1 λ となるときの回折段差高さ : 0 . 0 8 4 m m

上記光路長差が 0 . 6 λ のときの回折段差高さ : 0 . 0 5 0 m m

上記光路長差が 1 . 4 λ のときの回折段差高さ : 0 . 1 1 8 m m

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0 . 6 λ から 1 . 4 λ の値に応じて、回折段差高さは 0 . 0 5 0 m m から 0 . 1 1 8 m m の値をとる。

【 0 1 3 5 】

図 1 1 に、実施例 9 の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図 1 1 において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図 1 1 に示すように、実施例 9 の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

【 実施例 1 0 】

【 0 1 3 6 】

実施例 1 0 では、実施例 8 と同じ第一のカルコゲナイドガラス材 (株式会社五鈴精光硝子製 I I R - S F 2) を用い、実施例 2 と同じ第二のカルコゲナイドガラス材 (S C H O T T A G 社製 I R G 2 3) を用いた以外は、実施例 1 と同様にして本件発明に係る密着積層型回折光学素子を製造した。

【 0 1 3 7 】

〔 第二のカルコゲナイドガラス材 〕 (S C H O T T A G 社製 I R G 2 3)

i) 物性

熱的性質：

ガラス転移点 2 7 5 、ガラス屈伏点 2 9 5 、軟化点 3 0 5 、熱膨張係数 $1 3 4 \times 10^{-7} /$

光学的性質： 屈折率 (n_2) : 2 . 7 8 6 9、アッペ数 3 3 7

【 0 1 3 8 】

i i) 組成 (G e - A s - S e - T e)

G e : 3 0 m o l %

A s : 1 3 m o l %

S e : 3 2 m o l %

T e : 2 5 m o l %

【 0 1 3 9 】

〔 回折面データ 〕

設計波長 λ : 1 0 μ m

設計次数 m : 1

設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1 λ となるときの回折段差高さ : 0 . 0 8 4 m m

50

上記光路長差が 1.4λ のときの回折段差高さ : 0.102 mm

但し、光路長差と回折段差高さは比例の関係にあるため、本実施例では上記のように光路長差 0.6λ から 1.4λ の値に応じて、回折段差高さは 0.044 mm から 0.102 mm の値をとる。

【0146】

図13に、実施例11の密着積層型回折光学素子の回折効率の波長依存性を実線で示す。図13において点線は、第一のカルコゲナイドガラス材からなる単層の回折光学素子の回折効率の波長依存性を示す。図13に示すように、実施例11の場合も第一のカルコゲナイドガラス材と、第二のカルコゲナイドガラス材とを回折格子構造を介して密着積層することにより、広い波長範囲において回折効率の波長依存性が改善されていることが分かる。

10

【0147】

上記実施例1～実施例11のいずれの場合も、図2に示した方法により、第一のカルコゲナイドガラス材からなる第一層と第二のカルコゲナイドガラス材からなる第二層との密着性の良好な密着積層型回折光学素子を得ることができた。また、密着面に対しても、モールド成型により回折格子構造を形成することができ、製造時の加工が容易であった。

【0148】

また、本実施例では、実施例1と異なる第一のカルコゲナイドガラス材を用いているが、実施例1と同じ第二のカルコゲナイドガラス材を用いている。実施例1の密着積層型回折光学素子では、設計波長 λ において、隣接する輪帯で付与される光路長差が 1λ となるときの回折段差高さは 0.125 mm であったのに対して、実施例11の密着積層型回折光学素子は上記のとおり、その回折段差高さが 0.073 mm である。実施例10の場合と同様に、同等の回折効率を維持した上で、実施例1の密着積層型回折光学素子と比較すると、実施例11の密着積層型回折光学素子では回折段差の段差量を小さくすることができた。

20

【0149】

表1に実施例1から実施例11で用いた第一のカルコゲナイドガラス材の組成、屈折率 (n_1)、アッペ数 (v_1)、ガラス転移点、ガラス屈伏点、軟化点、熱膨張係数をまとめる。また、表2に実施例1から実施例11で用いた第二のカルコゲナイドガラス材の組成、屈折率 (n_2)、アッペ数 (v_2)、ガラス転移点、ガラス屈伏点、軟化点、熱膨張係数をまとめる。表3に、第一のカルコゲナイドガラス材と第二のカルコゲナイドガラス材の屈折率差 Δn 、ブレイズ波長、ブレイズ波長において隣接する輪帯で付与される光路長差が 1λ となるときの段差高さ、ガラス転移点差、ガラス屈伏点差、軟化点差、熱膨張係数をまとめる。

30

【0150】

【表 1】

	n1							
	材種	組成	n1	ν 1	ガラス転移点 (°C)	ガラス屈伏点 (°C)	軟化点 (°C)	熱膨張係数 ($10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)
実施例1	IIR-SF1	Ge:2mol% Sb:30mol% Sn:3mol% S :65mol%	2.724	64	233	253	278	156
実施例2								
実施例3								
実施例4	IRG203	Se:65mol% Ge:20mol% Sb:15mol%	2.589	125	266	285	304	157
実施例5	IRG25	Se:60mol% Ge:28mol% Sb:12mol%	2.603	220	275	285	315	140
実施例6	SIG2	Se:65mol% Ge:20mol% Sb:15mol%	2.586	209	262	283	304	161
実施例7	IRG201	Se:55mol% Ge:33mol% Sb:12mol%	2.498	214	362	385	410	117
実施例8	IIR-SF2	Ga:2mol% Sb:30mol% Sn:3mol% S :65mol%	2.668	65	233	253	278	156
実施例9								
実施例10								
実施例11								

【 0 1 5 1 】

【表 2】

	n2							
	材種	組成	n2	ν 2	ガラス転移点 (°C)	ガラス屈伏点 (°C)	軟化点 (°C)	熱膨張係数 ($10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)
実施例1	C-1	As:40mol% Se:40mol% Te:20mol%	2.805	384	167	188	209	230
実施例2	IRG23	Ge:30mol% As:13mol% Se:32mol% Te:25mol%	2.787	337	275	295	305	134
実施例3	IG6	Se:60mol% As:40mol%	2.778	317	180	185	217	207
実施例4	IG4	Se:50mol% As:40mol% Ge:10mol%	2.608	345	205	225	245	204
実施例5	IRG23/IRG24 =5/95	Se:49mol% As:39mol% Ge:11mol% Te: 1mol%	2.618	350	253	273	283	208
実施例6	IRG24	Se:50mol% As:40mol% Ge:10mol%	2.609	358	205	225	245	204
実施例7	IRG24		2.609	358	205	225	245	204
実施例8	IRG204	Se:63mol% As:30mol% Sb: 4mol% Sn: 3mol%	2.765	316	167	207	247	205
実施例9	IG3	Ge:33mol% As:13mol% Se:52mol% Te:25mol%	2.787	325	275	345	<u>415</u>	134
実施例10	IRG23	Ge:30mol% As:13mol% Se:32mol% Te:25mol%	2.787	337	275	295	305	134
実施例11	C-1	As:40mol% Se:40mol% Te:20mol%	2.805	384	167	188	209	230

【 0 1 5 2 】

10

20

30

【表 3】

	Δn	ブレース 波長 (μm)	段差高さ (mm)	ガラス転移点差 ($^{\circ}\text{C}$)	ガラス屈伏点差 ($^{\circ}\text{C}$)	軟化点差 ($^{\circ}\text{C}$)	熱膨張係数 ($10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)
実施例1	0.081	10	0.125	66	65	69	74
実施例2	0.063	10	0.160	42	42	27	22
実施例3	0.054	10	0.188	53	68	61	51
実施例4	0.020	10	0.507	61	60	59	47
実施例5	0.015	10	0.686	22	12	32	68
実施例6	0.023	10	0.432	57	58	59	43
実施例7	0.111	10	0.090	157	160	165	87
実施例8	0.097	10	0.100	66	46	31	49
実施例9	0.119	10	0.084	42	92	137	22
実施例10	0.119	10	0.084	42	42	27	22
実施例11	0.137	10	0.073	66	65	69	74

10

【産業上の利用可能性】

20

【0153】

本件発明によれば、製造時の加工が容易であり、且つ、赤外線光学系に好適な回折効率の波長依存性の少ない密着積層型回折光学素子、当該回折光学素子を用いた赤外線光学系及び撮像装置を提供することができる。

【符号の説明】

【0154】

10・・・第一層

20・・・第二層

30・・・回折格子構造

100・・・密着積層型回折光学素子

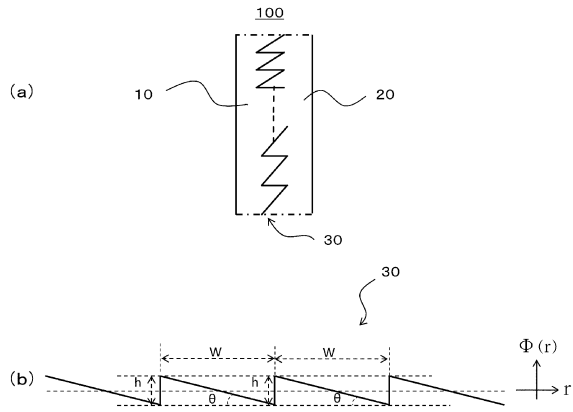
 θ ・・・傾斜角

H・・・ブレース高さ

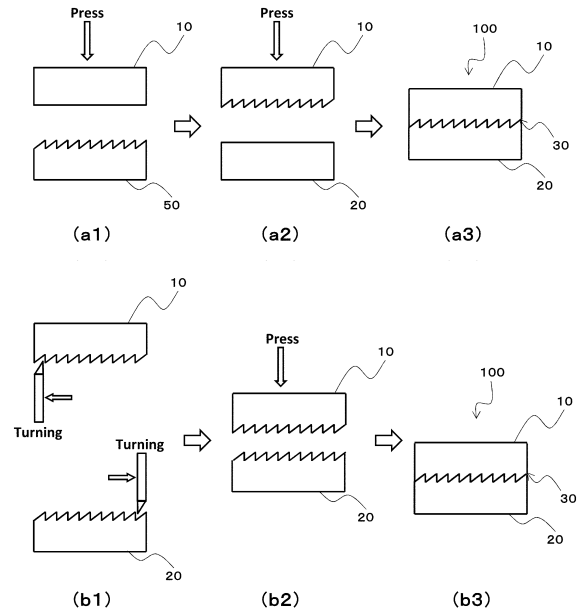
W・・・ピッチ

30

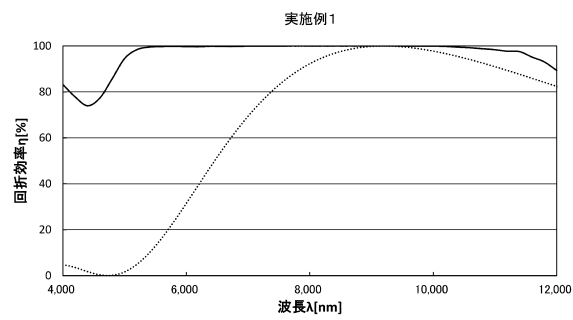
【図1】



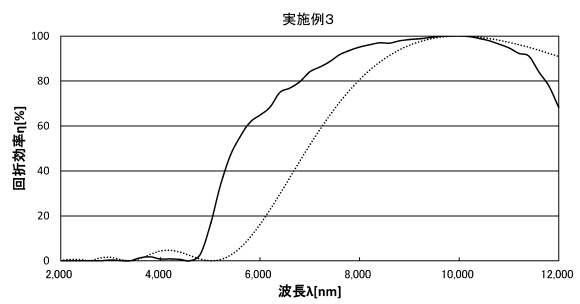
【図2】



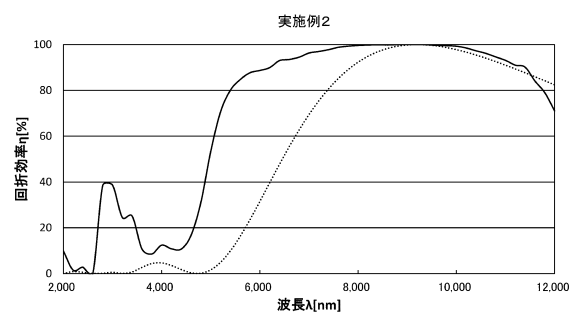
【図3】



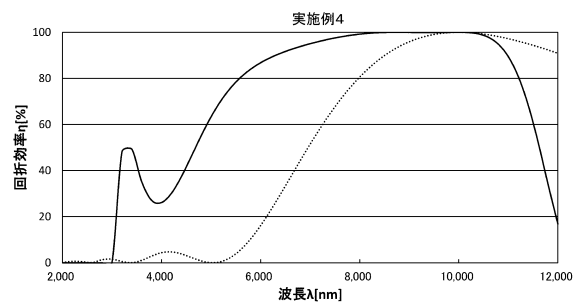
【図5】



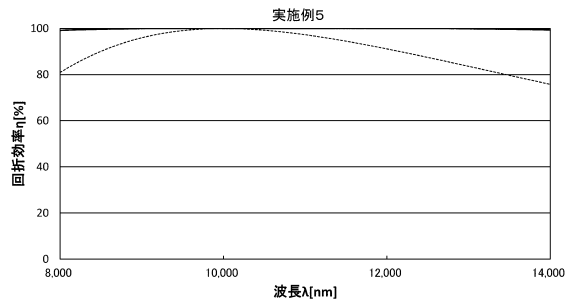
【図4】



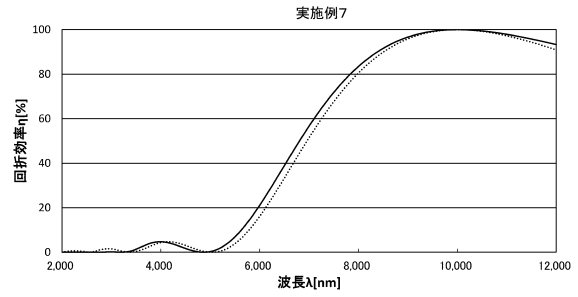
【図6】



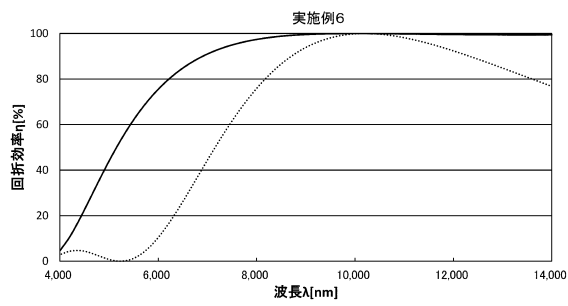
【図 7】



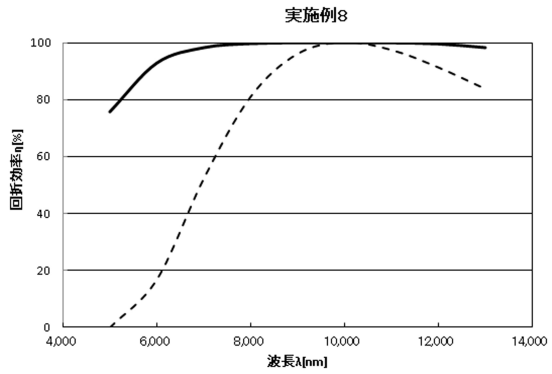
【図 9】



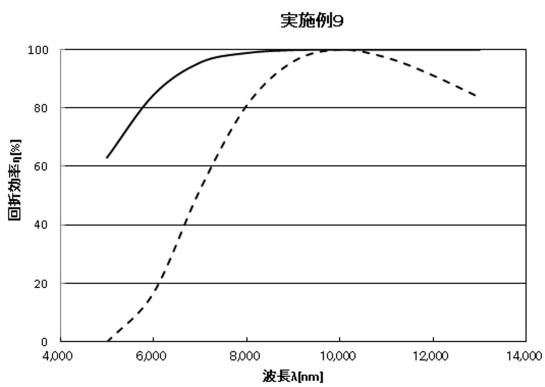
【図 8】



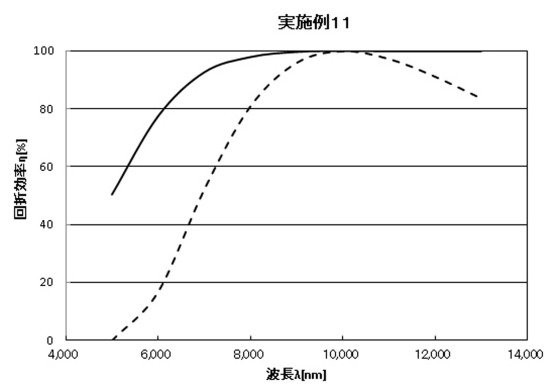
【図 10】



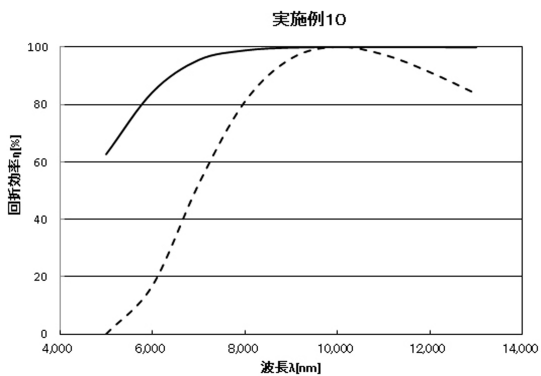
【図 11】



【図 13】



【図 12】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-217139(JP,A)
特開2006-220705(JP,A)
特開2014-149430(JP,A)
特開2008-242186(JP,A)
特開2001-33611(JP,A)
特開2006-12394(JP,A)
国際公開第2009/084619(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 5/18
G02B 5/32
G02B 3/00 - 3/14
G02B 1/00 - 1/08
C03C 3/32