

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5059079号  
(P5059079)

(45) 発行日 平成24年10月24日 (2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月10日 (2012.8.10)

(51) Int. Cl.	F I
<b>G O 2 B 5/18 (2006.01)</b>	G O 2 B 5/18
<b>G O 2 B 13/00 (2006.01)</b>	G O 2 B 13/00
<b>G O 2 B 13/18 (2006.01)</b>	G O 2 B 13/18
<b>G O 2 B 17/08 (2006.01)</b>	G O 2 B 17/08 A
<b>G O 2 B 5/08 (2006.01)</b>	G O 2 B 5/08 A
請求項の数 4 (全 21 頁) 最終頁に続く	

(21) 出願番号	特願2009-241989 (P2009-241989)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成21年10月21日 (2009.10.21)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2011-90074 (P2011-90074A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成23年5月6日 (2011.5.6)	(74) 代理人	100110412
審査請求日	平成24年3月12日 (2012.3.12)		弁理士 藤元 亮輔
早期審査対象出願		(74) 代理人	100104628
			弁理士 水本 敦也
		(72) 発明者	斉藤 賢一
			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
		(72) 発明者	猪口 和隆
			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	後藤 慎平
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 積層型回折光学素子および光学系

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の回折格子が積層されて構成された積層型回折光学素子であって、  
前記複数の回折格子の格子面に、互いに異なる特定波長帯の光を反射して、該特定波長帯とは異なる波長帯の光を透過させる反射膜が形成され、前記各反射膜は互いに同じ透光媒質の間に配置されており、  
前記複数の回折格子の前記格子面は、それぞれに形成された前記反射膜に対応する前記特定波長帯に応じた互いに異なる形状のブレード構造を有することを特徴とする積層型回折光学素子。

【請求項 2】

前記複数の回折格子の前記格子面における輪帯間隔および格子高さが、同一の入射光線軸上において互いに異なることを特徴とする請求項 1 に記載の積層型回折光学素子。

【請求項 3】

前記積層型回折光学素子への光の入射側から順に、紫外から青の波長帯の光を反射する前記反射膜が形成された第 1 の格子面および赤から赤外の波長帯の光を反射する前記反射膜が形成された第 2 の格子面のうち一方と他方が配置され、

該第 1 および第 2 の格子面に対して前記光の入射側とは反対側に、前記第 1 および第 2 の格子面に形成された前記反射膜を透過した波長帯の光を反射する第 3 の格子面が配置されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の積層型回折光学素子。

【請求項 4】

10

20

請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の積層型回折光学素子を含むことを特徴とする光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、積層型回折光学素子に関し、特に色収差の小さい積層型回折光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

回折光学素子（以下、DOEという）は、任意の光学パワーの設定が可能であるとともに、その異常分散特性により、屈折光学系にて色収差を効果的に低減することができる。

10

ただし、多色を扱う光学系に対しては、DOEは、その光学パワーを弱くして、色収差を良好に補正する目的で使用される場合がほとんどである。これは、DOEの分散が屈折のそれに比べて非常に大きく、結像に大きく寄与するようなパワーをDOEに持たせると、波長による回折パワーの差が大きくなることで、DOEで発生する色収差が大きくなってしまうためである。したがって、従来は、DOEのポテンシャルが十分に活かされていない。

これに対し、特許文献1には、ピックアップレンズの異なる面に異なる高さの回折格子を形成する方法が開示されている。この方法では、ある面でのステップの高さを回折させたくない波長の整数倍に設定し、回折させたい波長の整数倍とならないように設定することで、所望の波長の光のみを回折させる。

20

また、特許文献2には、液晶DOEを組み込んだ表示光学系が開示されている。この表示光学系では、光源の光の波長をR G B R ...と高速で時分割切り替えし、それに同期させて液晶DOEのパラメータを各波長に応じて切り替えることで、収差を抑える。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第3966303号公報

【特許文献2】特開平09-189892号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

ここで、例として、屈折率が $n(d) = 1.5168$  ( $d = 587.56 \text{ nm}$ )の透明な平面基板上に、同心円状の輪帯が構成された透過型DOEについて考える。DOEの回折次数を+1とし、焦点距離を50mmとすると、入射瞳がDOEの輪帯中心と同軸で径が5mmであれば、R-B ( $R = 640 \text{ nm}$ 、 $B = 480 \text{ nm}$ )の軸上色収差は15.704mmにもなる。同じ屈折率で焦点距離50mmの屈折レンズを考えると、曲率半径は-28.63mmとなり、R-Bの軸上色収差は0.775mmである。

また、25°の入射角に対して反射角が60°となるような、回折次数が+1で、焦点距離50mmの反射型DOEを考える。このDOEでは、軸上色収差(R-B)は40mm以上にもなる。

40

これらはDOE単体でのケースについての説明であるが、DOEをレンズやミラー等と組み合わせた光学系であっても、DOE自体のパワーが強い場合には、回折による非常に大きな色収差が発生し、場合によっては光学系自体が成り立たなくなる。

以上の問題を解決する手段として、前述した特許文献1, 2にて開示されたDOEがある。しかし、特許文献1にて開示されたDOEはマルチレベルゾーンプレート型のDOEであるため、十分な回折効率が得られない場合がある。また、特許文献2にて開示された液晶DOEを用いる方法では、輪帯間隔の精度が画素セルの大きさに依存してしまうことや、時間的な応答性に限界があることが問題となる。

そこで本発明は、強いパワーを有するにもかかわらず、回折により発生する色収差が少な

50

い積層型回折光学素子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一側面としての積層型回折光学素子は、複数の回折格子が積層されて構成されている。該積層型回折光学素子において、複数の回折格子の格子面に、互いに異なる特定波長帯の光のみを反射する反射膜が形成され、各反射膜は互いに同じ透光媒質の間に配置されている。そして、複数の回折格子の格子面は、それぞれに形成された反射膜に対応する特定波長帯に応じた互いに異なる形状のブレード構造を有することを特徴とする。

なお、上記積層型回折光学素子を含む光学系も、本発明の他の一側面を構成する。

【発明の効果】

10

【0006】

本発明によれば、強いパワーを有するにもかかわらず、回折により発生する色収差が少ない積層型回折光学素子を実現することができる。そして、該積層型回折光学素子を含む光学系を用いることで、色収差が低減された良好な光学性能を有する光学機器を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明の実施例1である反射型DOEの構成を示す概念図。

【図2】本発明の実施例2である透過型DOEの構成を示す概念図。

【図3】本発明の実施例3の反射型DOEの構成を示す概念図。

20

【図4】実施例3の反射型DOEを用いた光学系を示す図。

【図5】実施例3の反射型DOEにおいて用いられるダイクロイック膜の反射率特性を示すグラフ。

【図6】実施例3の反射型DOEにおける波長  $\lambda_B$  に対する反射回折効率を示すグラフ。

【図7】実施例3の反射型DOEにおける波長  $\lambda_G$  および  $\lambda_R$  に対する透過回折効率を示すグラフ。

【図8】本発明の実施例4である反射型DOEの構成を示す概念図。

【図9】実施例4の変形例である反射型DOEの構成を示す概念図。

【図10】回折面での回折効率を示すグラフ。

【図11】実施例2の透過型DOEの材質の分散特性を示すグラフ。

30

【図12】実施例2の透過型DOEの材質の分散特性を示すグラフ。

【図13】本発明の実施例5の光学系を示す図。

【図14】本発明の実施例6の光学系を示す図。

【図15】実施例6の光学系に用いられる透過型DOEの材質の分散特性を示すグラフ。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。本発明は反射型の積層型回折光学素子に関するものであり、その実施例は、実施例1および実施例3～5である。  
一方、実施例2、6には、参考技術例として、透過型の積層型回折光学素子について記載する。

40

【実施例1】

【0009】

図1には、本発明の実施例1である反射型の積層DOE（積層型回折光学素子）1を示している。DOE1は、第1層21～第3層23の3層の回折格子が積層されて構成されている。該3層の回折格子は互いに同じ透光媒質により形成されており、その屈折率（ $n$ （ $\lambda$ ））も同じである。

第1層21と第2層22の間の格子面11には、第1の波長帯の光のみを反射させる反射膜としてのダイクロイック膜が形成されている。第2層22と第3層23の間の格子面12には、第2の波長帯の光のみを反射させる反射膜としてのダイクロイック膜が形成さ

50

れている。

また、格子面 1 3 は、第 1 ～ 第 3 層 2 1 ～ 2 3 を透過した光を反射するミラー面として形成されている。このミラー面は、第 3 層 2 3 の裏面に反射膜を蒸着して形成されてもよいし、金属板によって形成されていてもよい。

また、格子面 1 1 , 1 2 に形成された反射膜は、ダイクロイック膜でなくとも、特定波長帯（第 1 の波長帯や第 2 の波長帯）の光を反射して、特定波長帯とは異なる波長帯の光を透過させる（すなわち、特定波長帯の光のみを反射する）膜であればよい。但し、ここにいう「特定波長帯の光を反射して、特定波長帯とは異なる波長帯の光を透過させる（特定波長帯の光のみを反射する）」は、必ずしも 100 % の反射と透過を要求するものではなく、それぞれ若干（例えば、5 % や 10 % ）の透過と反射が生じてもよい。

10

D O E 1 の全体としては、上記のように第 1 ～ 第 3 層 2 1 ～ 2 3 が互いに同じ材料で形成されると、薄型の D O E とすることができる。第 1 ～ 第 3 層 2 1 ～ 2 3 が樹脂により形成される場合は、ミラー面を含む格子面 1 3 を基板上に形成し、その上に順に第 3 層 2 3 、ダイクロイック膜、第 2 層 2 2 、ダイクロイック膜および第 1 層 2 1 と形成することで D O E を製作することができる。このとき、第 1 層 2 1 における光入射側の面 1 0 に反射防止膜が形成されていてもよい。また、逆に、面 1 0 よりも光入射側に透明基板を用い、第 1 層 2 1 、ダイクロイック膜、第 2 層 2 2 、ダイクロイック膜、第 3 層 2 3 および反射膜と形成して、裏面鏡として製作することも可能である。

格子面 1 1 , 1 2 に形成されたダイクロイック膜（以下、これらダイクロイック膜にも符号 1 1 , 1 2 を付す）と格子面 1 3 に形成されたミラー面（以下、このミラー面にも符号 1 3 を付す）はそれぞれ、ブレード形状の格子輪帯を有する格子面に形成されている。格子輪帯は、必要な光学パワーを持たせるような位相差関数に基づいた輪帯間隔を有する。

20

なお、本実施例では、説明を簡単にするために、D O E 1 全体として平板形状を有し、格子面 1 1 ～ 1 3 の格子先端の包絡面と面 1 0 もそれぞれ平面であるとする。

これにより、面 1 0 から D O E 1 に入射した単色でない光は、第 1 層 2 1 を透過した後、第 1 の波長帯の光のみが格子面 1 1 において所定の回折次数で反射および回折され、再度、第 1 層 2 1 を透過して面 1 0 から射出される。第 1 の波長帯以外の波長の光は、第 1 層 2 1 と第 2 層 2 2 の屈折率が等しいため、格子面 1 1 を回折されずに透過する。

格子面 1 1 および第 2 層 2 2 を透過した光のうち第 2 の波長帯の光のみが格子面 1 2 において所定の回折次数で反射および回折され、再度、第 2 層 2 2 および第 1 層 2 1 を透過して面 1 0 から射出される。このときも、格子面 1 1 においては回折されずに透過する。ここで、第 2 層 2 2 を透過した光のうち第 2 の波長帯以外の波長帯の光は、第 2 層 2 2 と第 3 層 2 3 の屈折率が等しいため、格子面 1 2 を回折されずに透過する。

30

格子面 1 2 および第 3 層 2 3 を透過した光は、格子面 1 3 において所定の回折次数で反射および回折され、再度、第 3 層 2 3 ～ 第 1 層 2 1 を透過して面 1 0 から射出される。このときも、格子面 1 2 , 1 1 においては回折されずに透過する。

従来の反射型 D O E では、ある特定の波長帯で回折効率が最大になるように設定された格子面が全ての波長帯の光に作用するため、前述したようにパワーの波長依存性を低減することは困難であった。これに対し、本実施例の D O E 1 では、それぞれの格子面の形状を、それぞれの格子面で回折させたい波長帯（特定波長帯）に対してのみ最適化すれば、その波長帯の光に作用するパワーを独立に設定することができる。この結果、色収差を低減することができる。すなわち、本実施例の D O E 1 における格子面 1 1 , 1 2 は、それぞれに形成された反射膜に対応する特定波長帯に応じた互いに異なる形状を有する。

40

また、各格子面での回折効率も任意の波長帯で最適化できるため、反射および回折させる限定された幅の波長帯において、高い回折効率を確保することが可能となる（図 1 0 参照）。

また、図 1 において、I L は D O E 1 上のある点に入射する単色でない光（入射光）を示している。格子面 1 1 は、波長  $\lambda_1$  を含む第 1 の波長帯の光を反射および回折させ、それ以外の波長帯の光を透過させる。格子面 1 2 は、波長  $\lambda_2$  を含む第 2 の波長帯の光を反

50

射および回折させ、それ以外の波長帯の光を透過させる。格子面 1 3 は、波長  $\lambda_3$  を含む、格子面 1 1, 1 2 を透過した波長帯の光を反射および回折させる。

$DL_1 \sim DL_3$  は、それぞれ格子面 1 1 ~ 1 3 で反射および回折された光線である。また、 $P_1 \sim P_3$ ,  $d_1 \sim d_3$  は、それぞれ格子面 1 1 ~ 1 3 の光線  $DL_1 \sim DL_3$  の入射点における輪帯間隔（輪帯のピッチ）と格子高さである。すなわち、格子面 1 1 ~ 1 3 における輪帯間隔  $P_1 \sim P_3$  および格子高さ  $d_1 \sim d_3$  は、光線  $DL_1 \sim DL_3$  が辿る同一の入射光線軸上において互いに異なる。

このとき、各格子面でのパワーが同等になるように輪帯間隔  $P_1 \sim P_3$  を決めれば、波長によるパワーの差を低減することができる。DOE では、波長が長くなるほどパワーが強くなるため、

$$\lambda_3 < \lambda_2 < \lambda_1 \quad \dots\dots (1)$$

であれば、

$$P_3 < P_2 < P_1 \quad \dots\dots (2)$$

となるように、各格子面の輪帯間隔を設定すればよい。DOE が軸対称型である場合においては、一般に、位相差関数  $\phi$  は、

【0 0 1 0】

【数 1】

$$\phi(r) = \sum_n C_n \cdot r^{2n} \quad (r: \text{輪帯中心からの距離}) \quad \dots\dots (3)$$

【0 0 1 1】

で表される。また、輪帯間隔  $P(r)$  は、

$$P(r) = \lambda / \{d(r)/d_r\} \quad \dots\dots (4)$$

となるため、

$$(P_1 : P_2 : P_3) = (\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3) \quad \dots\dots (5)$$

となるように輪帯間隔を設定すればよい。

また、回折効率に関しては、各格子面の格子高さを、それぞれ  $\lambda_1 \sim \lambda_3$  において最大になるように設定すればよい。このときの各波長は、上記の輪帯間隔を決めたときの各々の波長と必ずしも一致している必要はなく、各面で反射させる波長スペクトルにおいてバランスの取れる所望の値でもよい。格子高さ  $d$  は、

$$d = m \cdot \lambda / \sin \theta \quad (\theta: \text{光路差}) \quad \dots\dots (6)$$

として求められるため、各格子面の格子高さ  $d_1 \sim d_3$  は、

$$\lambda_3 < \lambda_2 < \lambda_1$$

であれば、

$$d_3 < d_2 < d_1 \quad \dots\dots (7)$$

となるように設定すればよい。すなわち、おおよそ、

$$(d_1 : d_2 : d_3) = (\lambda_1 : \lambda_2 : \lambda_3) \quad \dots\dots (8)$$

であればよい。

また、このとき、各回折面での回折効率の波長依存性を見ると、図 10 に示すようにピークの波長から離れるにつれて回折効率が低下する。このため、使用する光のスペクトルとしては、各ピーク波長の近傍にピークを持つ、できるだけ狭いスペクトルを持つ方が好ましい。例えば、各ピーク波長に合わせたレーザー光や LED 光等が光源に用いられることで、不要回折光を少なくすることができる。一方、光源のスペクトルが広くても、例えば、表示素子や撮像素子の画素毎に周期的に複数のカラーフィルタを設置することでも同様の効果は得られる。

【実施例 2】

【0 0 1 2】

図 2 には、本発明の実施例 2 である透過型積層 DOE 2 を示している。この DOE 2 でも、単色にのみ回折作用を及ぼす回折格子を複数積層する点では実施例 1 の DOE 1 と同じである。DOE 2 は、2 つの波長に関して色補正をする機能を有する。

DOE 2 は、第 1 層 4 1 ~ 第 3 層 4 3 の 3 層の透光媒質を積層して構成されている。該 3

10

20

30

40

50

層の透光媒質は、互いに異なる媒質であり、その屈折率も互いに異なる。第1層41～第3層43の透光媒質の屈折率をそれぞれ、 $n_1(\quad)$ 、 $n_2(\quad)$ 、 $n_3(\quad)$ とする。第1層41と第2層42の間の格子面11および第2層42と第3層43の間の格子面12はいずれも、ブレード構造の格子面として形成されている。ただし、格子面11、12のブレード構造の形状は互いに異なる。

DOE2には、少なくとも波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ を含む入射光ILが面10から入射し、面14から射出する。格子面11、12および面10、14には、反射防止膜が形成されていてもよい。また、第1層41と第3層43を薄く製作したい場合には、面10よりも入射側および面14よりも射出側のうち少なくとも一方に透光基板を配置してもよい。透光基板が保持部材となるので、入射側と射出側の層を薄くすることができる。

積層方向において隣り合う第1層41と第2層42は、それらの屈折率 $n_1(\quad)$ 、 $n_2(\quad)$ が少なくとも波長 $\lambda_1$ (1色の光)に対してのみ異なり、他の波長 $\lambda_2$ に対しては等しい、すなわち、

$$\begin{aligned} n_1(\lambda_1) &< n_2(\lambda_1) \\ n_1(\lambda_2) &= n_2(\lambda_2) \quad \cdots \cdots (9) \end{aligned}$$

となるような分散特性を有する。

また、格子面11は、波長 $\lambda_1$ において必要な回折パワーと回折効率を持つような輪帯間隔 $P_1$ および格子高さ $d_1$ に設定されている。したがって、格子面11においては、波長 $\lambda_1$ の光のみが所定方向に透過および回折され、波長 $\lambda_2$ の光は回折されずにそのまま透過して第2層42に入射する。

また、積層方向において隣り合う第2層42と第3層43は、それらの屈折率 $n_2(\quad)$ 、 $n_3(\quad)$ が少なくとも波長 $\lambda_2$ (1色の光)に対してのみ異なり、他の波長 $\lambda_1$ に対しては等しい、すなわち、

$$\begin{aligned} n_2(\lambda_2) &< n_3(\lambda_2) \\ n_2(\lambda_1) &= n_3(\lambda_1) \quad \cdots \cdots (10) \end{aligned}$$

となるような分散特性を有する。

また、格子面12は、波長 $\lambda_2$ において必要な回折パワーと回折効率を持つような輪帯間隔 $P_2$ および格子高さ $d_2$ に設定されている。したがって、格子面12においては、波長 $\lambda_2$ の光のみが所定方向に透過および回折され、波長 $\lambda_1$ の光は回折されずにそのまま透過して第3層43に入射する。

このときの第1層41～第3層43の透光媒質の分散特性を図11に示している。ここでは、 $\lambda_1 = 640 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 410 \text{ nm}$ としている。このような分散特性を持つ材料によりDOE2を形成すれば、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の2色のレーザー光束を同軸上で異なる焦点位置に集光させるピックアップレンズ等に応用が可能となる。

以上、2色の異なる波長の光を独立に透過および回折させる場合について説明したが、3色以上の異なる波長の光を独立に透過および回折させる場合には、以下の条件を満足すればよい。

入射光が、それぞれ波長 $\lambda_i$ (但し、 $i = 1 \sim N$ 、 $\lambda_i > \lambda_{i+1}$ )をピークに持つN個(但し、 $(N-2)$ のスペルトルを含むとする。このとき、屈折率 $n_j$ (但し、 $j = 1 \sim N+1$ )を持つ少なくともN+1個の異なる透光媒質の層によりDOEを構成する。そして、透光媒質は添え字jが小さいほど光入射側の層として配置されたとする。このとき、各層の波長特性が、

$$\begin{aligned} j = i \text{ のとき、} & n_j(\lambda_i) < n_{j+1}(\lambda_i) \\ j > i \text{ のとき、} & n_j(\lambda_i) = n_{i+1}(\lambda_i) \\ j < i \text{ のとき、} & n_j(\lambda_i) = n_i(\lambda_i) \quad \cdots \cdots (11) \end{aligned}$$

の関係を満たせばよい。

上記のDOE2の例は、 $N = 2$ ( $i = 1 \sim 2$ 、 $j = 1 \sim 3$ )の場合に相当する。このような素子では、各々の回折面において、ある波長 $\lambda_i = \lambda_k$ の光のみを所定方向に透過および回折させ、その他の波長 $\lambda_i \neq \lambda_k$ の光は、回折させずに透過させる。

例として、 $N = 3$ のときに必要となる各透光媒質の分散特性を図12に示す。ここでは3

10

20

30

40

50

つの波長を  $\lambda_1 = 640 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 530 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 470 \text{ nm}$ としている。DOEは4層構造であり、 $\lambda_1$ の光は第1および第2層間の格子面で、 $\lambda_2$ の光は第2および第3層間の格子面で、 $\lambda_3$ の光は第3および第4層間の格子面でそれぞれ独立に回折される。

各透光媒質に求める分散特性を持たせるための方法としては、例えば、透光性を有する有機物に無機ナノ微粒子をドーピングする方法がある。

### 【実施例3】

#### 【0013】

実施例1で説明した反射型積層DOE1の具体例としての実施例3を図3に示す。このDOE1は、互いに同じ透光媒質により形成された第1層21～第3層23の3層の回折格子が積層されて構成されている。第1層21と第2層22の間に格子面11が、第2層22と第3層23の間に格子面12が、第3層23の裏面に格子面13がそれぞれ形成されている。

格子面11には、赤(R)から赤外の波長帯(第1の波長帯)の光を反射および回折させるダイクロイック膜が形成されている。また、格子面12には、紫外から青(B)の波長帯(第2の波長帯)の光を反射および回折させるダイクロイック膜が形成されている。格子面13は、少なくとも格子面11, 12を透過した緑(G)の波長帯(第3の波長帯)の光を反射および回折させる。

この構成により、短波長側および長波長側の第1および第2の波長帯の光は、2つのダイクロイック膜で独立に反射および回折させることができる。また、第1および第2の波長帯の間の第3の波長帯の光は、少なくともその波長帯の光を反射させる格子面によって必要なパワーで回折させることができる。

また、この構成では、光入射側の2面の反射率特性を、ローパスフィルタ(何nm以下)やハイパスフィルタ(何nm以上)的に設定すればよく、バンドパスフィルタ的に設定する必要がない。このため、ダイクロイック膜の構成を簡単にすることができる。格子面11にて紫外～青の波長帯の光を反射し、格子面12にて赤～赤外の波長帯の光を反射するようにする場合でも、この効果は同様に得られる。

つまり、DOEへの光入射側から順に、紫外から青の波長帯の光を反射するダイクロイック膜が形成された第1の格子面11および赤から赤外の波長帯の光を反射するダイクロイック膜が形成された第2の格子面12のうち一方と他方が順不同で配置される。そして、第1および第2の格子面に対して光入射側とは反対側に、第1および第2の格子面に形成されたダイクロイック膜を透過した波長帯の光を反射する第3の格子面13が形成されればよい。

図4には、入射瞳5の径が5mmで、画角が20°であり、偏心させた1つの反射型DOE50によって像を形成する光学系を示している。以下に該光学系の数値データを示す。

ここで、座標の基準は瞳の中心位置であり、Z軸は瞳の中心を通り該瞳と垂直な方向に延びる軸とする。また、Y軸は、Z軸に垂直で偏心断面(母線断面)方向に延びる軸とする。X軸は、Y軸およびZ軸に垂直な方向に延びる軸とする。θはX軸を中心とした回転偏心角である。

面番号	曲率半径	Y位置	Z位置	偏心
物体		0.000		
1: (瞳)		0.000	0.000	
2:		0.000	50.000	
3:		0.000	50.000	
4:		-0.7714	50.000	(DOE) 30°
5:		-0.7714	50.000	90°
6:		-50.7714	50.000	90°
像面:		-50.7714	50.000	90°

この光学系では、入射角<反射角となるように構成されている。このときの設計波長は、

$R = 640 \text{ nm}$ 、 $G = 530 \text{ nm}$ 、 $B = 480 \text{ nm}$ であり、設計回折次数は+5次とした。この結果、各層の位相差関数は、

【0014】

【数2】

$$\psi(x, y) = \sum_m \sum_n C_{nm} x^n y^m \quad (n, m: \text{整数})$$

【0015】

となる。

ここで、瞳の中心を通り画角がゼロの光線をz軸とし、x軸およびy軸をz軸に直交し、かつ互いに直交する軸とし、DOEをx軸について回転偏心させたとする。以下の説明において、yz平面を母線断面、xz平面を子線断面という。また、以下の説明では、母線断面についてのみ説明する。この場合、yの項だけを考慮すればよいから、位相差関数は、

【0016】

【数3】

$$\psi(y) = \sum_m C_m y^m$$

【0017】

$$C_1 = -3.75050 \cdot 10^{-3}$$

$$C_2 = -1.28103 \cdot 10^{-3}$$

$$C_3 = 1.18215 \cdot 10^{-5}$$

$$C_4 = 2.30640 \cdot 10^{-8}$$

$$C_5 = -1.35259 \cdot 10^{-7}$$

$$C_6 = 1.03332 \cdot 10^{-8}$$

$$C_7 = 1.79335 \cdot 10^{-10}$$

$$C_8 = -5.01001 \cdot 10^{-11}$$

$$C_9 = 2.06563 \cdot 10^{-12}$$

$$C_{10} = -2.77163 \cdot 10^{-14}$$

となる。輪帯間隔  $P_k(y)$  は、式(4)に従って、

$$P_k(y) = \frac{d_k}{\{d_k(r)/dr\}}$$

$$= \frac{d_k}{\{m \cdot C_m y^{m-1}\}} \quad (\text{但し、} k \text{ は色}) \quad \cdots (12)$$

となる。このとき、画角が+5°の主光線について考えると、DOE面(面10)への入射角は25°、DOE上での入射位置の光軸からの距離は  $y = 5.65 \text{ mm}$  であり、反射角30.65°で射出される。このときの各色の光を反射および回折させる回折面の輪帯間隔  $P_k$  は、

$$P_R = 36.7 \mu\text{m}$$

$$P_G = 33.7 \mu\text{m}$$

$$P_B = 27.5 \mu\text{m}$$

となる。

また、格子高さ  $d_k$  は、

$$d_R = 2.15 \mu\text{m}$$

$$d_G = 1.97 \mu\text{m}$$

$$d_B = 1.61 \mu\text{m}$$

となる。

このとき、輪帯間隔が同一であるとする、倍率色収差(R-B)は約1.8mm、軸上色収差(R-B)は19mmに達するが、上記のように設定すると、理論上はそれぞれゼロに抑えることが可能となる。

一方、このときのダイクロイック膜の構成について説明する。ここでは、紫外～青の波長

10

20

30

40

50



帯の光を反射および回折させ、赤や緑の波長帯の光を回折させずに透過させる場合について考える。波長を  $\lambda_B$ 、高屈折率層を H、低屈折率層を L で表すと、ダイクロイック膜の構成は、

$(0.5HL0.5H)^9$

と表せる。これは、光入射側から、 $\lambda_B/8$  の層厚の H 層と、 $\lambda_B/4$  の層厚の L 層と、 $\lambda_B/8$  の層厚の H 層の組み合わせが 9 回繰り返される構成を表す。

$\lambda_B = 480 \text{ nm}$ 、 $n_H$  (H 層の屈折率) = 1.7、 $n_L$  (L 層の屈折率) = 1.5 としたときの P 偏光の反射率の波長依存性を図 5 に示す。475 nm 以下では、反射率がほぼ 100%、575 nm 以上ではほぼゼロとなっている。

入射角  $45^\circ$  で入射位置  $y = 3.0 \text{ mm}$  の主光線の波長  $\lambda_B$  における反射回折効率と、波長  $\lambda_G$  および  $\lambda_R$  における透過回折効率を厳密結合波解析によって計算した結果をそれぞれ図 6 および図 7 に示す。波長  $\lambda_B$  の光の +5 次の反射回折効率は 82.39% となっており、波長  $\lambda_R$ 、 $\lambda_G$  の光の 0 次の透過率はそれぞれ、94.6%、90.1% となっている。また、波長  $\lambda_R$ 、 $\lambda_G$  の光の 0 次以外の回折次数の透過回折光の相対強度は 0.2% 未満となっており、これはほとんど波長  $\lambda_B$  の光のみを反射および回折し、他の波長の光はほとんど回折することなく透過していることを意味する。

ここで、波長  $\lambda_B$  の光の +5 次以外の回折光の強度が 1% 前後と少し高くなっているが、これは格子側面を傾ける等、格子の形状を調整することによって軽減できる。

【実施例 4】

【0018】

実施例 1 で説明した反射型積層 DOE 1 の別の具体例としての実施例 4 を図 8 に示す。実施例 3 では、格子面の間を単一の透光媒質材料で形成して薄型化を図ったが、本実施例では、それぞれの回折格子が透光基板上に形成され、それらを組み合わせることで反射型積層 DOE を構成している。

【0019】

図 8 において、屈折率  $n(\quad)$  を有する同じ透光媒質材料の層 21, 22 の間の格子面 11 にダイクロイック膜が形成された反射型 DOE が、屈折率  $n_p(\quad)$  の透光基板 30 上に形成されて第 1 の反射回折ユニットを構成している。 $n(\quad)$  と  $n_p(\quad)$  は同じでもよいし、異なってもよい。格子面 11 に形成されたダイクロイック膜は、波長  $\lambda_R$  の光 (R 光) を反射および回折する。

また、屈折率  $n(\quad)$  を有する同じ透光媒質材料の層 23, 24 の間の格子面 12 にダイクロイック膜が形成された反射型 DOE が、屈折率  $n_p(\quad)$  の透光基板 30 上に形成されて第 2 の反射回折ユニットを構成している。 $n(\quad)$  と  $n_p(\quad)$  は同じでもよいし、異なってもよい。格子面 12 に形成されたダイクロイック膜は、波長  $\lambda_B$  の光 (B 光) を反射および回折する。

さらに、屈折率  $n(\quad)$  を有する透光媒質材料の層 25 の格子面 13 にダイクロイック膜が形成された反射型 DOE が、屈折率  $n_p(\quad)$  の透光基板 30 上に形成されて第 3 の反射回折ユニットを構成している。 $n(\quad)$  と  $n_p(\quad)$  は同じでもよいし、異なってもよい。格子面 13 は、波長  $\lambda_G$  の光 (G 光) を反射および回折するミラー面として形成されている。

第 1 から第 3 の反射回折ユニットは、空気層 31 を挟むように近接配置されて積層される。

各基板 30 と各層 (回折格子) との境界は回折には影響なく、基板 30 が平行平板であれば各層への入射角度も変わらない。基板 30 が曲面であり、屈折パワーを持つ場合でも、それに合わせて各層の位相差関数を最適化すればよい。

なお、図 9 に示すように、第 1 から第 3 の反射回折ユニットを、空気層 31 を挟まずに密着配置されて積層されもよい。

上記いずれの例でも、実施例 1 や実施例 3 と同様に、色光ごとに独立に回折パワーを設定することができる。

【実施例 5】

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 0 】

実施例 1 で説明した反射型積層 D O E 1 のさらに別の具体例としての実施例 5 について説明する。実施例 3 , 4 では、反射型積層 D O E を光学系において単体で使用する場合には説明したが、屈折素子や反射素子と組み合わせて使用してもよい。

図 1 3 には、3 面を有するプリズム素子 6 0 のうちの 1 面に反射型積層 D O E を形成した光学系を示している。この光学系は、面 6 5 に C C D センサや C M O S センサ等の撮像素子を配置すればカメラの撮像光学系として使用できる。また、面 6 5 に液晶パネル等の表示素子を配置すれば、瞳 6 1 から該表示素子に表示された画像を拡大観察可能な画像表示装置の表示光学系として使用できる。

## 【 0 0 2 1 】

10

撮像光学系では、入射瞳 6 1 からの外界光は面 6 2 からプリズム素子 6 0 に入射し、面 6 3 で裏面反射されて面 6 4 から射出され、撮像素子 6 5 に導かれる。このとき、面 6 3 に D O E が設けられている。

本実施例では、

反射角 > 入射角

とすることで、プリズム素子 6 0 を薄型かつ小型化している。以下に、上記光学系の数値データを記す。ここでの座標系は、実施例 3 にて説明したものと同一である。

面番号	曲率半径	Y 位置	Z 位置	偏心	屈折率
物体		0.000		0.000	
1: ( 瞳 )		0.000	0.000	0.000	
2:		0.000	0.000	0.000	
3:	-200.000	0.000	25.000	30.000 °	1.57090
4:	-80.000	2.676	34.000	90.000 °	1.57090 ( D O E ・ 反射 )
5:		2.676	34.000	90.000 °	1.57090
6:	40.000	-17.324	34.000	90.000 °	
7:		-22.324	34.000	90.000 °	
像面:		-22.324	34.000	90.000 °	

20

ここでは、偏心断面（母線断面）方向の画角は ± 2 0 度、入射瞳径は 5 m m である。実施例 3 と同様に、母線断面について考え、y の項だけを考慮すると、D O E の位相差関数は、

30

## 【 0 0 2 2 】

## 【 数 4 】

$$\psi (y) = \sum_m^N C_m y^m$$

## 【 0 0 2 3 】

$$\begin{aligned} C_1 &= -1.13323 \cdot 10^{-1} \\ C_2 &= 9.94878 \cdot 10^{-4} \\ C_3 &= 2.14809 \cdot 10^{-6} \\ C_4 &= -2.88178 \cdot 10^{-6} \\ C_5 &= -6.97048 \cdot 10^{-8} \\ C_6 &= 2.17443 \cdot 10^{-8} \\ C_7 &= 6.51869 \cdot 10^{-10} \\ C_8 &= -5.24502 \cdot 10^{-11} \\ C_9 &= -2.56617 \cdot 10^{-12} \\ C_{10} &= -2.56520 \cdot 10^{-14} \end{aligned}$$

40

である。このとき、例えば、画角 0 ° の光線が入射する D O E 上での位置の輪帯間隔  $P_k$  は、入射角が 2 3 . 3 7 °、回折角が 4 5 . 4 6 4 9 ° であるから、実施例 3 と同様に計算して、

$$P_R = 5.648 \mu m$$

50

$$P_G = 5.185 \mu m$$

$$P_B = 4.236 \mu m$$

となる。また、格子高さ  $d_k$  は、

$$d_R = 1.37 \mu m$$

$$d_G = 1.25 \mu m$$

$$d_B = 1.02 \mu m$$

とすればよい。

【実施例 6】

【0024】

実施例 2 で説明した透過型積層 DOE 2 の具体例としての実施例 6 について説明する。図 14 には、2つの波長のビームを射出するレーザー光源 71a, 71b からのビームを 1枚のレンズを用いて同じ像面 74 に集光させる光学系を示している。レンズ 73 の射出面 731 に、本実施例の透過型積層 DOE が設けられている。

10

2つの波長の光に対して独立に透過回折作用する回折面を 2つ持たせるためには、前述したように、図 11 に示したような特性を持つ 3つの透光媒質材料が必要になる。ここでは、図 2 に示した構成において、第 1 層 41 の透光媒質材料を E-FD8 とし、第 2 層 42 の透光媒質材料を LAC14 とし、第 3 層 43 の透光媒質材料を E-FD15 としている。また、2つの波長を、 $\lambda_1 = 640 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 473 \text{ nm}$  としている。図 15 に E-FD8、LAC14 および E-FD15 の分散特性を示す。

また、本実施例の光学系の数値データを以下に示す。ここでの座標系も、実施例 3 で説明したものと同一である。

20

【0025】

面番号	曲率半径	Y 位置	Z 位置	偏心	屈折率
物体		0.000	-8.000	0.000 °	Air
1:	8.157	0.000	-3.000	0.000 °	1.57090
2: (瞳)	-3.148	0.000	0.000	0.000 °	(DOE)
ASP (非球面):					
	K: -0.323650	A: 0.474126E-02	B: -0.162703E-03	C: -0.711399E-05	
	D: -0.736135E-05	E: -0.799111E-06	F: -0.315013E-06	G: -0.413586E-07	30
	H: -0.174572E-07	J: -0.275514E-08			
3:		0.000	0.000	0.000 °	Air
像面:		0.000	10.000	0.000 °	

ここで、入射瞳径は 5 mm である。また、面 2 (DOE の基板面) の曲面の関数は、非球面 (ASP):

$$z(r) = cr^2 / [1 + \{1 - (1 + K) \cdot c^2 \cdot r^2\}^{1/2}] + (Ar^4 + Br^6 + Cr^8 + Dr^{10} + Er^{12} + Fr^{14} + Gr^{16} + Hr^{18} + hr^{20})$$

で表される。K はコーニク係数、c は曲率半径である。E-XX は  $10^{-XX}$  を示す。ここでは回転対称面であるため、DOE の位相差関数は、

40

【0026】

【数 5】

$$\psi(r) = \sum_m^N C_m r^{2m}$$

【0027】

で表され、第 1 層と第 2 層の間の格子面 11 ( $\lambda_1$  用) の係数は、

$$C_1 = -8.13200 \cdot 10^{-3}$$

$$C_2 = 7.11800 \cdot 10^{-4}$$

50

$$\begin{aligned}
 C_3 &= 9.45300 \cdot 10^{-5} \\
 C_4 &= 6.77600 \cdot 10^{-6} \\
 C_5 &= 4.32300 \cdot 10^{-6} \\
 C_6 &= 5.87300 \cdot 10^{-7} \\
 C_7 &= 9.39500 \cdot 10^{-8} \\
 C_8 &= 3.30800 \cdot 10^{-8} \\
 C_9 &= 9.40400 \cdot 10^{-9} \\
 C_{10} &= 1.48300 \cdot 10^{-9}
 \end{aligned}$$

に設定されている。

また、第2層と第3層の間の格子面12(2用)の係数は、

10

$$\begin{aligned}
 C_1 &= -6.37900 \cdot 10^{-3} \\
 C_2 &= 7.10000 \cdot 10^{-4} \\
 C_3 &= 9.46700 \cdot 10^{-5} \\
 C_4 &= 7.49500 \cdot 10^{-6} \\
 C_5 &= 4.33200 \cdot 10^{-6} \\
 C_6 &= 5.92300 \cdot 10^{-7} \\
 C_7 &= 9.63500 \cdot 10^{-8} \\
 C_8 &= 3.34900 \cdot 10^{-8} \\
 C_9 &= 9.52100 \cdot 10^{-9} \\
 C_{10} &= 1.51900 \cdot 10^{-9}
 \end{aligned}$$

20

に設定されている。

以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。

【産業上の利用可能性】

【0028】

強いパワーを有しながらも回折により発生する色収差が少ない積層型回折光学素子を提供できる。

【符号の説明】

【0029】

1 反射型積層DOE

30

2 透過型積層DOE

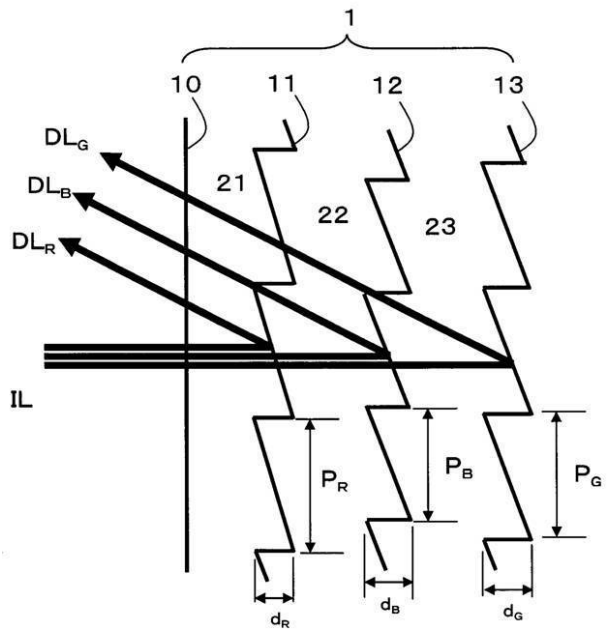
11, 12, 13 格子面

IL 入射光

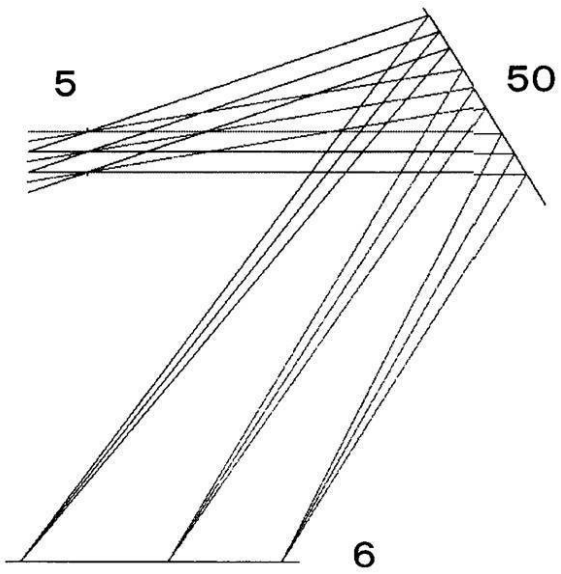
DL<sub>1</sub> ~ DL<sub>3</sub>, DL<sub>R</sub> ~ DL<sub>B</sub> 回折光



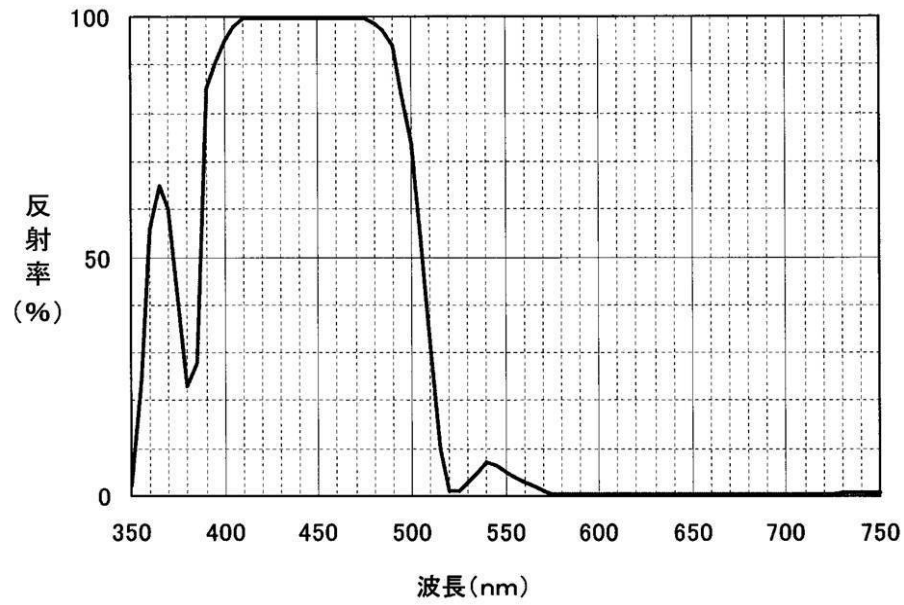
【 図 3 】



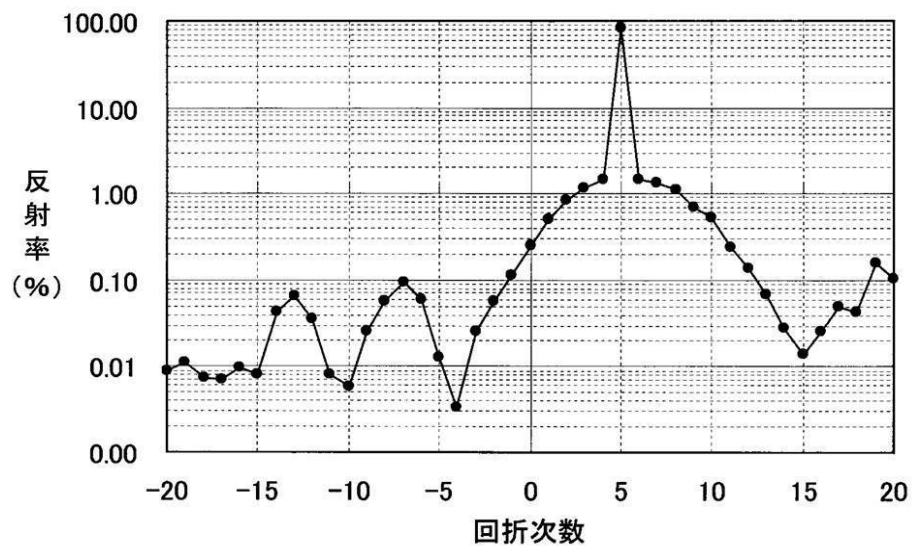
【 図 4 】



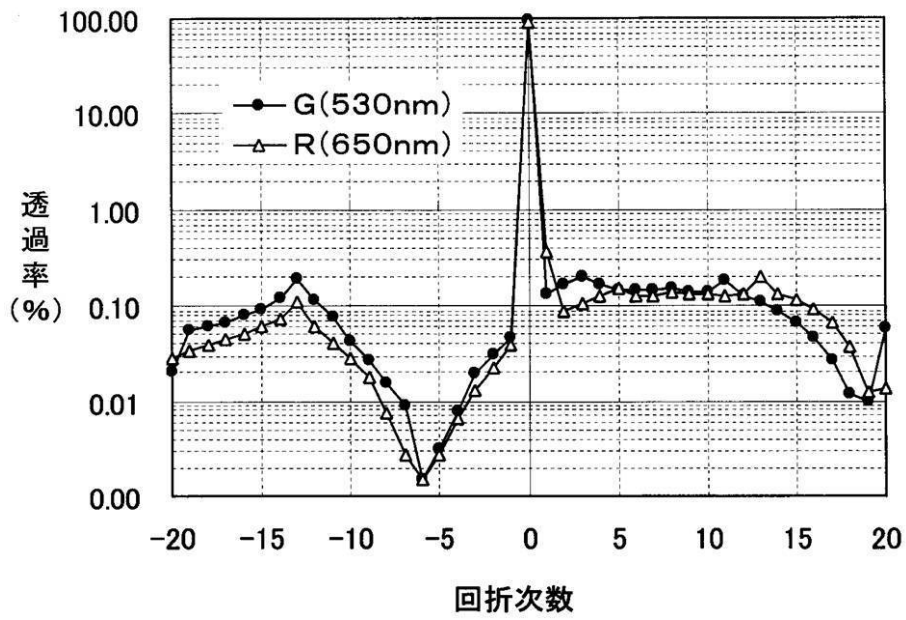
【図 5】



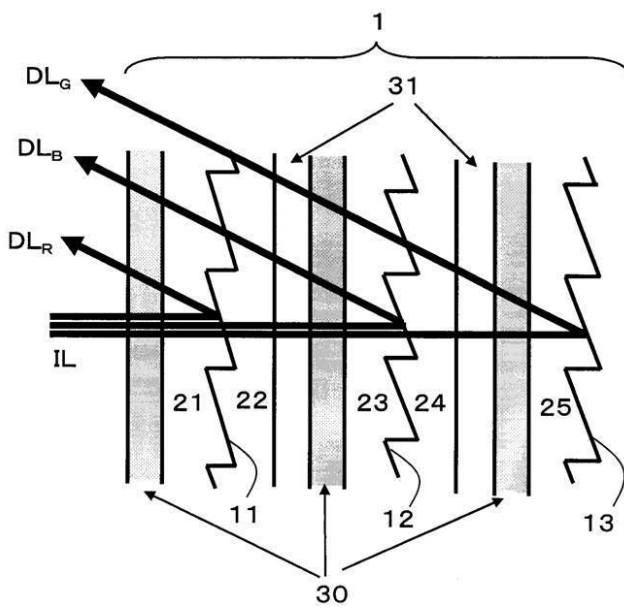
【図 6】



【図 7】

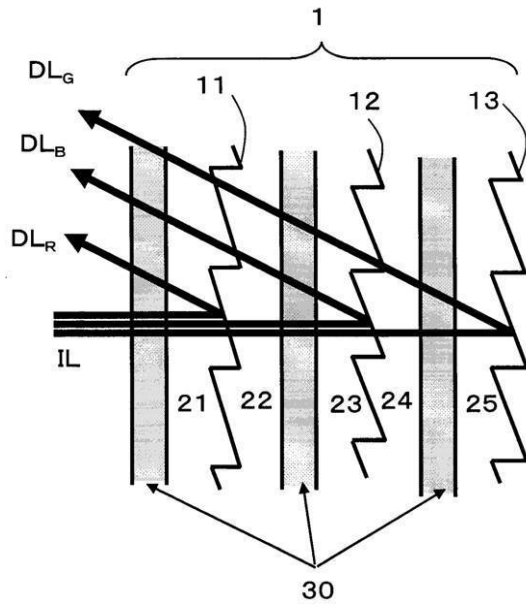


【図 8】

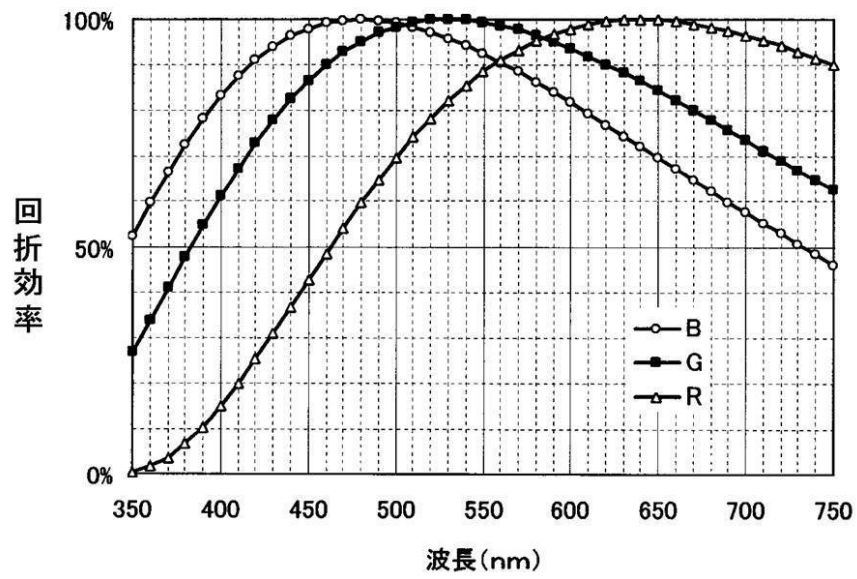




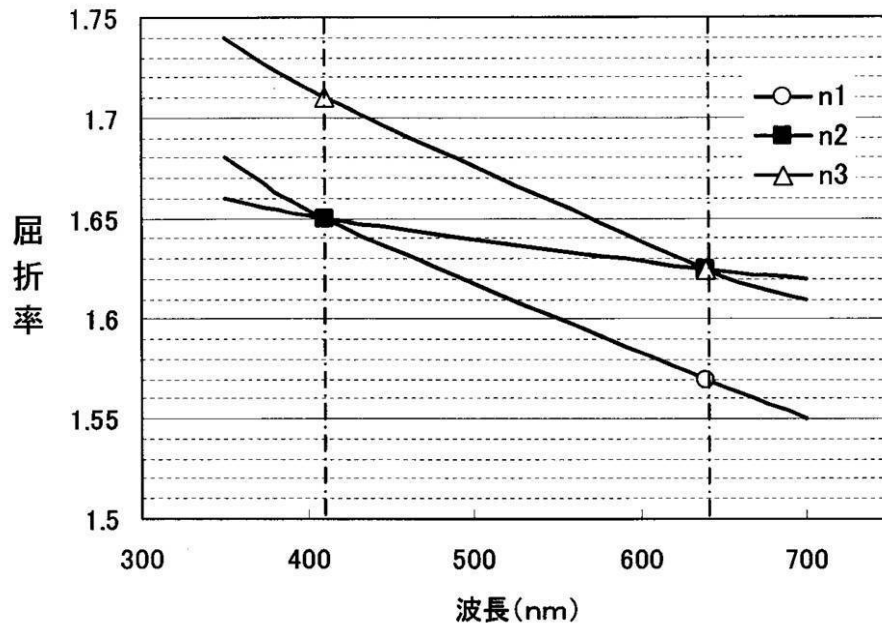
【図 9】



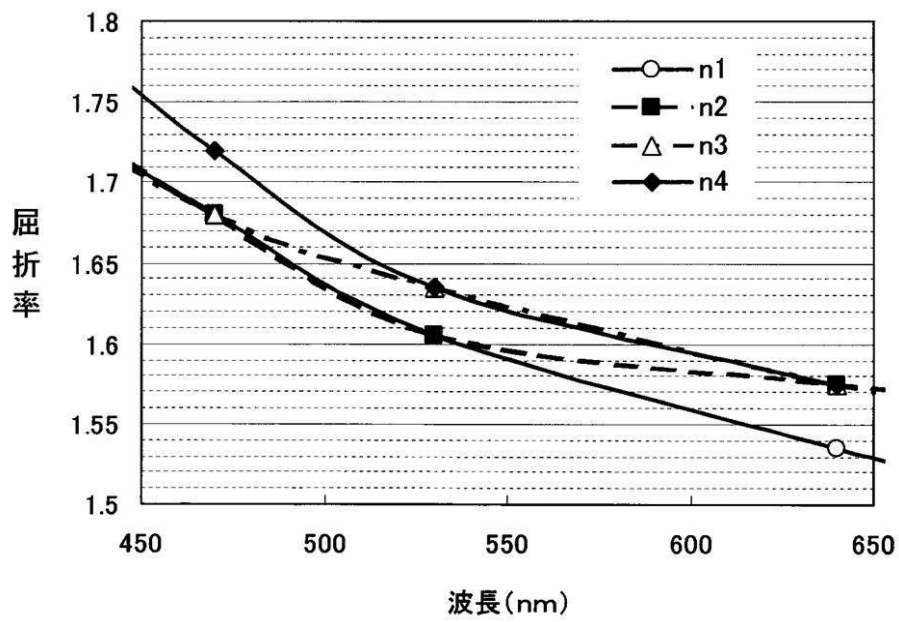
【図 10】



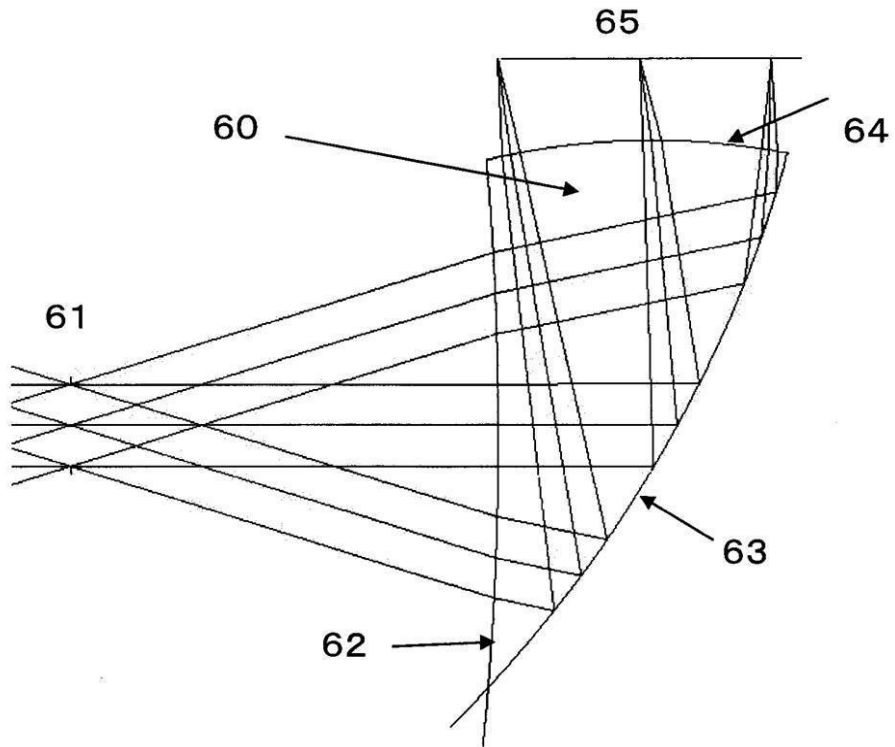
【図 1 1】



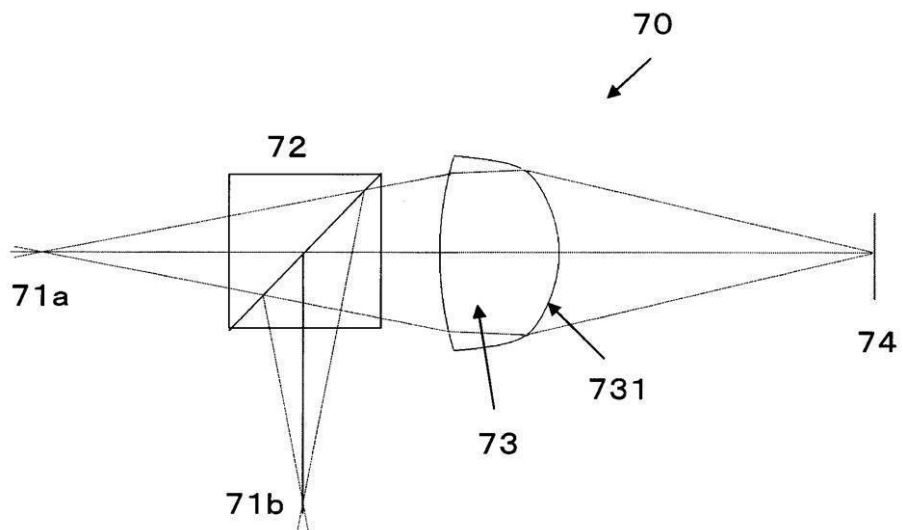
【図 1 2】



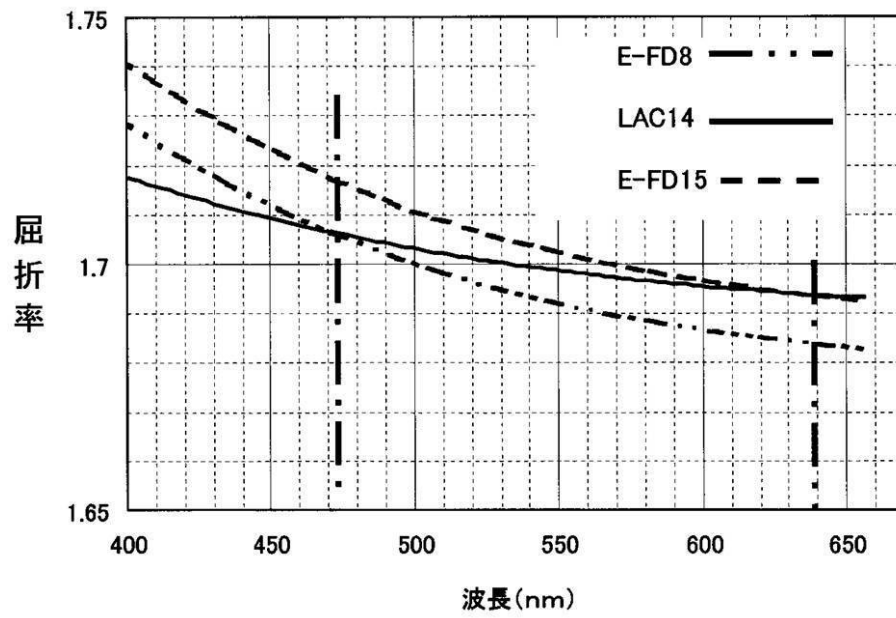
【図 13】



【図 14】



【図 15】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
G 0 2 B 17/00 (2006.01) G 0 2 B 17/00 A

(56)参考文献 特開 2 0 0 1 - 3 3 0 7 1 8 ( J P , A )  
特開 2 0 1 0 - 0 2 0 8 5 5 ( J P , A )

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)  
G 0 2 B 5 / 1 8