(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3618465号
(P3618465)
(45)発行日　平成17年2月9日(2005.2.9)　(24)登録日　平成16年11月19日(2004.11.19)

(51)Int.Cl.[7]　F I
G02B 5/18　G02B 5/18
G02B 27/42　G02B 27/42

請求項の数 8　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願平8-138646
(22)出願日　平成8年5月31日(1996.5.31)
(65)公開番号　特開平9-325203
(43)公開日　平成9年12月16日(1997.12.16)
審査請求日　平成14年4月9日(2002.4.9)

(73)特許権者　000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号
(74)代理人　100072051
弁理士　杉村　興作
(74)代理人　100065363
弁理士　佐藤　安徳
(74)代理人　100089576
弁理士　冨田　典
(74)代理人　100073313
弁理士　梅本　政夫
(72)発明者　石井　哲也
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス光学工業株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】回折光学素子、およびそれを用いる光学装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
密接または近接して順次に積層した第１、第２、第３および第４の領域と、
前記第１および第２の領域の境界面に形成した第１のレリーフパターンと、
前記第３および第４の領域の境界面に形成した第２のレリーフパターンとを有し、
前記第１、第２、第３および第４の領域は、使用する光の波長で実質的に透明な少なくとも３種類の材料で、かつ前記第１の領域と第２の領域、および前記第３の領域と第４の領域とが、それぞれ互いに異なる材料をもって構成され、
前記第１および第２のレリーフパターンは、実質的に等しいピッチ分布で、対応する部位が近接して配置され、
かつ、前記第１、第２、第３および第４の領域をそれぞれ構成する材料の屈折率を、$n_1(\lambda)$、$n_2(\lambda)$、$n_3(\lambda)$ および $n_4(\lambda)$ とし、
前記第１および第２のレリーフパターンのそれぞれの溝深さを、d_1 および d_2、それらの比を、$\alpha = d_2 / d_1$ として、
【数１】

$$\Delta N(\lambda) = \{n_1(\lambda) - n_2(\lambda)\} + \alpha \{n_3(\lambda) - n_4(\lambda)\}$$

ただし、λ：光の波長

とするとき、

【数２】

$$|\Delta N(\lambda_2)| > |\Delta N(\lambda_1)| > 0 ; \lambda_2 > \lambda_1$$

ただし、λ_1：使用する光の波長域の短波長端の波長

λ_2：使用する光の波長域の長波長端の波長

を満たすことを特徴とする回折光学素子。

【請求項２】

密接または近接して順次に積層した第１、第２、第３および第４の領域と、

前記第１および第２の領域の境界面に形成した第１のレリーフパターンと、

前記第３および第４の領域の境界面に形成した第２のレリーフパターンとを有し、

前記第１の領域は、使用する光を反射する材料をもって構成され、

前記第２、第３および第４の領域は、使用する光の波長で実質的に透明な少なくとも２種類の材料で、かつ前記第３の領域と第４の領域とが、互いに異なる材料をもって構成され、

前記第１および第２のレリーフパターンは、実質的に等しいピッチ分布で、互いに異なる溝深さを有し、それらの対応する部位が近接して配置されていることを特徴とする回折光学素子。

【請求項３】

請求項１または２記載の回折光学素子において、

前記第１のレリーフパターンの位相シフト作用、および第２のレリーフパターンの位相シフト作用が、代数的に打ち消し合うように、前記第１のレリーフパターンおよび第２のレリーフパターンの溝深さ比αを設定したことを特徴とする回折光学素子。ただし、$\alpha = d_2 / d_1$；d_1，d_2は、それぞれ第１，第２のレリーフパターンの溝深さである。

【請求項４】

請求項１または２記載の回折光学素子において、

前記第２の領域および第３の領域を、同一材料をもって構成したことを特徴とする回折光学素子。

【請求項５】

請求項１または２記載の回折光学素子において、

前記第４の領域は、該領域の接する環境の雰囲気であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項６】

請求項１または２記載の回折光学素子において、

前記第１のレリーフパターンおよび第２のレリーフパターンで構成された複合レリーフ構造領域の平均屈折率をn_0、厚さをD、およびレリーフパターンの最小ピッチをTとするとき、

$(2\pi\lambda_0 D) / (n_0 T^2) < 1$

を満たすことを特徴とする回折光学素子。ただし、λ_0は、使用する帯域光の中心波長である。

【請求項７】

請求項１または２記載の回折光学素子において、

使用する帯域光の短波長端の波長λ_1、長波長端の波長λ_2が、

$\lambda_2 - \lambda_1 > 0.05\lambda_0$

を満たすことを特徴とする回折光学素子。ただし、λ_0は、

$\lambda_0 = (\lambda_1 + \lambda_2) / 2$

で定義した、λ_1とλ_2との中間波長である。

【請求項８】

請求項１または２に記載の回折光学素子を有する光学装置。

【発明の詳細な説明】

【０００１】

【発明の属する技術分野】
この発明は、複数の波長、あるいは帯域光で使用する回折光学素子、およびそれを用いる光学装置に関するものである。
【０００２】
【従来の技術】
回折光学素子、例えば、レンズ作用を有するように構成した回折光学素子（回折レンズ）は、以下に示すように、従来からある屈折レンズにはない特長を有することが知られている。
▲１▼非球面波を容易に生成することができるので、収差を効果的に補正することができる。
▲２▼実質的に厚みを持たないので、設計の自由度が高く、コンパクトな光学系を実現することができる。
▲３▼屈折レンズでのアッベ数に相当する量が、回折レンズでは負の値となるので、屈折素子との組み合わせによって、色収差を効果的に補正することができる。
【０００３】
このような回折レンズの特長を利用し、光学系の性能を向上させることに関しては、例えば、Ｂｉｎａｒｙ Ｏｐｔｉｃｓ Ｔｅｃｈｎｏｌｏｇｙ；Ｔｈｅ Ｔｈｅｏｒｙ ａｎｄ Ｄｅｓｉｇｎ ｏｆ Ｍｕｌｔｉ−Ｌｅｖｅｌ Ｄｉｆｆｒａｃｔｉｖｅ Ｏｐｔｉｃａｌ Ｅｌｅｍｅｎｔ，Ｇａｒｙ Ｊ．Ｓｗａｎｓｏｎ，Ｔｅｃｈｎｉｃａｌ Ｒｅｐｏｒｔ ８５４，ＭＩＴ Ｌｉｎｃｏｌｎ Ｌａｂｏｒａｔｏｒｙ，Ａｕｇｕｓｔ １９８９．に詳しく記述されている。
【０００４】
上述したように、回折光学素子には、従来の屈折素子にはない多くの有用な特長があるが、他方では、回折効率が波長に依存するために、以下のような原理的な問題がある。例えば、光学系に適用する回折光学素子は、レンズ素子として利用する場合が多いが、このような用途においては、複数の回折光（複数の焦点）が存在するのは、一般に好ましくない。そこで、従来の回折光学素子（具体的には回折レンズ）においては、一般に、図２０に示すように、使用する波長で透明な基材１に、断面を鋸歯波状とした（ブレーズ化した）レリーフパターン２を形成して、特定次数の回折光にエネルギーを集中させるようにしている。
【０００５】
しかしながら、図２０に示すように、断面を鋸歯波状に加工すると、その溝深さによってエネルギーを集中できる波長、すなわち回折効率が最大になる波長が異なるため、波長幅を有する帯域光のエネルギーを特定次数の回折光に集中させることができなくなる。このような現象は、例えば、レーザーのような、単色光を利用する光学系の場合には問題にならないが、カメラのように白色光を利用する光学系では、特定の波長の光で回折効率を最適化すると、その他の波長で回折効率が低下してしまうという問題がある。
【０００６】
図２１は、図２０に示した断面形状を有する回折光学素子において、基材１としてＢＫ７を用い、レリーフパターン２を、波長λ＝５１０ｎｍにおいて１次回折効率が１００％となるような溝深さで形成した場合の１次回折効率と波長との関係を示したものである。図２１から明らかなように、一般に可視波長領域と見なせるλ＝４００ｎｍからλ＝７００ｎｍにおいて、回折効率は、最適化した波長λ＝５１０ｎｍから離れるに従って減少し、特に、短波長領域での低下が著しくなる。このような回折効率の低下は、単に分光透過率が低下するといった問題にとどまらず、溝深さが最適化されていない波長において、不要次数の回折光が発生することになる。このため、かかる回折光学素子を、帯域光を用いる光学系、例えば、白色光で用いる撮像光学系に適用した場合には、フレアーやゴーストが生じて、光学系の性能を低下させることになる。
【０００７】
ここで、図２０に示した断面が鋸歯波状のレリーフパターンは、図２２に示すような位相

シフト関数φ（ｘ）で表すことができる。このφ（ｘ）は、レリーフパターンの波面変調作用を特長づける関数で、その形状は、レリーフパターンの断面形状に対応した周期関数となる。この位相シフト関数φ（ｘ）で表されるレリーフパターンのｍ次回折効率η_mは、その振れ幅（以後、位相振幅と呼ぶことにする）ａを用いれば、

【数３】

$$\eta_m = \left\{ \frac{\sin(m-a)\pi}{(m-a)\pi} \right\}^2 \qquad (1)$$

で与えられる。

【０００８】

（１）式において、位相振幅ａは、空気の屈折率を１、レリーフパターンを形成した基材の屈折率をｎ、溝深さをｄ、および使用する光の波長をλとして、

【数４】

$$a = \frac{(n-1)d}{\lambda} \qquad (2)$$

で定義される量である。ここで、波長λ_0で、m_0次回折効率が１００％となるように最適化した溝深さd_0は、

【数５】

$$d_0 = \frac{m_0 \lambda_0}{n(\lambda_0) - 1} \qquad (3)$$

となるので、このときの位相振幅ａは、

【数６】

$$a(\lambda) = m_0 \cdot \frac{n(\lambda) - 1}{n(\lambda_0) - 1} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda} \qquad (4)$$

となる。

【０００９】

（４）式は、ある定まった溝深さd_0に対して、位相振幅ａが波長に依存することを意味し、この位相振幅ａの波長依存によって、（１）式から明らかなように、回折効率の波長依存が引き起こされる。例えば、図２１に示した回折効率の波長依存も、このような現象の結果である。

【００１０】

【発明が解決しようとする課題】

本出願人は、上述したような回折効率の波長依存性の仕組みを詳細に検討し、回折効率の波長依存性を低減した新しいタイプのレリーフ型回折光学素子を既に提案している（特願平７－２２０７５４号）。ここで提案している回折光学素子は、図２３に示すように、高屈折率低分散の光学材料１０ａと、低屈折率高分散の光学材料１０ｂとの異なる２種類の光学材料を組み合わせ、その異なる２種類の光学材料１０ａ、１０ｂの境界面にレリーフパターン２０を形成したものである。

【００１１】

ここで、レリーフパターン２０の断面形状を、図２３に示すように鋸歯波状として、その溝深さを、波長λ_0でm_0次回折効率が１００％となるように最適化した場合の位相振幅ａ（λ）は、

【数７】

$$a(\lambda) = m_0 \cdot \frac{n_1(\lambda) - n_2(\lambda)}{n_1(\lambda_0) - n_2(\lambda_0)} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda} \qquad (5)$$

で与えられる。ただし、$n_1(\lambda)$ は、高屈折率低分散の光学材料１０ａの屈折率を示し、$n_2(\lambda)$ は、低屈折率高分散の光学材料１０ｂの屈折率を示す。

【００１２】

（５）式において、２種類の光学材料の屈折率n_1 ，n_2 が、使用する波長帯域にわたって、例えば、図２４に示すように、$n_1(\lambda) > n_2(\lambda)$ であるとすると、分子に現われる屈折率差は波長λの増加に伴って増加し、分母のλの変化分を打ち消すようになる。したがって、位相振幅の波長変化は、（４）式で表される場合と比較して小さく抑えられるので、結果として、回折効率の波長変化を小さく抑えることができる。

【００１３】

しかしながら、現実に存在する光学材料の屈折率と分散（屈折率の波長分散）との関係は、おおよそ、屈折率が大きくなるほど分散も大きくなる傾向を示すため、十分な効果を有する光学材料の組み合わせを見い出すのは容易ではない。例えば、可視帯域光で使用する光学材料には、豊富な種類があるが、基本的には屈折率の増加に伴って分散も増加する。また、可視帯域光で使用する光学材料の多くは、いわゆる光学ガラスであるが、２種類の光学材料としてそれぞれ光学ガラスを選んだ場合には、加工性が悪いことから、その境界面に微細なレリーフパターンを形成するのは容易ではない。さらに、製造の容易さを考慮して、２種類の光学材料の少なくとも一方を、加工の容易なプラスチック光学材料とすることもできるが、プラスチック光学材料は種類が少ないため、十分な効果を有する光学材料の組み合わせは大きく制限される。特に、プラスチック光学材料どうしの組み合わせでは、回折効率の波長依存性を改善するのは容易ではない。

【００１４】

この発明は、上述した問題点に着目してなされたもので、容易に製造でき、しかも回折効率の波長依存を低減して、フレアやゴースト等の発生を有効に防止できるよう適切に構成した回折光学素子、およびそれを用いる光学装置を提供することを目的とする。

【００１５】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、第１の発明にかかる回折光学素子は、

密接または近接して順次に積層した第１、第２、第３および第４の領域と、

前記第１および第２の領域の境界面に形成した第１のレリーフパターンと、

前記第３および第４の領域の境界面に形成した第２のレリーフパターンとを有し、

前記第１、第２、第３および第４の領域は、使用する光の波長で実質的に透明な少なくとも３種類の材料で、かつ前記第１の領域と第２の領域、および前記第３の領域と第４の領域とが、それぞれ互いに異なる材料をもって構成され、

前記第１および第２のレリーフパターンは、実質的に等しいピッチ分布で、対応する部位が近接して配置され、

かつ、前記第１、第２、第３および第４の領域をそれぞれ構成する材料の屈折率を、$n_1(\lambda)$ 、$n_2(\lambda)$ 、$n_3(\lambda)$ および$n_4(\lambda)$ とし、

前記第１および第２のレリーフパターンのそれぞれの溝深さを、d_1 およびd_2、それらの比を、$\alpha = d_2 / d_1$ として、

【数８】

$$\Delta N(\lambda) = \{n_1(\lambda) - n_2(\lambda)\} + \alpha\{n_3(\lambda) - n_4(\lambda)\}$$

ただし、λ：光の波長

とするとき、

【数９】

$$|\Delta N(\lambda_2)| > |\Delta N(\lambda_1)| > 0 ; \lambda_2 > \lambda_1$$

ただし、λ_1 ：使用する光の波長域の短波長端の波長

λ_2：使用する光の波長域の長波長端の波長
を満たすことを特徴とするものである。
【００１６】
さらに、第２の発明にかかる回折光学素子は、
密接または近接して順次に積層した第１、第２、第３および第４の領域と、
前記第１および第２の領域の境界面に形成した第１のレリーフパターンと、
前記第３および第４の領域の境界面に形成した第２のレリーフパターンとを有し、
前記第１の領域は、使用する光を反射する材料をもって構成され、
前記第２、第３および第４の領域は、使用する光の波長で実質的に透明な少なくとも２種類の材料で、かつ前記第３の領域と第４の領域とが、互いに異なる材料をもって構成され、
前記第１および第２のレリーフパターンは、実質的に等しいピッチ分布で、互いに異なる溝深さを有し、それらの対応する部位が近接して配置されていることを特徴とするものである。
【００１８】
【発明の実施の形態】
図１は、この発明に先立って開発した回折光学素子の概念図で、断面の一部を模式的に示したものである。この回折光学素子は、順次に積層した第１の領域１１、第２の領域１２、第３の領域１３および第４の領域１４と、第１の領域１１および第２の領域１２の境界面に形成した第１のレリーフパターン２１と、第３の領域１３および第４の領域１４の境界面に形成した第２のレリーフパターン２２とを有する。第１，第２，第３および第４の領域１１，１２，１３および１４は、使用する光の波長で実質的に透明な少なくとも３種類の材料で、かつ第１の領域１１と第２の領域１２、および第３の領域１３と第４の領域１４とが、それぞれ互いに異なる材料をもって構成する。ここでは、第１の領域１１の屈折率を$n_1(\lambda)$、第２の領域１２の屈折率を$n_2(\lambda)$、第３の領域１３の屈折率を$n_3(\lambda)$、第４の領域１４の屈折率を$n_4(\lambda)$とする。
【００１９】
また、第１および第２のレリーフパターン２１および２２は、等しいピッチ分布を有する、例えば断面鋸歯波状に形成して、対応する部位を対向させる。ここでは、第１のレリーフパターン２１の溝深さをd_1、第２のレリーフパターン２２の溝深さをd_2とする。また、第２，第３の領域１２，１３の境界面と、第１のレリーフパターン２１の頂部との間隔をd_3、第２，第３の領域１２，１３の境界面と、第２のレリーフパターン２２の底部との間隔をd_4とする。
【００２０】
図１に示す構成において、回折光学素子に入射した光は、第１，第２のレリーフパターン２１，２２によってそれぞれ位相変調を受けることになる。この場合、第１のレリーフパターン２１の位相振幅$a_1(\lambda)$は、
【数１０】

$$a_1(\lambda)=\frac{\Delta n_1(\lambda)}{\lambda}d_1\ ;\ \Delta n_1(\lambda)=n_1(\lambda)-n_2(\lambda) \qquad (6)$$

となり、第２のレリーフパターン２２の位相振幅$a_2(\lambda)$は、
【数１１】

$$a_2(\lambda)=\frac{\Delta n_2(\lambda)}{\lambda}d_2\ ;\ \Delta n_2(\lambda)=n_3(\lambda)-n_4(\lambda) \qquad (7)$$

となる。
【００２１】

ここで、第１，第２のレリーフパターン２１，２２よりなる構造を一体と考えて、回折光学素子に入射した光が実質的に同時に変調されるとすると、その位相シフト作用を特長づける位相振幅ａ（λ）は、

【数１２】

$$a(\lambda) = a_1(\lambda) + a_2(\lambda) = \frac{\Delta n_1(\lambda) + \alpha \Delta n_2(\lambda)}{\lambda} d_1 \qquad (8)$$

のように表すことができる。

【００２２】

さらに、このときの溝深さを、波長λ_0　においてm_0　次回折効率が１００％となるように最適化すれば、ａ（λ_0　）＝m_0　なる条件から、

【数１３】

$$a(\lambda) = m_0 \cdot \frac{\Delta n_1(\lambda) + \alpha \Delta n_2(\lambda)}{\Delta n_1(\lambda_0) + \alpha \Delta n_2(\lambda_0)} \cdot \frac{\lambda_0}{\lambda} \qquad (9)$$

となる。ただし、αは、以下のように、第１のレリーフパターン２１の溝深さd_1　と、第２のレリーフパターン２２の溝深さd_2　との比で定義される量である。

【数１４】

$$\alpha = \frac{d_2}{d_1} \qquad (10)$$

【００２３】

このように、図１に示した回折光学素子の位相振幅ａ（λ）は、（８）式で示すように、第１のレリーフパターン２１の位相振幅a_1（λ）　と、第２のレリーフパターン２２の位相振幅a_2（λ）　との和で与えられるが、その波長依存特性は、（１０）式で定義したパラメータαに依存している。ここで、パラメータαは、（９）式が示すように、特定波長λ_0における回折効率の最適化とは無関係に、任意に決めることができるパラメータである。

【００２４】

また、図１に示す構成によれば、第１～第４の領域１１～１４は、使用する光の波長で実質的に透明な少なくとも３種類の材料で、かつ第１の領域１１と第２の領域１２、および第３の領域１３と第４の領域１４とが、それぞれ互いに異なる材料をもって構成されており、屈折率差Δn_1（λ）　およびΔn_2（λ）　が、異なる波長依存性を示すことになるので、パラメータαの設定を変えることにより、（９）式の位相振幅ａ（λ）を、種々の異なった波長依存性を有するようにすることができる。

【００２５】

したがって、図１に示した構成の回折光学素子によれば、第１，第２のレリーフパターンの溝深さの比、すなわちパラメータαを最適に設定することにより、特定波長λ_0における回折効率を最適に保ったまま、それとは独立に回折効率の波長依存だけを好適に制御することができる。なお、一般に、二つのレリーフパターンの溝深さを互いに相違させれば、すなわち、α≠１とすれば、回折効率の波長依存を最適に設定することができるが、この回折光学素子によれば、第１～第４の領域を構成する材料を適切に組み合わせることにより、α＝１で、回折効率の波長依存を最適に設定することも可能である。

【００２６】

図２は、第２の発明にかかる回折光学素子の概念図を示すものである。この回折光学素子は、順次に積層した第１の領域１５、第２の領域１６、第３の領域１７および第４の領域１８と、第１の領域１５および第２の領域１６の境界面に形成した第１のレリーフパター

ン２３と、第３の領域１７および第４の領域１８の境界面に形成した第２のレリーフパターン２４とを有する。第１の領域１５は、使用する光を反射する材料をもって構成し、第２，第３および第４の領域１６，１７および１８は、使用する光の波長で実質的に透明な少なくとも２種類の材料で、かつ第３の領域１７と第４の領域１８とが、互いに異なる材料をもって構成する。

【００２７】

ここでは、第２の領域１６の屈折率を$n_2(\lambda)$、第３の領域１７の屈折率を$n_3(\lambda)$、第４の領域１８の屈折率を$n_4(\lambda)$とする。また、第１，第２のレリーフパターン２３，２４は、等しいピッチ分布を有し、かつ対応する部位が対向するように、図１の場合と同様に、断面鋸歯波状に形成する。ここでは、図１の場合と同様に、第１のレリーフパターン２３の溝深さをd_1、第２のレリーフパターン２４の溝深さをd_2とする。また、第２，第３の領域１６，１７の境界面と、第１のレリーフパターン２３の頂部との間隔をd_3、第２，第３の領域１６，１７の境界面と、第２のレリーフパターン２４の底部との間隔をd_4とする。

【００２８】

図２に示す構成において、第４の領域１８側から回折光学素子に入射した光は、第２，第１のレリーフパターン２４，２３によってそれぞれ位相変調を受けることになる。ここで、第１のレリーフパターン２３は、反射材料で構成された第１の領域１５に面しているので、素子に入射した光は、この第１のレリーフパターン２３で反射される。したがって、かかる構成の回折光学素子は、全体として反射型回折格子として機能する。

【００２９】

ここで、図１の場合と同様に、第１，第２のレリーフパターン２３，２４よりなる構造を一体と考え、回折光学素子に入射した光が実質的に同時に変調されるとすると、波長λ_0においてm$_0$次回折効率が１００％となるように、レリーフパターン２３，２４の溝深さを設定した場合の位相振幅は、

【数１５】

$$a(\lambda)=m_0\cdot\frac{-n_2(\lambda)+\alpha\{n_3(\lambda)-n_4(\lambda)\}}{-n_2(\lambda_0)+\alpha\{n_3(\lambda_0)-n_4(\lambda_0)\}}\cdot\frac{\lambda_0}{\lambda} \qquad (11)$$

のように表すことができる。この（１１）式は、図１に示す構成の位相振幅を表す（９）式に相当するもので、パラメータαも、第１のレリーフパターン２３の溝深さd_1と、第２のレリーフパターン２４の溝深さd_2とにより、（１０）式で定義されるものである。

【００３０】

上記（１１）式は、図１に示す構成の位相振幅を表す（９）式において、光が侵入しない第１の領域１５の屈折率を０とおいたものと一致する。すなわち、図２に示す構成の反射型回折格子の場合も、その位相振幅は、図１に示す構成の場合と同様に、任意のパラメータαを含む形式で表現される。したがって、図２に示す構成の回折光学素子においても、任意のパラメータαを最適に設定することにより、図１に示す構成の回折光学素子の場合と同様に、特定波長λ_0における回折効率を最適に保ったまま、それとは独立に回折効率の波長依存だけを好適に制御することができる。

【００３１】

図１に示した回折光学素子において、回折効率の波長依存をより小さくするためには、（８）式、もしくは（９）式で示された位相振幅ａ（λ）の波長依存をより小さくする必要がある。例えば、（９）式において、位相振幅ａ（λ）の波長依存を決めるのは、分子にある２つの屈折率差の項、$\Delta n_1(\lambda)$および$\alpha\Delta n_2(\lambda)$と、分母にあるλである。したがって、この波長依存をより小さくするためには、２つの屈折率差の項の和の絶対値ΔＮ（λ）を、

【数１６】

$$\Delta N(\lambda) = |\Delta n_1(\lambda) + \alpha \Delta n_2(\lambda)| \qquad (12)$$

としたとき、第１の発明におけるように、ΔＮ（λ）が波長λの増加に伴って増加するように、材料の組み合わせと、溝深さの比とを最適に設定するのが効果的である。

【００３２】

このようにすれば、（９）式の分子および分母の波長依存の効果は、互いに相殺し合うので、回折効率の波長依存をより低減した回折光学素子を実現することができる。なお、（９）式は、第１の発明の構成に対して定義した式であるが、$n_1(\lambda) = 0$、とすることにより、（１１）式が得られるので、上記（１２）式に関する説明は、第２の発明に対しても同様に成り立つ。

【００３３】

ところで、実在する光学材料を組み合わせた場合の屈折率差Δｎ（λ）は、その絶対値が波長λの増加に伴って減少する場合が多い。すなわち、所望の特性とは逆の波長依存性を生じることが多い。これは、実在する光学材料が、高屈折率高分散から低屈折率低分散の方向に多く分布しているためである。このような場合には、上述した第１発明および第２の発明において、２つの屈折率差の項が互いに打ち消し合うように、溝深さ比αの代数符号を設定することが、所望の特性とは逆の波長依存性が打ち消される点で効果的である。これにより、材料選択の容易さの点で好適な、高屈折率高分散材料と低屈折率低分散材料とを組み合わせた場合でも、所望の特性とは逆の波長依存性が打ち消されるので、回折効率の波長依存性をより低減することができる。

【００３４】

ここで、溝深さ比αの代数符号の違いは、レリーフパターンの凹凸の反転に対応する。すなわち、（１０）式で示したαの定義において、αが正となるのは、図３で示すように、第１，第２のレリーフパターンの山と山（谷と谷）とが対応している場合、つまり、２つのレリーフパターンの凹凸が対応している場合である。これとは反対に、αが負となるのは、図８で示すように、第１，第２のレリーフパターンの山と谷（谷と山）とが対応している場合、つまり、２つのレリーフパターンの凹凸が反転して対応している場合である。

【００３５】

なお、第１および第２の各発明において、第２の領域と第３の領域との境界には、レリーフパターンが形成されていないので、これら２つの領域を同じ材料をもって構成することもできる。このようにすれば、構造が単純になるので、製造上有利となる。

【００３６】

また、第１および第２の各発明において、第４の領域は、該領域の接する環境の雰囲気とすることもできる。例えば、通常の使用状態において、環境は空気なので、第４の領域を空気で構成することもできる。この場合には、組み合わせる透明材料との屈折率差を大きくすることができるので、必要なレリーフパターンの溝深さを浅くすることができ、これにより高性能な回折光学素子を実現することができる。

【００３７】

ところで、回折光学素子は、一般に厚型と薄型とに分類されるが、波長幅を有する帯域光で、特に結像光学系に適用する場合は、入射角依存や波長依存が比較的少ない薄型をとすることが好ましい。ここで、回折光学素子の厚さを特長づけるパラメータとしては、

【数１７】

$$Q = \frac{2\pi\lambda D}{n_0 T^2} \qquad (13)$$

で与えられるＱ値がよく知られており、一般に、Ｑ＜１のとき、その回折光学素子は薄型に分類される。ただし、（１３）式において、λは波長、Ｔは周期構造のピッチ、Ｄは周期構造の深さ、n_0 は周期構造の平均屈折率である。したがって、この発明に係る回折光学素子においても、Ｑ＜１を満たすように構成することが好ましい。

【００３８】
（１３）式から、回折光学素子の厚さを示すパラメータＱは、波長λに依存しているが、使用する波長範囲全般にわたって回折効率の均一性を維持するためには、概ね使用する帯域光の中心波長について、薄型の条件、Ｑ＜１が満たされていればよい。したがって、この発明に係る回折光学素子においても、使用する帯域光の中心波長について、Ｑ＜１を満たすように構成するのが好ましい。例えば、この発明に係る回折光学素子を、可視帯域光で使用する光学系に適用する場合には、該中心波長を概ね４８０ｎｍから５５０ｎｍの範囲に設定することができる。ただし、パラメータＱが波長λに依存していることを考慮し、全波長範囲で薄型の条件、Ｑ＜１を満たすことが望ましいのは言うまでもない。
【００３９】
さらに、本発明者による検討によれば、Ｑ＜０．１のときのレリーフ格子は、薄型の性質をより良く表すことが確認された。したがって、この発明に係る回折光学素子においても、より好適には、Ｑ＜０．１となるように、周期構造を構成するのが望ましい。
【００４０】
ここで、図１に示した構成の回折光学素子における、周期構造の深さＤおよび平均屈折率n_0は、
【数１８】

$$D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \qquad (14)$$

$$n_0 = \frac{d_1 \dfrac{n_1 + n_2}{2} + d_2 \dfrac{n_3 + n_4}{2} + d_3 n_2 + d_4 n_3}{d_1 + d_2 + d_3 + d_4} \qquad (15)$$

で与えられる。また、図２に示した構成の回折光学素子における、周期構造の深さＤおよび平均屈折率n_0は、
【数１９】

$$D = 2(d_1 + d_2 + d_3 + d_4) \qquad (16)$$

$$n_0 = \frac{d_1 \dfrac{n_2}{2} + d_2 \dfrac{n_3 + n_4}{2} + d_3 n_2 + d_4 n_3}{d_1 + d_2 + d_3 + d_4} \qquad (17)$$

で与えられる。
【００４１】
この発明に係る回折光学素子は、使用する波長範囲が、所定量以上の幅を有する場合に効果が大きい。ここで、任意の波長λで回折効率を最適化した通常のレリーフ格子において、回折効率の変化が無視できる波長変化の幅は、λの±５％程度が目安であるため、この発明に係る回折光学素子は、任意の中心波長λに対して、その±５％以上の波長幅の帯域光を使用する場合に効果的である。
【００４２】
以上、この発明を、各領域が密接した場合を例にとって説明したが、この発明はこれに限らず、上記の各領域の境界に接着層を設けて、各領域が近接するように構成しても同等の効果を奏することができる。
【００４３】
また、この発明に係る回折光学素子は、複数の波長、あるいは帯域光で使用する光学装置全般に適用することができる。その中でも、特に、結像光学系を有する光学装置に適用す

ると効果的である。

【００４４】

図１８は、その一適用例を示すもので、この発明に係る回折光学素子を撮像装置、例えば、カメラの撮影レンズに適用した場合の概念図である。図１８において、撮像光学系６０は、屈折レンズ５１と、この発明による回折レンズ４１とを有し、物体の像を撮像素子６１上に結像するよう構成されている。ここで、この発明による回折レンズ４１は、例えば、可視帯域光の全域において、高い回折効率を得ることができるので、カラー映像を撮影した場合のフレアやゴーストの発生を有効に防止することができる。

【００４５】

また、図１９は、この発明に係る回折光学素子の他の適用例を示すもので、観察光学系を含む光学装置、例えば、カメラのファインダや顕微鏡の接眼レンズに適用した場合の概念図である。図１９において、対物レンズ５３は、物体の拡大実像を形成し、屈折レンズ５２と、この発明による回折レンズ４２とを有する接眼光学系６２は、その実像をさらに拡大して観察者の網膜に投影するよう構成されている。この場合も、図１８に示した撮像装置の場合と同様の効果を得ることができる。

【００４６】

【実施例】

図３は、この発明の第１実施例を示すものである。この実施例は、透過型の回折レンズを示すもので、第１の領域１０１としてオハラ製の光学ガラスＬａＬ１４（ｎｄ＝１．６９６８，νｄ＝５５．５）を、第２の領域１０２および第３の領域１０３として紫外線硬化樹脂（ｎｄ＝１．５２，νｄ＝５２）を、第４の領域１０４としてポリカーボネイト（ｎｄ＝１．５８，νｄ＝３０．５）をそれぞれ用い、これらを順次積層する。すなわち、この実施例では、第２の領域１０２および第３の領域１０３を同一の光学材料をもって構成する。

【００４７】

また、第１の領域１０１と第２の領域１０２との境界面、および第３の領域１０３と第４の領域１０４との境界面には、等しいピッチ分布を有する第１のレリーフパターン２０１および第２のレリーフパターン２０２を、第１のレリーフパターン２０１の頂部と第２のレリーフパターン２０２の底部とが接するようにそれぞれ形成する。

【００４８】

第１，第２のレリーフパターン２０１，２０２は、所定のレンズ作用を持つように各ピッチ配列を最適化すると共に、各断面を鋸歯波状として、波長λ＝５５０ｎｍで１次回折効率が最大となるようにその溝深さを最適化する。この実施例では、第１のレリーフパターン２０１の溝深さd_1を、d_1＝７．９０μｍ、第２のレリーフパターン２０２の溝深さd_2を、d_2＝１３．７４μｍとして、上記（１０）式で定義したパラメータαを、α　１．７４とする。また、外側に面する２つの端面３０１および３０２は、ともに平面として、各端面上に反射防止コートを施す。

【００４９】

図４は、この実施例による回折レンズにおいて、（６）式で与えられるΔn_1と、（７）式で与えられるΔn_2とのそれぞれの波長依存特性を、可視波長域について示すものである。図４から明らかなように、ＬａＬ１４（第１の領域１０１）と紫外線硬化樹脂（第２の領域１０２）との屈折率差Δn_1は、ＬａＬ１４の屈折率のほうが紫外線硬化樹脂の屈折率よりも大きいので、可視波長帯域で正となり、また、ＬａＬ１４と紫外線硬化樹脂とのアッベ数νｄが比較的近いことから、波長λの増加に伴ってわずかに減少する傾向を示す。これに対して、紫外線硬化樹脂（第３の領域１０３）とポリカーボネイト（第４の領域１０４）との屈折率差Δn_2は、ポリカーボネイトの屈折率のほうが紫外線硬化樹脂の屈折率よりも大きいので、可視波長帯域で負となり、また、波長λの増加に伴って相対的に大きく増加する傾向を示す。

【００５０】

この実施例では、図４のΔn_1およびΔn_2の波長依存特性から明らかなように、α

Δn_2 の絶対値が、Δn_1 の大きさを超えないような正の値のαを選んでいるので、（１２）式で定義した屈折率差の項Ｎ（λ）の波長依存は、波長λの増加に伴って増加することになる。したがって、（９）式の分母に現れるλは、この屈折率差の項Ｎ（λ）で良好に相殺され、これにより位相振幅の波長依存が低減され、回折効率の波長依存が低減される。

【００５１】

図５は、この実施例による回折レンズと従来の回折レンズとの位相振幅の波長依存特性を比較して示すものである。図５において、実線はこの実施例による回折レンズの位相振幅の波長依存特性を示す。また、破線は従来の回折レンズの位相振幅の波長依存特性を示したもので、波長λ＝５１０ｎｍで１次回折効率が最大となるように、ＬａＬ１４の基板にブレーズパターンを形成した場合のものである。図５から明らかなように、αの値を最適化することによって、位相振幅の波長依存が良好に低減されていることがわかる。

【００５２】

図６は、図５に示した位相振幅の波長依存特性に対応する回折効率の波長依存特性を示すもので、実線および破線は、図５の場合と同じものを表す。図６から明らかなように、この実施例による回折レンズによれば、回折効率の波長依存が従来のものと比較してきわめて良好に補正されていることがわかる。

【００５３】

このように、この実施例による回折レンズによれば、可視帯域光の全域において高い回折効率を得ることができるので、可視帯域光を用いる場合のフレアやゴーストの発生を有効に防止できる。したがって、例えば、カメラのような撮像光学系に好適に適用することができる。

【００５４】

なお、図５および図６にみられるように、この実施例では、１次回折効率が１００％となるように最適化した波長を、従来例とは違えて設定してある。これは、一般に、最適化波長は、使用する波長範囲において回折効率をバランスさせるように設定するからである。つまり、この実施例の場合と従来例の場合とでは、回折効率の波長依存がバランスする最適波長が異なるからである。例えば、図５においては、従来例の最適化波長は５１０ｎｍであるが、この実施例では５５０ｎｍである。

【００５５】

この実施例においては、回折効率の波長依存が、使用する波長帯域の短波長側でより効果的に低減される。したがって、回折効率が最大となるように最適化する波長は、従来の場合と比較してより長波長側に設定することが好ましい。具体的には、使用する波長帯域の中間波長に対し、使用する波長幅の±１０％以内の波長範囲に最適化波長を設定するのが望ましい。ここで、使用する波長幅は、例えば、可視帯域光で用いる結像光学系の場合には、４００ｎｍ～７００ｎｍとすることができる。

【００５６】

さらに、この実施例によれば、第２の領域１０２および第３の領域１０３を紫外線硬化樹脂をもって構成したので、第１，第２のレリーフパターン２０１，２０２を、それぞれ第１，第４の領域１０１，１０４に別々に形成し、その後、これらを紫外線硬化樹脂を介して貼り合わせるという極めて簡単な工程で、回折効率の波長依存性が低減された回折レンズを製造することができる。したがって、低コストにできるという効果もある。

【００５７】

なお、かかる効果は、第２の領域１０２および第３の領域１０３を紫外線硬化樹脂をもって構成する場合に最も大きいが、より一般的には、第２、第３の領域１０２、１０３をプラスチック材料をもって構成することにより、同様の効果を得ることができる。

【００５８】

また、第１，第２のレリーフパターン２０１，２０２を貼り合わせるにあたっては、第１，第２のレリーフパターン２０１，２０２によって発生するモアレ縞を位置合わせに用いることができる。すなわち、モアレ縞が完全に消えるように、第１，第２のレリーフパタ

ーン２０１，２０２を位置合わせすることにより、それらの対応する部分を対向させることができる。

【００５９】

図７は、第１実施例の変形例を示すものである。この回折レンズは、外側に面する２つの端面３０３，３０４のうち、一方の端面３０３を正の屈折力を有する曲面に、他方の端面３０４を負の屈折力を有する曲面に形成したもので、その他の構成は第１実施例と同様である。なお、端面３０３，３０４には、それぞれ反射防止コートを施す。

【００６０】

かかる回折レンズによれば、回折作用によるパワーと屈折作用によるパワーとの両方のパワーを有するので、全体として大きなパワーを持ったレンズ素子を実現することができる。また、回折作用によるパワーと屈折作用によるパワーとは、波長分散（アッベ数）が逆符号であるので、その波長分散の打ち消し合いにより、色収差が補正されたレンズ素子を実現することができる。特に、図７に示すように、外側に面する端面３０３，３０４の屈折力の符号を反転させることにより、２次スペクトルまで補正された色消し単レンズを実現することができる。

【００６１】

図８は、この発明の第２実施例を示すものである。この実施例は、透過型の回折レンズを示すもので、第１の領域１０５として旭硝子製のフッ素系樹脂サイトップ（ｎｄ＝１．３４１４９，νｄ＝９３．８）を、第２の領域１０６および第３の領域１０７として紫外線硬化樹脂（ｎｄ＝１．５２，νｄ＝５１．８）を、第４の領域１０８としてポリカーボネイト（ｎｄ＝１．５８，νｄ＝３０．５）をそれぞれ用い、これらを順次積層する。また、第１の領域１０５と第２の領域１０６との境界面、および第３の領域１０７と第４の領域１０８との境界面には、等しいピッチ分布を有する第１のレリーフパターン２０３および第２のレリーフパターン２０４を、第１のレリーフパターン２０３の頂部と第２のレリーフパターン２０４の底部とが接するようにそれぞれ形成する。

【００６２】

第１，第２のレリーフパターン２０３，２０４は、所定のレンズ作用を持つように、各ピッチ配列を最適化すると共に、各断面を鋸歯波状で、凹凸が互いに反転した構造として、波長λ＝５５０ｎｍで１次回折効率が最大となるように、その溝深さを最適化する。したがって、第１のレリーフパターン２０３の溝深さd_1と第２のレリーフパターン２０４の溝深さd_2とは、互いに逆符号の関係にある。この実施例では、第１のレリーフパターン２０３の溝深さd_1を、d_1＝－９．２０μｍ、第２のレリーフパターン２０４の溝深さd_2を、d_2＝１７．８４μｍとして、上記（１０）式で定義したパラメータαを、α＝－１．９４とする。また、外側に面する２つの端面３０５および３０６は、ともに平面として、各端面上に反射防止コートを施す。

【００６３】

図９は、この実施例による回折レンズにおいて、（６）式で与えられるΔn_1と（７）式で与えられるΔn_2とのそれぞれの波長依存特性を示すものである。図９から明らかなように、サイトップ（第１の領域１０５）と紫外線硬化樹脂（第２の領域１０６）との屈折率差Δn_1、および紫外線硬化樹脂（第３の領域１０７）とポリカーボネイト（第４の領域１０８）との屈折率差Δn_2は、上述した屈折率の大小関係から、ともに可視波長帯域で負の値をとる。また、これら２つの材料の組み合わせは、ともに高屈折率高分散－低屈折率低分散の関係になるので、Δn_1およびΔn_2は、ともに波長の増加に伴って大きさ（絶対値）が減少する。

【００６４】

この実施例では、$\alpha\Delta n_2$の大きさ（絶対値）が、Δn_1の大きさ（絶対値）を超えないような負の値のαを選んで設定してあるので、（１２）式で定義した屈折率差の項Ｎ（λ）の波長依存は、波長λの増加に伴って増加するようになる。したがって、（９）式の分母に現れるλは、この屈折率差の項Ｎ（λ）で良好に相殺され、これにより位相振幅の波長依存が低減され、回折効率の波長依存が低減される。

【００６５】
図１０は、この実施例による回折レンズと、従来の回折レンズとの回折効率の波長依存特性を比較して示すものである。図１０において、実線はこの実施例による回折レンズの場合を、破線はサイトップ製の基板にブレーズパターンを形成した従来の回折レンズ（最適化波長λ＝５１０ｎｍ）の場合をそれぞれ示している。図１０から明らかなように、この実施例による回折レンズによれば、従来のものと比較して回折効率の波長依存がきわめて良好に補正されていることがわかる。
【００６６】
このように、この実施例によれば、可視帯域光の全域において高い回折効率を得ることができるので、可視帯域光で用いた場合にフレアやゴーストの問題が生じにくく、したがって、例えばカメラのような撮像光学系に好適に適用することができる。また、第１、第４の領域１０５，１０８をプラスチック材料をもって構成したので、第１，第２のレリーフパターン２０３，２０４を極めて容易に形成することができると共に、特に、第２の領域１０６および第３の領域１０７を紫外線硬化樹脂をもって構成しているので、第１，第４の領域１０５，１０８に形成した第１，第２のレリーフパターン２０３，２０４どうしを容易に貼り合わせることができ、これにより、回折効率の波長依存が低減された回折光学素子を容易に製造することができる。
【００６７】
図１１は、この発明の第３実施例を示すものである。この実施例は、２重焦点の回折レンズを示すもので、順次積層した第１～４の領域１０１～１０４は、第１実施例におけると同じ材料をもって構成する。すなわち、第１の領域１０１をオハラ製の光学ガラスＬａＬ１４（ｎｄ＝１．６９６８，νｄ＝５５．５）で、第２，第３の領域１０２，１０３を紫外線硬化樹脂（ｎｄ＝１．５２，νｄ＝５２）で、第４の領域１０４をポリカーボネイト（ｎｄ＝１．５８，νｄ＝３０．５）で構成する。また、第１の領域１０１と第２の領域１０２との境界面、および第３の領域１０３と第４の領域１０４との境界面には、等しいピッチ分布を有する第１のレリーフパターン２０５および第２のレリーフパターン２０６を、第１のレリーフパターン２０５の頂部と第２のレリーフパターン２０６の底部とが接するようにそれぞれ形成する。
【００６８】
第１，第２のレリーフパターン２０５，２０６は、所定のレンズ作用を持つように、各ピッチ配列を最適化すると共に、各断面を凹凸比の等しい矩形状として、波長λ＝６００ｎｍで±１次回折効率が最大となるように、その溝深さを最適化する。この実施例では、第１のレリーフパターン２０５の溝深さd_1を、d_1＝４．０２μｍ、第２のレリーフパターン２０６の溝深さd_2を、d_2＝７．０３μｍとして、上記（１０）式で定義したパラメータαを、α＝１．７５とする。また、外側に面する２つの端面３０７および３０８は、ともに平面として、各端面上に反射防止コートを施す。
【００６９】
この実施例において、±１次回折効率が最大となるときの、上記（９）式に相当する位相振幅は、
【数２０】

$$a(\lambda)=\frac{m_0}{2}\cdot\frac{\{n_1(\lambda)-n_2(\lambda)\}+\alpha\{n_3(\lambda)-n_4(\lambda)\}}{\{n_1(\lambda_0)-n_2(\lambda_0)\}+\alpha\{n_3(\lambda_0)-n_4(\lambda_0)\}}\cdot\frac{\lambda_0}{\lambda} \qquad (18)$$

で表され、そのときのｍ次回折効率η_mは、
【数２１】

$$\eta_m = \left\{ \frac{\sin(m\pi/2)}{m\pi/2} \cdot \cos\pi\left(a + \frac{m}{2}\right) \right\}^2 \qquad (19)$$

で与えられる。上記（１８）式で表される位相振幅は、（９）式で表される位相振幅に、係数１／２が掛かっただけであるので、第１実施例の場合と全く同じ作用で、位相振幅の波長依存を低減することができる。

【００７０】

図１２は、この実施例による回折レンズの±１次回折効率の波長依存特性を示すもので、（１８）式を（１９）式に適用した結果を示すものである。図１２において、実線はこの実施例による回折レンズの場合を、破線はＬａＬ１４の材料基板に矩形位相格子を形成した従来の回折レンズ（最適化波長λ＝５１０ｎｍ）の場合を示す。図１２から明らかなように、この実施例によれば、従来のものと比較して回折効率の波長依存が良好に補正されていることがわかる。このように、この実施例によれば、可視帯域光の全域において、回折効率の波長依存を低減できるので、可視帯域光で使用する２重焦点光学系に好適に適用することができる。

【００７１】

以上、第１～３実施例において、第１，第２のレリーフパターンが断面鋸歯波状の場合と、断面矩形の場合とについて説明したが、第１，第２のレリーフパターンの断面形状は、上記の例に限らず、種々の断面形状の場合でも、この発明を有効に適用することができ、同様の効果を得ることができる。

【００７２】

図１３は、この発明の第４実施例を示すものである。この実施例は、透過型の回折レンズを示すもので、第１の領域１０９としてアクリル樹脂（ｎｄ＝１．４９，νｄ＝５７．７）を、第２の領域１１０および第３の領域１１１としてポリカーボネイト（ｎｄ＝１．５８，νｄ＝３０．５）をそれぞれ用い、これらを順次積層する。また、第４の領域は、該回折レンズが置かれる雰囲気、実用上は空気とする。第１の領域１０９と第２の領域１１０との境界面、および第３の領域１１１と空気との境界面には、等しいピッチ分布を有する第１のレリーフパターン２０７、および第２のレリーフパターン２０８を、第１のレリーフパターン２０７の頂部と第２のレリーフパターン２０８の底部とが接するようにそれぞれ形成する。

【００７３】

第１，第２のレリーフパターン２０７，２０８は、集光作用を持つように、各ピッチ配列を最適化すると共に、各断面を鋸歯波状として、波長λ＝５５０ｎｍで１次回折効率が最大となるように、その溝深さを最適化する。この実施例では、第１のレリーフパターン２０７の溝深さd_1を、d_1＝１５．１６μｍ、第２のレリーフパターン２０８の溝深さd_2を、d_2＝３．３４μｍとして、上記（１０）式で定義したパラメータαを、α　０．２２とする。

【００７４】

この実施例では、第４の領域を、この回折レンズが置かれる雰囲気、実用上は空気として、その屈折率を１としているので、上述した実施例の場合と同様の作用により、回折効率の波長依存を補正することができる。さらに、この実施例では、第４の領域の屈折率が低いので、第３の領域１１１と第４の領域との屈折率差Δn_2が十分大きな値となり、第２のレリーフパターン２０８の溝深さd_2を比較的浅くすることができる。これにより、回折レンズをより薄型にできるので、レリーフパターンのピッチをより小さくすることができる。

【００７５】

図１４は、この実施例による回折レンズと、従来の回折レンズとの回折効率の波長依存特性を比較して示すものである。図１４において、実線はこの実施例による回折レンズの場合を、破線はアクリル基板にブレーズパターンを形成した従来の回折レンズ（最適化波長

λ＝５１０ｎｍ）の場合を示している。図１４から明らかなように、この実施例の場合も、従来のものと比較して回折効率の波長依存を極めて良好に補正できることがわかる。

【００７６】

以上説明した第１～４実施例では、第２，第３の領域を同じ材料で構成したが、この発明の第５実施例では、第２，第３の領域を互いに異なる材料をもって構成する。図１５は、この発明の第５実施例を示すものである。この実施例は、透過型の回折レンズを示すもので、第１の領域１１２としてオハラ製光学ガラスＬａＬ１４（n_d ＝１．６９６８，ν_d ＝５５．５）を、第２の領域１１３としてポリカーボネイト（n_d ＝１．５８，ν_d ＝３０．５）を、第３の領域１１４として紫外線硬化樹脂（n_d ＝１．５２，ν_d ＝５２）をそれぞれ用い、これらを順次積層する。また、第４の領域は、該回折レンズがおかれる雰囲気、実用上は空気とする。

【００７７】

さらに、第１の領域１１２と第２の領域１１３との境界面、および第３の領域１１４と空気との境界面には、等しいピッチ分布を有する第１のレリーフパターン２２１および第２のレリーフパターン２２２を、第１のレリーフパターン２２１の頂部と第２のレリーフパターン２２２の底部とが接するようにそれぞれ形成する。これら、第１、第２のレリーフパターン２２１、２２２は、所定のレンズ作用を持つように、各ピッチ配列を最適化すると共に、各断面を鋸歯波状として、波長λ＝５５０ｎｍで１次回折効率が最大となるように、その溝深さを最適化する。この実施例では、第１のレリーフパターン２２１の溝深さd_1を、d_1 ＝－１２．９８μｍ、第２のレリーフパターン２２２の溝深さd_2を、d_2 ＝１．８２μｍとして、上記（１０）式で定義したパラメータαを、α ＝－０．１４とする。

【００７８】

この実施例の場合も、第１の領域１１２と第２の領域１１３との屈折率差Δn_1、および第３の領域１１４と空気との屈折率差Δn_2とが、それぞれ（６）式および（７）式で与えられるから、その回折効率の波長依存の低減の作用は、上述した第１～４実施例の場合と全く同じである。すなわち、この実施例では、第１のレリーフパターン２２１と第２のレリーフパターン２２２との位相シフト作用が互いに打ち消し合うように、αの代数符号を選んであるので、その絶対値が波長λの増加に伴って低下するΔn_2が、Δn_1とは逆符号である。したがって、屈折率差の項Ｎ（λ）の波長依存は、全体として波長λの増加に伴って増加する傾向を示すことになる。これにより、（９）式の分母に現れるλは、この屈折率差の項Ｎ（λ）で良好に相殺され、位相振幅の波長依存が低減され、回折効率の波長依存が低減される。

【００７９】

さらに、この実施例では、第２の領域１１３および第３の領域１１４をそれぞれ構成する材料が互いに異なるので、Δn_1とΔn_2とを独立に設定することができ、これにより、その組合せとして、より効果的な組合せを選択することができる。具体的には、第１～第４の領域を、第１実施例を構成する材料と空気とで構成しているので、第１、第２のレリーフパターン２２１、２２２の溝深さを、それぞれ第１実施例の場合よりも浅くすることができ、より薄型の回折レンズを実現することができる。

【００８０】

図１７は、この実施例による回折レンズと従来の回折レンズとの回折効率の波長依存特性を比較して示すものである。図１７において、実線はこの実施例による回折レンズの場合を、破線はＬａＬ１４基板にブレーズパターンを形成した従来の回折レンズ（最適化波長λ＝５１０ｎｍ）の場合を示している。図１７から明らかなよう、この実施例の場合も、従来のものと比較して回折効率の波長依存を極めて良好に補正できることがわかる。

【００８１】

なお、この発明は、上述した実施例にのみ限定されるものではなく、幾多の変形または変更が可能である。例えば、上述した第１～第５実施例では、２つのレリーフパターンの間隔ｄ＝（d_3 ＋d_4 ）を０としたが、この発明による回折光学素子の位相振幅は、上

記（９）式または（１１）式から明らかなように、基本的には２つのレリーフパターンの間隔ｄに依存しない。

【００８２】

図１６は、図１５に示した第５実施例の変形例を示すもので、第２の領域１１３と第３の領域１１４とを接着層１２０を介して積層したものである。図１６に示すように、第２，第３の領域１１３，１１４の間に第５の層状領域１２０が存在する場合であっても、位相振幅の値は上記（９）式または（１１）式で与えられる。したがって、その回折効率の波長依存の低減の作用と効果は、上述した第５実施例の場合とまったく同じである。

【００８３】

しかし、２つのレリーフパターンの間隔ｄは、回折光学素子の厚さを考慮するときに意味をもつ。すなわち、回折効率の波長依存を十分に低減するためには、回折光学素子をできるだけ薄型にすることが好ましい。すなわち、（１３）式で定義したパラメータＱの値が、Ｑ＜１を満たすようにｄの値を選択することが好ましい。この条件を満たすとき、該回折光学素子は薄型であるとみなせ、また、２つのレリーフパターンは実質的に接しているとみなせる。

【００８４】

ここで、図１６に示す構成において、接着層１２０の厚さをd_5、およびその屈折率をn_5とすれば、（１４）式および（１５）式に対応した周期構造の深さＤおよび平均屈折率n_0は、

【数２２】

$$D = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5 \qquad (20)$$

$$n_0 = \frac{d_1 \dfrac{n_1 + n_2}{2} + d_2 \dfrac{n_3 + n_4}{2} + d_3 n_2 + d_4 n_3 + d_5 n_5}{d_1 + d_2 + d_3 + d_4 + d_5} \qquad (21)$$

となる。すなわち周期構造の深さＤは、２つのレリーフパターンが形成されている領域、およびそ領域に挟まれた領域の厚さの単純な和であり、また、平均屈折率n_0は、それらのにおける屈折率の平均値で与えられる。

【００８６】

【発明の効果】

この発明によれば、第１，第２の２つのレリーフパターンの溝深さの比を制御することにより、すなわち２つのレリーフパターンの溝深さの比を最適に違えて設定することにより、基板材料等の光学特性とは独立に、位相振幅の波長依存を制御することができるので、回折効率の波長依存性を目的に応じて最適化することができる。したがって、回折効率の波長依存を低減できる材料の組み合わせに制限がなくなるので、例えば、製造の容易な材料を組み合わせて、効果的に回折効率の波長依存を低減できると共に、安価にできる。したがって、係る回折光学素子を用いるこの発明に係る光学装置によれば、例えばカラー映像を撮影する場合のフレアやゴースト等の発生を有効に防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図１】この発明に先立って開発した回折光学素子の概念図である。

【図２】第２の発明にかかる回折光学素子の概念図である。

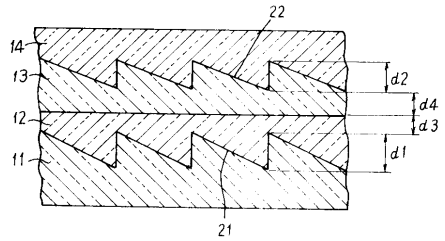
【図３】この発明の第１実施例を示す断面図である。

【図４】第１実施例の回折レンズにおける順次の領域間の屈折率差の波長依存特性を示す図である。

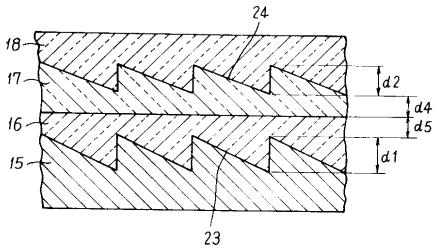
【図５】第１実施例による回折レンズと従来の回折レンズとの位相振幅の波長依存特性を比較して示す図である。

【図６】図５に示した位相振幅の波長依存特性に対応する回折効率の波長依存特性を示す図である。
【図７】第１実施例の変形例を示す断面図である。
【図８】この発明の第２実施例を示す断面図である。
【図９】第２実施例の回折レンズにおける順次の領域間の屈折率差の波長依存特性を示す図である。
【図１０】第２実施例による回折レンズと従来の回折レンズとの回折効率の波長依存特性を比較して示す図である。
【図１１】この発明の第３実施例を示す断面図である。
【図１２】第３実施例の回折レンズにおける±１次回折効率の波長依存特性を示す図である。
【図１３】この発明の第４実施例を示す断面図である。
【図１４】第４実施例による回折レンズと従来の回折レンズとの回折効率の波長依存特性を比較して示す図である。
【図１５】この発明の第５実施例を示す断面図である。
【図１６】第５実施例の変形例を示す断面図である。
【図１７】第５実施例による回折レンズと従来の回折レンズとの回折効率の波長依存特性を比較して示す図である。
【図１８】この発明に係る回折光学素子を用いる光学装置の一例を示す図である。
【図１９】同じく、他の例を示す図である。
【図２０】従来の回折光学素子を示す断面図である。
【図２１】図２０に示す従来の回折光学素子における１次回折効率の波長依存特性の一例を示す図である。
【図２２】図２０に示す断面鋸歯波状のレリーフパターンの位相シフト関数φ（ｘ）を示す図である。
【図２３】本出願人が先に提案した回折光学素子の基本構成を示す断面図である。
【図２４】図２３に示す回折光学素子における２種類の光学材料の屈折率の波長依存特性の一例を示す図である。
【符号の説明】
１１，１５，１０１，１０５，１０９，１１２　第１の領域
１２，１６，１０２，１０６，１１０，１１３　第２の領域
１３，１７，１０３，１０７，１１１，１１４　第３の領域
１４，１８，１０４，１０８　第４の領域
２１，２３，２０１，２０３，２０５，２０７，２２１　第１のレリーフパターン
２２，２４，２０２，２０４，２０６，２０８，２２２　第２のレリーフパターン

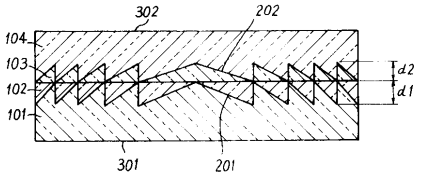
【図１】



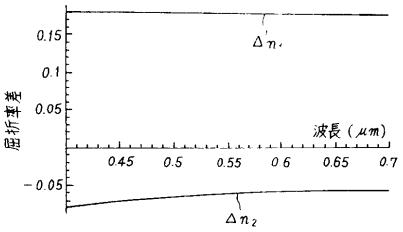
【図２】



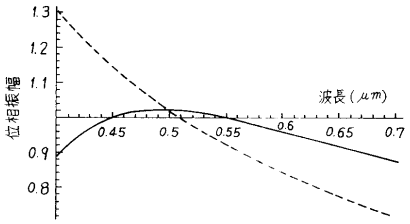
【図３】



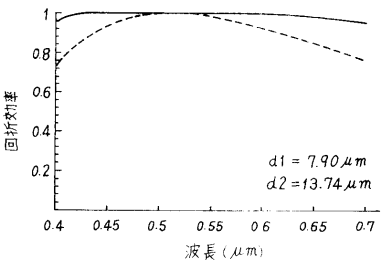
【図４】



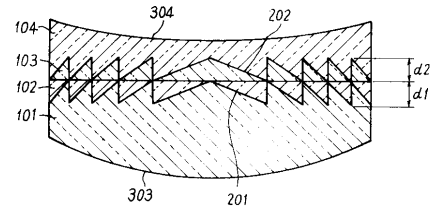
【図５】



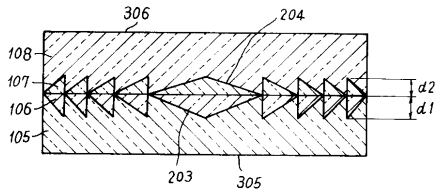
【図６】



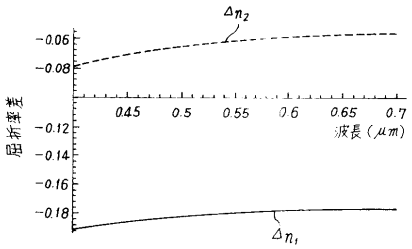
【図７】



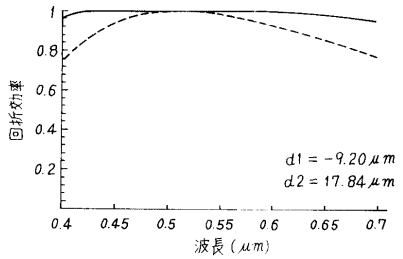
【図８】



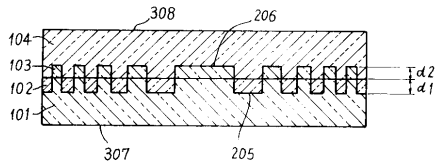
【図９】



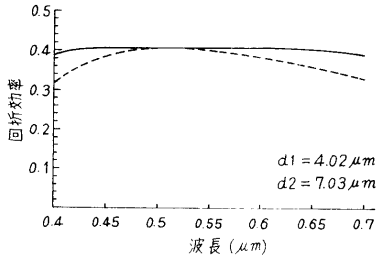
【図１０】



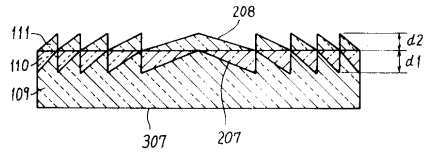
【図１１】



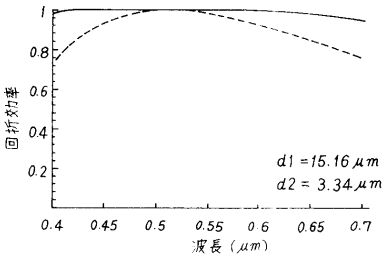
【図１２】



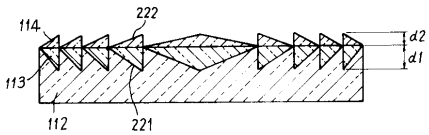
【図１３】



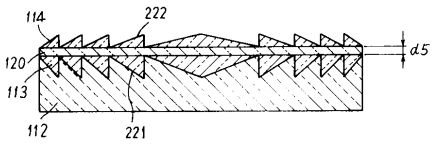
【図１４】



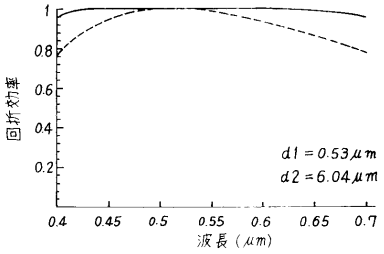
【図１５】



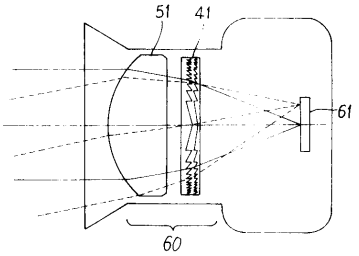
【図１６】



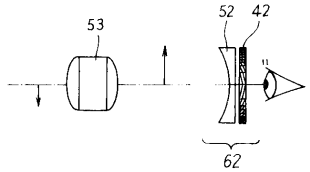
【図１７】



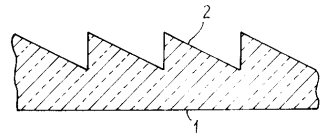
【図１８】



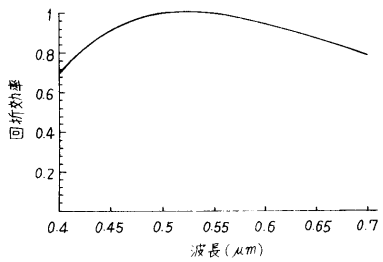
【図１９】



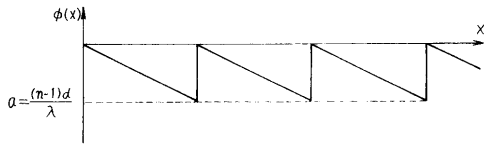
【図２０】



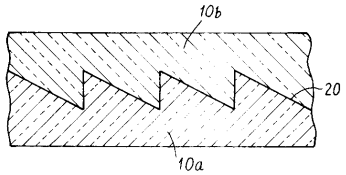
【図２１】



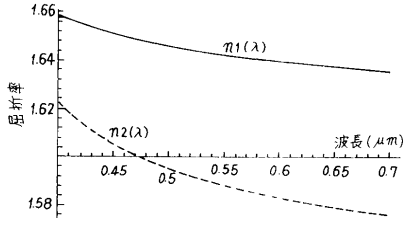
【図２２】



【図２３】



【図２４】



フロントページの続き

審査官　吉野　公夫

(56)参考文献　特開平０２－２９６２０５（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－０５２８９３（ＪＰ，Ａ）
特開平０３－２１３８０２（ＪＰ，Ａ）
特開平０２－１４３２０１（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－１３０２１２（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３２４２６２（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－３２３２３８（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－２６９１０４（ＪＰ，Ａ）
特開昭６２－２８９８０４（ＪＰ，Ａ）
特開昭５９－１４３１１０（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２３１３１１（ＪＰ，Ａ）
特開昭６３－２０１６０３（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
G02B 5/18
G02B 27/42