

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-107298

(P2005-107298A)

(43) 公開日 平成17年4月21日(2005.4.21)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
G02B 5/18	G02B 5/18	2H049
B29C 39/10	B29C 39/10	4F204
// B29L 9:00	B29L 9:00	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2003-342059 (P2003-342059)
 (22) 出願日 平成15年9月30日 (2003.9.30)

(71) 出願人 000004112
 株式会社ニコン
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
 (74) 代理人 100092897
 弁理士 大西 正悟
 (72) 発明者 鈴木 憲三郎
 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株
 式会社ニコン内
 Fターム(参考) 2H049 AA39 AA43 AA63 AA65
 4F204 AA36 AA44 AD08 AF01 AG03
 AG05 AH33 AH73 EA03 EB01
 EF27 EK17 EK18 EK24

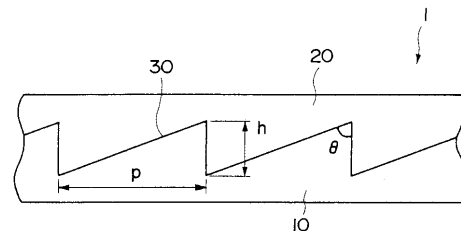
(54) 【発明の名称】 回折光学素子及び回折光学素子の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 製造が容易な複層型回折素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【解決手段】 互いに異なる材質が同一の回折格子溝30で接する回折光学素子1であり、互いに異なる材質の一方は、第1の紫外線硬化樹脂10であり、互いに異なる材質の他方は、前記第1の紫外線硬化樹脂10とは異なる第2の紫外線硬化樹脂20である。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに異なる材質が同一の回折格子溝で接する回折光学素子であり、
前記互いに異なる材質の一方は、第 1 の紫外線硬化樹脂であり、
前記互いに異なる材質の他方は、前記第 1 の紫外線硬化樹脂とは異なる第 2 の紫外線硬化樹脂であることを特徴とする回折光学素子。

【請求項 2】

前記第 1 の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d1} とし、前記第 1 の紫外線硬化樹脂の分散値を d_1 としたとき、両式

$$1.50 < n_{d1} < 1.60$$

$$45 < d_1 < 65$$

10

の条件を満足し、且つ、前記第 2 の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d2} とし、前記第 2 の紫外線硬化樹脂の分散値を d_2 としたとき、両式

$$1.45 < n_{d2} < 1.55$$

$$d_2 < 45$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の回折光学素子。

【請求項 3】

前記第 1 の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d1} とし、前記第 1 の紫外線硬化樹脂の分散値を d_1 とし、前記第 2 の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d2} とし、前記第 2 の紫外線硬化樹脂の分散値を d_2 としたとき、次式

20

$$0.0005 < (n_{d1} - n_{d2}) / (d_1 - d_2) < 0.03$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 に記載の回折光学素子。

【請求項 4】

前記回折格子溝の高さを h としたとき、次式

$$h < 50 \mu\text{m}$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項 5】

前記回折光学素子の最小ピッチが $80 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項 6】

30

前記第 1 の紫外線硬化樹脂と前記第 2 の紫外線硬化樹脂との光軸上の厚さの和が $1000 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項 7】

前記第 1 の紫外線硬化樹脂及び前記第 2 の紫外線硬化樹脂は、いずれも光軸上の厚さが $500 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項 8】

前記第 1 の紫外線硬化樹脂の中心厚さを t_1 とし、前記第 2 の紫外線硬化樹脂の中心厚さを t_2 としたとき、次式

$$0.2 < t_1 / t_2 < 5.0$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれかに記載の回折光学素子。

40

【請求項 9】

前記第 1 の紫外線硬化樹脂を有する回折光学素子を構成する基板の曲率半径を R としたとき、次式

$$0 < 1/R < 0.1 \text{ (1/mm)}$$

の条件を満足することを特徴とする請求項 1 ~ 8 のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項 10】

前記第 1 の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d1} 、C 線での屈折率を n_{C1} 及び F 線での屈折率を n_{F1} とし、前記第 2 の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d2} 、C 線での屈折率を n_{C2} 及び F 線での屈折率を n_{F2} とし、 $n_d = n_{d1} - n_{d2}$ 、 $(n_F - n_C) = \{ (n_{F1} - n_{C1}) - (n_{F2} - n_{C2}) \}$ としたとき、次式

50

$$-10.0 < nd / (nF - nC) < -1.0$$

の条件を満足することを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の回折光学素子。

【請求項11】

前記第1又は前記第2のいずれか一方の紫外線硬化樹脂を基板上に滴下し、回折格子溝を形成した型を用いて型押しする工程と、

前記型押しされた一方の紫外線硬化樹脂に紫外線を照射し、前記型押しされた一方の紫外線硬化樹脂を硬化させる工程と、

前記硬化した一方の紫外線硬化樹脂を前記型から取り外す工程と、

前記取り外した一方の紫外線硬化樹脂の回折格子溝が形成された面側に、前記第1又は前記第2の他方の紫外線硬化樹脂を滴下する工程と、

前記滴下された他方の紫外線硬化樹脂に紫外線を照射する工程とを含むことを特徴とする回折光学素子の製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回折光学素子に関し、特に、複層型の回折光学素子及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

回折光学素子は、微小間隔（約1mm）当たり数百本程度の細かい等間隔のスリット状もしくは溝状の格子構造を備えて作られた光学素子であり、光が入射されると、スリットや溝のピッチ（間隔）と光の波長とで定まる方向に回折光束を生じさせる性質を有している。このような回折光学素子は種々の光学系に用いられており、例えば、最近では、特定次数の回折光を一点に集めてレンズとして使用するものなどが知られている。

20

【0003】

このような回折光学素子においては、近年、複層型と呼ばれる回折光学素子が提案されている。このタイプの回折光学素子は、鋸歯状に形成された面を持つ複数の回折素子要素を積み重ねてなるものであり、所望の広波長領域（例えば、可視光領域）のほぼ全域で高い回折効率が保たれる、すなわち波長特性が良好であるという特徴を有している。

【0004】

一般に、複層型の回折光学素子として、例えば、互いに異なる材料である2種類の回折素子要素から構成され、同一の回折格子溝で密着している、いわゆる密着複層型の回折光学素子が知られている（例えば、特許文献1を参照）。

30

【0005】

また、他の例の複層型の回折光学素子として、図6に示すように、互いに異なる材料である第1の回折素子要素110と、第2の回折素子要素120とから構成され、各回折格子要素110、120の対向し合う鋸歯状の面は空気を挟んで分離された状態で配置されている、いわゆる分離複層型の回折光学素子が知られている。分離複層型の回折光学素子においては、第1の回折素子要素110における回折格子溝の高さd1と第2の回折格子要素120における回折格子溝の高さd2とは相異なるため、それぞれの回折格子溝が形成された金型による成形が行われている。このような分離複層型の回折光学素子の場合、特定の2波長に対して色消し条件を満足させるように、第1の回折格子要素110の回折格子溝の高さd1を所定の値に決定し、第2の回折格子要素120の回折格子溝の高さd2を別の所定の値に決定する。これにより、特定2波長においては回折効率が1.0となり、その他の波長においても高い回折効率を得ることができるようになる。ここで、回折効率とは、透過型の回折格子において、入射する光の強度I₀と一次回折光の強度I₁との割合（=I₁/I₀）である。

40

【特許文献1】特開平11-271513号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0006】

ところで、(特許文献1のような)密着複層型の回折光学素子においては、該回折光学素子を構成するどちらかの回折格子要素が、通常、材料としてガラスが用いられ回折格子溝が形成された金型による成形、いわゆるガラスモールド成形により作製されている。しかしながら、このガラスモールド成形は、製造時間がかかる上に、金型の成形方法や要求を満たすガラスの製造方法など技術的に難しい点が多かった。

【0007】

また、(図6に示すような)分離複層型の回折光学素子においては、第1の回折素子要素110における回折格子溝の高さ d_1 と第2の回折格子要素120における回折格子溝の高さ d_2 とは相異なるため、複数の金型が必要であるとともに、(これら金型を用いて)回折格子要素110, 120それぞれを同じ手順で別々に製造しなければならない、手間が必要であった。さらに、最終的には、両回折素子要素110, 120を精度良く位置合わせする必要があるため、非常に作りづらいものとなっていた。

10

【0008】

本発明は、このような問題点に鑑みてなされたものであり、製造が容易な複層型回折素子及びその製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

このような目的を達成するため、本発明の回折光学素子は、互いに異なる材質が同一の回折格子溝で接する回折光学素子であり、互いに異なる材質の一方は、第1の紫外線硬化樹脂であり、互いに異なる材質の他方は、第1の紫外線硬化樹脂とは異なる第2の紫外線硬化樹脂であることを特徴とする。

20

【0010】

また、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d1} とし、第1の紫外線硬化樹脂の分散値を d_1 としたとき、両式 $1.50 < n_{d1} < 1.60$ 及び $4.5 < d_1 < 6.5$ の条件を満足し、且つ、第2の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d2} とし、第2の紫外線硬化樹脂の分散値を d_2 としたとき、両式 $1.45 < n_{d2} < 1.55$ 及び $d_2 < 4.5$ の条件を満足することを特徴とする。なお、上記の分散値は、 $d_i = (n_{di} - 1) / (n_{Fi} - n_{Ci})$ である(但し、 $i = 1, 2$)。

【0011】

また、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d1} とし、第1の紫外線硬化樹脂の分散値を d_1 とし、第2の紫外線硬化樹脂の d 線での屈折率を n_{d2} とし、第2の紫外線硬化樹脂の分散値を d_2 としたとき、次式 $0.0005 < (n_{d1} - n_{d2}) / (d_1 - d_2) < 0.03$ の条件を満足することを特徴とする。

30

【0012】

また、本発明の回折光学素子は、回折格子溝の高さを h としたとき、次式 $h < 50 \mu m$ の条件を満足することを特徴とする。

【0013】

また、本発明の回折光学素子は、回折光学素子の最小ピッチが $80 \mu m$ 以上であることを特徴とする。

40

【0014】

また、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂と第2の紫外線硬化樹脂との光軸上の厚さの和が $1000 \mu m$ 以下であることを特徴とする。

【0015】

また、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂及び第2の紫外線硬化樹脂は、いずれも光軸上の厚さが $500 \mu m$ 以下であることを特徴とする。

【0016】

また、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂の中心厚さを t_1 とし、第2の紫外線硬化樹脂の中心厚さを t_2 としたとき、次式 $0.2 < t_1 / t_2 < 5.0$ の条件を

50

満足することを特徴とする。

【0017】

また、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂を有する回折光学素子を構成する基板の曲率半径をRとしたとき、次式 $0 < 1/R < 0.1$ (1/mm) の条件を満足することを特徴とする。

【0018】

また、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂のd線での屈折率を n_{d1} 、C線での屈折率を n_{C1} 及びF線での屈折率を n_{F1} とし、第2の紫外線硬化樹脂のd線での屈折率を n_{d2} 、C線での屈折率を n_{C2} 及びF線での屈折率を n_{F2} とし、 $n_{d1} = n_{d2}$ 、 $(n_{F1} - n_{C1}) = \{(n_{F2} - n_{C2})\}$ としたとき、次式 $-10.0 < n_{d1} / (n_{F1} - n_{C1}) < -1.0$ の条件を満足することを特徴とする。

10

【0019】

本発明の回折光学素子の製造方法は、前記第1又は前記第2のいずれか一方の紫外線硬化樹脂を基板上に滴下し、回折格子溝を形成した型を用いて型押しする工程と、前記型押しされた一方の紫外線硬化樹脂に紫外線を照射し、前記型押しされた一方の紫外線硬化樹脂を硬化させる工程と、前記硬化した一方の紫外線硬化樹脂を前記型から取り外す工程と、前記取り外した一方の紫外線硬化樹脂の回折格子溝が形成された面側に、前記第1又は前記第2の他方の紫外線硬化樹脂を滴下する工程と、前記滴下された他方の紫外線硬化樹脂に紫外線を照射する工程とを含むことを特徴とする。

20

【発明の効果】

【0020】

以上説明したように、本発明に係る回折光学素子によれば、製造の容易な複層型の回折光学素子及びその製造方法を提供することが可能になった。

【発明を実施するための最良の形態】

【0021】

以下、図面を参照して本発明の好ましい実施形態について説明する。図1は、本発明に係る回折光学素子の概念を示す、密着複層型回折光学素子の模式断面図である。本実施形態における回折光学素子1は、互いに異なる紫外線硬化樹脂である第1の紫外線硬化樹脂10と第2の紫外線硬化樹脂20とが、同一の回折格子溝30で接する形状を有している。

30

なお、本実施形態では、回折格子溝30は図に示すように鋸歯状に形成されているが、本発明がこれに限定されるわけではない。

【0022】

このような形状の回折光学素子1とすることで、回折格子溝30を形成するために、一つの金型を用いるだけで製造することが可能になり、その結果、従来行われていた二つの回折格子溝を別々に製造し、位置合わせをする作業が不要になる。また、ここで、第1の紫外線硬化樹脂10及び第2の紫外線硬化樹脂20を用いることで、型に材料を滴下して固めるという作業を2回繰り返すだけで、製造することができるようになり、ひいては量産性が向上する。また、第1の紫外線硬化樹脂10と第2の紫外線硬化樹脂20とを貼り合わせることで、回折格子溝30での剥離を防ぐ効果が大きくなる。

40

【0023】

本発明の回折光学素子1において、第1の紫外線硬化樹脂10の材質は、d線での屈折率を n_{d1} とし、第1の紫外線硬化樹脂10の分散値を d_1 としたとき、以下の両式(1)、(2)を満足し、且つ、第2の紫外線硬化樹脂20の材質は、d線での屈折率を n_{d2} とし、第2の紫外線硬化樹脂20の分散値を d_2 としたとき、両式(3)、(4)を満足することが好ましい。

【0024】

(数1)

$$1.50 < n_{d1} < 1.60 \quad \dots (1)$$

$$4.5 < d_1 < 6.5 \quad \dots (2)$$

50

$$1.45 \quad n d 2 \quad 1.55 \quad \dots (3)$$

$$d 2 \quad 45 \quad \dots (4)$$

【0025】

条件式(1)、(2)、(3)、(4)は、より良い性能で、互いに異なる紫外線硬化樹脂(ここでは第1の紫外線硬化樹脂10と第2の紫外線硬化樹脂20)が共通の回折格子溝30で接することができる(回折格子溝30を形成することができる)ための条件である。すなわち、これらの条件式(1)~(4)に規定された領域を外れると、本発明の(互いに異なる材質が同一の回折格子溝で接する)複層型回折光学素子1の形状を得ることが難しくなってしまう。特に、条件式(1)及び(3)は角度特性を良好に保つためのものであり、条件式(2)及び(4)は全波長領域で良好な回折効率を得るためのものである。

10

【0026】

ここで、条件式(1)の下限値を1.55とすることが好ましい。また、条件式(1)の上限値を1.60とすることが好ましい。条件式(2)の下限値を47とすることが好ましい。また、条件式(2)の上限値を55とすることが好ましい。条件式(3)の下限値を1.50とすることが好ましい。また、条件式(3)の上限値を1.54とすることが好ましい。条件式(4)の下限値を30とすることが好ましい。また、条件式(4)の上限値を45とすることが好ましい。

【0027】

また、本発明の回折光学素子1において、第1の紫外線硬化樹脂10の材質は、d線での屈折率を $n d 1$ とし、第1の紫外線硬化樹脂10の分散値を $d 1$ と、第2の紫外線硬化樹脂20の材質は、d線での屈折率を $n d 2$ とし、第2の紫外線硬化樹脂20の分散値を $d 2$ としたとき、次式(5)を満足することが好ましい。

20

【0028】

(数2)

$$0.0005 \quad (n d 1 - n d 2) / (d 1 - d 2) \quad 0.03 \dots (5)$$

【0029】

条件式(5)は、第1の紫外線硬化樹脂10及び第2の紫外線硬化樹脂20における、屈折率の差及び分散値の差を規定する条件である。この条件式(5)及び後述する条件式(6)の規定された領域を外れると、本発明のように互いに異なる材質(紫外線硬化樹脂)が同一の回折格子溝30で接する複層型回折光学素子の形状であっても、回折格子溝30の高さ h が高くなってしまったり、諸波長に対する回折効率が低下してしまったりする不都合が生じる。ここでは、条件式(5)の下限値を0.001とすることが好ましい。また、条件式(5)の上限値を0.005とすることが好ましい。

30

【0030】

また、本発明の回折光学素子1では、回折格子溝の高さを h としたとき、次式(6)を満足することが好ましい。

【0031】

(数3)

$$h \quad 50 \mu m \quad \dots (6)$$

40

【0032】

条件式(6)は、角度特性(入射光線の入射角の変化に対する回折効率の低下の度合い)に関する条件であり、この条件を満足することにより、従来の複層型回折光学素子と比べて角度特性を向上させることができる。すなわち、回折格子溝30の高さ h を条件式(6)の上限値(50 μm)以下にして、回折格子溝30の高さを低くすることにより、光透過時の損失を小さくして角度特性を向上させることができる。但し、高さ h の値を無制限に小さくすることは厳しい製造精度を満足し得なくなる可能性があるため、条件式(6)においては高さ h に下限の値を設けることが好ましい。ここでは、上記条件式(6)の上限値を30.0 μm とすると、さらに良い結果が得られる。

【0033】

50

また、本発明の回折光学素子 1 では、回折格子溝 30 のピッチ（最小ピッチ） p （図 1 参照）を $80\ \mu\text{m}$ 以上と大きくすることで、回折格子溝 30 の頂角（図 1 参照）を緩やかにすることができる。このように回折格子溝 30 の頂角を緩やかにしておけば、後述するように、第 1 の金型 50 を用いて第 1 の紫外線硬化樹脂 10 を成形するとき、この形状を正確に転写することができるとともに、このように転写成形された回折格子溝 30 上に滴下した第 2 の紫外線硬化樹脂 20 が、第 1 の紫外線硬化樹脂 10 上に形成された（転写された）回折格子溝 30 の窪み部分に十分に行き渡るようになるため、所定形状の回折格子溝 30 を容易に形成することが可能となり、ひいては本回折格子素子 1 の生産性を向上させることができるようになる。なお、回折格子溝 30 のピッチ（最小ピッチ） p をさらに大きく $100\ \mu\text{m}$ とすれば、回折格子溝 30 の頂角はさらに緩やかになるので、回折格子溝 30 の形成はより一層容易になる。

10

【0034】

なお、紫外線硬化樹脂は、一般に、分光透過率特性が余り良くないため、回折光学素子を構成する紫外線硬化樹脂の光軸上の厚さが厚くなると、該光学系全体の透過率が下がることになる。特に、その傾向は短波長領域において顕著である。このため、本発明の回折光学素子 1 は、第 1 の紫外線硬化樹脂 10 と第 2 の紫外線硬化樹脂 20 との光軸上の厚さの和が $1000\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。また、第 1 の紫外線硬化樹脂 10 及び第 2 の紫外線硬化樹脂 20 は、いずれも光軸上の厚さが $500\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。このように、第 1 及び第 2 の紫外線硬化樹脂 10, 20 の光軸上の厚さを抑えることにより、材料として用いる紫外線硬化樹脂の使用量が従来よりも減るため、コストダウンに繋がり好都合である。

20

【0035】

また、本発明の回折光学素子 1 では、第 1 の紫外線硬化樹脂 10 の中心厚さを t_1 とし、第 2 の紫外線硬化樹脂 20 の中心厚さを t_2 としたとき、次式（7）を満足することが望ましい。

【0036】

(数 4)

$$0.2 < t_1 / t_2 < 5.0 \quad \dots (7)$$

【0037】

この条件式（7）の上限値を上回ると、第 1 の紫外線硬化樹脂 10 の光軸方向の中心厚さ t_1 が厚くなり過ぎて、第 1 の紫外線硬化樹脂層の総重量が増すため、本回折光学素子 1 を構成する基板（例えば、ガラス等）から剥離しやすくなるという不都合が生じる。また、条件式（7）の下限値を下回ると、第 2 の紫外線硬化樹脂 20 の光軸方向の中心厚さ t_2 が厚くなり過ぎて、第 1 の紫外線硬化樹脂 10 に過大なストレスがかかり、第 1 の紫外線硬化樹脂層 10 と第 2 の紫外線硬化樹脂層 20 とが剥離しやすくなるという不都合が生じる。また、第 1, 2 の紫外線硬化樹脂 10, 20 のいずれにおいても、その層が厚くなり過ぎると、紫外線を照射して硬化させるために要する時間も長くなり、製造コストが上がるおそれがあるため、好ましくない。

30

【0038】

また、本発明の回折光学素子 1 は、上記基板（例えば、ガラス）の曲率半径を R としたとき、次式（8）を満足することが好ましい。

40

【0039】

(数 5)

$$0.1 / R < 0.1 \text{ (1/mm)} \quad \dots (8)$$

【0040】

この条件式（8）の上限値を上回ると、基板の曲率半径 R がきつくなり過ぎてしまい、第 1 の紫外線硬化樹脂層 10 との密着性が劣化して、剥がれやすくなるという不都合が生じる。なお、本回折光学素子 1 において、基板が平板であると、該基板の加工がしやすいと同時に、これに密着させる第 1 の紫外線硬化樹脂 10 も成形・密着がしやすくなる。そのため、基板の曲率半径 R の値に無限大を設定し、条件式（8）の下限値が 0 となってい

50

る。

【0041】

ここで、本発明の回折光学素子1を構成する互いに異なる材質、すなわち第1光学材料及び第2光学材料の選定基準について説明する。なお、第1光学材料は高屈折率低分散である材料を、第2光学材料は低屈折率高分散である材料を用いるとする。また、光の進行方向の順に、第1光学材料、第2光学材料が配置されるとする。ここで、上記の屈折率及び分散の高低は相対的なものである。

【0042】

本発明の回折光学素子1において、設計波長をd線とし、第1, 2光学材料のd線に対する屈折率を n_{d1} , n_{d2} とし、格子高さをhとし、d線の波長 d としたとき、次式

10

(9)を満足すると仮定する。

【0043】

(数6)

$$(n_{d1} - n_{d2})h = d \dots (9)$$

【0044】

上記の式(9)は、d線のブレイズ条件の式であり、このとき d に対する回折効率は最大となる。ここで、 n_{d1} , n_{d2} 及び d が与えられれば、格子高さhは一義的に定まり、次式(10)のように表すことができる。

【0045】

(数7)

$$h = d / (n_{d1} - n_{d2}) \dots (10)$$

20

【0046】

ところで、本発明の回折光学素子1が、特に(白色光など)広い波長領域で良好な回折効率を得るために、d線以外の波長においてもブレイズ条件を満足することが望ましい。そこで、d線以外の波長としてC線, F線を選び、第i光学材料($i = 1, 2$)のC線, F線に対する屈折率 n_{Ci} , n_{Fi} とし、C線, F線の波長を C , F としたとき、C線, F線のブレイズ条件の式である次式(11), (12)を満足すると仮定する。

【0047】

(数8)

$$(n_{C1} - n_{C2})h = C \dots (11)$$

$$(n_{F1} - n_{F2})h = F \dots (12)$$

30

【0048】

上記の式(12)から式(11)を辺々引くと、次式(13)が得られる。

【0049】

(数9)

$$(n_{F1} - n_{F2})h - (n_{C1} - n_{C2})h = F - C \dots (13)$$

【0050】

上記の式(13)を整理すると、次式(14)が得られる。

【0051】

(数10)

$$\{(n_{F1} - n_{F2}) - (n_{C1} - n_{C2})\} = (F - C) / h \dots (14)$$

40

【0052】

ここで、上記の式(14)から式(10)を用いてhを消去すると、次式(15)が得られる。

【0053】

(数11)

$$\{(n_{F1} - n_{F2}) - (n_{C1} - n_{C2})\} \\ = (F - C) \cdot (n_{d1} - n_{d2}) / d \dots (15)$$

【0054】

さらに、上記の式(15)は整理すると、次式(16)で表すことができる。

50

【0055】

(数12)

$$\begin{aligned} & (n_{d1} - n_{d2}) / \{ (n_{F1} - n_{F2}) - (n_{C1} - n_{C2}) \} \\ & = d / (F - C) \quad \dots (16) \end{aligned}$$

【0056】

上記の式(16)の右辺に、 $d = 0.587562 \mu m$ 、 $F = 0.486133 \mu m$ 、 $C = 0.656273 \mu m$ をそれぞれ代入すると、次式(17)が得られる。

【0057】

(数13)

$$(n_{d1} - n_{d2}) / \{ (n_{F1} - n_{F2}) - (n_{C1} - n_{C2}) \} = -3.453403 \quad \dots (17) \quad 10$$

【0058】

上記の式(17)において、 $n_d = n_{d1} - n_{d2}$ 、 $\{ (n_{F1} - n_{F2}) - (n_{C1} - n_{C2}) \} = \{ (n_{F1} - n_{C1}) - (n_{F2} - n_{C2}) \} = (n_F - n_C)$ とすると、次式(18)のように表すことができる。

【0059】

(数14)

$$n_d / (n_F - n_C) = -3.453403 \quad \dots (18)$$

【0060】

上記の式(18)の右辺は、選択した波長(ここでは、d線、C線及びF線)によって定まる値(回折光学素子のアッペ数そのもの)となり、式(18)の係数に極力近付けるように、本発明の回折光学素子1を構成する第1光学材料及び第2光学材料を選択すればよいことを示している。より具体的には、図7で示す $(n_F - n_C) / n_d$ マップ上において式(18)をできるだけ満足するような、第1光学材料及び第2光学材料の組み合わせを選定すればよい。このような選択基準に基づいて選択された光学材料を用いることにより、本発明の回折光学素子1は、広い波長領域で良好な回折効率を得ることができる。なお、後述する第1及び第2実施例の回折光学素子では、図7の(1)~(3)で示すように、上記選定基準に基づいた光学材料が用いられている。また、図7では、式(18)の関係を一例として直線A、Bで示している。

【0061】

なお、上記の条件式(18)は、次式(19)で示す範囲を満足することが好ましい。

【0062】

(数15)

$$-10.0 < n_d / (n_F - n_C) < -1.0 \quad \dots (19)$$

【0063】

この条件式(19)は、本回折光学素子1において広い波長領域で回折効率をより向上させるための条件である。この条件式(19)を満足することにより、実用的な性能を十分に得ることができる。一方、条件式(19)の上限値を上回ったり或いは下限値を下回ったりすると、広い波長領域に亘りフラットな回折効率を得られないという不都合が生じ、その結果、回折光によるフレアの発生が大きくなって画質を損ねるなどの問題が生じる。なお、本回折光学素子1において、より高い効果を得るためには、条件式(19)は $-3.0 \sim -9.0$ の範囲とすることが好ましい。

【0064】

なお、本発明の回折光学素子は、第1の紫外線硬化樹脂(高屈折率低分散材料)に用いる材料として、具体的には、脂肪環を有するアクリレートとチオール化合物とのエンチオール反応生成物よりなる紫外線硬化樹脂が挙げられる。また、第2の紫外線硬化樹脂(低屈折率高分散材料)に用いる材料として、具体的には、分子中にフッ素原子を含むアクリレートと分子中に複数のベンゼン環骨格を有するアクリレートとの混合物からなる紫外線硬化樹脂が挙げられる。ここで述べている屈折率及び分散の高低とは相対的なものである。

【0065】

以下に、本発明に係る回折光学素子1（本実施形態では円盤状とする）の製造手順について説明する。これにはまず、所定形状の回折格子溝30が予め形成されている第1の金型50と、所定の面を予め形成してある基板ガラス60（但し、後述する紫外線UVを透過する材料）とを用意する。また、十分に加熱され可塑性を有した第1の紫外線硬化樹脂10'を用意する。第1の紫外線硬化樹脂10'には、後述の実施例に示すものが用いられるとよい。

【0066】

次に、基板ガラス60上に、十分に加熱され可塑性を有した上記第1の紫外線硬化樹脂10'を滴下する（図2（A）参照）。そして、滴下した第1の紫外線硬化樹脂10'に回折格子溝30が形成された第1の金型50を押し当てる（図2（b）参照）。さらに、基板ガラス60側から紫外線UVを照射することで、第1の紫外線硬化樹脂10'を硬化させる（図2（C）参照）。そして、硬化させた第1の紫外線硬化樹脂10'を第1の金型50及び基板ガラス60より取り外す（図2（D）参照）。これにより、第1の金型50に形成されていた回折格子溝30の形状が、第1の紫外線硬化樹脂10'に転写されて、第1の回折光学素子10が形成される。

【0067】

続いて、上記のようにして作製された第1の回折光学素子10の回折格子溝30が形成された面上に、液状の第2の紫外線硬化樹脂20'を適量滴下する（図2（E）参照）。この第2の紫外線硬化樹脂20'には、後述の実施例に示すものが用いられるとよい。滴下された第2の紫外線硬化樹脂20'において、回折格子溝30が形成される面とは反対側の面に、面形成用の第2の金型70を押し当てる（図2（F）参照）。さらに、紫外線UVを照射することで、第2の紫外線硬化樹脂20'を硬化させる（図2（G）参照）。これにより、第1の回折光学素子10に密着接合された第2の回折光学素子20が形成される。最後に、面形成用の第2の金型70を取り外せば、第1の回折光学素子（第1の紫外線硬化樹脂）10と第2の回折光学素子（第2の紫外線硬化樹脂）20とから構成される、本発明に係る密着複層型の回折光学素子1が完成する（図2（H）参照）。

【0068】

上記の回折光学素子1の製造方法では、複層型の回折光学素子の製造方法でありながら、全工程の中で回折格子溝を形成する工程は、第1の回折光学素子（第1の紫外線硬化樹脂）10に回折格子溝30を形成する工程のみであり、予め形成しておかなければならない金型は一つ（ここでは第1の金型50）でよい。このため、本発明の回折光学素子の製造方法によれば、製造工程が簡単であるとともに低コストで、密着複層型の回折光学素子を製造することができる。

【0069】

なお、本発明の回折光学素子は、上記実施例に限定されるものではない。例えば、本回折光学素子は、回折格子溝を上記実施例のように平面上ではなく、曲面に形成してもよい。ここで、図3（A）は、回折格子溝30が凸の形状を有する曲面上に形成された例を、図3（B）は回折格子溝30が凹の形状を有する曲面上に形成された例を示している。

【0070】

また、本発明の回折光学素子は、特定次数の回折光が一点に集まるようにしてレンズのように用いることができ、この場合、本回折光学素子は、全体が円盤状に作られる。また、本回折光学素子の断面形状は、図1に示すように平行平板状であっても、図3（A）、（B）に示すようにレンズ状であってもよい。

【0071】

（第1実施例）

本実施例では、第1の紫外線硬化樹脂10において屈折率 n_{d1} を1.55349、分散値 d_1 を50.41（図7中の点（1））とし、第2の紫外線硬化樹脂20において屈折率 n_{d2} を1.52409、分散値 d_2 を36.32（図7中の点（2））とし、回折格子溝30の高さ h を $20\mu\text{m}$ とし、第1の紫外線硬化樹脂の中心厚さ t_1 を $100\mu\text{m}$ とし、第2の紫外線硬化

10

20

30

40

50

樹脂の中心厚さ t_2 を $200\mu\text{m}$ とし、基板の曲率半径 R を $+12\text{mm}$ とした。以下の表 1 に、第 1 実施例における前述の条件式 (1) ~ (8) 及び (19) に対応する値を示す。

【0072】

(表 1)

- (1) $n_{d1} = 1.55349$
 (2) $d_1 = 50.41$ (なお、 $n_{F1} - n_{C1} = 0.01098$)
 (3) $n_{d2} = 1.52409$
 (4) $d_2 = 36.32$ (なお、 $n_{F2} - n_{C2} = 0.01443$)
 (5) $(n_{d1} - n_{d2}) / (d_1 - d_2) = 0.0020866$
 (6) $h = 20\mu\text{m}$
 (7) $t_1 / t_2 = 2.0$
 (8) $1 / R = 0.08333$
 (19) $n_d / (n_F - n_C) = -8.52174$

10

【0073】

このように本実施例では、上記条件式 (1) ~ (8) 及び (19) が全て満たされていることが分かる。図 4 に示す曲線 A 及び B は、各々回折格子溝の高さを d 線 (波長 $= 587.562\text{nm}$) で回折効率が 100% となるように設定した場合であり、曲線 A は回折格子に対する入射角度が 0° で入射した場合の回折効率、曲線 B は回折格子に対する入射角度が 4.586° で入射した場合の回折効率を示している。このような構成である本実施例の回折光学素子は、 g 線から C 線までの波長領域で、 0.97 以上の高い回折効率 (光強度) を得ることができた。

20

【0074】

(第 2 実施例)

本実施例では、第 1 の紫外線硬化樹脂 10 において屈折率 n_{d1} を 1.55349 、分散値 d_1 を 50.41 (図 7 中の点 (1)) とし、第 2 の紫外線硬化樹脂 20 において屈折率 n_{d2} を 1.52987 、分散値 d_2 を 35.44 (図 7 中の点 (3)) とし、回折格子溝 30 の高さ h を $25\mu\text{m}$ とし、第 1 の紫外線硬化樹脂の中心厚さ t_1 を $200\mu\text{m}$ とし、第 2 の紫外線硬化樹脂の中心厚さ t_2 を $100\mu\text{m}$ とし、基板の曲率半径 R を $+300\text{mm}$ とした。以下の表 2 に、第 2 実施例における前述の条件式 (1) ~ (8) 及び (19) に対応する値を示す。

【0075】

(表 2)

- (1) $n_{d1} = 1.55349$
 (2) $d_1 = 50.41$ (なお、 $n_{F1} - n_{C1} = 0.01098$)
 (3) $n_{d2} = 1.52987$
 (4) $d_2 = 35.44$ (なお、 $n_{F2} - n_{C2} = 0.01495$)
 (5) $(n_{d1} - n_{d2}) / (d_1 - d_2) = 0.0015778$
 (6) $h = 25\mu\text{m}$
 (7) $t_1 / t_2 = 0.5$
 (8) $1 / R = 0.003333$
 (19) $n_d / (n_F - n_C) = -5.94962$

30

40

【0076】

このように本実施例では、上記条件式 (1) ~ (8) 及び (19) が全て満たされていることが分かる。図 5 に示す曲線 A 及び B は、各々回折格子溝の高さを d 線 (波長 $= 587.562\text{nm}$) で回折効率が 100% となるように設定した場合であり、曲線 A は回折格子に対する入射角度が 0° で入射した場合の回折効率、曲線 B は回折格子に対する入射角度が 4.586° で入射した場合の回折効率を示している。このような構成である本実施例の回折光学素子は、 g 線から C 線までの波長領域で、 0.95 以上の高い回折効率 (光強度) を得ることができた。

【図面の簡単な説明】

【0077】

50

【図1】本発明に係る密着複層型の回折光学素子の模式断面図である。

【図2】本発明の回折光学素子の製造工程を(A)から(H)の順で示す図である。

【図3】本発明に係る回折光学素子の変形例を示す図であり、(A)及び(B)は回折格子溝が曲面を有する面に形成された場合を示す図である。

【図4】第1実施例における回折光学素子の各波長に対する回折効率を示す図である。

【図5】第2実施例における回折光学素子の各波長に対する回折効率を示す図である。

【図6】従来の複層型回折格子の模式断面図である。

【図7】本発明に係る密着複層型の回折光学素子を構成する材料を選定するための $(n_F - n_C) / n_D$ マップである。

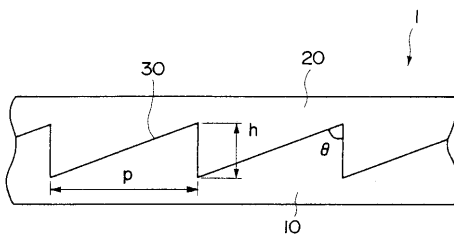
【符号の説明】

【0078】

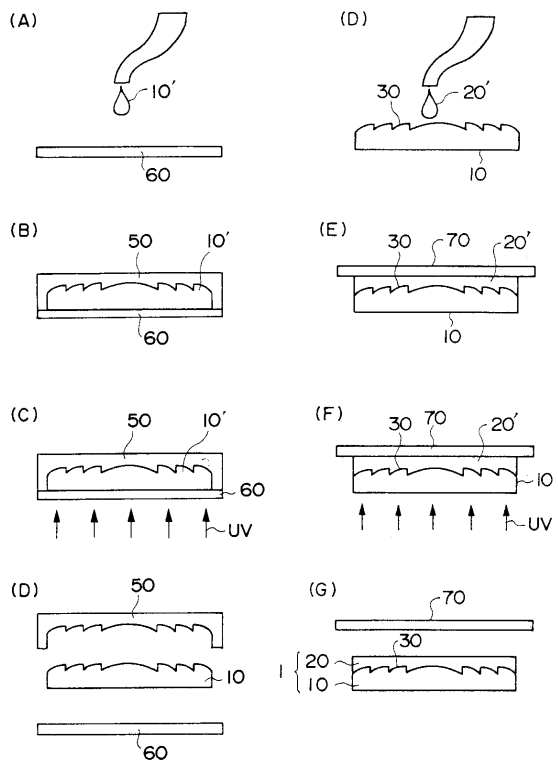
1	回折光学素子
10	第1の紫外線硬化樹脂
20	第2の紫外線硬化樹脂
30	回折光学溝
50	第1の金型
60	基板ガラス(基板)
70	面形成用の金型
UV	紫外線

10

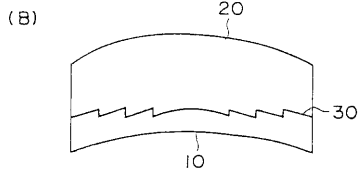
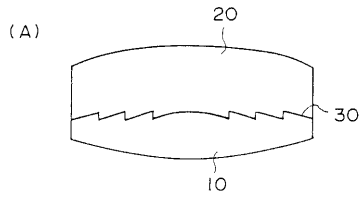
【図1】



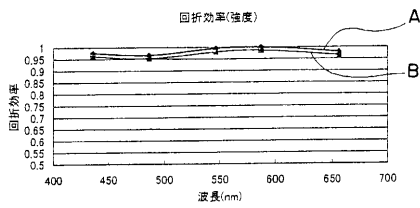
【図2】



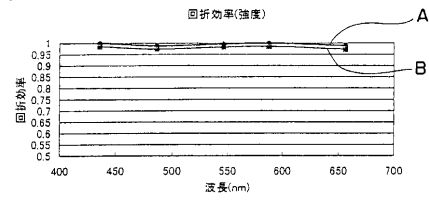
【 図 3 】



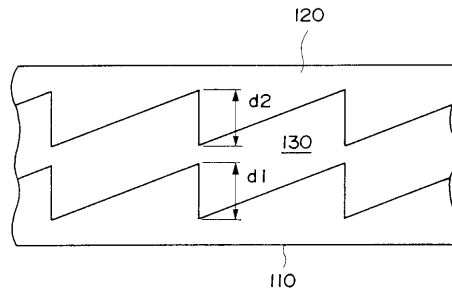
【 図 4 】



【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】

