

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7599910号
(P7599910)

(45)発行日 令和6年12月16日(2024.12.16)

(24)登録日 令和6年12月6日(2024.12.6)

(51)国際特許分類

G 0 2 B	1/115(2015.01)	G 0 2 B	1/115
B 3 2 B	7/023(2019.01)	B 3 2 B	7/023

F I

請求項の数 11 (全25頁)

(21)出願番号 特願2020-181840(P2020-181840)
 (22)出願日 令和2年10月29日(2020.10.29)
 (65)公開番号 特開2022-72420(P2022-72420A)
 (43)公開日 令和4年5月17日(2022.5.17)
 審査請求日 令和5年10月19日(2023.10.19)

(73)特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74)代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 100104628
 弁理士 水本 敦也
 100121614
 弁理士 平山 優也
 内田 和枝
 (72)発明者 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
 伴 満夫
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 キヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学素子、光学系、および、光学機器

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

樹脂材料からなる基材と反射防止膜とを有する光学素子であって、
 前記反射防止膜は、前記基材の上に形成された第1の膜と、該第1の膜の上に形成された第2の膜とからなり、

前記第2の膜は、前記第1の膜に近い側から順に配置された、第1の層、第2の層、および第3の層からなり、

前記第2の層はフッ化マグネシウムを含み、

前記第1の層および前記第3の層のそれぞれは、重量比90%以上の二酸化ケイ素および重量比10%以下のアルミニウムを含むことを特徴とする光学素子。

【請求項2】

前記第1乃至第3の層のd線に対する屈折率を各々n1、n2、n3、前記第1乃至第3の層の物理膜厚を各々d1(nm)、d2(nm)、d3(nm)、d線の波長を(nm)とするとき、

$$/ 8 n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 / 2$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1に記載の光学素子。

【請求項3】

$$/ 6 n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 / 3$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項2に記載の光学素子。

【請求項4】

前記第1乃至第3の層のd線に対する屈折率を各々n₁、n₂、n₃、前記第1乃至第3の層の物理膜厚を各々d₁(nm)、d₂(nm)、d₃(nm)とするとき、

$$\begin{aligned} 0.2 & n_2 d_2 / (n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3) = 0.9 \\ 0.5 & n_1 d_1 / n_3 d_3 = 2.0 \end{aligned}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項5】

$$\begin{aligned} 0.3 & n_2 d_2 / (n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3) = 0.7 \\ 0.8 & n_1 d_1 / n_3 d_3 = 1.2 \end{aligned}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項4に記載の光学素子。

【請求項6】

前記第1および第3の層のd線に対する屈折率を各々n₁、n₃とするとき、

$$\begin{aligned} 1.4 & n_1 = 1.5 \\ 1.4 & n_3 = 1.5 \end{aligned}$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至5のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項7】

前記第1の膜は、前記第1の層および前記第3の層のそれぞれを構成する材料からなる層と、酸化タンタル、酸化チタン、酸化ランタン、または酸化ジルコニアの少なくとも一つを含む材料からなる層と、が交互に積層されることで構成されていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項8】

前記樹脂材料のd線に対する平均屈折率をn_dとするとき、

$$1.48 n_d = 1.80$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至7のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項9】

前記樹脂材料の線膨張係数を(10⁻⁵/°C)とするとき、

$$1.5 = 30.0$$

なる条件式を満足することを特徴とする請求項1乃至8のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項10】

複数の光学素子を有し、

前記複数の光学素子は、請求項1乃至9のいずれか一項に記載の光学素子を含むことを特徴とする光学系。

【請求項11】

撮像素子と、

請求項1乃至9のいずれか一項に記載の光学素子と、を有することを特徴とする光学機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献1には、最外層をSiO₂又はSiOを主成分とする層(酸化ケイ素層)とし、その次の層をMgF₂を主成分とする層(フッ化マグネシウム層)として形成された反射防止膜が開示されている。特許文献2には、酸化ケイ素層と酸化タンタル層とが交互に積層された多重層と、多重層の上に形成されたフッ化マグネシウム層と、最外層としてフッ化マグネシウム層の上に形成された酸化ケイ素層とからなる反射防止膜が開示されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

20

30

40

50

【文献】特開2002-202401号公報

【文献】特開2017-134404号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1や特許文献2に記載された反射防止膜の構成では、フッ化マグネシウムの引張り応力が強いため、光学素子の機械強度および環境耐久性を高めることが難しい。その結果、樹脂材料からなるレンズ上の反射防止膜に膜割れや膜剥がれが発生する可能性がある。

【0005】

そこで本発明は、機械強度および環境耐久性が高い光学素子、光学系、および光学機器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明の一側面としての光学素子は、樹脂材料からなる基材と反射防止膜とを有する光学素子であって、前記反射防止膜は、前記基材の上に形成された第1の膜と、該第1の膜の上に形成された第2の膜とからなり、前記第2の膜は、前記第1の膜に近い側から順に配置された、第1の層、第2の層、および第3の層からなり、前記第2の層はフッ化マグネシウムを含み、前記第1の層および前記第3の層のそれぞれは、重量比90%以上の二酸化ケイ素および重量比10%以下のアルミニウムを含む。

【0007】

本発明の他の目的及び特徴は、以下の実施形態において説明される。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、機械強度および環境耐久性が高い光学素子、光学系、および光学機器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】各実施例における光学素子の概略断面図である。

【図2】実施例1における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図3】実施例2における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図4】実施例3における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図5】実施例4における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図6】実施例5における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図7】実施例6における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図8】実施例7における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図9】実施例8における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図10】実施例9における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図11】実施例10における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図12】実施例11における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図13】実施例12における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図14】実施例13における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図15】実施例14における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図16】実施例15における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図17】比較例1における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図18】比較例2における光学素子の入射角0度の反射率特性である。

【図19】実施例16における光学系の断面図である。

【図20】実施例17における撮像装置の外観斜視図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

10

20

30

40

50

以下、本発明の実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0011】

まず、図1を参照して、本実施形態における光学素子300の概略構成について説明する。図1は、光学素子300を示す概略断面図である。光学素子300は、透明樹脂基板(樹脂材料からなる基材)200、および、透明樹脂基板200の上に形成された反射防止膜100を有する。反射防止膜100は、透明樹脂基板200から順に、多層膜(第1の膜)111と、多層膜(第2の膜)101とから構成される。すなわち反射防止膜100は、透明樹脂基板200の上に形成された多層膜111と、多層膜111の上に形成された(透明樹脂基板200から最も遠くに形成された)多層膜101とからなる。

【0012】

多層膜111は、透明樹脂基板200から順に、層11、12、13、14、15、16からなる。なお本実施形態において、多層膜111は6層からなるが、これに限定されるものではない。多層膜111の層数は、1層以上であれば、何層であっても構わない。多層膜101は、多層膜111に近い側から順に、層(第1の層)01、層(第2の層)02、および層(第3の層)03の3層からなる。多層膜101を構成する層01、03はそれぞれ酸化ケイ素(SiO₂)を含み、層02はフッ化マグネシウム(MgF₂)を含む。より具体的には、層01、03は酸化ケイ素から構成されるか、または酸化ケイ素を主成分(重量比90%以上の酸化ケイ素を含む層)として構成される。層02は、フッ化マグネシウムから構成されるか、またはフッ化マグネシウムを主成分として構成される。

【0013】

透明樹脂基板200に反射防止膜100を蒸着する場合、透明樹脂基板200を無加熱(もしくは80度以下の低温加熱)の状態で成膜を行う必要がある。無加熱(もしくは80度以下の低温加熱)で蒸着したフッ化マグネシウムは、膜強度は小さく、強い引張応力を有する。一方、酸化ケイ素は、無加熱(もしくは80度以下の低温加熱)で蒸着しても、膜強度は大きく、さらに圧縮応力を有する。本実施形態では、多層膜101の構成のように、フッ化マグネシウム層を酸化ケイ素層で挟んだ構成にすることで、膜強度の向上と応力の相殺による密着性の向上が可能となる。

【0014】

本実施形態において、層01、02、03のd線における屈折率をそれぞれn1、n2、n3、層01、02、03の物理膜厚をそれぞれd1、d2、d3(nm)、d線の波長をλとするとき、以下の条件式(1)を満足することが望ましい。

【0015】

$$\frac{1}{8} n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 \quad / 2 \dots (1)$$

また本実施形態において、条件式(1)の数値範囲を以下の条件式(1a)のように設定することがより望ましい。

【0016】

$$\frac{1}{6} n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3 \quad / 3 \dots (1a)$$

反射防止膜100は、最外層(最上層)をより屈折率が低い材料とし、その光学膜厚をλ/4程度にすると、反射防止性能が向上する。本実施形態において、多層膜101を最外層の低屈折率材料と実質的に等価な層とみなし、式(1)を満足することで、反射防止性能の向上を図ることができる。

【0017】

また本実施形態において、以下の条件式(2)、(3)を満足することが望ましい。

【0018】

$$0.2 n_2 d_2 / (n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3) \quad 0.9 \dots (2)$$

$$0.5 n_1 d_1 / n_3 d_3 \quad 2.0 \dots (3)$$

また本実施形態において、条件式(2)、(3)の数値範囲を以下の条件式(2a)、(3a)のように設定することがより望ましい。

【0019】

$$0.3 n_2 d_2 / (n_1 d_1 + n_2 d_2 + n_3 d_3) \quad 0.7 \dots (2a)$$

10

20

30

40

50

0 . 8 d 1 / d 3 1 . 2 ... (3 a)

多層膜 101 の層 02 の膜厚を厚くすると、多層膜 101 の平均屈折率は下がるが、膜強度は低下し、さらに引張応力の上昇により密着性の確保も難しくなる。一方、層 01、03 の膜厚を厚くすると、膜強度は向上、さらに引張応力が低下し密着性の確保も容易になるが、多層膜 101 の平均屈折率が上昇してしまう。それぞれの膜厚を条件式(2)、(3)を満足するように成膜することで、反射防止性能と膜強度とを両立することができる。

【 0 0 2 0 】

透明樹脂基板 200 は、温度上昇により膨張する。また、フッ化マグネシウムは大きな引っ張り応力を有する。一般的に、酸化ケイ素の蒸着膜は圧縮応力を有するが、フッ化マグネシウムの応力を相殺するには、より強い圧縮応力が必要である。そこで本実施形態では、微量のアルミニウムを含有させた酸化ケイ素材料を用いることで、圧縮応力を増強する。このため層 01、03 を構成する材料は、酸化ケイ素を主成分とし、微量なアルミニウムを含む材料であることが望ましい。このため屈折率 n_1 、 n_3 はそれぞれ、以下の条件式(4)、(5)を満足することが望ましい。

10

【 0 0 2 1 】

1 . 4 n 1 1 . 5 ... (4)

1 . 4 n 3 1 . 5 ... (5)

また、層 01、03 は、重量比 10% 以下のアルミニウムを含むことが望ましい。アルミニウムの添加は、ごく微量でも効果がある。重量比 0.001% アルミニウムを含有した酸化ケイ素膜でも、フッ化マグネシウム膜と組み合わせた際に、膜割れや膜剥がれの発生を防ぐことができる。

20

【 0 0 2 2 】

多層膜 111 は、高屈折率材料と中屈折率材料 (d 線に関する屈折率が 1.6 ~ 1.8 程度)との組み合わせでもよいが、高屈折率材料と低屈折率材料とを交互に積層した層(交互層)であることが望ましい。多層膜 111 に使用される高屈折率材料は、酸化タンタル、酸化チタン、酸化ランタン、または酸化ジルコニアのいずれか一つ、または、これらの複数の混合物を主成分とする材料であることが望ましい。高屈折率材料は、引張応力を有する。多層膜 111 に使用される低屈折率材料は、作製の容易性や反射防止膜 100 の応力を相殺する等の観点から、層 01、03 と同一の材料であることが望ましい。高屈折率材料が引張応力を有し、低屈折率材料が圧縮応力を有するため、交互層とすることで応力が相殺される。なお交互層は、図 1 に示されるような 6 層に限定されるものではなく、少なくとも 2 種類の材料の層が一層ずつあればよい。

30

【 0 0 2 3 】

多層膜 111 の最下層である層 11 は、層 01、03 と同一材料であってもよい。透明樹脂基板 200 は、一般的にガラスよりも大きな熱膨張係数を有する。透明樹脂基板 200 上に、圧縮応力が強い材料を使用することで、高温化で透明樹脂基板 200 が膨張した際の形状変化に層 11 が追従することができ、膜割れを防止することができる。

【 0 0 2 4 】

多層膜 111 および多層膜 101 からなる反射防止膜 100 の成膜方法は、蒸着法やスパッタリング法、イオンプレーティング法等の物理気相成長法であれば、特に限定されるものではない。特に蒸着法は、フッ化物が分解しにくいため、より望ましい。蒸着法において、蒸着材料の加熱方法としては、抵抗加熱法、電子ビーム蒸着法、レーザー蒸着法などがある。電子ビーム蒸着法は、膜材料を直接加熱できるため、基板に対しては無加熱状態で成膜できること、汚染が少なく、膜の品質が比較的高くなることから、より望ましい。また、イオンビームアシスト法を用いることも望ましい。独立したイオン源が、蒸着のアシストの役割を果たすことで、吸収や散乱が少なく、強度が高い緻密な膜を形成することができる。

40

【 0 0 2 5 】

本実施形態において、透明樹脂基板 200 の屈折率 (d 線における平均屈折率) を n_d

50

とするとき、以下の条件式(6)を満足することが望ましい。

【0026】

$$1.48 \leq n_d \leq 1.80$$

また本実施形態において、透明樹脂基板200の線膨張係数を($10^{-5}/\text{°C}$)とするとき、以下の条件式(7)を満足することが望ましい。

【0027】

$$1.5 \leq \alpha \leq 3.0 \times 10^{-5} / \text{°C}$$

以下、各実施例について具体的に説明する。

【実施例1】

【0028】

図1は、本発明の実施例1における光学素子300の概略断面図である。本実施例の光学素子300は、透明樹脂基板200の上に反射防止膜100が形成された光学素子である。透明樹脂基板200は、屈折率1.53(d線)のCOP樹脂(日本ゼオン(株)「ZEONEX」)である。層材料として、層11、13、15、01、03がSiO₂、層12、14、16がZrO₂とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表1は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。

10

【0029】

本実施例の反射防止膜100の成膜法は、以下のとおりである。反射防止膜100は、蒸着法にて成膜される。蒸発材料の加熱には、電子ビームを使用した。また、より緻密な膜を形成するため、イオンビームアシスト蒸着法を行った。蒸着装置の真空チャンバ内は、 2×10^{-3} (Pa)近傍の高真空領域まで無加熱状態で排気した。真空チャンバ内が高真空状態になったのを確認してから、不活性ガスとしてArをイオン銃に導入し、イオン銃を放電させる。イオン銃が安定状態になってから、真空チャンバ内に酸素を導入し、真空圧が 1×10^{-2} (Pa)程度で酸素イオンによるイオンアシスト蒸着を行う。

20

【0030】

図2は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図2において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420~680nmの範囲において、反射率は0.25%以下であり、非常に良い特性である。

30

【0031】

フッ化マグネシウムからなる層02は、無加熱蒸着であり、強度が弱く、強い引張応力を有する。一方、無加熱蒸着の酸化ケイ素は、強度があり、圧縮応力を有する。フッ化マグネシウム膜を酸化ケイ素膜で挟み込んだ多層膜101全体としては、強度が強く、応力が相殺された構成となっており、クラックや剥離が発生しない、環境信頼性に優れた膜となっている。

【0032】

反射防止膜100において、様々な条件下での耐久性を確認するため、下記のような耐久試験を実施した。

(高温高湿放置試験)

作製したサンプルを温度60度、湿度90%に設定された恒温槽に1000時間放置した後、反射防止膜100の外観を目視で観察した。

40

(低温放置試験)

作製したサンプルを温度-30度に設定された恒温槽に1000時間放置した後、反射防止膜100の外観を目視で観察した。

(高温放置試験)

作製したサンプルを70度に設定された恒温槽に12時間放置した後、反射防止膜100の外観を目視で観察した。

(密着性試験)

作製したサンプルの反射防止膜100の表面に粘着テープを張り付けた後、膜面に対して垂直方向にテープを引きはがす。5回繰り返し、膜が剥離していないかどうかを目視で

50

観察した。

(表面硬度試験)

溶剤をつけたシリコン紙において、約200g重の荷重をかけて反射防止膜100を10往復擦った後、反射防止膜100の外観を目視で観察した。

【0033】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0034】

【表1】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂	1.45	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	58.3
	層01	SiO ₂	1.45	20.0
多層膜111	層16	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	56.6
	層15	SiO ₂	1.45	15.0
	層14	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	53.7
	層13	SiO ₂	1.45	51.2
	層12	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	15.5
	層11	SiO ₂	1.45	54.6
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

【実施例2】

【0035】

実施例2の光学素子は、実施例1と同一の透明樹脂基板、同一の蒸着材料、および同一の蒸着条件で作製されている。表2は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図3は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図3において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420~680nmの範囲で反射率は0.25%以下であり、非常に良い特性である。

【0036】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0037】

10

20

30

40

50

【表 2】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂	1.45	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	59.0
	層01	SiO ₂	1.45	20.0
多層膜111	層15	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	50.3
	層14	SiO ₂	1.45	15.0
	層13	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	57.8
	層12	SiO ₂	1.45	37.3
	層11	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	15.4
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

10

20

【実施例 3】

【0038】

実施例 3 の透明樹脂基板 200 は、特殊 PC 樹脂（三井ガス化学（株）「E P - 5 0 0 0」）である。層材料としては、層 11、13、15、01、03 が重量比 0.001% の A1 を含む SiO₂、層 12、14、16 が Ta₂O₅ と TiO₂ の混合物、および、層 02 が MgF₂ を用いている。表 3 は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。本実施例の反射防止膜 100 の成膜方法は、実施例 1 と同様に、電子ビーム蒸着法およびイオンアシスト蒸着法を用いている。図 4 は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図 4において、横軸は波長 (nm)、縦軸は反射率 (%) をそれぞれ示す。波長 420 ~ 680 nm の範囲で反射率は 0.25% 以下であり、非常に良い特性である。

30

【0039】

耐久試験の結果を表 18 に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0040】

本実施例において、層 01、層 03 は、A1 を重量比 0.001% 含む SiO₂ 層である。この層は、非常に圧縮応力が強い。MgF₂ は非常に引張応力が強く、また樹脂材料は膨張傾向が強い。本実施例によれば、これらの応力が相殺されるため、非常に環境耐久性の高い反射防止膜を提供することができる。

【0041】

40

50

【表3】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比0.001%)	1.45	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	60.9
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比0.001%)	1.45	18.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	55.9
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比0.001%)	1.45	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	57.7
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比0.001%)	1.45	47.1
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	22.4
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比0.001%)	1.45	38.8
樹脂基板200		特殊PC	1.64	—

【実施例4】

【0042】

実施例4の透明樹脂基板200は、特殊PC樹脂(三井ガス化学(株)「E P - 5 0 0 0」)である。層材料としては、層12、14、01、03が重量比1.0%のAlを含むSiO₂、層11、13、15がZrO₂とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表4は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図5は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図5において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420~680nmの範囲で反射率は0.3%以下であり、非常に良い特性である。

【0043】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0044】

【表4】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比1.0%)	1.45	18.0
	層02	MgF ₂	1.38	62.1
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比1.0%)	1.45	20.0
多層膜111	層15	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	47.1
	層14	SiO ₂ (含Al:重量比1.0%)	1.45	15.0
	層13	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	61.7
	層12	SiO ₂ (含Al:重量比1.0%)	1.45	27.8
	層11	ZrO ₂ +TiO ₂	2.00	17.5
樹脂基板200		特殊PC	1.64	—

【実施例5】

【0045】

実施例5の透明樹脂基板200は、COP樹脂(日本ゼオン(株)「ZONE X」)

10

20

30

40

50

である。層材料としては、層11、13、15、01、03が重量比2.0%のAlを含むSiO₂、層12、14、16がTa₂O₅とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表5は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図6は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図6において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420～680nmの範囲で反射率は0.25%以下であり、非常に良い特性である。

【0046】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

10

【0047】

【表5】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	19.5
	層02	MgF ₂	1.38	55.9
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	23.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	56.4
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	53.6
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	51.0
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	15.0
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	53.8
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

【実施例6】

【0048】

実施例6の透明樹脂基板200は、COP樹脂(日本ゼオン(株)「ZONE-X」)である。層材料としては、層11、13、15、01、03が重量比3.0%のAlを含むSiO₂、層12、14、16がTa₂O₅とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表6は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図7は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図7において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420～680nmの範囲で反射率は0.3%以下であり、非常に良い特性である。

20

【0049】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

30

【0050】

40

50

【表 6】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	29.0
	層02	MgF ₂	1.38	40.2
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	27.5
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	59.5
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	51.5
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	52.0
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	15.0
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	51.1
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

【実施例 7】

【0051】

実施例 7 の透明樹脂基板 200 は、COP樹脂(日本ゼオン(株)「ZONE-X」)である。層材料としては、層12、14、01、03が重量比2.0%のAlを含むSiO₂、層11、13、15がTa₂O₅とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表7は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図8は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図8において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420~680 nmの範囲で反射率は0.3%以下であり、非常に良い特性である。

【0052】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0053】

【表 7】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	25.0
	層02	MgF ₂	1.38	57.1
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	15.0
多層膜111	層15	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	52.1
	層14	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	15.0
	層13	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	57.3
	層12	SiO ₂ (含Al:重量比2.0%)	1.46	39.1
	層11	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	15.0
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

【実施例 8】

【0054】

実施例 8 の透明樹脂基板 200 は、特殊PC樹脂(三井ガス化学(株)「EP-500」)

10

20

30

40

50

0」)である。層材料としては、層11、13、15、01、03が重量比3.0%のA1を含むSiO₂、層12、14、16がTa₂O₅とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表8は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図9は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図9において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420～680nmの範囲で反射率は0.25%以下であり、非常に良い特性である。

【0055】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

10

【0056】

【表8】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	60.9
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	18.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	55.9
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	57.7
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	47.1
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	22.4
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比3.0%)	1.46	38.8
樹脂基板200		特殊PC	1.64	—

【実施例9】

30

【0057】

実施例9の透明樹脂基板200は、特殊PC樹脂(三井ガス化学(株)「EP-5000」)である。層材料としては、層11、13、15、01、03が重量比2.5%のA1を含むSiO₂、層12、14、16がTa₂O₅とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表9は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図10は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図10において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420～680nmの範囲で反射率は0.3%以下であり、非常に良い特性である。

20

【0058】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0059】

40

50

【表 9】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比2.5%)	1.46	15.0
	層02	MgF ₂	1.38	67.7
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比2.5%)	1.46	12.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	59.8
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比2.5%)	1.46	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	52.1
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比2.5%)	1.46	63.9
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	15.0
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比2.5%)	1.46	59.5
樹脂基板200		特殊PC	1.64	—

【実施例 10】

【0060】

実施例 10 の透明樹脂基板 200 は、COP 樹脂(日本ゼオン(株)「ZONEEX」)である。層材料としては、層 11、13、15、01、03 が重量比 4.5% の Al を含む SiO₂、層 12、14、16 が Ta₂O₅ と TiO₂ の混合物、および、層 02 が MgF₂ を用いている。表 10 は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図 11 は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図 11において、横軸は波長 (nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長 420 ~ 680 nm の範囲で反射率は 0.3% 以下であり、非常に良い特性である。

【0061】

耐久試験の結果を表 18 に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0062】

【表 10】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	58.1
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	20.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	51.5
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	57.6
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	42.2
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	16.8
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	30.0
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

【実施例 11】

【0063】

10

20

30

40

50

実施例 1 1 の透明樹脂基板 200 は、COP 樹脂（日本ゼオン（株）「ZONE」）である。層材料としては、層 12、14、01、03 が重量比 5.2% の A1 を含む SiO₂、層 11、13、15 が Ta₂O₅ と TiO₂ との混合物、および、層 02 が MgF₂ を用いている。表 1 1 は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図 1 2 は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図 1 2において、横軸は波長 (nm)、縦軸は反射率 (%) をそれぞれ示す。波長 420 ~ 680 nm の範囲で反射率は 0.3% 以下であり、非常に良い特性である。

【0064】

耐久試験の結果を表 1 8 に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

10

【0065】

【表 1 1】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜 101	層 03	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	20.0
	層 02	MgF ₂	1.38	56.0
	層 01	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	20.0
多層膜 111	層 15	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	52.9
	層 14	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	10.0
	層 13	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	64.1
	層 12	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	36.0
	層 11	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	15.4
樹脂基板 200		COP 樹脂	1.53	—

【実施例 1 2】

【0066】

実施例 1 2 の透明樹脂基板 200 は、特殊 PC 樹脂（三井ガス化学（株）「EP-5000」）である。層材料としては、層 11、13、15、01、03 が重量比 4.5% の A1 を含む SiO₂、層 12、14、16 が Ta₂O₅ と TiO₂ との混合物、および、層 02 が MgF₂ を用いている。表 1 2 は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図 1 3 は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図 1 3において、横軸は波長 (nm)、縦軸は反射率 (%) をそれぞれ示す。波長 420 ~ 680 nm の範囲で反射率は 0.3% 以下であり、非常に良い特性である。

20

【0067】

耐久試験の結果を表 1 8 に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

30

【0068】

40

50

【表 1 2】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	56.0
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	20.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	55.4
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	10.3
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	60.4
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	43.8
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	20.7
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	41.4
樹脂基板200		特殊PC	1.64	—

【実施例 1 3】

【0 0 6 9】

実施例 1 3 の透明樹脂基板 2 0 0 は、特殊 PC 樹脂（三井ガス化学（株）「E P - 5 0 0 0」）である。層材料としては、層 1 2 、 1 4 、 0 1 、 0 3 が重量比 1 0 . 0 % の Al を含む SiO₂、層 1 1 、 1 3 、 1 5 が Ta₂O₅ と TiO₂ との混合物、および、層 0 2 が MgF₂ を用いている。表 1 3 は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図 1 4 は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図 1 4 において、横軸は波長 (nm)、縦軸は反射率 (%) をそれぞれ示す。波長 4 2 0 ~ 6 8 0 nm の範囲で反射率は 0 . 3 % 以下であり、非常に良い特性である。

【0 0 7 0】

耐久試験の結果を表 1 8 に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0 0 7 1】

【表 1 3】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比10.0%)	1.47	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	56.2
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比10.0%)	1.47	20.0
多層膜111	層15	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	47.4
	層14	SiO ₂ (含Al:重量比10.0%)	1.47	10.0
	層13	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	66.9
	層12	SiO ₂ (含Al:重量比10.0%)	1.47	27.5
	層11	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	16.8
樹脂基板200		特殊PC	1.64	—

【実施例 1 4】

【0 0 7 2】

10

20

30

40

50

実施例14の透明樹脂基板200は、ポリエスチルフィルム（PET樹脂）（東レ（株）「ルミラーT60」）である。層材料としては、層11、13、15、01、03が重量比5.2%のA1を含むSiO₂、層12、14、16がTa₂O₅とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表14は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図15は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図15において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420～680nmの範囲で反射率は0.25%以下であり、非常に良い特性である。

【0073】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

10

【0074】

【表14】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	20.0
	層02	MgF ₂	1.38	57.4
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	20.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	59.5
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	53.7
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	53.2
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	19.7
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	44.7
樹脂基板200		PET	1.65	—

20

30

【実施例15】

【0075】

実施例15の透明樹脂基板200は、ポリエスチルフィルム（PET樹脂）（東レ（株）「ルミラーT60」）である。層材料としては、層11、13、15、01、03が重量比5.2%のA1を含むSiO₂、層12、14、16がTa₂O₅とTiO₂との混合物、および、層02がMgF₂を用いている。表15は、本実施例の光学素子の膜構成の詳細を示す。各材料の屈折率および膜厚は、式(1)、(2)、(3)を満足する。図16は、本実施例における光学素子の反射率特性である。図16において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420～680nmの範囲で反射率は0.3%以下であり、非常に良い特性である。

40

【0076】

耐久試験の結果を表18に示す。いずれの試験においても、膜割れや膜剥がれが生じておらず、良好な反射防止膜が形成されていることが確認できる。

【0077】

50

【表 15】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層03	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	30.0
	層02	MgF ₂	1.38	35.4
	層01	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	28.0
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	70.2
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	15.1
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	43.8
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	65.4
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	15.0
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比5.2%)	1.47	51.6
樹脂基板200		PET	1.65	—

【実施例 16】

【0078】

次に、図19を参照して、実施例16における光学系について説明する。図19は、光学系400の断面図である。光学系400は、複数の光学素子G401～G411を有する。402は絞り、403は結像面である。光学素子G401～G411はそれぞれレンズである。これらのレンズのうち、入射面および射出面の少なくとも一方に、実施例1～15のいずれかの反射防止膜が付与されている。すなわち光学系400は、複数の光学素子G401～G411を有し、複数の光学素子G401～G411は、実施例1～15のいずれかの反射防止膜が形成された光学素子300を含む。

【0079】

なお本実施例の光学系400は、後述する撮像装置に用いられる撮像光学系に限定されるものではなく、双眼鏡、プロジェクタ、望遠鏡等の様々な用途の光学系に適用可能である。

【実施例 17】

【0080】

次に、図20を参照して、実施例17における撮像装置について説明する。図20は、撮像装置(デジタルカメラ500)の外観斜視図である。

【0081】

デジタルカメラ500は、カメラ本体502と、カメラ本体502一体的に構成されたレンズ装置501とを有する。ただし本実施例は、これに限定されるものではなく、レンズ装置501は、一眼レフカメラ用やミラーレスカメラ用等の、カメラ本体502に対して着脱可能な交換レンズであってもよい。レンズ装置501は、実施例1～15のいずれかの光学系400を有する。カメラ本体502は、CMOSセンサやCCDセンサ等の撮像素子503を有する。撮像素子503は、光学系400の結像面403に配置される。

【0082】

(比較例1)

比較例1は、実施例10と同一の蒸着材料および同一の透明樹脂基板を使用し、同一の蒸着条件で作製される。表16は、本比較例の光学素子の膜構成である。多層膜101は、フッ化マグネシウム層のみで形成されている。図17は、本比較例における光学素子の反射率特性である。図17において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420～680nmの範囲において反射率は0.2以下であり、実施例1～15よりも低反射率を実現している。

【0083】

耐久試験の結果を表18に示す。本比較例の最外層は、強度が小さいフッ化マグネシウム膜で形成されている。このため本比較例の構成では、各耐久試験において膜割れや膜剥がれが生じており、反射防止膜として使用するには不適である。

【0084】

【表16】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層01	MgF ₂	1.38	99.3
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	57.2
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	51.0
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	54.7
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	10.0
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	90.9
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

10

20

【0085】

(比較例2)

比較例2は、実施例10と同一の蒸着材料および同一の透明樹脂基板を使用し、同一の蒸着条件で作製される。表17は、本比較例の光学素子の膜構成である。多層膜101は、酸化ケイ素層のみで形成されている。

【0086】

耐久試験の結果を表18に示す。本比較例の最外層は、強度が強い酸化ケイ素膜で形成されている。このため、各耐久試験においても、膜割れや膜剥がれが生じていない。

【0087】

図18は、本比較例の反射率特性である。図18において、横軸は波長(nm)、縦軸は反射率(%)をそれぞれ示す。波長420~680nmの範囲で反射率は0.5%程度であり、実施例1~15よりも高い反射率を示している。このため本比較例の構成では、ゴーストやフレアの原因となる可能性がある。

30

【0088】

【表17】

			屈折率 (d線)	物理膜厚 (nm)
多層膜101	層01	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	92.6
多層膜111	層16	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	69.9
	層15	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	15.0
	層14	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	43.7
	層13	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	55.3
	層12	Ta ₂ O ₅ +TiO ₂	2.00	12.5
	層11	SiO ₂ (含Al:重量比4.5%)	1.47	57.6
樹脂基板200		COP樹脂	1.53	—

40

【0089】

50

【表18】

	反射防止 効果	高温高湿 放置	低温放置	高温放置	密着性 試験	表面硬度 試験
実施例1	○	○	○	○	○	○
実施例2	○	○	○	○	○	○
実施例3	○	○	○	○	○	○
実施例4	○	○	○	○	○	○
実施例5	○	○	○	○	○	○
実施例6	○	○	○	○	○	○
実施例7	○	○	○	○	○	○
実施例8	○	○	○	○	○	○
実施例9	○	○	○	○	○	○
実施例10	○	○	○	○	○	○
実施例11	○	○	○	○	○	○
実施例12	○	○	○	○	○	○
実施例13	○	○	○	○	○	○
実施例14	○	○	○	○	○	○
実施例15	○	○	○	○	○	○
比較例1	◎	クラック発生	クラック発生	クラック発生	膜剥がれ	膜剥がれ
比較例2	×	○	○	○	○	○

【0090】

各実施例によれば、機械強度および環境耐久性が高い光学素子、光学系、および光学機器を提供することができる。

【0091】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【0092】

- 100 反射防止膜
- 101 多層膜（第2の膜）
- 111 多層膜（第1の膜）
- 200 透明樹脂基板（樹脂材料からなる基材）
- 300 光学素子

10

20

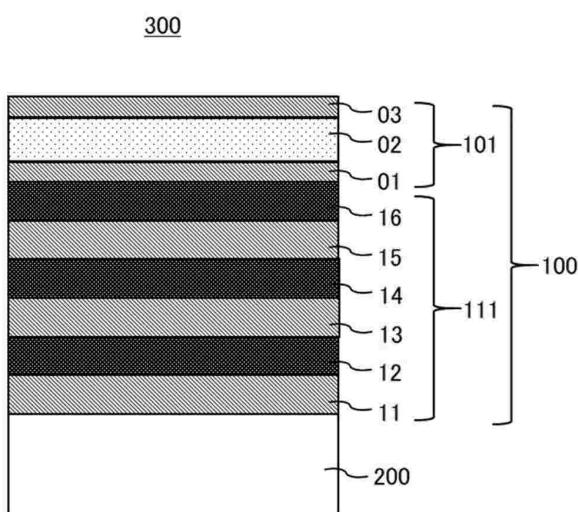
30

40

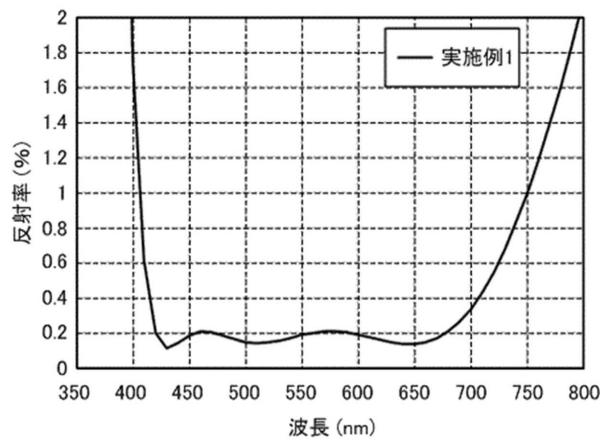
50

【図面】

【図 1】

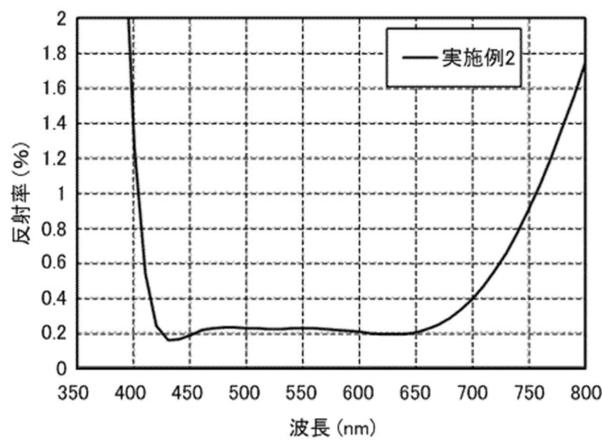


【図 2】



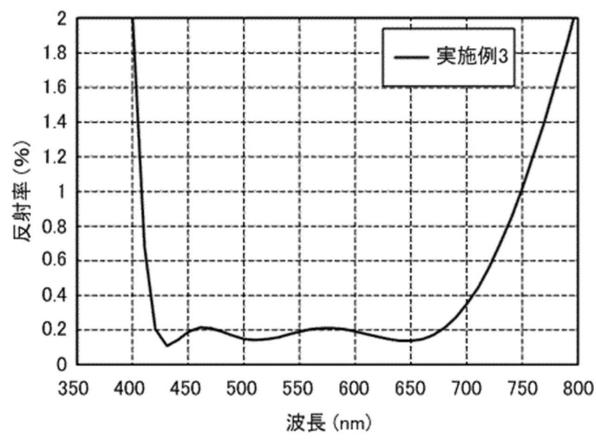
10

【図 3】



20

【図 4】

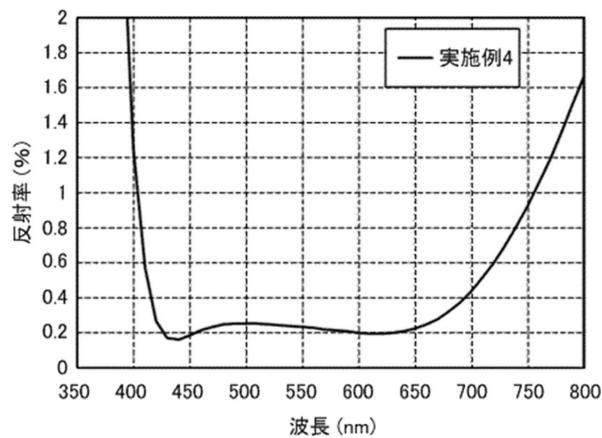


30

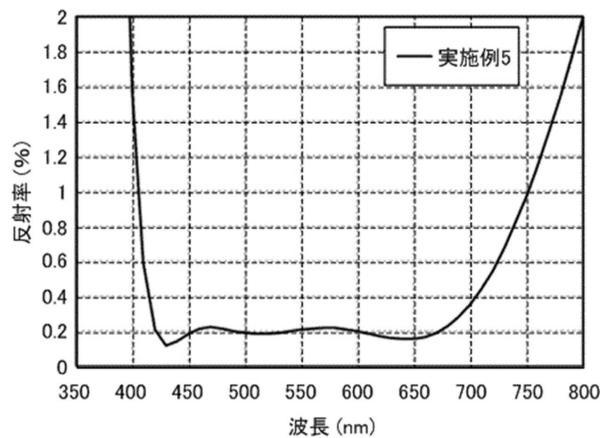
40

50

【図 5】

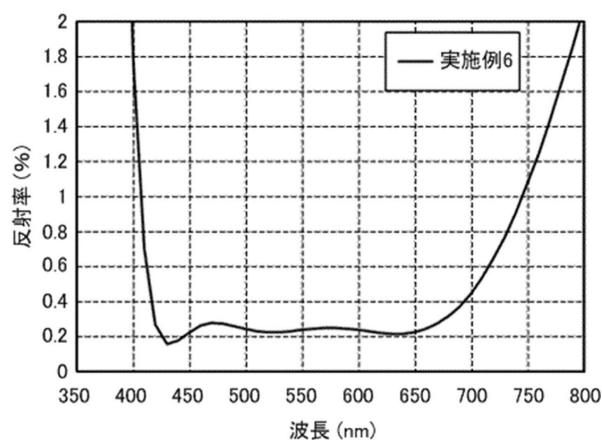


【図 6】

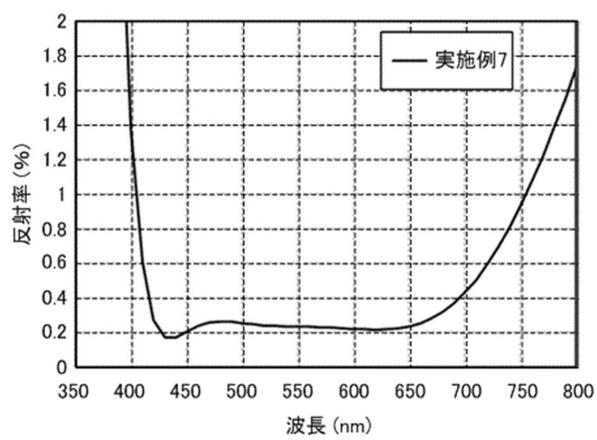


10

【図 7】



【図 8】



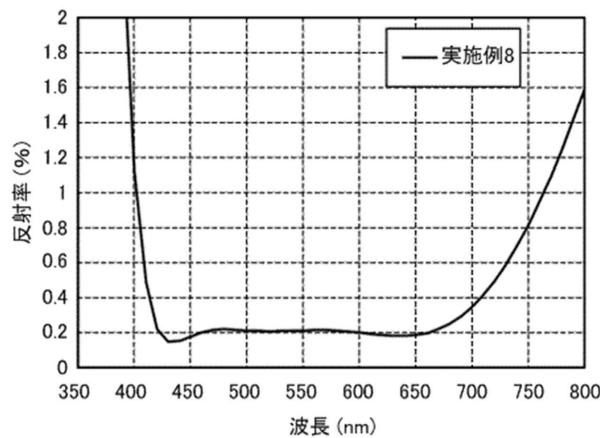
20

30

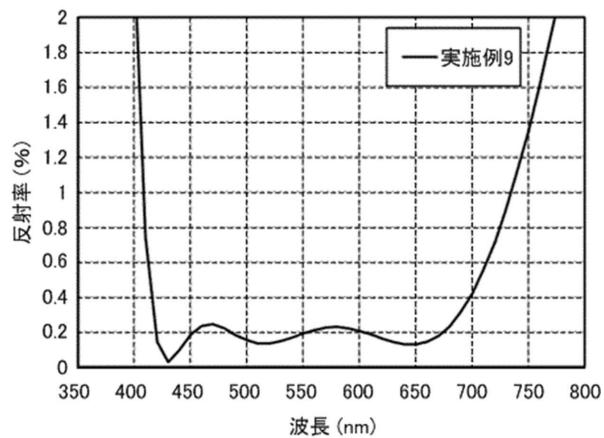
40

50

【図 9】

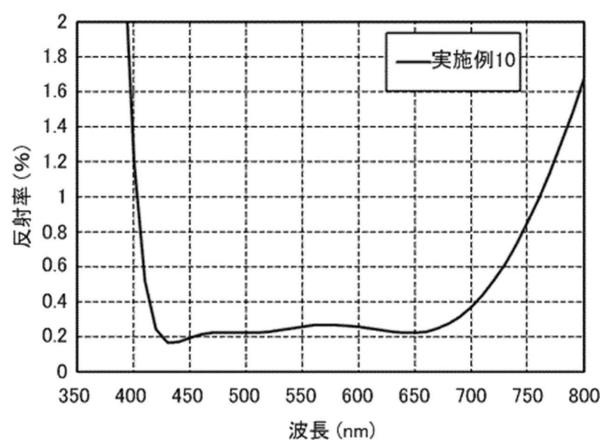


【図 10】

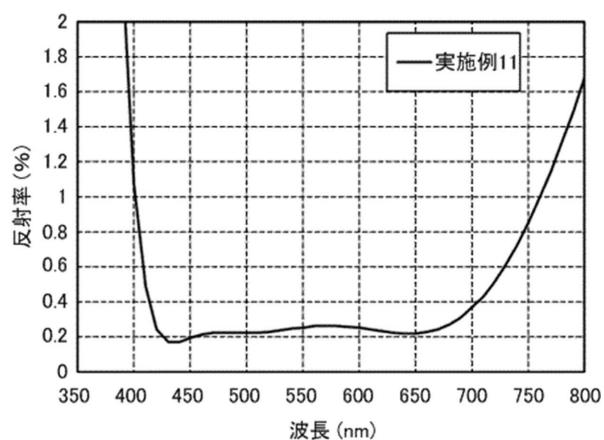


10

【図 11】



【図 12】



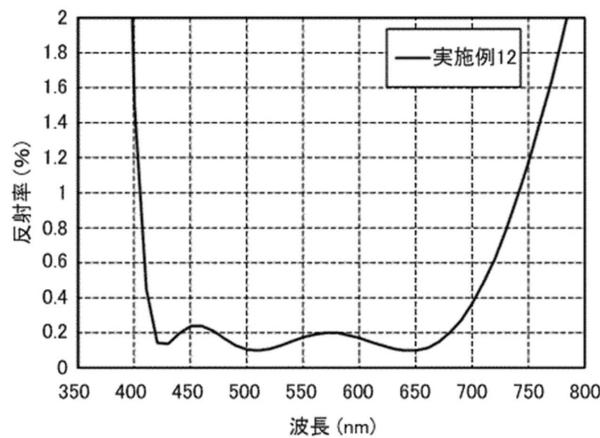
20

30

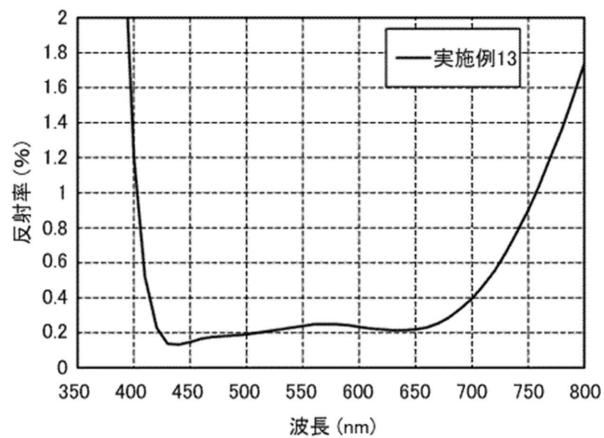
40

50

【図13】

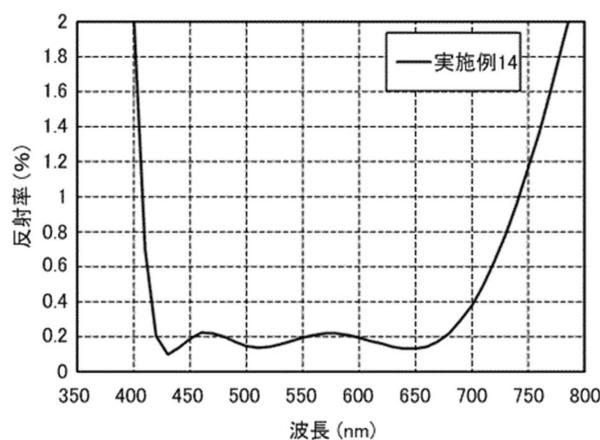


【図14】

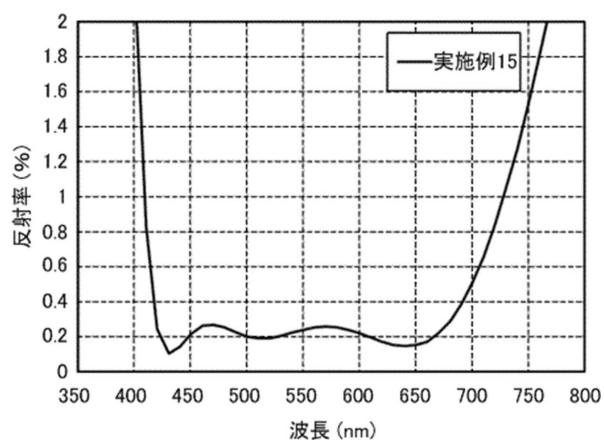


10

【図15】



【図16】



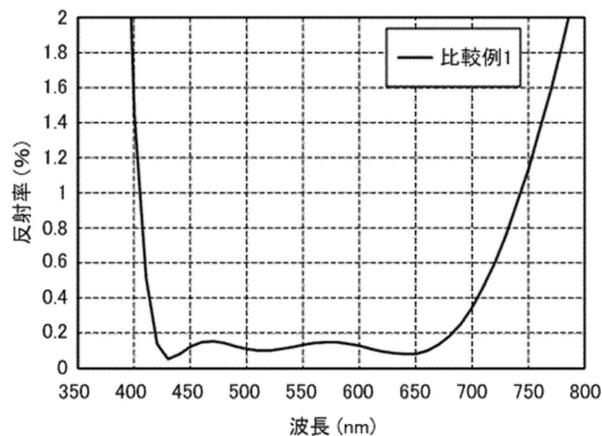
20

30

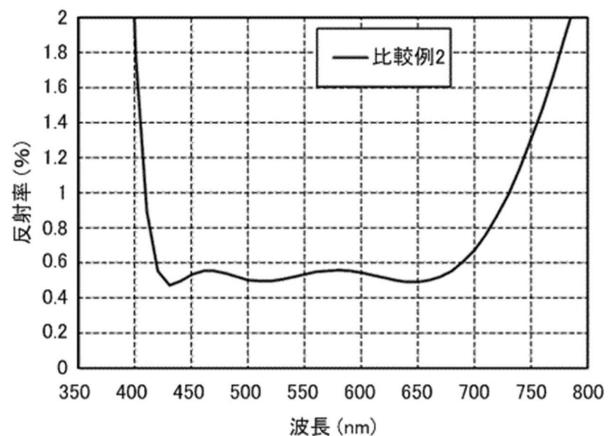
40

50

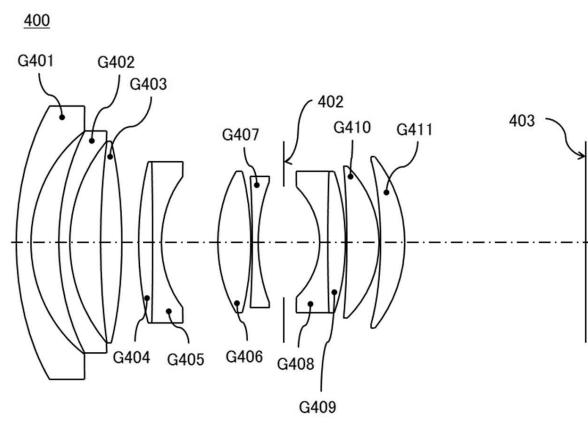
【図17】



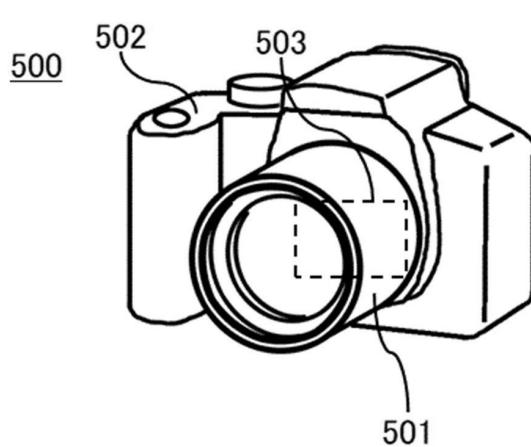
【図18】



【図19】



【図20】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

審査官 小西 隆

(56)参考文献 特開2012-053329 (JP, A)

国際公開第2015/093322 (WO, A1)

特表2016-519774 (JP, A)

米国特許出願公開第2018/0067338 (US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

G 02 B 1 / 10 - 1 / 18