

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第6部門第2区分

【発行日】平成29年5月25日(2017.5.25)

【公開番号】特開2015-203723(P2015-203723A)

【公開日】平成27年11月16日(2015.11.16)

【年通号数】公開・登録公報2015-071

【出願番号】特願2014-81827(P2014-81827)

【国際特許分類】

G 02 B 1/11 (2015.01)

【F I】

G 02 B 1/10 A

【手続補正書】

【提出日】平成29年4月4日(2017.4.4)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板と、

前記基板上に形成された反射防止膜を有し、

前記反射防止膜は前記基板に近い側から順に、第1層乃至第7層が積層されて構成されており、

前記第1層乃至第6層はそれぞれ、互いに屈折率が異なる3種類の媒質のいずれかから成り、

前記3種類の媒質の波長550nmの光に対する屈折率の各々をnL、nM、nHとし、前記第7層の屈折率をn7としたとき、

1.35 nL 1.50

1.40 nM 1.65

1.6 nH 2.2

1.1 n7 1.3

nL < nM < nH

なる条件式を満足し、

屈折率がnLである媒質からなる層と屈折率がnHである媒質からなる層とは互いに接していないことを特徴とする光学素子。

【請求項2】

前記第1層の媒質の屈折率はnMであ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】

前記第6層の媒質の屈折率はnHであ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】

屈折率がnLである媒質からなる層と屈折率がnHである媒質からなる層の間には、屈折率がnMである媒質からなる層が設けられていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の光学素子。

【請求項5】

波長550nmの光に対する前記第1層乃至第6層の媒質の屈折率をn1乃至n6とし、波長550nmの光に対する前記第1層乃至第7層の光学膜厚をd1(nm)乃至d7(nm)としたとき、

n 1 = n M、 1 0 d 1 1 8 0  
 n 2 = n H、 5 d 2 8 0  
 n 3 = n M、 5 d 3 9 5  
 n 4 = n L、 2 0 d 4 1 0 0  
 n 5 = n M、 5 d 5 7 5  
 n 6 = n H、 5 d 6 6 5  
 1 3 0 d 7 1 6 0

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 6】

波長 5 5 0 nm の光に対する前記第 1 層乃至第 6 層の媒質の屈折率を n 1 乃至 n 6 とし、波長 5 5 0 nm の光に対する前記第 1 層乃至第 7 層の光学膜厚を d 1 ( nm ) 乃至 d 7 ( nm )としたとき、

n 1 = n M、 1 0 d 1 1 8 0  
 n 2 = n L、 5 d 2 9 0  
 n 3 = n M、 5 0 d 3 1 6 0  
 n 4 = n H、 1 0 d 4 4 5  
 n 5 = n M、 5 0 d 5 1 5 0  
 n 6 = n H、 5 d 6 6 5  
 1 3 0 d 7 1 6 0

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載の光学素子。

【請求項 7】

前記第 7 層は、複数の中空粒子と該中空粒子同士の空隙に充填されたバインダーとを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 8】

前記中空粒子は中空シリカよりなることを特徴とする請求項 7 に記載の光学素子。

【請求項 9】

前記バインダーは SiO<sub>2</sub>を主成分とすることを特徴とする請求項 7 または 8 に記載の光学素子。

【請求項 10】

前記光学素子の前記反射防止膜が設けられている面に入射角 0° で入射する波長 4 3 0 nm から 6 5 0 nm の光に対する反射率は、 0.08% 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の光学素子を有することを特徴とする光学系。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】光学素子及びそれを有する光学系

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学素子及びそれを有する光学系に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、ビデオカメラ、写真カメラ、テレビカメラ等の撮像装置に用いられる撮影レンズの各面には、透過光量を上げると共に、不要光によるゴースト、フレア等の発生を回避するために反射防止膜が施されている。反射防止膜は多くの場合、誘電体薄膜を多層積層し

た多層膜より構成されている。

#### 【0003】

一般的に、反射防止膜は、より多くの層を重ねる程、反射防止効果が高くなる。また高い反射防止効果を得るためにには、反射防止膜の最表層（最上層）に、屈折率の低い層を用いるのが有効である。この屈折率の低い層として、 $\text{SiO}_2$ （シリカ）や $\text{MgF}_2$ （フッ化マグネシウム）等の媒質に、波長以下の微細な空孔を持たせた、いわゆる、多孔質よりなる層が知られている。このとき、媒質中の空気の割合によって、実質的な屈折率を低下させることができる。層中の空孔の割合を5割程度にすると、屈折率1.25程度の多孔質層が実現できる。従来多孔質層を用いた反射防止膜が知られている（特許文献1）。

#### 【0004】

特許文献1は、最上層がシリカを主成分とする屈折率が1.270の多孔質層を用いた反射防止膜を開示している。具体的には基板上に7層を積層した構成によりなり、基板側から、1層目にアルミナを主成分とした層、2層目以降は、屈折率1.95以上、2.25以下の高屈折率層と、屈折率1.35以上、1.50以下の低屈折率層とが交互に積層している。そして、最上層に屈折率1.270の多孔質層（超低屈折率層）を配置している。それにより波長550nmでの反射率が0.3%以下、波長700nmでの反射率0.6~1.3%以下の高性能な反射防止効果を得ている。

#### 【先行技術文献】

#### 【特許文献】

#### 【0005】

【特許文献1】特開2009-157264号公報

#### 【発明の概要】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0006】

特許文献1に開示された反射防止膜は、従来の最表層に $\text{SiO}_2$ や、 $\text{MgF}_2$ を用いた反射防止膜と比較すると反射率が低い。しかしながら、広い波長域における反射率は近年の撮影レンズ用の反射防止膜としては必ずしも十分でない。例えば、センサー面との反射に基づくゴーストや、全反射面との反射に基づくゴーストなどを効果的に防止するには広い波長域にわたり反射率を低くする必要がある。

#### 【0007】

広帯域の波長域において反射率を低くし、良好なる反射防止機能を得るには、基板上に設ける誘電体薄膜よりなる層の数や各層の屈折率、そして最上層の低屈折率の層等を適切に設定することが重要になってくる。これらの構成が適切でないと、広帯域の波長域で良好なる反射防止効果を得るのが困難になる。

#### 【0008】

本発明は、広帯域な波長域において良好な反射防止性能を有する光学素子及びそれを有する光学系の提供を目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0009】

本発明の光学素子は、基板と、

前記基板上に形成された反射防止膜を有し、

前記反射防止膜は前記基板に近い側から順に、第1層乃至第7層が積層されて構成されており、

前記第1層乃至第6層はそれぞれ、互いに屈折率が異なる3種類の媒質のいずれかから成り、

前記3種類の媒質の波長550nmの光に対する屈折率の各々をnL、nM、nHとし、前記第7層の屈折率をn7としたとき、

1.35 nL 1.50

1.40 nM 1.65

1.6 nH 2.2

$$\begin{array}{cccc} 1 & . & 1 & n_7 \end{array} \quad \begin{array}{cc} 1 & . & 3 \end{array}$$

$$n_L < n_M < n_H$$

なる条件式を満足し、

屈折率が  $n_L$  である媒質からなる層と屈折率が  $n_H$  である媒質からなる層とは互いに接していないことを特徴としている。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、広帯域な波長域において良好な反射防止性能を有する光学素子が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施例1乃至実施例4に係る反射防止膜の模式図

【図2】中空粒子の配列状態とバインダーの充填を示す模式図

【図3】実施例1の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【図4】実施例2の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【図5】実施例3の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【図6】実施例4の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【図7】本発明の実施例5、6に係る反射防止膜の模式図

【図8】実施例5の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【図9】実施例6の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【図10】比較例1の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【図11】比較例2の反射防止膜の反射率の分光特性のグラフ

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に、本発明の好ましい実施の形態を、添付の図面に基づいて説明する。本発明の光学素子は、例えば撮影レンズに用いられるレンズやフィルター等である。反射防止膜は基板に近い側から順に第1層乃至第7層の層とが積層して構成されている。第1層乃至第6層はそれぞれ屈折率の異なる3種類の媒質のいずれかからなる。

【0013】

図1は、本発明の実施例1乃至4にかかる光学素子の概略模式図である。図7は本発明の実施例5、6の光学素子の概略模式図である。各実施例に係る反射防止膜10は、7つの層を基板8の光入射面に積層して構成されている。7つの層は基板8側に近い順に、第1層膜1、第2層膜2、第3層膜3、・・・第7層膜7の順で積層している。

【0014】

光学素子101は基板8と反射防止膜10を有している。第1層膜1乃至第6層膜6までは蒸着により成膜された誘電体薄膜からなる層である。多層膜層9は、蒸着での成膜か、スパッタ成膜により形成する。従来の反射防止膜の製造と同等の技術で製造が可能である。

【0015】

また、第7層膜7は、ウェット成膜により形成された超低屈折率層（多孔質層）（中空粒子含有層）よりなっている。

【0016】

図2は図1、図7の超低屈折率層（中空粒子含有層）よりなる第7層膜7を示す模式図である。超低屈折率層である第7層膜7は、複数の中空粒子12を有し、中空粒子12は内部に空隙11を持つ中空シリカよりなる。そして複数の中空粒子12と中空粒子12の隙間をバインダー（誘電体）13で埋めた中空粒子含有層の構造よりなっている。超低屈折率層は、内部に含む空隙11により通常の誘電体媒質では実現困難な屈折率1.3以下の低屈折率の層である。

【0017】

中空粒子12は、球体又はほぼ球体よりなり、シリカ（SiO<sub>2</sub>）または、MgF<sub>2</sub>を主

成分としている。ここで主成分とは 50 % 以上の重量比よりなる物質をいう。シリカまたは、MgF<sub>2</sub>の殻の部分の厚さは 2 nm ~ 8 nm 程度であり、中空粒子 12 の直径は 30 nm ~ 60 nm 程度である。中空粒子 12 の大きさは散乱光を考慮すると直径 60 nm 以下が好ましく、小さい方がより好ましい。ただし、低屈折率のためには中空粒子 12 内部の空隙率 V が 60 % 程度は必要であるため、殻の厚さを薄くできない場合、直径は 30 nm 程度が限度となる。

#### 【0018】

シリカ（屈折率 1.46）を用いて屈折率 1.25 を実現するためには、空気の含有率を 50 % 程度にしなければならない。中空粒子 12 を最密配列させると、中空粒子 12 の空間充填率は約 74 % となる。残りの 36 % を全てバインダー 13 で埋めたと仮定すると、中空粒子 12 の空隙率は 68 % 程度が必要となる。

#### 【0019】

中空粒子 12 を溶媒に混ぜ、スピンコート法または、ディップコート法で成膜する。その際、溶媒の濃度と塗布条件を調整、最適化し、中空粒子 12 が配列した状態で成膜する。図 2 に示す様に、中空粒子 12 は狭い領域では最密状態で配列している。塗布条件次第で中空粒子 12 は自己配列し、きれいな配列となる。直径 60 nm 以下の中空粒子 12 は可視光では回折を生じないが、ランダムに配列させると散乱光が発生する。配列度合いを上げることで、散乱光は低減できる。配列した中空粒子 12 は、2 層から 3 層程度の積層されたものとなっている。

#### 【0020】

更に、そこにシリカなどのバインダー 13 をゾルゲル法により作製し、図 2 の様に中空粒子 12 間の空隙をバインダー 13 で結合することで、配列を固定させ強度を確保する構造としている。中空粒子 12 の塗布後、バインダー 13 により結合する必要がある。ゾルゲル法により中空粒子 12 の塗布後の素子に、スピンコート法などで、バインダー 13 用の溶液の塗工を行い、乾燥させる。乾燥後、焼成によりよりバインドを高める。

#### 【0021】

乾燥、及び焼成は乾燥機、ホットプレート、電気炉などを用いることができる。乾燥後、焼成によりよりバインドを高める。一般的には 300 以下の温度を用いることが好ましい。塗工回数は通常 1 回が好ましいが、乾燥と塗工を複数回繰り返しても良い。媒質の屈折率が低い順に媒質 L、媒質 M、媒質 H とする。

#### 【0022】

実施例 1 乃至 4 の反射防止膜 10 における多層膜層 9 は、媒質 L、媒質 M、媒質 H の 3 種類の媒質より選ばれた 1 つの媒質より構成されている。基板 8 と接する第 1 層 1 は媒質 M であり、超低屈折率層である第 7 層 7 と接する第 6 層 6 は媒質 H である。従来は、その間の第 2 層 2 乃至第 5 層 5 までは、媒質 M と媒質 H が繰り返す様に積層した構成よりなっている。

#### 【0023】

これに対して、本発明の反射防止膜 10 は途中の媒質 H を 1 層だけ媒質 L に置換してある。具体的には基板 8 より媒質 M、H、M、L、M、H の順になっている。最上層（ここでは第 7 層）に超低屈折率の層を配置すると良好な反射防止膜 10 が得られる事は周知である。しかし、その際の分光反射率の細かなリップルを補正するためには、従来の媒質 M（L）、媒質 H の繰り返しでは不十分である。媒質 M と屈折率差の小さい媒質 L を用いることで、媒質 M と媒質 L の界面での反射率は、比較的小なものとなるため、その面を干渉に使うことで、分光反射率の細かなリップルを補正することを容易にしている。

#### 【0024】

各実施例の反射防止膜は、3 種類の媒質の波長 550 nm に対する屈折率の各々を n L、n M、n H とするととき、第 1 層の媒質の屈折率は n M、第 6 層の媒質の屈折率は n H であり、屈折率が n L である媒質の層と屈折率が n H である媒質の層とは互いに接しないように積層されている。即ち、屈折率が n L である媒質からなる層と屈折率が n H である媒質からなる層の間には、屈折率が n M である媒質からなる層が設けられている。そして屈

折率  $n_L$ 、屈折率  $n_M$ 、屈折率  $n_H$ 、第7層の屈折率を  $n_7$ としたとき、

1 . 3 5	$n_L$	1 . 5 0
1 . 4 0	$n_M$	1 . 6 5
1 . 6	$n_H$	2 . 2
1 . 1	$n_7$	1 . 3

$n_L < n_M < n_H$

なる条件式を満足する。

#### 【0025】

以下に、各実施例の具体的な構成を示す。ただし、これらは例に過ぎず、本発明の実施例はこれらの条件に限定されるものではない。図1に示す実施例1乃至4の反射防止膜10では、波長550nmの光に対する第1層乃至第7層までの媒質の屈折率を各々  $n_1$  乃至  $n_7$ 、第1層乃至第7層の光学膜厚を各々  $d_1$  (nm) 乃至  $d_7$  (nm) とする。

#### 【0026】

このとき、

$n_1 = n_M$ 、	1 0	$d_1$	1 8 0
$n_2 = n_H$ 、	5	$d_2$	8 0
$n_3 = n_M$ 、	5	$d_3$	9 5
$n_4 = n_L$ 、	2 0	$d_4$	1 0 0
$n_5 = n_M$ 、	5	$d_5$	7 5
$n_6 = n_H$ 、	5	$d_6$	6 5
1 3 0	$d_7$	1 6 0	

なる条件式を満たす。

#### 【0027】

次に実施例1乃至4の反射防止膜について説明する。

#### [実施例1]

本発明の反射防止膜の実施例1について説明する。実施例1の反射防止膜10は屈折率1.52(以下、屈折率、光学膜厚は = 550nmの値とする)のガラス基板8上に第1層1乃至第7層7の7つの層が積層された構成よりなっている。

#### 【0028】

表1に実施例1の反射防止膜における各層の屈折率と光学膜厚(厚さ×屈折率)の設計値を示す。図1に示すように基板8上に誘電体薄膜の第1層1乃至第6層6からなる多層膜層9が配置される。これらの誘電体薄膜は、真空蒸着法、またはスパッタ法により成膜する。

#### 【0029】

第7層7は、図2に示すような超低屈折率の多孔層である。第7層7はSiO<sub>2</sub>よりなる中空粒子12を配列させ、その空隙にバインダー13を埋め込んだ中空粒子含有層である。中空粒子12の平均直径は40nm程度であり、内部が空洞11となっている。その中空粒子12が最密に近い状態で積層している。その中空粒子12同士の空隙をSiO<sub>2</sub>を主体としたバインダー13で埋めている。第7層7は屈折率が約1.25の層となっている。バインダー塗布後、オーブンで加熱し、より強度を高めている。

#### 【0030】

図3(a)に実施例1の反射防止膜10の反射率の波長特性のグラフを示す。図3(b)は図3(a)の一部分の拡大図である。波長400nmから波長800nmの範囲で、入射角度、0度、15度、30度、45度と60度のシミュレーション結果を示す。波長430nmから波長630nmの範囲で、入射角度0度における反射率は0.03%以下の超高性能な反射防止膜となっている。入射角度30度における反射率も0.2%以下であり、特に波長430nmから波長600nmの範囲では、反射率0.1%以下となっている。実施例1の反射防止膜10は角度特性も良好である。

#### 【0031】

[実施例2]

実施例 2 の反射防止膜 10 は、屈折率 1.85 (以下、屈折率、光学膜厚は = 550 nm の値とする) のガラス基板 8 上に第 1 層 1 乃至第 7 層 7 の 7 つの層が積層された構成よりなっている。表 2 に実施例 2 の反射防止膜における各層の屈折率と光学膜厚の設計値を示す。図 1 に示すように基板 8 上に誘電体薄膜の第 1 層 1 乃至第 6 層 6 からなる多層膜層 9 が配置される。これらの誘電体薄膜は、真空蒸着法により成膜する。

#### 【0032】

第 7 層 7 は、図 2 に示すような MgF<sub>2</sub> よりなる中空粒子 12 を配列させ、その空隙にバインダー 13 を埋め込んだ超低屈折率の層 (中空粒子含有層) である。平均直径が 43 nm 程度の中空粒子を最密に近い状態で積層している。その空隙を MgF<sub>2</sub> または、SiO<sub>2</sub> を主体としたバインダー 13 で埋めている。第 7 層 7 は屈折率が約 1.20 の層となっている。バインダー塗布後、オーブンで加熱し、より強度を高めている。

#### 【0033】

図 4 (a) に実施例 2 の反射防止膜 10 の反射率の波長特性のグラフを示す。図 4 (b) は図 4 (a) の一部分の拡大図である。波長 400 nm から波長 800 nm の範囲で、入射角度、0 度、15 度、30 度、45 度と 60 度のシミュレーション結果を示す。波長 430 nm から波長 650 nm の範囲で、入射角度 0 度における反射率は 0.05% 以下の超高性能な反射防止膜となっている。入射角度 30 度における反射率も 0.2% 以下である。実施例 2 の反射防止膜 10 は角度特性も良好である。

#### 【0034】

##### [実施例 3]

実施例 3 の反射防止膜 10 は、屈折率 1.52 (以下、屈折率、光学膜厚は = 550 nm の値とする) のガラス基板 8 上に第 1 層 1 乃至第 7 層 7 の 7 つの層が積層された構成よりなっている。表 3 に実施例 3 の反射防止膜における各層の屈折率と光学膜厚の設計値を示す。図 1 に示すように基板 8 上に誘電体薄膜の第 1 層 1 乃至第 6 層 6 からなる多層膜層 9 が配置される。これらの誘電体薄膜は、真空蒸着法により成膜する。

#### 【0035】

図 2 に示すような第 7 層 7 は、MgF<sub>2</sub> よりなる中空粒子 12 を配列させ、その空隙にバインダー 13 を埋め込んだ超低屈折率の層 (中空粒子含有層) である。中空粒子 12 の平均直径は 43 nm 程度であり、それが最密に近い状態で積層している。その空隙を MgF<sub>2</sub> または、SiO<sub>2</sub> を主体としたバインダー 13 で埋めている。第 7 層 7 は屈折率が約 1.20 の層となっている。バインダー塗布後、オーブンで加熱し、より強度を高めている。

#### 【0036】

図 5 (a) に実施例 3 の反射防止膜の反射率の波長特性のグラフと示す。図 5 (b) は図 5 (a) の一部分の拡大図である。波長 400 nm から波長 800 nm の範囲で、入射角度、0 度、15 度、30 度、45 度と 60 度のシミュレーション結果を示す。波長 430 nm から波長 620 nm の範囲で、入射角度 0 度における反射率は 0.05% 以下の超高性能な反射防止膜となっている。入射角度 30 度における反射率も 0.2% 以下である。実施例 3 の反射防止膜 10 は角度特性も良好である。

#### 【0037】

##### [実施例 4]

実施例 4 の反射防止膜 10 は、屈折率 1.73 (以下、屈折率、光学膜厚は = 550 nm の値とする) のガラス基板 8 上に第 1 層 1 乃至第 7 層 7 の 7 つの層が積層された構成よりなっている。表 4 に実施例 3 の反射防止膜における各層の屈折率と光学膜厚の設計値を示す。図 1 に示すように基板 8 上に誘電体薄膜の第 1 層 1 乃至第 6 層 6 からなる多層膜層 9 が配置される。これらの誘電体薄膜は、真空蒸着法により成膜する。

#### 【0038】

図 2 に示すような第 7 層 7 は、MgF<sub>2</sub> よりなる中空粒子 12 を配列させ、その空隙にバインダー 13 を埋め込んだ超低屈折率の層 (中空粒子含有層) である。中空粒子 12 の平均直径は 43 nm であり、それが最密に近い状態で積層している。その空隙を MgF<sub>2</sub>

を主体としたバインダー 1 3 で埋めている。第 7 層 7 は屈折率が約 1 . 1 5 の層となっている。バインダー塗布後、オーブンで加熱し、より強度を高めている。

#### 【 0 0 3 9 】

図 6 ( a ) に実施例 4 の反射防止膜の反射率の波長特性のグラフと示す。図 6 ( b ) は図 6 ( a ) の一部分の拡大図である。波長 4 0 0 n m から波長 8 0 0 n m の範囲で、入射角度、0 度、1 5 度、3 0 度、4 5 度と 6 0 度のシミュレーション結果を示す。波長 4 3 0 n m から波長 6 5 0 n m の範囲で、入射角度 0 度における反射率は 0 . 0 2 % 以下の超高性能な反射防止膜となっている。入射角度 3 0 度における反射率も 0 . 1 % 以下である。実施例 4 の反射防止膜 1 0 は角度特性も良好である。

#### 【 0 0 4 0 】

図 7 に示す実施例 5 , 6 の反射防止膜では、波長 5 5 0 n m の光に対する第 1 層乃至第 7 層までの媒質の屈折率を各々 n 1 乃至 n 7 、第 1 層乃至第 7 層の光学膜厚を各々 d 1 ( n m ) 乃至 d 7 ( n m ) とする。

#### 【 0 0 4 1 】

このとき、

n 1 = n M	1 0	d 1	1 8 0
n 2 = n L	5	d 2	9 0
n 3 = n M	5 0	d 3	1 6 0
n 4 = n H	1 0	d 4	4 5
n 5 = n M	5 0	d 5	1 5 0
n 6 = n H	5	d 6	6 5
1 3 0	d 7	1 6 0	

なる条件式を満たす。

#### 【 0 0 4 2 】

実施例 5 , 6 は第 1 層 1 乃至第 6 層 6 の屈折率は順に、n M , n L , n M , n H , n M , n H である。実施例 5 , 6 は基板 8 側から順に、第 1 層 1 乃至第 6 層 6 の媒質の屈折率が順に、n M , n L , n M , n H , n M , n H となっている点が実施例 1 乃至 4 と異なっている。実施例 5 , 6 では第 2 層 2 と第 4 層 4 の媒質の屈折率が実施例 1 乃至 4 と異なっている。

#### 【 0 0 4 3 】

次に本発明の反射防止膜 1 0 の実施例 5 , 6 を説明する。

#### 【 実施例 5 】

実施例 5 の反射防止膜 1 0 は、屈折率 1 . 8 1 ( 以下、屈折率、光学膜厚は = 5 5 0 n m の値とする ) のガラス基板 8 上に第 1 層 1 乃至第 7 層 7 の 7 つの層が積層された構成よりなっている。

#### 【 0 0 4 4 】

表 5 に実施例 5 の反射防止膜における屈折率と光学膜厚の設計値を示す。図 7 に示すように基板 8 上に誘電体薄膜の第 1 層 1 乃至第 6 層 6 からなる多層膜層 9 が配置される。これらの誘電体薄膜は、真空蒸着法により成膜する。

#### 【 0 0 4 5 】

図 2 に示すような、第 7 層 7 は、シリカよりなる中空粒子 1 2 を配列させ、その空隙にバインダー 1 3 を埋め込んだ超低屈折率の層 ( 中空粒子含有層 ) である。中空粒子 1 2 の平均直径は 3 0 n m 程度であり、それが最密に近い状態で積層している。その空隙をシリカを主体としたバインダー 1 3 で埋めている。第 7 層 7 は屈折率が約 1 . 2 5 の層となっている。バインダー塗布後、オーブンで加熱し、より強度を高めている。

#### 【 0 0 4 6 】

図 8 ( a ) に実施例 5 の反射防止膜の反射率の波長特性のグラフを示す。図 8 ( b ) は図 8 ( a ) の一部分の拡大図である。

#### 【 0 0 4 7 】

波長 4 0 0 n m から波長 8 0 0 n m の範囲で、入射角度、0 度、1 5 度、3 0 度、4 5

度と 60 度のシミュレーション結果を示す。波長 430 nm から波長 650 nm の範囲で、入射角度 0 度における反射率は 0.08% 以下の超高性能な反射防止膜となっている。入射角度 30 度における反射率も 0.2% 以下である。実施例 5 の反射防止膜 10 は角度特性も良好である。

#### 【0048】

##### [実施例 6]

実施例 6 の反射防止膜 10 は、屈折率 1.52 (以下、屈折率、光学膜厚は = 550 nm の値とする) のガラス基板 8 上に、第 1 層 1 乃至第 7 層 7 の 7 つの層が積層された構成よりなっている。表 6 に実施例 6 の反射防止膜における屈折率と光学膜厚の設計値を示す。図 7 に示すように基板 8 上に誘電体薄膜の第 1 層 1 乃至第 6 層 6 からなる多層膜層 9 が配置される。これらの誘電体薄膜は、真空蒸着法により成膜する。

#### 【0049】

第 7 層 7 は図 2 に示すようなシリカよりなる中空粒子 12 を配列させ、その空隙にバインダー 13 を埋め込んだ超低屈折率の層 (中空粒子含有層) である。中空粒子 12 の平均直径は 30 nm 程度であり、それが最密に近い状態で積層している。その空隙をシリカを主体としたバインダー 13 で埋めている。第 7 層 7 は屈折率が約 1.25 の層となっている。バインダー塗布後、オーブンで加熱し、より強度を高めている。

#### 【0050】

図 9 (a) に実施例 6 の反射防止膜の反射率の波長特性のグラフと示す。図 9 (b) は図 9 (a) の一部分の拡大図である。波長 400 nm から波長 800 nm の範囲で、入射角度、0 度、15 度、30 度、45 度と 60 度のシミュレーション結果を示す。波長 430 nm から波長 650 nm の範囲で、入射角度 0 度における反射率は 0.05% 以下の超高性能な反射防止膜となっている。入射角度 30 度における反射率も 0.2% 以下である。実施例 6 の反射防止膜 10 は角度特性も良好である。

#### 【0051】

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。

#### 【0052】

##### [比較例 1]

表 7 に本発明の反射防止膜に対する比較例 1 の反射防止膜における各層の屈折率と光学膜厚の数値を示す。比較例 1 において第 1 層乃至第 7 層は、前述の各実施例と同等の製法で形成される。

#### 【0053】

図 10 (a) に比較例 1 の反射防止膜の反射率の波長特性のグラフと示す。図 10 (b) は図 10 (a) の一部分の拡大図である。図 10 (a), (b) は前述した各実施例と同じ条件での分光反射率計算の結果のグラフである。波長 400 nm から波長 800 nm の範囲で、入射角度、0 度、15 度、30 度、45 度と 60 度のシミュレーション結果を示したものである。入射角度 0 度における反射率は、波長 430 nm で 0.08% 程度であり、波長 650 nm では 0.1% を超えている。入射角度 30 度における反射率は、波長 650 nm では、0.4% よりも高くなっている。

#### 【0054】

##### [比較例 2]

表 8 に本発明の反射防止膜に対する比較例 2 の反射防止膜の構成における各層の屈折率と光学膜厚の数値を示す。比較例 2 において第 1 層乃至第 7 層は、前述の各実施例と同等の製法で形成される。

#### 【0055】

図 11 (a) に比較例 1 の反射防止膜の反射率の波長特性のグラフと示す。図 11 (b) は図 11 (a) の一部分の拡大図である。図 11 (a), (b) は前述した各実施例と同じ条件での分光反射率計算の結果のグラフである。波長 400 nm から波長 800 nm の範囲で、入射角度、0 度、15 度、30 度、45 度と 60 度のシミュレーション結果を

示したものである。

【0056】

入射角度0度における反射率は、波長430nmで0.1%を超えており、波長650nmでは0.15%を超えている。入射角度30度における反射率は、波長520nmでは0.2%程度にもなっており、波長650nmでは、0.4%よりも高くなっている。

【0057】

以上のように本発明によれば、最上層に屈折率1.15から1.3の低屈折率の層を用いた構成において、波長550nmでの反射率0.05%以下かつ、波長700nmでの反射率0.3%以下の高性能な反射防止性能を有する。そしてゴーストやフレアの発生を効果的に低減できる反射防止膜が得られる。

【0058】

本発明の光学素子は、反射防止膜をレンズやフィルター等の面の上に付与して構成されている。また本発明の撮影レンズ、ファインダー系、観察系、投射光学系等の光学系の光学面には前述した反射防止膜が付与されている。

【0059】

【表1】

(表1)

	屈折率(550nm)	光学膜厚(nm)
第7層	1.25	148.3
第6層	2.12	30.7
第5層	1.63	53.9
第4層	1.46	27.7
第3層	1.63	16.0
第2層	2.12	41.1
第1層	1.63	157.2
基板層	1.52	

【0060】

【表2】

(表2)

	屈折率(550nm)	光学膜厚(nm)
第7層	1.20	147.2
第6層	2.12	13.6
第5層	1.63	50.7
第4層	1.46	44.1
第3層	1.63	20.8
第2層	2.12	39.0
第1層	1.63	34.4
基板層	1.85	

【0061】

【表3】

(表3)

	屈折率 (550nm)	光学膜厚 (nm)
第7層	1.20	145.1
第6層	1.63	56.3
第5層	1.46	12.0
第4層	1.38	41.2
第3層	1.46	13.3
第2層	1.63	75.6
第1層	1.46	10.7
基板層	1.52	

【0062】

【表4】

(表4)

	屈折率 (550nm)	光学膜厚 (nm)
第7層	1.15	135.0
第6層	2.12	10.0
第5層	1.46	7.0
第4層	1.38	74.8
第3層	1.46	7.0
第2層	2.12	18.2
第1層	1.46	35.9
基板層	1.73	

【0063】

【表5】

(表5)

	屈折率 (550nm)	光学膜厚 (nm)
第7層	1.25	136.5
第6層	2.12	14.0
第5層	1.63	113.1
第4層	2.12	14.0
第3層	1.63	149.5
第2層	1.46	80.8
第1層	1.63	144.4
基板層	1.81	

【0064】

【表6】

(表6)

	屈折率 (550nm)	光学膜厚 (nm)
第7層	1.25	144.7
第6層	2.12	20.0
第5層	1.63	129.8
第4層	2.12	28.5
第3層	1.63	146.8
第2層	1.46	9.8
第1層	1.63	10.0
基板層	1.52	

【0065】

【表7】

(表7)

	屈折率 (550nm)	光学膜厚 (nm)
第7層	1.27	123.1
第6層	2.05	37.9
第5層	1.38	20.9
第4層	2.05	235.9
第3層	1.38	32.9
第2層	2.05	47.8
第1層	1.65	75
基板層	1.79	

【0066】

【表8】

(表8)

	屈折率 (550nm)	光学膜厚 (nm)
第7層	1.27	123.1
第6層	2.05	32.5
第5層	1.38	18.8
第4層	2.05	245
第3層	1.38	37.5
第2層	2.05	37.5
第1層	1.65	100
基板層	1.79	

【符号の説明】

【0067】

- |                 |                |          |       |       |
|-----------------|----------------|----------|-------|-------|
| 1 第1層           | 2 第2層          | 3 第3層    | 4 第4層 | 5 第5層 |
| 6 第6層           | 7 第7層 (超低屈折率層) |          | 8 基板  |       |
| 9 誘電体薄膜からなる多層膜層 |                | 10 反射防止膜 |       |       |
| 11 空洞           | 12 中空粒子        | 13 バインダー |       |       |