

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7305439号
(P7305439)

(45)発行日 令和5年7月10日(2023.7.10)

(24)登録日 令和5年6月30日(2023.6.30)

(51)国際特許分類

G 0 2 B 5/28 (2006.01)
H 0 1 L 27/146 (2006.01)

F I

G 0 2 B 5/28
H 0 1 L 27/146

D

請求項の数 8 (全23頁)

(21)出願番号 特願2019-107242(P2019-107242)
(22)出願日 令和1年6月7日(2019.6.7)
(65)公開番号 特開2020-201351(P2020-201351
A)
(43)公開日 令和2年12月17日(2020.12.17)
審査請求日 令和4年5月26日(2022.5.26)

(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
審査官 加藤 範久

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光学素子、およびそれを有する光学系、撮像装置

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

0度の入射角で入射する波長470nmから630nmの光に対する平均透過率が75%以上であり、0度の入射角で入射する波長1550nmの光に対する透過率が10%以下である多層膜を有し、

前記多層膜は、交互に積層された第1材料から成る層及び第2材料から成る層を含む繰り返し層と、最も外側に配置された第3材料から成る最終層とを有し、

前記第1材料の屈折率をn_m、前記第2材料の屈折率をn_h、前記第3材料の屈折率をn₁とするとき、

1.35 n_m 1.80
1.90 n_h 2.50
1.15 n₁ 1.50

10

なる条件式を満足し、

前記多層膜を構成する層を光出射側から数えたときの順番をm、2_i (m - 1) / 2を満たす整数をi、(2_i - 1)番目の層の光学膜厚をd_{2i-1} (nm)、2_i番目の層の光学膜厚をd_{2i} (nm)とするとき、

480 d_{2i} 600

1.8 d_{2i} / d_{2i-1} 2.2

なる条件式を満足する整数iがm / 8以上存在することを特徴とする光学素子。

【請求項2】

20

0度の入射角で入射する波長420nmから680nmの光に対する前記多層膜の平均透過率は、80%以上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】

波長470nmから630nmにおける前記多層膜の最大反射率と最小反射率との差が8%以内であることを特徴とする請求項1又は2に記載の光学素子。

【請求項4】

前記多層膜は、波長700nmから1000nmにおいて、透過率が10%以下となる帯域を有することを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項に記載の光学素子。

【請求項5】

前記多層膜の層数は、14以上81以下であることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項に記載の光学素子。 10

【請求項6】

前記多層膜の波長1550nmにおける透過率は、5%以下であ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】

請求項1乃至6の何れか一項に記載の光学素子を含む複数の光学素子を有することを特徴とする光学系。

【請求項8】

請求項1乃至6の何れか一項に記載の光学素子と、該光学素子からの光を受光する撮像素子とを有することを特徴とする撮像装置。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光学素子、およびそれを有する光学系、撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

L i D A R (L i g h t D e t e c t i o n a n d R a n g i n g) は、照射したレーザー光が物体に当たって跳ね返ってくるまでの時間を計測し、物体までの距離や方向を測定する技術である。遠くの物体を観察するためにはレーザー光の強度を強くする必要があるが、強力なレーザー光は人間の網膜を損傷させる恐れがある。しかしながら、波長1550nmのレーザー光は、水により吸収されるため、仮に人間の眼球に当たったとしても、眼球内にある水分に吸収され、網膜には到達しない。そのため、近年では波長1550nmのレーザー光をL i D A Rに使用することが増えている。 30

【0003】

デジタルカメラでは、可視域を含む波長200nmから1100nmにおいて感度を持つ撮像素子が使用されている。また、人間の眼の感度と同じにするため、波長420nm以下の紫外帯域と波長680nm以上の赤外帯域の光をカットする光学素子を、撮像素子の前面に配置する場合がある。

【0004】

特許文献1には、波長425nmから620nmにおいて80%以上の平均透過率を有し、波長700nmから1200nmにおいて12.5%以下の最大透過率を有する特性を持つ光学フィルタが開示されている。 40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【文献】特開2019-28421号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

L i D A R とデジタルカメラを同じ場所で使用した場合、L i D A Rに使用される強度

10

20

30

40

50

の強い波長 1 5 5 0 nm のレーザー光が強度を保ったまま撮像素子まで到達すると、撮像素子が損傷する可能性がある。特許文献 1 には、波長 1 5 5 0 nm における光学フィルタの特性は記載されていない。しかしながら、特許文献 1 の光学フィルタは誘電体多層膜による干渉ではなく光吸収材料を使用したものであることと、波長 1 1 0 0 nm から 1 2 0 0 nm にかけて透過率が上昇していることから、波長 1 5 5 0 nm での吸収は高くないと推定できる。したがって、特許文献 1 の光学フィルタを撮像素子の前面に配置しても波長 1 5 5 0 nm のレーザー光による撮像素子の損傷を防止できるかは不明である。

【0007】

本発明は、可視域における透過率を高く保ちつつ、波長 1 5 5 0 nm の光をカットすることが可能な光学素子、およびそれを有する光学系、撮像装置を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての光学素子は、0 度の入射角で入射する波長 4 7 0 nm から 6 3 0 nm の光に対する平均透過率が 7 5 % 以上であり、0 度の入射角で入射する波長 1 5 5 0 nm の光に対する透過率が 1 0 % 以下である多層膜を有し、前記多層膜は、交互に積層された第 1 材料から成る層及び第 2 材料から成る層を含む繰り返し層と、最も外側に配置された第 3 材料から成る最終層とを有し、前記第 1 材料の屈折率を n_m 、前記第 2 材料の屈折率を n_h 、前記第 3 材料の屈折率を n_1 とするとき、

$$\begin{array}{ll} 1.35 & n_m \\ 1.90 & n_h \\ 1.15 & n_1 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 1.80 \\ 2.50 \\ 1.50 \end{array}$$

20

なる条件式を満足し、

多層膜を構成する層を光出射側から数えたときの順番を m 、 $2i - (m - 1) / 2$ を満たす整数を i 、 $(2i - 1)$ 番目の層の光学膜厚を d_{2i-1} (nm)、 $2i$ 番目の層の光学膜厚を d_{2i} (nm) とするとき、

$$\begin{array}{ll} 480 & d_{2i} \\ 1.8 & d_{2i} / d_{2i-1} \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} 600 \\ 2.2 \end{array}$$

なる条件式を満足する整数 i が $m / 8$ 以上存在することを特徴とする。

【発明の効果】

30

【0009】

本発明によれば、可視域における透過率を高く保ちつつ、波長 1 5 5 0 nm の光をカットすることが可能な光学素子、およびそれを有する光学系、撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図 1】本発明の実施形態に係る光学素子の断面模式図である。

【図 2】光学素子の透過率特性を示す図である（実施例 4）。

【図 3】図 1 の光学素子とは異なる光学素子の断面模式図である。

【図 4】1 5 5 0 nm カット膜の透過率特性を示す図である（実施例 1 から 7）。

40

【図 5】可視域反射防止膜の透過率特性を示す図である（実施例 1, 5）。

【図 6】実施例 1 の光学素子の透過率特性を示す図である。

【図 7】IR カット膜の透過率特性を示す図である（実施例 2, 5）。

【図 8】実施例 2 の光学素子の透過率特性を示す図である。

【図 9】UV カット膜の透過率特性を示す図である（実施例 3, 5 から 7）。

【図 10】実施例 3 の光学素子の透過率特性を示す図である。

【図 11】UV - IR カット膜の透過率特性を示す図である（実施例 4）。

【図 12】実施例 5 の光学素子の透過率特性を示す図である。

【図 13】IR カット膜の透過率特性を示す図である（実施例 6）。

【図 14】IR カット膜の透過率特性を示す図である（実施例 6）。

50

【図15】実施例6の光学素子の透過率特性を示す図である。

【図16】IRカット膜の透過率特性を示す図である（実施例7）。

【図17】実施例7の光学素子の透過率特性を示す図である。

【図18】実施例8の光学系の模式断面図である。

【図19】実施例9の撮像装置の一例であるデジタルカメラの斜視図である。

【図20】1550nmカット膜の透過率特性を示す図である（実施例10）。

【図21】1550nmカット膜の透過率特性を示す図である（実施例10）。

【図22】1550nmカット膜の透過率特性を示す図である（実施例10）。

【図23】比較用光学多層膜の透過率特性を示す図である（比較例）。

【図24】比較用光学多層膜の透過率特性を示す図である（比較例）。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下、本発明の実施例について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図において、同一の部材については同一の参照番号を付し、重複する説明は省略する。

【0012】

図1は、本発明の実施形態に係る光学素子100の断面概略図である。光学素子100は、一方の光学面（第1面）に透過率特性を持つ光学多層膜（多層膜）1を、他方の光学面（第2面）に光学多層膜（多層膜）2を有する透明基板（基板）10を備え、波長選択を行う。光学多層膜2は、使用用途に応じて決められ、どのような膜構成でも構わない。

【0013】

以下の透過率特性の説明では、光学素子100に0度の入射角で波長300nmから1800nmの光を入射させた場合について説明する。

【0014】

光学多層膜1は、可視域である波長470nmから630nmにおいて75%以上の平均透過率を有し、LiDARに使用される波長1550nmにおいて10%以下の透過率を有する。光学多層膜1は、波長420nmから680nmにおいて80%以上の平均透過率を有し、波長1550nmにおいて5%以下の透過率を有することが望ましい。

【0015】

また、光学多層膜1は、波長700nmから1000nmにおいて、10%以下の透過率となる帯域を有することが望ましい。このような帯域を有することで、光学多層膜1を、少ない層数および材料で、波長420nmから680nmにおいて80%以上の平均透過率、波長1550nmにおいて10%以下の透過率を示す膜構成とすることができます。

【0016】

また、光学多層膜1は、波長470nmから630nmにおける最大反射率と最小反射率との差が8%以内であることが望ましい。可視域において、各波長での反射率の差異が大きいと、カラーバランスが悪くなる。

【0017】

また、光学多層膜1の層数は、14層以上81層以下であることが望ましい。層数が14層未満である場合、所望の透過率特性を取得することが困難であり、82層以上である場合、各層の成膜時における膜厚誤差に起因する特性バラつきの影響が大きくなり、作製が困難になる。層数は、20層以上61層以下であることがより望ましく、30層以上51層以下であることが特に望ましい。

【0018】

また、光学多層膜1は、屈折率がそれぞれ n_m 、 n_h 、および n_1 の3種類の膜材料からなる。光学多層膜1は、透明基板10の表面から順に、屈折率 n_m の第1材料、および屈折率 n_h の第2材料が交互に繰り返される繰り返し層（交互層）と、屈折率 n_1 の第3材料の最終層とからなることが望ましい。屈折率 n_m 、 n_h 、 n_1 はそれぞれ、以下の条件式(1)～(3)を満足することが望ましい。

【0019】

$$\begin{array}{ll} 1.90 & n_h \quad 2.50 \\ 1.15 & n_1 \quad 1.50 \end{array} \quad \begin{array}{l} (2) \\ (3) \end{array}$$

ただし、屈折率 n_m , n_h , n_1 は、 $n_1 < n_m < n_h$ の関係を同時に満たすものとする。実際に作製する場合、材料が多かったり、特殊な屈折率を有する材料を使用したりするとコストが高くなる。そのため、一般的に使用される材料を少ない種類と層数で作製することが望ましい。

【0020】

また、条件式(1)から(3)の数値範囲をそれぞれ、以下の条件式(1a)から(3a)の範囲とすることがより望ましい。

【0021】

$$\begin{array}{ll} 1.39 & n_m \quad 1.75 \\ 1.95 & n_h \quad 2.45 \\ 1.19 & n_1 \quad 1.45 \end{array} \quad \begin{array}{l} (1a) \\ (2a) \\ (3a) \end{array}$$

また、条件式(1)から(3)の数値範囲をそれぞれ、以下の条件式(1b)から(3b)の範囲とすることが特に望ましい。

【0022】

$$\begin{array}{ll} 1.40 & n_m \quad 1.70 \\ 2.00 & n_h \quad 2.40 \\ 1.23 & n_1 \quad 1.40 \end{array} \quad \begin{array}{l} (1b) \\ (2b) \\ (3b) \end{array}$$

ここで、光学多層膜1の層数がmであるとする。このとき、iを $2 \leq i \leq (m-1)/2$ を満たす整数としたとき、 $2i-1$ 層目の光学膜厚 d_{2i-1} (nm)、および $2i$ 層目の光学膜厚 d_{2i} (nm) がそれぞれ以下の条件式(4), (5)を満足する整数iが少なくとも $m/8$ 以上存在することが望ましい。

【0023】

$$\begin{array}{ll} 480 & d_{2i} \leq 600 \\ 1.8 & d_{2i} / d_{2i-1} \geq 2.2 \end{array} \quad \begin{array}{l} (4) \\ (5) \end{array}$$

光学多層膜1が波長470nmから630nmの光を透過し、波長1550nmの光をカットするためには、式(4)および(5)を満たす必要がある。

【0024】

図2は、光学素子100の透過率特性を示している。光学素子100は、波長420nmから680nmにおいて80%以上の平均透過率を有し、波長1550nmにおいて10%以下の透過率を有する。光学素子100は、UV帯域である波長300nmから400nmの帯域と、IR帯域である波長700nmから1100nmの帯域においても、10%以下の透過率を有するが、用途により必要となる透過率は異なるため、本発明はこれに限定されない。

【0025】

光学素子100は、撮像素子の前面であれば、光学系の光軸上であれば、どの位置に配置しても構わないが、撮像素子の近くに配置することがより望ましい。

【0026】

図3は、図1の光学素子100とは異なる光学素子の断面模式図である。図3(a)に示される光学素子200は、一方の光学面に光学多層膜3を、他方の光学面に光学多層膜4を有する透明基板12と、一方の光学面に光学多層膜5を、他方の光学面に光学多層膜6を有する透明基板13とを備える。透明基板12, 13は、光軸上に並べられている。図3(b)に示される光学素子300は、一方の光学面に光学多層膜7を、他方の光学面に光学多層膜8を有する透明基板14と、一方の光学面に光学多層膜9を有する透明基板16とを備える。透明基板14, 16は、接着剤15を介して接着されている。

【0027】

なお、本発明の光学素子は、本実施形態で説明した構成に限らず、用途に合わせた構成とすればよい。

【0028】

10

20

30

40

50

以下に具体的な実施例を示す。ただし、以下の実施例は一例に過ぎず、本発明の光学素子は各実施例の条件に限定されるものではない。

【実施例 1】

【0029】

本実施例の光学素子 100 は、図 1 の構成を有する。透明基板 10 は、屈折率 ($n = 550 \text{ nm}$) が 1.52 であり、吸収のない硝材 S1 である。光学多層膜 1 は、LiDAR に使用される波長 1550 nm の光を 90% 以上カット (遮断) する機能を持つ 1550 nm カット膜 1 である。光学多層膜 2 は、可視域である波長 420 nm から 680 nm の帯域の光を透過する可視域反射防止膜 2 である。1550 nm カット膜 1 の膜構成を表 1 に、可視域反射防止膜 2 の膜構成を表 2 に示す。表 1, 2 の屈折率は、波長 550 nm での値である。1550 nm カット膜 1 は、膜材料 M1 および膜材料 H1 が交互に繰り返される繰り返し層と、膜材料 L1 の最終層とからなる。可視域反射防止膜 2 は、膜材料 M2、H2、および L2 の 3 層構成である。

【0030】

1550 nm カット膜 1 の膜材料 M1、H1、および L1 の屈折率はそれぞれ、式 (1) ~ (3) を満足する。また、式 (4), (5) を満足する整数 i が少なくとも 6 以上存在する。図 4 は、1550 nm カット膜 1 の透過率特性を示している。1550 nm カット膜 1 は、波長 420 nm から 680 nm において 80% 以上の平均透過率を有し、波長 1550 nm において 10% 以下の透過率を有する。図 5 は、可視域反射防止膜 2 の透過率特性を示している。

【0031】

20
本実施例の光学素子 100 の透過率特性は、1550 nm カット膜 1 の透過率特性と可視域反射防止膜 2 の透過率特性との掛け合わせとなる。図 6 は、本実施例の光学素子 100 の透過率特性を示している。本実施例の光学素子 100 は、波長 420 nm から 680 nm において 80% 以上の平均透過率を有する。また、波長 1550 nm において 10% 以下の透過率を有する。すなわち、波長 1550 nm の光をカットすることができる。

【0032】

10

20

30

40

50

【表1】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第41層 | L1 | 1.38 | 151.6 |
| 第40層 | H1 | 2.12 | 564.7 |
| 第39層 | M1 | 1.46 | 274.8 |
| 第38層 | H1 | 2.12 | 563.9 |
| 第37層 | M1 | 1.46 | 265.8 |
| 第36層 | H1 | 2.12 | 552.1 |
| 第35層 | M1 | 1.46 | 261.0 |
| 第34層 | H1 | 2.12 | 537.8 |
| 第33層 | M1 | 1.46 | 257.3 |
| 第32層 | H1 | 2.12 | 547.2 |
| 第31層 | M1 | 1.46 | 265.6 |
| 第30層 | H1 | 2.12 | 538.9 |
| 第29層 | M1 | 1.46 | 269.8 |
| 第28層 | H1 | 2.12 | 549.6 |
| 第27層 | M1 | 1.46 | 260.5 |
| 第26層 | H1 | 2.12 | 536.0 |
| 第25層 | M1 | 1.46 | 267.8 |
| 第24層 | H1 | 2.12 | 558.1 |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 282.4 |
| 第22層 | H1 | 2.12 | 596.3 |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 258.3 |

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第20層 | H1 | 2.12 | 569.3 |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 274.0 |
| 第18層 | H1 | 2.12 | 571.3 |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 271.0 |
| 第16層 | H1 | 2.12 | 528.9 |
| 第15層 | M1 | 1.46 | 247.8 |
| 第14層 | H1 | 2.12 | 506.6 |
| 第13層 | M1 | 1.46 | 244.1 |
| 第12層 | H1 | 2.12 | 524.2 |
| 第11層 | M1 | 1.46 | 238.2 |
| 第10層 | H1 | 2.12 | 522.5 |
| 第9層 | M1 | 1.46 | 257.9 |
| 第8層 | H1 | 2.12 | 541.9 |
| 第7層 | M1 | 1.46 | 264.3 |
| 第6層 | H1 | 2.12 | 542.7 |
| 第5層 | M1 | 1.46 | 260.4 |
| 第4層 | H1 | 2.12 | 539.8 |
| 第3層 | M1 | 1.46 | 258.9 |
| 第2層 | H1 | 2.12 | 542.5 |
| 第1層 | M1 | 1.46 | 70.4 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

【 0 0 3 3 】

【表2】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|-----|----|------|----------|
| 第3層 | L1 | 1.38 | 125 |
| 第2層 | H1 | 2.12 | 250 |
| 第1層 | M2 | 1.60 | 125 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

【实施例 2】

【 0 0 3 4 】

本実施例の光学素子 100 は、図 1 の構成を有する。透明基板 10 は、屈折率 ($n = 50 \text{ nm}$) が 1.52 であり、吸収のない硝材 S1 である。光学多層膜 1 は、LiDAR に使用される波長 1550 nm の光を 90 % 以上カットする機能を持つ 1550 nm カット膜 1 である。光学多層膜 2 は、可視域である波長 420 nm から 680 nm の帯域の光を透過し、IR 帯域である波長 700 nm から 1100 nm の帯域の光をカットする IR カット膜 3 である。1550 nm カット膜 1 の膜構成を表 1 に、IR カット膜 3 の膜構成を表 3 に示す。表 1, 3 の屈折率は、波長 550 nm での値である。IR カット膜 3 は、膜材料 M1 および膜材料 H2 が交互に繰り返される繰り返し層と、膜材料 L1 の最終層とからなる。図 7 は、IR カット膜 3 の透過率特性を示している。

(0 0 3 5)

本実施例の光学素子 100 の透過率特性は、1550 nm カット膜 1 の透過率特性と IR カット膜 3 の透過率特性との掛け合わせとなる。図 8 は、本実施例の光学素子 100 の透過率特性を示している。本実施例の光学素子 100 は、波長 420 nm から 680 nm において 80 % 以上の平均透過率を有する。また、波長 1550 nm において 10 % 以下の透過率を有する。すなわち、波長 1550 nm の光をカットすることができる。さらに、波長 700 nm から 1100 nm の帯域の光をカットすることができる。

【0036】

【表 3】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第41層 | L1 | 1.38 | 88.4 |
| 第40層 | H2 | 2.3 | 215.2 |
| 第39層 | M1 | 1.46 | 198.3 |
| 第38層 | H2 | 2.3 | 208.7 |
| 第37層 | M1 | 1.46 | 193.9 |
| 第36層 | H2 | 2.3 | 207.4 |
| 第35層 | M1 | 1.46 | 208.3 |
| 第34層 | H2 | 2.3 | 213.3 |
| 第33層 | M1 | 1.46 | 214.8 |
| 第32層 | H2 | 2.3 | 215.8 |
| 第31層 | M1 | 1.46 | 220.4 |
| 第30層 | H2 | 2.3 | 215.2 |
| 第29層 | M1 | 1.46 | 202.1 |
| 第28層 | H2 | 2.3 | 198.1 |
| 第27層 | M1 | 1.46 | 205.2 |
| 第26層 | H2 | 2.3 | 189.0 |
| 第25層 | M1 | 1.46 | 210.8 |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 176.4 |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 218.2 |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 177.5 |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 230.5 |
| 第20層 | H2 | 2.3 | 127.4 |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 233.2 |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 179.4 |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 207.7 |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 207.4 |
| 第15層 | M1 | 1.46 | 252.7 |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 298.1 |
| 第13層 | M1 | 1.46 | 263.7 |
| 第12層 | H2 | 2.3 | 234.0 |
| 第11層 | M1 | 1.46 | 250.0 |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 291.2 |
| 第9層 | M1 | 1.46 | 261.1 |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 221.1 |
| 第7層 | M1 | 1.46 | 242.3 |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 281.4 |
| 第5層 | M1 | 1.46 | 300.3 |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 108.2 |
| 第3層 | M1 | 1.46 | 21.9 |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 106.4 |
| 第1層 | M1 | 1.46 | 199.0 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

【実施例 3】

【0037】

本実施例の光学素子 100 は、図 1 の構成を有する。透明基板 10 は、屈折率 ($n = 5.0 \text{ nm}$) が 1.52 であり、吸収のない硝材 S1 である。光学多層膜 1 は、LiDAR に使用される波長 1550 nm の光を 90 % 以上カットする機能を持つ 1550 nm カット膜 1 である。光学多層膜 2 は、可視域である波長 420 nm から 680 nm の帯域の光を透過し、UV 帯域である波長 300 nm から 400 nm の帯域の光をカットする UV カット膜 4 である。1550 nm カット膜 1 の膜構成を表 1 に、UV カット膜 4 の膜構成を表 4 に示す。表 1, 4 の屈折率は、波長 550 nm での値である。UV カット膜 4 は、膜材料 M1 および膜材料 H2 が交互に繰り返される繰り返し層と、膜材料 L1 の最終層とかなる。図 9 は、UV カット膜 4 の透過率特性を示している。

【0038】

本実施例の光学素子 100 の透過率特性は、1550 nm カット膜 1 の透過率特性と UV カット膜 4 の透過率特性との掛け合わせとなる。図 10 は、本実施例の光学素子 100 の透過率特性を示している。本実施例の光学素子 100 は、波長 420 nm から 680 nm において 80 % 以上の平均透過率を有する。また、波長 1550 nm において 10 % 以

10

20

30

40

50

下の透過率を有する。すなわち、波長 1550 nm の光をカットすることができる。さらに、波長 300 nm から 400 nm の帯域の光をカットすることができる。

【0039】

【表4】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) | | |
|------|----|------|----------|--|--|
| 第31層 | L1 | 1.38 | 132.1 | | |
| 第30層 | H2 | 2.3 | 243.8 | | |
| 第29層 | M1 | 1.46 | 230.1 | | |
| 第28層 | H2 | 2.3 | 251.1 | | |
| 第27層 | M1 | 1.46 | 269.0 | | |
| 第26層 | H2 | 2.3 | 276.8 | | |
| 第25層 | M1 | 1.46 | 254.7 | | |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 234.9 | | |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 246.7 | | |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 268.9 | | |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 272.1 | | |
| 第20層 | H2 | 2.3 | 273.0 | | |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 274.7 | | |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 279.0 | | |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 278.1 | | |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 280.0 | | |
| | | | | | |
| 第15層 | M1 | 1.46 | 275.1 | | |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 249.8 | | |
| 第13層 | M1 | 1.46 | 228.1 | | |
| 第12層 | H2 | 2.3 | 227.0 | | |
| 第11層 | M1 | 1.46 | 234.4 | | |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 253.6 | | |
| 第9層 | M1 | 1.46 | 272.4 | | |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 278.0 | | |
| 第7層 | M1 | 1.46 | 279.6 | | |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 273.0 | | |
| 第5層 | M1 | 1.46 | 256.6 | | |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 229.3 | | |
| 第3層 | M1 | 1.46 | 227.2 | | |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 247.3 | | |
| 第1層 | M1 | 1.46 | 243.9 | | |
| 基板 | S1 | 1.52 | | | |

【実施例4】

【0040】

本実施例の光学素子100は、図1の構成を有する。透明基板10は、屈折率(=550 nm)が1.52であり、吸収のない硝材S1である。光学多層膜1は、LiDARに使用される波長1550 nmの光を90%以上カットする機能を持つ1550 nmカット膜1である。光学多層膜2は、可視域である波長420 nmから680 nmの帯域の光を透過し、UV帯域である波長300 nmから400 nmの帯域の光、およびIR帯域である波長700 nmから1100 nmの光をカットするUV-IRカット膜5である。1550 nmカット膜1の膜構成を表1に、UV-IRカット膜5の膜構成を表5に示す。表1、5の屈折率は、波長550 nmでの値である。UV-IRカット膜5は、膜材料M1および膜材料H2が交互に繰り返される繰り返し層と、膜材料L1の最終層とからなる。図11は、UV-IRカット膜5の透過率特性を示している。

【0041】

本実施例の光学素子100の透過率特性は、1550 nmカット膜1の透過率特性とUV-IRカット膜5の透過率特性との掛け合わせとなる。図2は、本実施例の光学素子100の透過率特性を示している。本実施例の光学素子100は、波長420 nmから680 nmにおいて80%以上の平均透過率を有する。また、波長1550 nmにおいて10%以下の透過率を有する。すなわち、波長1550 nmの光をカットすることができる。さらに、波長300 nmから400 nmの帯域の光、および波長700 nmから1100 nmの帯域の光をカットすることができる。

【0042】

10

20

30

40

50

【表 5】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) | | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) | |
|------|----|------|----------|----|------|-----|----------|-------|
| 第51層 | L1 | 1.38 | 142.1 | 10 | 第25層 | M1 | 1.46 | 238.2 |
| 第50層 | H2 | 2.3 | 276.1 | | 第24層 | H2 | 2.3 | 153.6 |
| 第49層 | M1 | 1.46 | 250.8 | | 第23層 | M1 | 1.46 | 242.7 |
| 第48層 | H2 | 2.3 | 215.4 | | 第22層 | H2 | 2.3 | 157.2 |
| 第47層 | M1 | 1.46 | 209.5 | | 第21層 | M1 | 1.46 | 257.5 |
| 第46層 | H2 | 2.3 | 214.5 | | 第20層 | H2 | 2.3 | 99.7 |
| 第45層 | M1 | 1.46 | 190.6 | | 第19層 | M1 | 1.46 | 255.3 |
| 第44層 | H2 | 2.3 | 213.9 | | 第18層 | H2 | 2.3 | 177.3 |
| 第43層 | M1 | 1.46 | 195.9 | | 第17層 | M1 | 1.46 | 232.2 |
| 第42層 | H2 | 2.3 | 207.3 | | 第16層 | H2 | 2.3 | 207.8 |
| 第41層 | M1 | 1.46 | 193.4 | | 第15層 | M1 | 1.46 | 246.6 |
| 第40層 | H2 | 2.3 | 204.2 | | 第14層 | H2 | 2.3 | 281.5 |
| 第39層 | M1 | 1.46 | 211.0 | | 第13層 | M1 | 1.46 | 266.9 |
| 第38層 | H2 | 2.3 | 206.4 | | 第12層 | H2 | 2.3 | 249.7 |
| 第37層 | M1 | 1.46 | 207.2 | | 第11層 | M1 | 1.46 | 244.3 |
| 第36層 | H2 | 2.3 | 205.9 | | 第10層 | H2 | 2.3 | 252.7 |
| 第35層 | M1 | 1.46 | 223.0 | | 第9層 | M1 | 1.46 | 248.4 |
| 第34層 | H2 | 2.3 | 213.2 | | 第8層 | H2 | 2.3 | 241.0 |
| 第33層 | M1 | 1.46 | 223.7 | | 第7層 | M1 | 1.46 | 264.9 |
| 第32層 | H2 | 2.3 | 192.0 | | 第6層 | H2 | 2.3 | 288.3 |
| 第31層 | M1 | 1.46 | 227.2 | | 第5層 | M1 | 1.46 | 314.9 |
| 第30層 | H2 | 2.3 | 169.7 | | 第4層 | H2 | 2.3 | 90.2 |
| 第29層 | M1 | 1.46 | 223.8 | | 第3層 | M1 | 1.46 | 61.2 |
| 第28層 | H2 | 2.3 | 184.7 | | 第2層 | H2 | 2.3 | 66.6 |
| 第27層 | M1 | 1.46 | 231.9 | | 第1層 | M1 | 1.46 | 91.0 |
| 第26層 | H2 | 2.3 | 159.7 | | 基板 | S1 | 1.52 | |

【実施例 5】

【0043】

本実施例の光学素子 200 は、図 3 (a) の構成を有する。透明基板 12, 13 は、屈折率 (= 550 nm) が 1.52 であり、吸収のない硝材 S1 である。光学多層膜 3 は、LiDAR に使用される波長 1550 nm の光を 90 % 以上カットする機能を持つ 1550 nm カット膜 1 である。光学多層膜 4 は、可視域である波長 420 nm から 680 nm の帯域の光を透過する可視域反射防止膜 2 である。光学多層膜 5 は、可視域である波長 420 nm から 680 nm の帯域の光を透過し、IR 帯域である波長 700 nm から 1100 nm の帯域の光をカットする IR カット膜 3 である。光学多層膜 6 は、可視域である波長 420 nm から 680 nm の帯域の光を透過し、UV 帯域である波長 300 nm から 400 nm の帯域の光をカットする UV カット膜 4 である。

【0044】

本実施例の光学素子 200 の透過率特性は、4 つの膜の透過率特性の掛け合わせとなる。図 12 は、本実施例の光学素子 200 の透過率特性を示している。本実施例の光学素子 200 は、波長 420 nm から 680 nm において 80 % 以上の平均透過率を有する。また、波長 1550 nm において 10 % 以下の透過率を有する。すなわち、波長 1550 nm の光をカットすることができる。さらに、波長 300 nm から 400 nm の帯域の光、

10

20

30

40

50

および波長 700 nm から 1100 nm の帯域の光をカットすることができる。

【0045】

なお、1550 nm カット膜 1、可視域反射防止膜 2、IR カット膜 3、およびUV カット膜 4 が全て使用されていれば、図 12 の透過率特性を取得することができるため、膜配置は本実施例の順番に限定されず、どのような順番であってもかまわない。

【実施例 6】

【0046】

本実施例の光学素子 200 は、図 3 (a) の構成を有する。透明基板 12, 13 は、屈折率 ($\eta = 550 \text{ nm}$) が 1.52 であり、吸収のない硝材 S1 である。光学多層膜 3 は、LiDAR に使用される波長 1550 nm の光を 90 % 以上カットする機能を持つ 1550 nm カット膜 1 である。光学多層膜 4 は、IR 帯域である波長 700 nm から 900 nm の帯域の光をカットする IR カット膜 6 である。光学多層膜 5 は、IR 帯域である波長 900 nm から 1100 nm の帯域の光をカットする IR カット膜 7 である。光学多層膜 6 は、UV 帯域である波長 300 nm から 400 nm の帯域の光をカットする UV カット膜 4 である。1550 nm カット膜 1、UV カット膜 4、IR カット膜 6, 7 の膜構成をそれぞれ表 1, 4, 6, 7 に示す。表 1, 4, 6, 7 の屈折率は、波長 550 nm での値である。図 13 および図 14 はそれぞれ、IR カット膜 6, 7 の透過率特性を示している。

10

【0047】

本実施例の光学素子 100 の透過率特性は、1550 nm カット膜 1 の透過率特性、IR カット膜 6 の透過率特性、IR カット膜 7 の透過率特性、およびUV カット膜 4 の透過率特性の掛け合わせとなる。図 15 は、本実施例の光学素子 200 の透過率特性を示している。本実施例の光学素子 200 は、波長 420 nm から 680 nm において 80 % 以上の平均透過率を有する。また、波長 1550 nm において 10 % 以下の透過率を有する。すなわち、波長 1550 nm の光をカットすることができる。さらに、波長 300 nm から 400 nm の帯域の光、および波長 700 nm から 1100 nm の帯域の光をカットすることができる。

20

【0048】

なお、1550 nm カット膜 1、IR カット膜 6, 7、およびUV カット膜 4 が全て使用されていれば、図 15 の透過率特性を取得することができるため、膜配置は本実施例の順番に限定されず、どのような順番であってもかまわない。

30

【0049】

【表 6】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第25層 | L1 | 1.38 | 181.1 |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 218.7 |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 194.2 |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 233.1 |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 169.6 |
| 第20層 | H2 | 2.3 | 220.6 |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 168.4 |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 227.9 |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 152.0 |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 218.2 |
| 第15層 | M1 | 1.46 | 179.3 |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 202.2 |
| 第13層 | M1 | 1.46 | 185.3 |

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第12層 | H2 | 2.3 | 196.1 |
| 第11層 | M1 | 1.46 | 197.1 |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 188.5 |
| 第9層 | M1 | 1.46 | 194.9 |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 199.0 |
| 第7層 | M1 | 1.46 | 186.1 |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 205.2 |
| 第5層 | M1 | 1.46 | 177.3 |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 223.5 |
| 第3層 | M1 | 1.46 | 149.9 |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 229.8 |
| 第1層 | M1 | 1.46 | 166.0 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

40

50

【0050】

【表7】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) | |
|------|----|------|----------|----|
| 第25層 | L1 | 1.38 | 131.5 | 10 |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 260.4 | |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 260.8 | |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 254.0 | |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 247.6 | |
| 第20層 | H2 | 2.3 | 240.4 | |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 236.3 | |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 232.4 | |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 232.4 | |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 230.0 | |
| 第15層 | M1 | 1.46 | 228.1 | |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 228.0 | |
| 第13層 | M1 | 1.46 | 225.2 | |
| | | | | |
| 第12層 | H2 | 2.3 | 227.3 | |
| 第11層 | M1 | 1.46 | 227.1 | |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 231.7 | |
| 第9層 | M1 | 1.46 | 235.5 | |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 243.1 | |
| 第7層 | M1 | 1.46 | 249.1 | |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 251.4 | |
| 第5層 | M1 | 1.46 | 245.8 | |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 241.7 | |
| 第3層 | M1 | 1.46 | 246.1 | |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 250.7 | |
| 第1層 | M1 | 1.46 | 128.8 | |
| 基板 | S1 | 1.52 | | |

20

【実施例7】

【0051】

本実施例の光学素子300は、図3(b)の構成を有する。透明基板14, 16は、屈折率(=550nm)が1.52であり、吸収のない硝材S1である。接着剤15は、屈折率(=550nm)が1.52であり、吸収のない接着剤A1である。光学多層膜7は、LiDARに使用される波長1550nmの光を90%以上カットする機能を持つ1550nmカット膜1である。光学多層膜8は、IR帯域である波長700nmから1100nmの帯域の光をカットするIRカット膜8である。光学多層膜9は、UV帯域である波長300nmから400nmの帯域の光をカットするUVカット膜4である。1550nmカット膜1、UVカット膜4、およびIRカット膜8の膜構成をそれぞれ表1, 4, 8に示す。表1, 4, 8の屈折率は、波長550nmでの値である。図16は、IRカット膜8の透過率特性を示している。

30

【0052】

本実施例の光学素子300の透過率特性は、1550nmカット膜1の透過率特性、IRカット膜8の透過率特性、およびUVカット膜4の透過率特性の掛け合わせとなる。図17は、本実施例の光学素子300の透過率特性を示している。本実施例の光学素子300は、波長420nmから680nmにおいて80%以上の平均透過率を有する。また、波長1550nmにおいて10%以下の透過率を有する。すなわち、波長1550nmの光をカットすることができる。さらに、波長300nmから400nmの帯域の光、および波長700nmから1100nmの帯域の光をカットすることができる。

40

【0053】

50

【表 8】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| | A1 | 1.52 | |
| 第31層 | M1 | 1.46 | 194.6 |
| 第30層 | H2 | 2.3 | 202.7 |
| 第29層 | M1 | 1.46 | 214.9 |
| 第28層 | H2 | 2.3 | 202.3 |
| 第27層 | M1 | 1.46 | 199.8 |
| 第26層 | H2 | 2.3 | 198.4 |
| 第25層 | M1 | 1.46 | 193.9 |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 199.9 |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 196.5 |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 199.1 |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 197.3 |
| 第20層 | H2 | 2.3 | 202.8 |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 199.2 |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 207.0 |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 198.1 |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 211.8 |

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第15層 | M1 | 1.46 | 194.0 |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 211.4 |
| 第13層 | M1 | 1.46 | 195.5 |
| 第12層 | H2 | 2.3 | 205.1 |
| 第11層 | M1 | 1.46 | 198.9 |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 199.2 |
| 第9層 | M1 | 1.46 | 199.6 |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 198.6 |
| 第7層 | M1 | 1.46 | 194.1 |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 203.5 |
| 第5層 | M1 | 1.46 | 197.4 |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 197.4 |
| 第3層 | M1 | 1.46 | 206.6 |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 228.0 |
| 第1層 | M1 | 1.46 | 218.7 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

【実施例 8】

【0054】

本実施例では、本発明の実施形態に係る光学系について説明する。図18は、光学系500の断面模式図である。光学系500は、複数の光学素子G101～G112、および絞り102を有する。図18の(A)から(F)は、本発明の光学素子を配置可能な位置を示す。本発明の光学素子は、図18の(A)から(F)のどの位置に配置されてもよい。

【実施例 9】

【0055】

本実施例では、本発明の実施形態に係る撮像装置について説明する。図19は、撮像装置の一例であるデジタルカメラ600の斜視図である。デジタルカメラ600は、レンズ部601と本体部602とを有する。レンズ部601は、実施例8の光学系500を有する。本体部602は、光学系500の結像面に配置された、CCDやCMOSセンサなどの撮像素子603を有する。撮像素子603は、光学系500を介して形成される光学像を光電変換して画像データを出力する。本発明の光学素子は、レンズ部601内に組み込まれていてもよいし、フィルタとしてレンズ部601の前面に取り付けられていてもよい。また、本体部602内で撮像素子603の前面に配置されていてもよい。

【0056】

なお、本発明の光学素子は、運転支援などに使用される小型レンズを用いた撮像装置においても有効であるが、より大きなレンズを用いる写真用の撮像装置においては、さらに有効である。特に、有効径が10mm以上の撮像装置に使用された場合に有効である。

【実施例 10】

【0057】

本実施例では、実施例1から7で用いた1550nmカット膜1とは異なる1550nmカット膜2,3,4について説明する。

【0058】

1550nmカット膜2,3,4の膜構成をそれぞれ表9,10,11に示す。図20、図21、および図22はそれぞれ、1550nmカット膜2,3,4の透過率特性を示

10

20

30

40

50

している。

【0059】

1550nmカット膜2, 3, 4の膜材料M2、H2、およびL1の屈折率はそれぞれ、式(1)～(3)を満足する。また、式(4), (5)を満足する整数*i*が1550nmカット膜2, 3では少なくとも6以上、1550nmカット膜4では少なくとも4以上存在する。したがって、各1550nmカット膜は、所望の特性を取得することができる。

【0060】

【表9】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第41層 | L1 | 1.38 | 110.1 |
| 第40層 | H2 | 2.3 | 508.7 |
| 第39層 | M3 | 1.63 | 259.3 |
| 第38層 | H2 | 2.3 | 494.7 |
| 第37層 | M3 | 1.63 | 258.3 |
| 第36層 | H2 | 2.3 | 493.9 |
| 第35層 | M3 | 1.63 | 265.7 |
| 第34層 | H2 | 2.3 | 500.2 |
| 第33層 | M3 | 1.63 | 251.0 |
| 第32層 | H2 | 2.3 | 516.4 |
| 第31層 | M3 | 1.63 | 266.6 |
| 第30層 | H2 | 2.3 | 524.2 |
| 第29層 | M3 | 1.63 | 281.2 |
| 第28層 | H2 | 2.3 | 524.4 |
| 第27層 | M3 | 1.63 | 268.7 |
| 第26層 | H2 | 2.3 | 519.8 |
| 第25層 | M3 | 1.63 | 290.0 |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 539.8 |
| 第23層 | M3 | 1.63 | 280.9 |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 545.7 |
| 第21層 | M3 | 1.63 | 260.6 |

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第20層 | H2 | 2.3 | 531.6 |
| 第19層 | M3 | 1.63 | 284.2 |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 705.5 |
| 第17層 | M3 | 1.63 | 270.7 |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 512.1 |
| 第15層 | M3 | 1.63 | 255.9 |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 511.1 |
| 第13層 | M3 | 1.63 | 261.4 |
| 第12層 | H2 | 2.3 | 518.2 |
| 第11層 | M3 | 1.63 | 279.5 |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 517.8 |
| 第9層 | M3 | 1.63 | 268.4 |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 510.4 |
| 第7層 | M3 | 1.63 | 259.5 |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 494.6 |
| 第5層 | M3 | 1.63 | 251.5 |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 509.4 |
| 第3層 | M3 | 1.63 | 271.3 |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 525.6 |
| 第1層 | M3 | 1.63 | 102.5 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

【0061】

10

20

30

40

50

【表 10】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第41層 | L1 | 1.38 | 131.7 |
| 第40層 | H1 | 2.12 | 546.4 |
| 第39層 | M1 | 1.46 | 258.7 |
| 第38層 | H1 | 2.12 | 520.2 |
| 第37層 | M1 | 1.46 | 253.0 |
| 第36層 | H1 | 2.12 | 501.2 |
| 第35層 | M1 | 1.46 | 271.8 |
| 第34層 | H1 | 2.12 | 504.0 |
| 第33層 | M1 | 1.46 | 264.3 |
| 第32層 | H1 | 2.12 | 508.9 |
| 第31層 | M1 | 1.46 | 267.5 |
| 第30層 | H1 | 2.12 | 530.4 |
| 第29層 | M1 | 1.46 | 272.1 |
| 第28層 | H1 | 2.12 | 527.6 |
| 第27層 | M1 | 1.46 | 268.3 |
| 第26層 | H1 | 2.12 | 521.5 |
| 第25層 | M1 | 1.46 | 287.6 |
| 第24層 | H1 | 2.12 | 543.2 |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 271.4 |
| 第22層 | H1 | 2.12 | 547.3 |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 257.4 |

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第20層 | H1 | 2.12 | 524.2 |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 284.1 |
| 第18層 | H1 | 2.12 | 709.4 |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 267.4 |
| 第16層 | H1 | 2.12 | 508.2 |
| 第15層 | M1 | 1.46 | 247.8 |
| 第14層 | H1 | 2.12 | 514.5 |
| 第13層 | M1 | 1.46 | 260.2 |
| 第12層 | H1 | 2.12 | 509.0 |
| 第11層 | M1 | 1.46 | 271.4 |
| 第10層 | H1 | 2.12 | 511.2 |
| 第9層 | M1 | 1.46 | 271.0 |
| 第8層 | H1 | 2.12 | 524.6 |
| 第7層 | M1 | 1.46 | 259.9 |
| 第6層 | H1 | 2.12 | 514.4 |
| 第5層 | M1 | 1.46 | 250.1 |
| 第4層 | H1 | 2.12 | 530.5 |
| 第3層 | M1 | 1.46 | 264.3 |
| 第2層 | H1 | 2.12 | 510.7 |
| 第1層 | M1 | 1.46 | 20.9 |
| 基板 | S2 | 1.7 | |

【0062】

10

20

30

40

50

【表 1 1】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) | | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|------|----|------|----------|
| 第31層 | M1 | 1.46 | 391.0 | 第15層 | M1 | 1.46 | 265.2 |
| 第30層 | H1 | 2.12 | 543.0 | 第14層 | H1 | 2.12 | 512.8 |
| 第29層 | M1 | 1.46 | 245.1 | 第13層 | M1 | 1.46 | 255.7 |
| 第28層 | H1 | 2.12 | 504.6 | 第12層 | H1 | 2.12 | 522.6 |
| 第27層 | M1 | 1.46 | 266.8 | 第11層 | M1 | 1.46 | 270.1 |
| 第26層 | H1 | 2.12 | 503.6 | 第10層 | H1 | 2.12 | 543.5 |
| 第25層 | M1 | 1.46 | 256.3 | 第9層 | M1 | 1.46 | 271.5 |
| 第24層 | H1 | 2.12 | 541.3 | 第8層 | H1 | 2.12 | 519.1 |
| 第23層 | M1 | 1.46 | 273.7 | 第7層 | M1 | 1.46 | 248.3 |
| 第22層 | H1 | 2.12 | 519.5 | 第6層 | H1 | 2.12 | 506.1 |
| 第21層 | M1 | 1.46 | 260.2 | 第5層 | M1 | 1.46 | 253.5 |
| 第20層 | H1 | 2.12 | 533.2 | 第4層 | H1 | 2.12 | 499.1 |
| 第19層 | M1 | 1.46 | 272.2 | 第3層 | M1 | 1.46 | 257.5 |
| 第18層 | H1 | 2.12 | 705.1 | 第2層 | H1 | 2.12 | 543.3 |
| 第17層 | M1 | 1.46 | 271.6 | 第1層 | M1 | 1.46 | 15.0 |
| 第16層 | H1 | 2.12 | 506.6 | 基板 | S1 | 1.52 | |

10

20

【比較例】

【 0 0 6 3 】

実施例 1 から 10 で説明した 1550 nm カット膜 1, 2, 3, 4 の比較用光学多層膜 1, 2 の膜構成を表 12, 13 に示す。図 23 および図 24 はそれぞれ、比較用光学多層膜 1, 2 の透過率特性を示している。

〔 0 0 6 4 〕

比較用光学多層膜1, 2では、式(4), (5)を満足する整数*i*が6以上とならない。したがって、比較用光学多層膜1は、波長470 nmから630 nmにおいて75%以上の平均透過率を有するが、波長1550 nmにおいて10%以上の透過率を有する。また、比較用光学多層膜2は、波長1550 nmにおいて10%以下の透過率を有する。しかしながら、波長470 nmから630 nmにおいて、波長ごとの透過率にばらつきが大きく、平均透過率が75%以下になる。

30

(0 0 6 5)

【表 1 2】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第41層 | L1 | 1.38 | 126.7 |
| 第40層 | H2 | 2.3 | 245.7 |
| 第39層 | M3 | 1.63 | 244.7 |
| 第38層 | H2 | 2.3 | 299.7 |
| 第37層 | M3 | 1.63 | 303.7 |
| 第36層 | H2 | 2.3 | 314.5 |
| 第35層 | M3 | 1.63 | 275.0 |
| 第34層 | H2 | 2.3 | 297.6 |
| 第33層 | M3 | 1.63 | 308.3 |
| 第32層 | H2 | 2.3 | 289.3 |
| 第31層 | M3 | 1.63 | 293.7 |
| 第30層 | H2 | 2.3 | 333.2 |
| 第29層 | M3 | 1.63 | 32.9 |
| 第28層 | H2 | 2.3 | 359.3 |
| 第27層 | M3 | 1.63 | 263.1 |
| 第26層 | H2 | 2.3 | 246.3 |
| 第25層 | M3 | 1.63 | 242.3 |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 266.6 |
| 第23層 | M3 | 1.63 | 299.1 |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 295.5 |
| 第21層 | M3 | 1.63 | 305.0 |

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第20層 | H2 | 2.3 | 295.9 |
| 第19層 | M3 | 1.63 | 299.9 |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 293.5 |
| 第17層 | M3 | 1.63 | 264.8 |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 216.3 |
| 第15層 | M3 | 1.63 | 223.3 |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 204.9 |
| 第13層 | M3 | 1.63 | 228.2 |
| 第12層 | H2 | 2.3 | 192.6 |
| 第11層 | M3 | 1.63 | 238.2 |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 522.5 |
| 第9層 | M3 | 1.63 | 257.9 |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 541.9 |
| 第7層 | M3 | 1.63 | 264.3 |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 542.7 |
| 第5層 | M3 | 1.63 | 260.4 |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 539.8 |
| 第3層 | M3 | 1.63 | 258.9 |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 23.2 |
| 第1層 | M3 | 1.63 | 15.0 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

【0 0 6 6】

10

20

30

40

50

【表 1 3】

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第41層 | L1 | 1.38 | 128.2 |
| 第40層 | H2 | 2.3 | 247.2 |
| 第39層 | M3 | 1.63 | 263.7 |
| 第38層 | H2 | 2.3 | 273.9 |
| 第37層 | M3 | 1.63 | 284.4 |
| 第36層 | H2 | 2.3 | 295.4 |
| 第35層 | M3 | 1.63 | 299.4 |
| 第34層 | H2 | 2.3 | 255.2 |
| 第33層 | M3 | 1.63 | 185.8 |
| 第32層 | H2 | 2.3 | 224.5 |
| 第31層 | M3 | 1.63 | 256.2 |
| 第30層 | H2 | 2.3 | 297.9 |
| 第29層 | M3 | 1.63 | 341.7 |
| 第28層 | H2 | 2.3 | 307.7 |
| 第27層 | M3 | 1.63 | 274.3 |
| 第26層 | H2 | 2.3 | 250.6 |
| 第25層 | M3 | 1.63 | 231.1 |
| 第24層 | H2 | 2.3 | 220.4 |
| 第23層 | M3 | 1.63 | 267.0 |
| 第22層 | H2 | 2.3 | 371.2 |
| 第21層 | M3 | 1.63 | 388.5 |

| | 材料 | 屈折率 | 光学膜厚(nm) |
|------|----|------|----------|
| 第20層 | H2 | 2.3 | 312.9 |
| 第19層 | M3 | 1.63 | 273.4 |
| 第18層 | H2 | 2.3 | 260.8 |
| 第17層 | M3 | 1.63 | 257.3 |
| 第16層 | H2 | 2.3 | 255.5 |
| 第15層 | M3 | 1.63 | 264.9 |
| 第14層 | H2 | 2.3 | 355.6 |
| 第13層 | M3 | 1.63 | 300.0 |
| 第12層 | H2 | 2.3 | 400.0 |
| 第11層 | M3 | 1.63 | 238.2 |
| 第10層 | H2 | 2.3 | 522.5 |
| 第9層 | M3 | 1.63 | 257.9 |
| 第8層 | H2 | 2.3 | 541.9 |
| 第7層 | M3 | 1.63 | 264.3 |
| 第6層 | H2 | 2.3 | 542.7 |
| 第5層 | M3 | 1.63 | 260.4 |
| 第4層 | H2 | 2.3 | 539.8 |
| 第3層 | M3 | 1.63 | 258.9 |
| 第2層 | H2 | 2.3 | 400.0 |
| 第1層 | M3 | 1.63 | 15.3 |
| 基板 | S1 | 1.52 | |

【0067】

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】

【0068】

1 , 3 , 7 光学多層膜(多層膜)
1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 光学素子

10

20

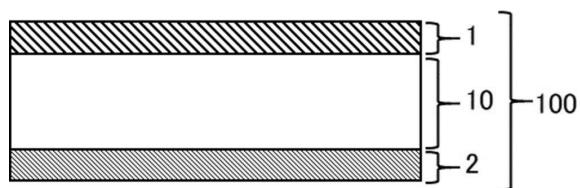
30

40

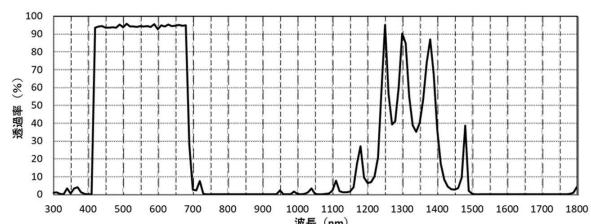
50

【図面】

【図 1】

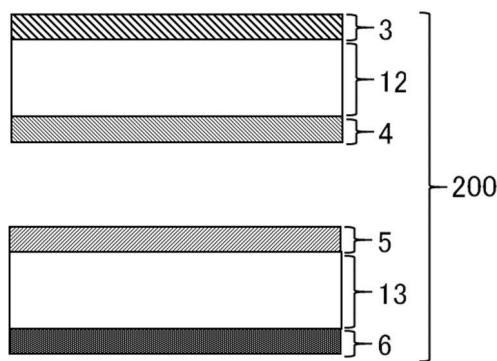


【図 2】

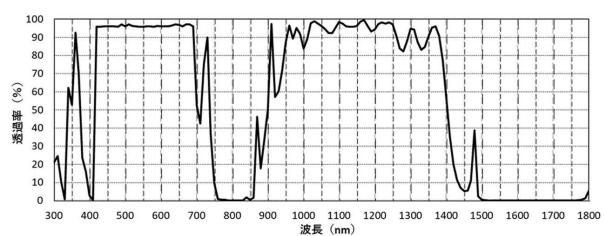


【図 3】

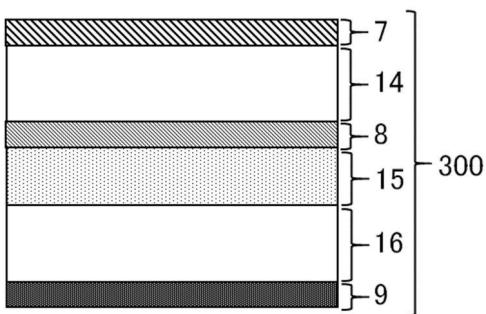
(a)



【図 4】



(b)

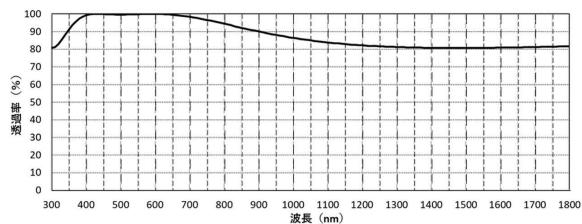


10

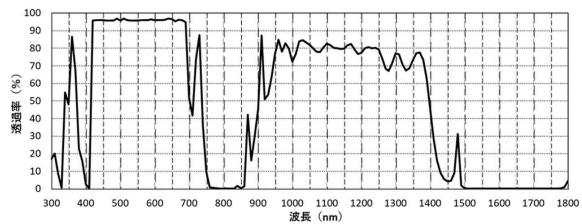
20

30

【図 5】



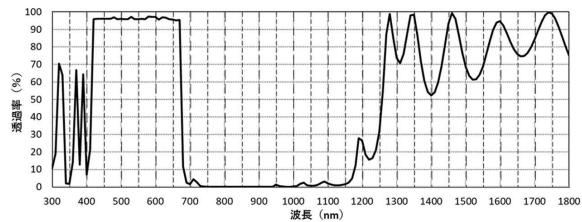
【図 6】



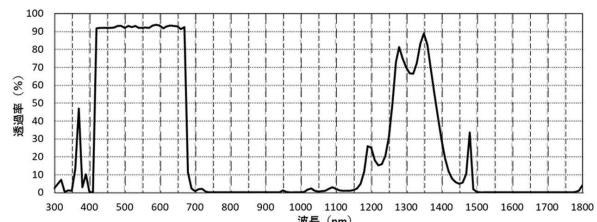
40

50

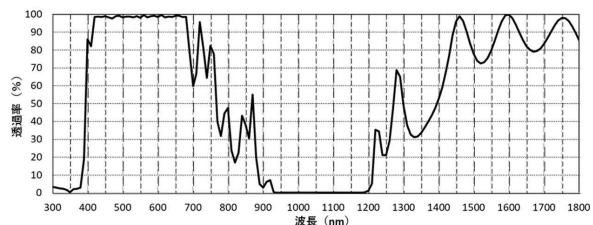
【図 7】



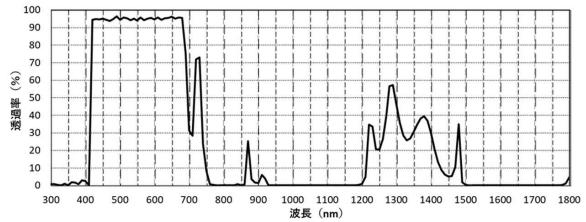
【図 8】



【図 9】

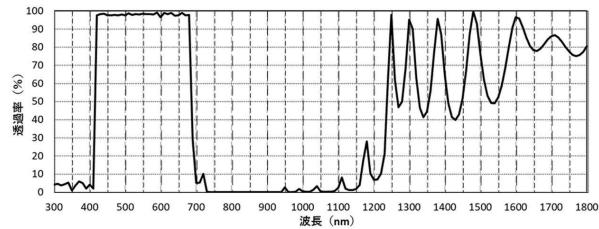


【図 10】

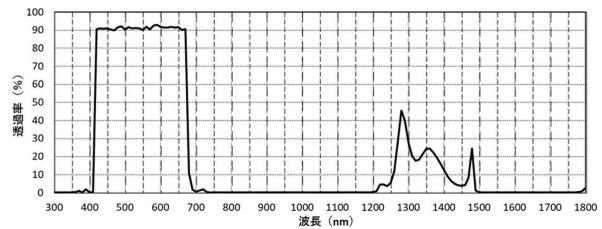


10

【図 11】

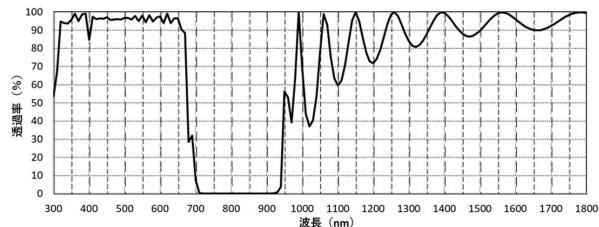


【図 12】

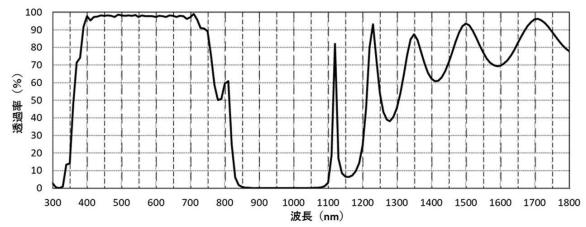


20

【図 13】



【図 14】

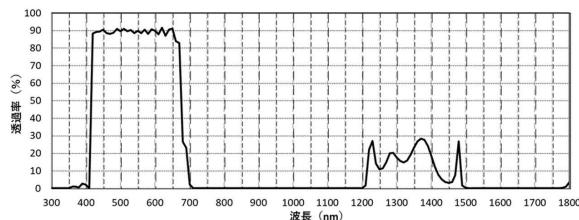


30

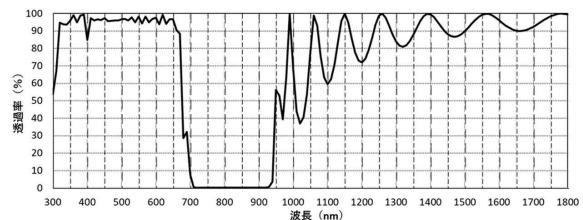
40

50

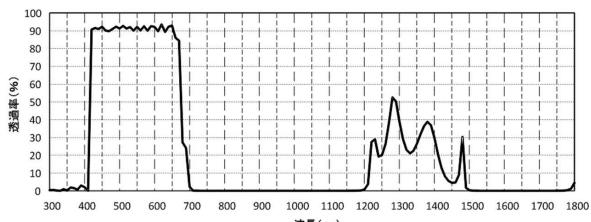
【図 15】



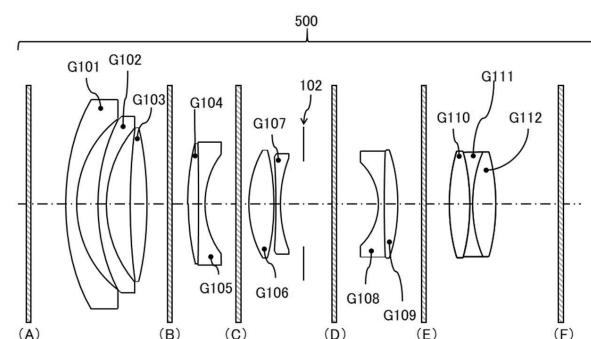
【図 16】



【図 17】



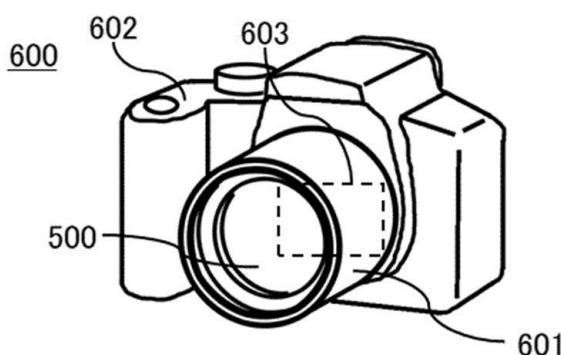
【図 18】



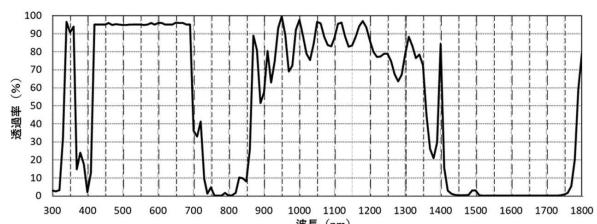
10

20

【図 19】



【図 20】

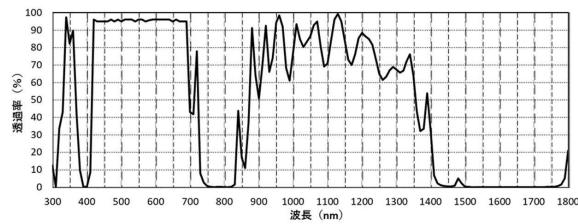


30

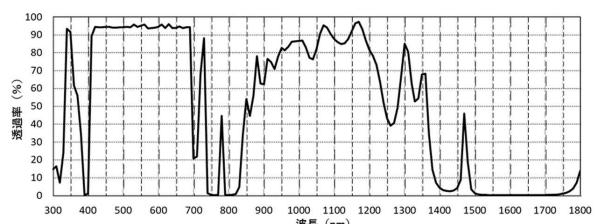
40

50

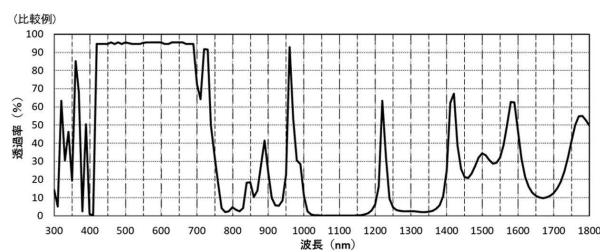
【図 2 1】



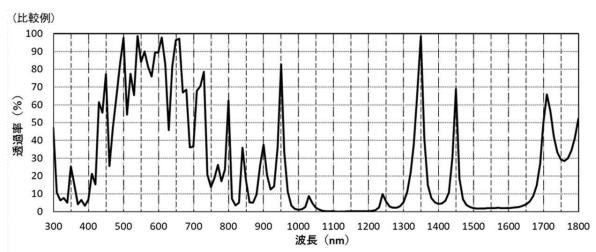
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2000-329933(JP, A)
 特開平08-005833(JP, A)
 特開2013-200519(JP, A)
 特開2008-064976(JP, A)
 国際公開第2013/183557(WO, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 G02B 5/28-30
 H01L 27/146