

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第6991706号
(P6991706)

(45)発行日 令和4年2月3日(2022.2.3)

(24)登録日 令和3年12月10日(2021.12.10)

(51)国際特許分類

G 0 2 B	5/22 (2006.01)	G 0 2 B	5/22
G 0 2 B	5/00 (2006.01)	G 0 2 B	5/00
G 0 2 B	1/11 (2015.01)	G 0 2 B	1/11

F I

Z

請求項の数 11 (全29頁)

(21)出願番号 特願2016-233243(P2016-233243)
 (22)出願日 平成28年11月30日(2016.11.30)
 (65)公開番号 特開2018-91918(P2018-91918A)
 (43)公開日 平成30年6月14日(2018.6.14)
 審査請求日 令和1年11月29日(2019.11.29)

(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 100126240
 弁理士 阿部 琢磨
 100124442
 弁理士 黒岩 創吾
 (72)発明者 古賀 悠修
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ
 ャノン株式会社内
 審査官 横川 美穂

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

(57)【特許請求の範囲】**【請求項1】**

基板と、前記基板に設けられた反射防止膜と、前記基板と前記反射防止膜の間に設けられ入射光の一部を吸収する吸収層と、前記基板と前記吸収層との間に配置された中間膜を有する光学素子であって、

前記中間膜は、波長550nmにおける屈折率が、前記吸収層の屈折率と前記基板の屈折率の間の値である層を有し、

波長における前記吸収層の消衰係数をk()、波長400nmの光の波長を400、波長550nmの光の波長を550、波長700nmの光の波長を700としたとき、

$$0.01 \leq k(550) \leq 0.15 \\ k(400) / 400 < k(700) / 700$$

なる条件式を満たすことを特徴とする光学素子。

【請求項2】

基板と、前記基板に設けられた反射防止膜と、前記基板と前記反射防止膜の間に設けられ入射光の一部を吸収する吸収層と、前記基板と前記吸収層との間に配置された中間膜を有する光学素子であって、

前記中間膜は、波長550nmにおける屈折率が、前記吸収層の屈折率と前記基板の屈折率の間の値である層を有し、

前記吸収層は、チタン原子に対する酸素原子の比が2より小さく3/2以上であるチタン

酸化物を含んでおり、

波長における前記吸収層の消衰係数を $k()$ 、波長 550 nm の光の波長を 550 とし、波長 400 nm から 700 nm において最小二乗法により に対して $k()$ を線形近似した際の係数を a としたとき、

$$1.5 \cdot a \cdot 550 / k(550) = 10$$

なる条件式を満たすことを特徴とする光学素子。

【請求項 3】

前記吸収層の厚さは、 8 nm 以上であることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光学素子。

【請求項 4】

前記光学素子に、前記反射防止膜側から前記基板に向かって光を入射させた際の波長 450 nm から 650 nm の各波長に対する反射率は 1% 以下であ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】

前記光学素子に、前記基板側から前記反射防止膜に向かって光を入射させた際の波長 450 nm から 650 nm の各波長に対する反射率は 1% 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の光学素子。

【請求項 6】

波長 400 nm の光に対する前記吸収層の吸収率を A_{400} としたとき、

$$0 < A_{400} < 0.1$$

なる条件式を満たす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】

前記光学素子の ISO 色特性指数 (ISO/CCI) の B 値を CCIe, B、G 値を CCIe, G、R 値を CCIe, R とし、前記基板のみの ISO 色特性指数 (ISO/CCI) の B 値を CCIsub, B、G 値を CCIsub, G、R 値を CCIsub, R としたとき、

$$-4.6 < (CCIe, G - CCIsub, G) - (CCIe, B - CCIsub, B) < 0$$

$$-4 < (CCIe, R - CCIsub, R) - [(CCIe, G - CCIsub, G) + (CCIe, B - CCIsub, B)] \times \cos 60^\circ < 0$$

なる条件式を満たす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】

前記反射防止膜は、波長 550 nm における屈折率が、前記吸収層の屈折率よりも小さく 1 より大きな層を有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】

複数の光学素子を有し、前記複数の光学素子のうち少なくとも 1 つは請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の光学素子であることを特徴とする光学系。

【請求項 10】

複数の光学素子のうち少なくとも 1 つはアッベ数が 30 以下であるレンズであることを特徴とする請求項 9 に記載の光学系。

【請求項 11】

前記光学系に用いられているガラスによる光の吸収のみを考慮した際の前記光学系の ISO 色特性指数の G 値を CCIo, G、R 値を CCIo, R としたとき、

$$5 < CCIo, G < 20$$

$$4 < CCIo, R < 20$$

なる条件式を満たすことを特徴とする請求項 9 または 10 に記載の光学系。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

20

30

40

50

本発明は、デジタルカメラ等の光学系に用いられる光学素子に関する。

【背景技術】

【0002】

光学系において、レンズ等の光学素子が特定の波長の光を吸収することにより、光学系を透過した光が色づいてしまう場合がある。特に、高分散ガラスを使用した光学系においては透過光が黄色に色づくことが知られている。

【0003】

色づきを生じる波長帯域の光の透過率を低減させる光学素子を光学系に設けることで、透過光の色づきを補正することができる。特許文献1には、光学系において透過光が黄色に色づくことを補正するために、長波長側の反射率を短波長側の反射率よりも大きくした光学素子が記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2005-62525号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1の光学素子は長波長側の反射率を大きくすることで透過光の色づきを補正しているため、光学系に使用するとフレアやゴーストを生じるおそれがある。

20

【0006】

本発明の目的は、光学系の色づきを補正することができ、反射率の低い光学素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の光学素子は、基板と、前記基板に設けられた反射防止膜と、前記基板と前記反射防止膜の間に設けられ入射光の一部を吸収する吸収層と、を有する光学素子であって、波長における前記吸収層の消衰係数を $k(\lambda)$ 、波長 400 nm の光の波長を 400 、波長 550 nm の光の波長を 550 、波長 700 nm の光の波長を 700 としたとき、

$$k(400)/400 < k(700)/700$$

$$0.01 < k(550) < 0.15$$

30

なる条件式を満たすことを特徴とする。

【0008】

また、本発明の他の光学素子は、基板と、前記基板に設けられた反射防止膜と、前記基板と前記反射防止膜の間に設けられ入射光の一部を吸収する吸収層と、を有する光学素子であって、前記吸収層は、チタン原子に対する酸素原子の比が 2 より小さく $3/2$ 以上であるチタン酸化物を含んでおり、波長における前記吸収層の消衰係数を $k(\lambda)$ 、波長 550 nm の光の波長を 550 とし、波長 400 nm から 700 nm において最小二乗法によりに対して $k(\lambda)$ を線形近似した際の a の係数を a としたとき、

$$1.5 \cdot a \cdot 550 / k(550) = 10$$

40

なる条件式を満たすことを特徴とする。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、光学系における透過光の色づきを補正することができ、反射率の低い光学素子を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】参考例の光学素子の概略図である。

【図2】チタン酸化物の消衰係数の波長特性を示す図である。

【図3】図2に示すチタン酸化物とは異なるチタン酸化物の消衰係数および屈折率の波長

50

特性を示す図である。

【図4】本発明の光学素子の吸収層として用いることのできる消衰係数および屈折率の波長特性を例示する図である。

【図5】参考例の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図6】実施例1の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図7】実施例2の光学素子の概略図である。

【図8】実施例2の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

10

【図9】実施例3の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図10】実施例4の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図11】実施例5の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図12】実施例6の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図13】実施例7の光学素子の概略図である。

【図14】実施例7の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

20

【図15】実施例8の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図16】実施例9の光学素子における反射率の波長特性、透過率の波長特性、ISO色特性指数を示す図である。

【図17】光学系の断面図である。

【図18】図17に示した光学系において、各レンズによる光の吸収のみを考慮した場合の透過率の波長特性である。

【図19】図17に示した光学系のISO色特性指数である。

【発明を実施するための形態】

30

【0011】

以下、本発明の実施例について説明する。

【0012】

[参考例]

図1に参考例の光学素子10の概略図を示す。光学素子10は基板11と、基板11に設けられた反射防止膜13を有する。また、基板11と反射防止膜13の間には吸収層12が設けられている。

【0013】

基板11は平行平板であっても良いし、レンズなどのように曲率を有するものであっても良い。反射防止膜13は1層以上で構成される。参考例において反射防止膜13は3層で構成されている。吸収層12は光を吸収する材料を含んでおり、光学素子10に入射した光の一部は吸収層12で吸収される。

40

【0014】

光学系に使用されるガラス材料は可視光をわずかに吸収する。ガラス材料における光の吸収には、ガラス材料の分散が大きくなるほど短波長側の光の吸収が大きくなる傾向がある。このため、高分散ガラスを用いた光学系では透過光が黄色く色づいてしまう。光学素子10は、このような光学系における透過光の色づきを補正するため、短波長側よりも長波長側の光を多く吸収するような特性を有する吸収層12を備えている。具体的には、吸収層12の波長における消衰係数をk()、波長400nm、波長550nm、波長700nmの光の波長を400、550、700としたとき、光学素子10は以下の

50

条件式(1)、(2)を共に満たす。

$$\begin{aligned} k(400) / 400 &< k(700) / 700 \quad (1) \\ 0.01 \quad k(550) & 0.15 \quad (2) \end{aligned}$$

【0015】

まず式(1)について説明する。

【0016】

波長 λ 、強度 $I_0(\lambda)$ の光が光学素子10に入射した場合に、光学素子10を透過した透過光の強度 $I(\lambda)$ は、吸収層12の消衰係数を $k(\lambda)$ 、厚さを t としたとき以下の式(3)で与えられる。

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot e^{-k(\lambda)t} \quad (3)$$

【0017】

式(3)は吸収層12による吸収のみを考慮しており、光学素子10における各界面での反射および基板11における光の吸収は無視している。

【0018】

式(3)より、吸収のみを考慮した場合の透過率の波長特性(波長に対する変化)は、 $k(\lambda)/t$ に依る。換言すると、吸収層12における吸収量の波長特性は $k(\lambda)/t$ の波長特性によって定まる。このため、式(1)は吸収層12における波長700nmの光の吸収量が、波長400nmの光の吸収量よりも大きいことを表わしている。すなわち、吸収層12が式(1)を満たすことで、吸収層12における長波長側の光の吸収量を短波長側の光の吸収量よりも大きくすることができます。

【0019】

次に、式(2)について説明する。

【0020】

一般に、ある界面における光の反射率は、該界面を形成している2つの媒質の間の屈折率差および消衰係数差によって決まる。例えば、光学素子10において、吸収層12と基板11の界面における波長550nmの光の反射率Rは、吸収層12の波長550nmにおける屈折率を n_{abs} 、基板11の波長550nmにおける屈折率を n_{sub} としたとき以下の式(4)で与えられる。なお、基板11の消衰係数は吸収層12の消衰係数に比べて極めて小さいため、式(4)において基板11の消衰係数は0としている。

$$R = ((n_{sub} - n_{abs})^2 + (k(550))^2) / ((n_{sub} + n_{abs})^2 + (k(550))^2) \quad (4)$$

【0021】

式(4)より、Rは $k(550)$ が大きいほど大きくなる。これは、吸収層12と反射防止膜13の界面においても同様である。このため、光学素子10の反射率を低減するためには、適切な大きさの消衰係数を有する材料を用いて吸収層12を形成することが必要である。

【0022】

式(2)の上限値を上回る場合、反射率が大きくなりすぎる。さらに式(3)より、所望の吸収量を得るために必要な吸収層12の厚さは、吸収層12の消衰係数が大きくなるほど薄くなる。このため、式(2)の上限値を上回るほどに吸収層12の消衰係数が大きくなる場合、吸収層12の厚さが薄くなりすぎてしまい、光学素子10を製造することが困難となってしまう。

【0023】

一方、式(2)の下限値を下回る場合、反射率を低減することはできるが、吸収層12の厚さが厚くなりすぎてしまう。吸収層12の厚さが厚すぎると、蒸着などを用いて吸収層12を成膜する場合に成膜時間が長くなりすぎてしまう。また、吸収層12の膜応力に起因したクラックや膜剥がれが生じたりする。結果として、光学素子10を製造することが困難となってしまう。

【0024】

式(2)は、以下の式(2a)の範囲とすることが好ましく、式(2b)の範囲とするこ

10

20

30

40

50

とがより好ましい。

0 . 0 1 k (5 5 0) 0 . 1 0 (2 a)

0 . 0 1 k (5 5 0) 0 . 0 5 (2 b)

【 0 0 2 5 】

なお、参考例では式(1)、(2)を満たす吸収層を1層のみ有する場合について説明したが、後述する実施例7乃至9の光学素子のように吸収層を複数有していても良い。この場合、全ての吸収層が式(1)、(2)を共に満たしていれば良い。なお、吸収層を複数有する場合、複数の吸収層のうちで基板から最も遠い位置に配置されている吸収層よりも基板から遠い位置に積層された膜が反射防止膜に相当する。

【 0 0 2 6 】

吸収層12を形成する材料としてはチタン酸化物がある。チタン酸化物には、チタン原子と酸素原子の比率により TiO 、 Ti_2O_3 、 Ti_3O_5 、 Ti_4O_7 、 TiO_2 等がある。 TiO_2 は無色透明であるが、チタン原子に対する酸素原子の比を TiO_2 よりも減らした TiO 、 Ti_2O_3 、 Ti_3O_5 、 Ti_4O_7 等は可視光を吸収する。これらのチタン酸化物における光の吸収は長波長側においてより大きくなる傾向がある。

10

【 0 0 2 7 】

チタン酸化物を用いて吸収層12を形成する場合、チタン原子に対する酸素原子の2より小さく3/2以上である範囲のチタン酸化物を用いて吸収層12を形成すると良い。この範囲のチタン酸化物は、酸素原子の比率によって消衰係数の大きさは異なるが、上述した式(1)、(2)を共に満たす。

20

【 0 0 2 8 】

図2(a)に、 Ti_3O_5 を主成分とする蒸着材料OS-50(OS-50はキヤノンオプトロン株式会社の商品名)を蒸着することにより成膜したチタン酸化物の屈折率および消衰係数の波長特性を示す。また、図2(b)に、図2(a)に示したチタン酸化物における $k(\lambda)/\lambda$ の波長特性を示す。図2(a)、(b)の各図に示すチタン酸化物は、上述した式(1)、(2)を共に満たしていることがわかる。

20

【 0 0 2 9 】

また、蒸着時の酸素ガスの導入量を、図2(a)、(b)に示したチタン酸化物を蒸着した際よりも少なくして得たチタン酸化物における屈折率および消衰係数の波長特性を図3(a)に、 $k(\lambda)/\lambda$ の波長特性を図3(b)に示す。図3に示すチタン酸化物は式(1)、(2)を共に満たしているが、図2に示すチタン酸化物とは $k(\lambda)$ の大きさや波長特性が異なっている。このように、チタン酸化物を蒸着する際に、酸素ガス導入量を調整することで消衰係数の大きさや波長特性を調整することができる。なお、消衰係数の調整は、蒸着時の基板加熱温度によっても調整が可能である。

30

【 0 0 3 0 】

なお、吸収層12は上述した式(1)、(2)を共に満たしていればよく、吸収層12を構成する材料はチタン酸化物に限定されない。吸収層12の消衰係数の波長特性は図4(a)~(d)の各図に示すような特性であっても良い。図4(a)~(d)の各図は、式(1)、(2)を共に満たす仮想的な材料の消衰係数の波長特性を示している。図4(a)は、消衰係数が波長の変化に対して略線形に変化する場合について示している。図4(b)、(c)の各図は、長波長側での消衰係数は比較的大きいが、短波長側では消衰係数が非常に小さくなっている場合について示している。

40

【 0 0 3 1 】

また、吸収層12は以下の式(5)を満たすことが好ましい。

1 . 5 a · 5 5 0 / k (5 5 0) 1 0 (5)

【 0 0 3 2 】

式(5)におけるaは、波長400nmから700nmにおいて $k(\lambda)$ を波長 λ に対して最小二乗法により線形近似した際の $k(\lambda)$ の係数である。すなわち、aは波長400nmから700nmにおける $k(\lambda)$ の近似直線の傾きである。

【 0 0 3 3 】

50

式(5)は、長波長側の光を十分に吸収しつつ透過率の減少を抑えるために必要な吸収層12の消衰係数の波長特性を規定したものである。式(5)について、吸収層12が図2(a)に示すチタン酸化物で形成されている場合を例にして説明する。

【0034】

式(3)より、 $k(\lambda)/\lambda$ が波長に依らず一定となる場合、吸収層12による吸収量は波長に依らず一定となる。短波長側よりも長波長側の光を多く吸収するためには、吸収層12において短波長側の $k(\lambda)/\lambda$ に比べて長波長側の $k(\lambda)/\lambda$ が大きくなっている必要がある。

【0035】

図2(a)に一点鎖線で示した直線は、吸収量が波長に依らず一定であり、波長550nmにおける消衰係数が図2(a)に示したチタン酸化物と等しい仮想的な材料(以下、無着色材料と称する)の消衰係数の波長特性である。このとき、図2(a)に一点鎖線で示した直線は座標($k(550), 550$)と(0, 0)を通るため、一点鎖線で示した直線は $f(\lambda) = k(550) \times \lambda / 550$ と表わされる。ここで、 $f(\lambda)$ は無着色材料の消衰係数の波長特性を表わしている。

10

【0036】

短波長側の $k(\lambda)/\lambda$ に比べて長波長側の $k(\lambda)/\lambda$ を大きくするには、図2(a)のチタン酸化物のように、短波長側において消衰係数が $f(\lambda)$ よりも小さく、長波長側において消衰係数が $f(\lambda)$ よりも大きくなっている必要がある。このため、吸収層12の消衰係数 $k(\lambda)$ を波長に対して線形近似したときの傾き a が、無着色材料の消衰係数の波長に対する傾きである $k(550)/550$ よりも大きくなれば良い。

20

【0037】

ただし、式(5)の下限値を下回るほどに $k(550)/550$ に対する a の値が小さくなると、短波長側の光と長波長側の光の吸収量の差が小さくなりすぎてしまう。このとき、長波長側の光を十分に吸収させようとすると短波長側の光の吸収量も高くなってしまい、光学素子10の波長400nmから700nmにおける透過率が低くなってしまう。

【0038】

一方、式(5)の上限値を上回る程に式(5)の下限値を下回るほどに $k(550)/550$ に対する a の値が大きくなると、長波長側の消衰係数が大きくなりすぎるため、長波長側における反射率が増大してしまう。

30

【0039】

なお、式(5)は以下の式(5a)の範囲とすることが好ましく、式(5b)の範囲とすることがより好ましい。

$$2.0 \leq a \cdot 550 / k(550) \leq 9.0 \quad (5a)$$

$$2.5 \leq a \cdot 550 / k(550) \leq 6.0 \quad (5b)$$

【0040】

なお、後述する実施例7乃至9のように、複数の吸収層を有する場合、光学素子における全ての吸収層が式(5)を満たすことが好ましい。

【0041】

また、吸収層12を成膜する際に厚さの制御を容易にするためには、吸収層12の厚さは8nm以上であることが好ましく、10nm以上であることがより好ましい。

40

【0042】

さらに、光学素子10を光学系に用いる場合、光学素子10で反射した光が像面に到達してフレアやゴーストを生じてしまう場合がある。このため、反射防止膜13側から基板11に向かって光を垂直に入射させた際の光学素子10の反射率は、波長450nmから650nmの各波長に対して1%以下であることが好ましく、0.7%以下であることがより好ましい。

【0043】

また、基板11側から反射防止膜13に向かって光を垂直入射させた際の光学素子10の反射率は、波長450nmから650nmの各波長に対して1%以下であることが好まし

50

く、0.7%以下であることがより好ましい。

【0044】

このように、可視光の中でも一般的な撮像素子や人間の目における感度が大きい波長帯域の光に対する反射率を低減することで、光学素子10を光学系に用いる場合にフレアやゴーストを十分に低減することができる。

【0045】

上述のように、光学素子10は短波長側の光よりも長波長側の光を多く吸収するような吸収層12を有している。ここで、吸収層12における短波長側の吸収率が大きすぎると、可視光に対する光学素子10の透過率が低くなりすぎてしまう。

【0046】

したがって、吸収層12における短波長側の吸収率は大きくなりすぎないことが好ましい。具体的には、波長400nmの光に対する吸収層12の吸収率をA400としたとき、以下の式(6)を満たすことが好ましい。なお、吸収層12における波長の光の吸収率A()は、式(3)におけるI()とI₀()を用いて、以下の式(7)で定義される値である。

$$0 \quad A_{400} \quad 0.1 \quad (6) \\ A() = 1 - I() / I_0() \quad (7)$$

【0047】

式(6)を満たすことで、可視光に対する光学素子10の透過率を確保しつつ光学系を透過した光の色づきを補正することができる。

【0048】

式(6)は以下の式(6a)の範囲とすることが好ましく、式(6b)の範囲とすることがより好ましい。

$$0 \quad A_{400} \quad 0.07 \quad (6a) \\ 0 \quad A_{400} \quad 0.05 \quad (6b)$$

【0049】

なお、後述する実施例7乃至9のように光学素子が複数の吸収層を有する場合、A400は光学素子における全ての吸収層による光の吸収を総合した吸収率を言う。

【0050】

さらに、光学素子10のISO色特性指数(ISO/CCI。以下、CCIと称する。)のB値をCCI_e、B、G値をCCI_e、G、R値をCCI_e、Rとする。また、光学素子10の基板11のみのCCIのB値をCCI_{sub}、B、G値をCCI_{sub}、G、R値をCCI_{sub}、Rとする。このとき、以下の式(8)および(9)を満たすことが好ましい。

$$-4.6 < (CCI_e, G - CCI_{sub}, G) - (CCI_e, B - CCI_{sub}, B) \\ < 0 \\ (8) \\ -4 < (CCI_e, R - CCI_{sub}, R) - [(CCI_e, G - CCI_{sub}, G) + \\ (CCI_e, B - CCI_{sub}, B)] \times \cos 60^\circ < 0 \quad (9)$$

【0051】

CCIは以下のように求めることができる。すなわち、CCIを求める光学部材の光軸上での分光透過率と、ISO6728で定められる相対分光感度を用いて、赤のレスポンス値R_R、青のレスポンス値R_B、緑のレスポンス値R_Gを算出する。その後、得られた各レスポンス値の常用対数log₁₀R_R、log₁₀R_G、log₁₀R_Bを求める。log₁₀R_R、log₁₀R_G、log₁₀R_Bの各値のうちで最小のものをlog₁₀R_iとしたとき、CCIのR値はlog₁₀R_R - log₁₀R_iで与えられる。また、CCIのG値はlog₁₀R_G - log₁₀R_iで与えられる。また、CCIのB値はlog₁₀R_B - log₁₀R_iで与えられる。

【0052】

CCI_{sub}、G、CCI_{sub}、B、CCI_{sub}、Rは、基板11と同じ材質および

10

20

30

40

50

形状の部材を別途用意し、該部材の CCI を計算することで得ることができる。なお、 $CCI_e, B, CCI_{sub}, G, CCI_{sub}, R$ のうちで最小のものの値は 0 である。同様に、 CCI_{sub}, B, G 値を CCI_{sub}, G, R 値を CCI_{sub}, R のうちで最小のものの値は 0 である。

【0053】

光学素子 10 の CCI と、光学素子 10 の基板 11 のみの CCI の差分をとることで、光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色を CCI によっておおよそ評価することができる。ここで、光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色とは、光学素子 10 における反射率の波長特性および吸収層 12 による吸収の波長特性による着色である。

10

【0054】

通常、CCI は 3 線座標系にプロットされる。光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色を CCI で表わした値を直交座標系に変換したときの縦軸の値は、 $[(CCI_e, G - CCI_{sub}, G) (CCI_e, B - CCI_{sub}, B)] \times \cos 30^\circ$ となる。このため、式(8)は、光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色を CCI で表わし、得られた CCI 値を直交座標系に変換したときの縦軸の値に比例する値を表わしている。したがって、式(8)は光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色を CCI で表わし、得られた CCI 値を直交座標系に変換したときの縦軸の値の範囲を規定するものである。

【0055】

また、式(9)は、光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色を CCI で表わし、得られた CCI 値を直交座標系に変換したときの横軸の値の範囲を規定するものである。

20

【0056】

式(8)、(9)が共に 0 より小さいことは、光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色を CCI で表わした値が直交座標系において第 3 象限に位置することを表わしている。これは、光学素子 10 における基板 11 の吸収に依らない着色がシアン乃至ブルーであることを意味している。これによって、黄色に色づいた光の色味を補正することができる。

【0057】

一方、式(8)または(9)の上限値を上回ることは、吸収層 12 の吸収率が長波長側で大きくなりすぎていることに相当する。この場合、吸収層 12 の長波長側での消衰係数が短波長側での消衰係数に比べて大きくなりすぎ、反射率を十分に低減することが困難となる。

30

【0058】

なお、式(8)は以下の式(8a)の範囲とすることが好ましい。また、(9)は以下の式(9a)の範囲とすることが好ましい。

$$-4.0 < (CCI_e, G - CCI_{sub}, G) (CCI_e, B - CCI_{sub}, B) < -0.1 \quad (8a)$$

$$-3.5 < (CCI_e, R - CCI_{sub}, R) [(CCI_e, G - CCI_{sub}, G) + (CCI_e, B - CCI_{sub}, B)] \times \cos 60^\circ < -0.1 \quad (9a)$$

40

【0059】

次に、反射防止膜 13 について好ましい条件について説明する。

【0060】

光学素子 10 における反射率を広い波長帯域にわたって十分に低減するためには、反射防止膜 13 は 2 層以上で構成されていることが好ましい。

【0061】

また、反射防止膜 13 は、波長 550 nm における屈折率が吸収層 12 よりも小さく、1 よりも大きな層を有することが好ましい。これにより、反射防止膜 13 側から基板 11 に向かって光が入射したときの反射率を低減することができる。

50

【 0 0 6 2 】

なお、前述のように、光学素子が吸収層を複数有する場合、複数の吸収層のうちで基板から最も遠い位置に配置されている吸収層よりも基板から遠い位置に配置された膜が反射防止膜に相当する。この場合、反射防止膜は、波長 550 nm における屈折率が、複数の吸収層のうち最も基板から遠い位置に配置されている吸収層の屈折率より小さく 1 より小さな層を有することが好ましい。

【 0 0 6 3 】

また、参考例の光学素子 10 は入射光の一部を吸収する吸収層 12 を有するため、反射防止膜 13 から基板 11 に向かって光が入射したときの反射率と基板 11 から反射防止膜 13 に向かって光が入射したときの反射率は異なる。このため、吸収層 12 を基板 11 に接する位置に設ける場合、基板 11 から反射防止膜 13 に向かって光が入射したときの反射率を低減するためには、波長 550 nm における基板の屈折率を N_{sub} としたとき、以下の条件式(10)を満たすことが好ましい。

$$|N_{sub} - N_{abs}| < 0.3 \quad (10)$$

【 0 0 6 4 】

式(10)は基板 11 の屈折率と吸収層 12 の屈折率の差が小さいことを表わしている。式(10)を満たすことにより、基板 11 と吸収層 12 の界面における屈折率の差を小さくすることができ、基板 11 から反射防止膜 13 に向かって光が入射したときの反射率を小さくすることができる。

【 0 0 6 5 】

なお、式(10)は以下の式(10a)の範囲とすることが好ましい。

$$|N_{sub} - N_{abs}| < 0.2 \quad (10a)$$

【 0 0 6 6 】

なお、後述する実施例 7 乃至 9の光学素子のように、複数の吸収層を有する場合、式(10)においては、基板に隣接する吸収層の屈折率を N_{abs} とすれば良い。

【 0 0 6 7 】

さらに、基板 11 から反射防止膜 13 に向かって光が入射したときの反射率を低減するため、基板 11 と吸収層 12 の間に 1 層以上の層を有する中間膜（中間反射防止膜）を設けても良い。このとき、中間膜は波長 550 nm における屈折率が、吸収層 12 の屈折率と基板 11 の屈折率の間の値である層を有することが好ましい。これによって、基板側から反射防止膜に向かって光が入射したときの反射率を低減することができる。

【 0 0 6 8 】

なお、後述する吸収層を複数有する場合、複数の吸収層のうちで基板に最も近い位置に配置されている吸収層よりも基板に近い位置に積層された膜が中間膜に相当する。この場合中間膜は、波長 550 nm において屈折率が、複数の吸収層のうち最も基板に近い位置に配置されている吸収層の屈折率と基板の屈折率の間の値である層を有することが好ましい。

【 0 0 6 9 】

次に、参考例の光学素子 10 の特性について述べる。

【 0 0 7 0 】

参考例の光学素子 10 における各層の詳細を表 1 に示す。表 1 において、 n は波長 550 nm における屈折率、 k は波長 550 nm における消衰係数、 d は各層の厚さを表わしている。

【 0 0 7 1 】

10

20

30

40

50

【表1】

表1

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
4	1.38941	0.0000	101.3	反射防止膜
3	2.11851	0.0000	39.5	
2	1.63726	0.0000	21.2	
1	2.39576	0.0397	21.8	吸収層
—	2.11573	0.0000	—	基板

10

【0072】

参考例において、吸収層12はチタン酸化物を用いて形成されており、消衰係数の波長特性は図2に示す通りである。参考例の吸収層12の波長550 nmにおける消衰係数k(550)は0.0397である。また、参考例の吸収層12の消衰係数を波長に対して最小二乗法によって線形近似した際の波長に対する傾きをaとしたとき、 $a \cdot 550 / k(550)$ の値は2.579である。すなわち、参考例の吸収層12は式(5)を満たしている。

【0073】

図5(a)に、参考例の光学素子10における反射率を示す。図5(a)において、実線で示した反射率 R_{air} は、反射防止膜側から基板11に向かって光を入射させた時の反射率である。また、点線で示した反射率 R_{sub} は、基板11側から反射防止膜13に向かって光を入射させた時の反射率である。図5(a)に示すように、光学素子10の R_{air} および R_{sub} はいずれも波長450 nmから波長650 nmにおいて1%以下となっている。また、 R_{air} 、 R_{sub} の波長に対する変化は小さくなっている。反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

20

【0074】

図5(b)に、光学素子10における透過率の波長特性を示す。なお、図5(b)に示す透過率の波長特性は、基板11における光の吸収を0とみなしている。光学素子10は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、光学素子10を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400 nmの光に対する吸収層12の吸収率A400は0.0104となっており、参考例の吸収層12は式(6)を満たしている。

30

【0075】

図5(c)は、光学素子10の透過率の波長特性および基板11のみの透過率の波長特性をCCIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。図5(c)の三線座標は、CCI値1ごとにグリッド線を引いている。透過光の色味は、原点を中心としたプロット点の位置する方向によって表わされる。また、色味の強さは原点とプロット点の距離が離れるほど強くなる。

30

【0076】

図5(c)に示す点は、Blue、Cyan方向にプロットされている。すなわち光学素子10に入射した光は、主として吸収層12により、黄色の補色である青味を帯びた色に着色されることを表している。したがって、光学素子10を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを効果的に補正することができる。

40

【0077】

[実施例1]

次に、実施例1の光学素子について説明する。実施例1の光学素子は参考例と同様に、基板と、基板上に設けられた反射防止膜と、基板と反射防止膜の間に設けられた吸収層を有している。本実施例の光学素子では、吸収層の消衰係数の波長特性が参考例の光学素子10と異なる。本実施例における吸収層の消衰係数の波長特性は、図4(c)に示した特性

50

となっている。

【0078】

本実施例の光学素子における各層の詳細を表2に示す。

【0079】

【表2】

表2

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
4	1.38941	0.0000	98.2	
3	2.11851	0.0000	37.4	反射防止膜
2	1.63726	0.0000	17.3	
1	2.27112	0.0200	38.3	吸収層
—	2.11573	0.0000	—	基板

【0080】

本実施例の吸収層の波長550nmにおける消衰係数k(550)は0.0200である。また、本実施例の吸収層12の消衰係数を波長に対して最小二乗法によって線形近似した際の波長に対する傾きをaとしたとき、 $a \cdot 550 / k(550)$ の値は4.718である。すなわち、本実施例の吸収層は式(5)を満たしている。

【0081】

図6(a)に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図6(a)に示すように、本実施例の光学素子のRaирおよびRsubはいずれも波長450nmから波長650nmにおいて1%以下となっている。また、Raир、Rsubの波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

【0082】

図6(b)に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図6(b)に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を0とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400nmの光に対する吸収層の吸収率A400は0である。

【0083】

図6(c)は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性をCCIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

【0084】

【実施例2】

次に、実施例2の光学素子30について説明する。図7に本実施例の光学素子30の概略図を示す。実施例2の光学素子は基板31と、基板上に設けられた反射防止膜33と、基板31と反射防止膜33の間に設けられた吸収層32を有している。本実施例の光学素子は、基板31と吸収層32の間に中間膜34を有する点で参考例および2と異なる。本実施例において中間膜34は2層で構成されている。

【0085】

実施例2の光学素子30における各層の詳細を表3に示す。

【0086】

10

20

30

40

50

【表 3】

表 3

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
5	1.38941	0.0000	96.0	反射防止膜
4	2.11851	0.0000	76.2	
3	2.39576	0.0397	35.0	
2	1.45517	0.0000	22.4	吸収層
1	2.11851	0.0000	26.8	
—	1.60524	0.0000	—	基板

10

【0087】

本実施例の光学素子30において、吸収層32の消衰係数の波長特性は参考例と同様であり、図2に示した通りである。

【0088】

図8(a)に、本実施例の光学素子30における反射率を示す。図8(a)に示すように、本実施例の光学素子30のRaирおよびRsubはいずれも波長450nmから波長650nmにおいて1%以下となっている。また、Raир、Rsubの波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

20

【0089】

図8(b)に、本実施例の光学素子30における透過率の波長特性を示す。なお、図8(b)に示す透過率の波長特性は、基板31における光の吸収を0とみなしている。本実施例の光学素子30は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子30を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400nmの光に対する吸収層32の吸収率A400は0.0165である。

【0090】

図8(c)は、本実施例の光学素子30の透過率の波長特性および本実施例の光学素子30で用いている基板31のみの透過率の波長特性をCCIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

30

【0091】

[実施例3]

次に、実施例3の光学素子について説明する。

【0092】

本実施例の光学素子は実施例2の光学素子30の素子構成と同様である。すなわち、本実施例の光学素子は基板に近い側から順に積層された中間膜と、吸収層と、反射防止膜を有している。本実施例において中間膜は2層で構成されている。

40

【0093】

本実施例の光学素子では、吸収層の消衰係数の波長特性が実施例2の光学素子30と異なる。本実施例における吸収層の消衰係数の波長特性は、図3に示した特性となっている。

【0094】

実施例3の光学素子における各層の詳細を表4に示す。

【0095】

50

【表4】

表4

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
5	1.38941	0.0000	93.2	反射防止膜
4	2.11851	0.0000	112.6	
3	2.27112	0.1312	10.0	
2	1.45517	0.0000	31.3	中間膜
1	2.11851	0.0000	16.6	
—	1.60524	0.0000	—	基板

【0096】

本実施例の吸収層の波長550nmにおける消衰係数k(550)は0.1312である。また、本実施例の吸収層12の消衰係数を波長に対して最小二乗法によって線形近似した際の波長に対する傾きをaとしたとき、 $a \cdot 550 / k(550)$ の値は2.497である。すなわち、本実施例の吸収層は式(5)を満たしている。

【0097】

図9(a)に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図9(a)に示すように、本実施例の光学素子のRaирおよびRsубはいずれも波長450nmから波長650nmにおいて1%以下となっている。また、Raир、Rsубの波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

【0098】

図9(b)に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図9(b)に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を0とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400nmの光に対する吸収層の吸収率A400は0.0162である。

【0099】

図9(c)は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性をCCIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

【0100】

[実施例4]

次に、実施例4の光学素子について説明する。

【0101】

本実施例の光学素子は実施例2および実施例3の素子構成と同様である。すなわち、本実施例の光学素子は基板に近い側から順に積層された中間膜と、吸収層と、反射防止膜を有している。本実施例において中間膜は2層で構成されている。

【0102】

本実施例の光学素子では、吸収層の消衰係数の波長特性が実施例2および実施例3と異なる。本実施例における吸収層の消衰係数の波長特性は、図4(a)に示した特性となっている。

【0103】

実施例4の光学素子における各層の詳細を表5に示す。

【0104】

10

20

30

40

50

【表 5】

表 5

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
5	1.38941	0.0000	86.6	反射防止膜
4	2.11851	0.0000	42.4	
3	2.39576	0.0397	79.2	
2	1.45517	0.0000	19.5	中間膜
1	2.11851	0.0000	25.3	
—	1.60524	0.0000	—	基板

10

【0105】

本実施例の吸収層の波長 550 nm における消衰係数 k (550) は 0.0397 である。また、本実施例の吸収層 12 の消衰係数を波長に対して最小二乗法によって線形近似した際の波長に対する傾きを a としたとき、 $a \cdot 550 / k (550)$ の値は 1.500 である。すなわち、本実施例の吸収層は式 (5) を満たしている。

【0106】

図 10 (a) に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図 10 (a) に示すように、本実施例の光学素子の R_{air} および R_{sub} はいずれも波長 450 nm から波長 650 nm において 1% 以下となっている。また、 R_{air} 、 R_{sub} の波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

20

【0107】

図 10 (b) に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図 10 (b) に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を 0 とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長 400 nm の光に対する吸収層の吸収率 A_{400} は 0 である。

【0108】

30

図 10 (c) は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性を CCI で評価し、式 (7) および (8) の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

【0109】

[実施例 5]

次に、実施例 5 の光学素子について説明する。

【0110】

本実施例の光学素子は実施例 2 乃至 4 の素子構成と同様である。すなわち、本実施例の光学素子は基板に近い側から順に積層された中間膜と、吸収層と、反射防止膜を有している。本実施例において中間膜は 2 層で構成されている。

40

【0111】

本実施例の光学素子では、吸収層の消衰係数の波長特性が実施例 2 乃至 4 と異なる。本実施例における吸収層の消衰係数の波長特性は、図 4 (b) に示した特性となっている。

【0112】

実施例 4 の光学素子における各層の詳細を表 6 に示す。

【0113】

50

【表 6】

表 6

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
5	1.38941	0.0000	95.0	反射防止膜
4	2.11851	0.0000	75.7	
3	2.39576	0.0397	32.5	吸収層
2	1.45517	0.0000	22.0	中間膜
1	2.11851	0.0000	26.6	
—	1.60524	0.0000	—	基板

10

【0114】

本実施例の吸収層の波長 550 nm における消衰係数 k (550) は 0.0397 である。また、本実施例の吸収層 12 の消衰係数を波長に対して最小二乗法によって線形近似した際の波長に対する傾きを a としたとき、 $a \cdot 550 / k (550)$ の値は 9.607 である。すなわち、本実施例の吸収層は式 (5) を満たしている。

【0115】

図 11 (a) に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図 11 (a) に示すように、本実施例の光学素子の R_{air} および R_{sub} はいずれも波長 450 nm から波長 650 nm において 1% 以下となっている。また、 R_{air} 、 R_{sub} の波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

20

【0116】

図 11 (b) に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図 11 (b) に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を 0 とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長 400 nm の光に対する吸収層の吸収率 A_{400} は 0 である。

【0117】

30

図 11 (c) は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性を CCI で評価し、式 (7) および (8) の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

【0118】

[実施例 6]

次に、実施例 6 の光学素子について説明する。

【0119】

本実施例の光学素子は実施例 2 乃至 5 の素子構成と同様である。すなわち、本実施例の光学素子は基板に近い側から順に中間膜と、吸収層と、反射防止膜を有している。本実施例において中間膜は 2 層で構成されている。

40

【0120】

本実施例の光学素子では、吸収層の消衰係数の波長特性が実施例 2 乃至 5 と異なる。本実施例における吸収層の消衰係数の波長特性は、図 4 (c) に示した特性となっている。

【0121】

実施例 6 の光学素子における各層の詳細を表 7 に示す。

【0122】

50

【表 7】

表 7

層番号	n	k	d [nm]	備考
一	1.00000	0.0000	-	空気
5	1.38941	0.0000	92.2	反射防止膜
4	2.11851	0.0000	63.3	
3	2.27112	0.0200	55.5	吸収層
2	1.45517	0.0000	22.5	中間膜
1	2.11851	0.0000	22.2	
一	1.60524	0.0000	-	基板

10

【0123】

図12(a)に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図12(a)に示すように、本実施例の光学素子のR_{air}およびR_{sub}はいずれも波長450nmから波長650nmにおいて1%以下となっている。また、R_{air}、R_{sub}の波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

【0124】

図12(b)に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図12(b)に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を0とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400nmの光に対する吸収層の吸収率A₄₀₀は0である。

20

【0125】

図12(c)は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性をCCIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

【0126】

[実施例7]

30

次に、実施例7の光学素子について説明する。実施例7の光学素子80の概略図を図13に示す。本実施例の光学素子80は、上述した参考例及び実施例1乃至5の光学素子とは異なり、吸収層を2層有している。すなわち、光学素子80は、第1の吸収層82aと第2の吸収層82bを備えている。第1の吸収層82aと第2の吸収層82bの間には層85が形成されている。光学素子80に入射した光の一部は、第1の吸収層82aおよび第2の吸収層82bで吸収される。なお、図18において83は反射防止膜であり、1層で構成されている。また、84は中間膜であり、1層で構成されている。

【0127】

実施例7の光学素子80における各層の詳細を表8に示す。

【0128】

40

50

【表 8】

表 8

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
5	1.38941	0.0000	106.9	反射防止膜
4	2.39576	0.0397	16.3	吸収層
3	1.63726	0.0000	49.3	
2	2.39576	0.0397	14.4	吸収層
1	1.63726	0.0000	89.6	中間膜
—	1.51805	0.0000	—	基板

10

【0129】

本実施例の吸収層は、参考例および実施例2と同様の特性を有しており、消衰係数の波長特性は図2に示すとおりである。一般に、光学部材に施される反射防止膜では、広い波長帯域で反射防止性能を高めるために、相対的に屈折率の低い層（低屈折率層）と相対的に屈折率の高い層（高屈折率層）を交互に積層する。本実施例の光学素子80では、表8に示す通り、吸収層を高屈折率層として用いている。吸収層を高屈折率層として用いる場合、吸収層の屈折率を大きくすることで、反射率をより低減することができる。具体的には、第1の吸収層82aおよび第2の吸収層82bは共に550nmにおける屈折率が2.0以上であることが好ましい。

20

【0130】

図14(a)に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図14(a)に示すように、本実施例の光学素子のRaирおよびRsубはいずれも波長450nmから波長650nmにおいて1%以下となっている。また、Raир、Rsубの波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

20

【0131】

図14(b)に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図14(b)に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を0とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400nmの光に対する吸収層の吸収率A400は0.0145である。

30

【0132】

図14(c)は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性をCCIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

【0133】

[実施例8]

次に、実施例8の光学素子について説明する。実施例8の光学素子は実施例7の素子構成と同様である。すなわち、本実施例の光学素子は実質的に吸収作用を持たない層を挟んで2つの吸収層を有する。

40

【0134】

本実施例の光学素子における各層の詳細を表9に示す。

【0135】

50

【表9】

表9

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
5	1.38941	0.0000	105.4	反射防止膜
4	2.27112	0.1312	19.9	吸收層
3	1.63726	0.0000	47.7	
2	2.27112	0.1312	18.1	吸收層
1	1.63726	0.0000	87.9	中間膜
—	1.51805	0.0000	—	基板

10

【0136】

本実施例の吸收層は、実施例3と同様の特性を有しており、消衰係数の波長特性は図3に示すとおりである。

【0137】

図15(a)に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図15(a)に示すように、本実施例の光学素子のR_{air}およびR_{sub}はいずれも波長450 nmから波長650 nmにおいて1%以下となっている。また、R_{air}、R_{sub}の波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

20

【0138】

図15(b)に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図15(b)に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を0とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400 nmの光に対する吸収層の吸収率A₄₀₀は0.0605である。

20

【0139】

図15(c)は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性をCCIIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

30

【0140】

[実施例9]

次に、実施例9の光学素子について説明する。実施例9の光学素子は実施例7および実施例8の素子構成と同様である。すなわち、本実施例の光学素子は実質的に吸収作用を持たない層を挟んで2つの吸収層を有する。

【0141】

本実施例の光学素子における各層の詳細を表10に示す。

【0142】

40

50

【表10】

表10

層番号	n	k	d [nm]	備考
—	1.00000	0.0000	—	空気
5	1.38941	0.0000	105.6	反射防止膜
4	2.27112	0.0200	21.9	吸收層
3	1.63726	0.0000	44.7	
2	2.27112	0.0200	20.1	吸收層
1	1.63726	0.0000	89.6	中間膜
—	1.51805	0.0000	—	基板

10

【0143】

本実施例の吸收層は、実施例1および実施例6と同様の特性を有しており、消衰係数の波長特性は図4(c)に示すとおりである。

【0144】

図16(a)に、本実施例の光学素子における反射率を示す。図16(a)に示すように、本実施例の光学素子のR_{air}およびR_{sub}はいずれも波長450 nmから波長650 nmにおいて1%以下となっている。また、R_{air}、R_{sub}の波長に対する変化は小さくなっている、反射率の波長特性による透過光の色づきは極めて少ない。

20

【0145】

図16(b)に、本実施例の光学素子における透過率の波長特性を示す。なお、図16(b)に示す透過率の波長特性は、基板における光の吸収を0とみなしている。本実施例の光学素子は短波長側に比べて長波長側の透過率が低くなっている。したがって、本実施例の光学素子を光学系に用いることで、黄色い透過光の色づきを補正することができる。また、波長400 nmの光に対する吸収層の吸収率A₄₀₀は0である。

【0146】

図16(c)は、本実施例の光学素子の透過率の波長特性および本実施例の光学素子で用いている基板のみの透過率の波長特性をCCIで評価し、式(7)および(8)の値を算出した結果を三線座標に黒丸でプロットしたものである。

30

【0147】

上述した参考例及び実施例1乃至9の光学素子における各値を、以下の表11にまとめて示す。

【0148】

【表11】

表11

	参考例	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
k ₆₅₀	0.0397	0.0200	0.0397	0.1312	0.0397	0.0397	0.0200	0.0397	0.1312	0.0200
式(5)	2.579	4.718	2.579	2.497	1.500	9.607	4.718	2.579	2.497	4.718
式(8)	-0.70	-1.01	-0.30	-0.25	-0.28	-1.12	-0.86	-0.31	-1.40	-0.78
式(9)	-0.82	-1.20	-0.54	-0.73	-0.31	-3.03	-1.12	-0.47	-1.86	-0.96
A ₄₀₀	0.0103	0.0000	0.0165	0.0162	0.0000	0.0000	0.0000	0.0145	0.0605	0.0000
N _{sub} -N _{abs}	0.2800	0.1554	—	—	—	—	—	—	—	—

40

【0149】

[光学系]

次に、本発明の光学系の実施例について説明する。

【0150】

本発明の光学系の実施例である光学系100の断面図を図17に示す。図17において、左側が物体側であり、右側が像側である。光学系100はデジタルスチルカメラ等の撮像装置に用いられる光学系である。

【0151】

50

光学系 100 は、光学素子としてのレンズを複数有している。光学系 100 は物体側から順に配置された正の屈折力の第 1 レンズ群 L1、負の屈折力の第 2 レンズ群 L2、開口絞り SP、後群 L3 からなる。第 2 レンズ群 L2 は、フォーカシングに際して移動する。なお、図 17において IP は像面である。光学系 100 には、CMOS センサや CCD センサ等の撮像素子が配置される。光学系 100 をフィルム式カメラの光学系として用いる場合には、像面 IP にはフィルムが配置される。

【0152】

光学系 100 では、光学性能を向上するために、多数のレンズを使用している。また、第 2 レンズ群に高分散なガラスを用いている。このように、多数のレンズを使用したり、高分散なガラスを用いたりした場合には、短波長側の光がガラスによって吸収され、透過光の黄色い色付きが顕著となる傾向がある。10

【0153】

図 18 に、光学系 100 において、ガラスによる吸収のみを考慮した場合の透過率の波長特性を示す。図 18 では、各ガラスの表面における反射およびガラス以外の媒質による光の吸収はないものとしている。図 18 に示すように、ガラスによる吸収のみを考慮した場合の透過率は短波長側において小さくなってしまっており、透過光が黄色く色づいてしまうことがわかる。

【0154】

そこで、本実施例の光学系 100 では、実施例 1 乃至 9 で述べた吸収層を有する光学素子をレンズとして用いることで、透過光の色づきを補正している。具体的には、表 7 に示した層構成の中間膜、吸収膜、反射防止膜が、第 3 レンズ 101 の物体側のレンズ面、第 3 レンズ 101 の像側のレンズ面、第 7 レンズ 102 の像側のレンズ面、第 14 レンズ 103 の物体側のレンズ面に設けられている。20

【0155】

光学系 100 において、第 3 レンズ 101、第 7 レンズ 103、第 14 レンズ 104 に設けた吸収層による吸収およびガラスによる吸収を考慮した場合のCCI（黒丸）を図 19 に示す。図 19 において白丸で示した座標は、光学系 100 においてガラスによる吸収のみを考慮した場合のCCIである。

【0156】

図 19 に×印で示したのは、ISO 基準レンズのCCIである。また、太線で示した六角形は、ISO の定める許容枠である。30

【0157】

図 19 より、ガラスによる吸収のみを考慮した場合のCCIは許容枠から大きくはずれてしまうほど着色していることがわかる。一方、吸収層による吸収とガラスによる吸収を考慮した場合のCCIは、許容枠の内側に位置している。これは、第 3 レンズ 101、第 7 レンズ 103、第 14 レンズ 104 に設けた吸収層によって、透過光の色づきを補正できていることを示している。

【0158】

さらに、第 3 レンズ 101、第 7 レンズ 103、第 14 レンズ 104 は、図 12 (a) に示した通り、反射率が低い。このため、ゴーストやフレアの発生を低減することができる。40

【0159】

なお、光学系に実施例 1 乃至 9 で述べた吸収層を有する光学素子を設ける場合、該光学系はアッベ数が 30 以下であるレンズを有していることが好ましい。アッベ数が 30 以下であるような高分散ガラスは、短波長側の光を比較的大きく吸収する傾向がある。このため、アッベ数が 30 以下のガラスを有する光学系に実施例 1 乃至 9 で述べた吸収層を有する光学素子を設けることで、光学系を透過する光の色づきを低減することができる。

【0160】

なおアッベ数 d とは、フラウンホーファー線の g 線 (435.8 nm)、F 線 (486.1 nm)、d 線 (587.6 nm)、C 線 (656.3 nm) に対する屈折率をそれぞれ n_g、n_F、n_d、n_Cとしたとき、以下の式 (11) で定義される値である。

$$d = (n_d - 1) / (n_F - n_C) \quad (11)$$

【0161】

また、光学系に実施例1乃至9で述べた吸収層を有する光学素子を設ける場合、該光学系は以下の条件式(12)、(13)を共に満たすことが好ましい。

$$5 < CCI_O, G < 20 \quad (12)$$

$$4 < CCI_O, R < 20 \quad (13)$$

【0162】

式(10)および(11)では、光学系に用いられているガラスによる光の吸収のみを考慮した場合の光学系の透過率の波長特性をCCIで表わしたときのG値をCCI_O, G、R値をCCI_O, Rとしている。式(11)、(12)を共に満たす光学系に実施例1乃至9で述べた吸収層を有する光学素子を設けることで、ガラスが光を吸収することによって生じる透過光の色づきを効果的に補正することができ、透過光の色づきが少ない光学系を得ることができる。10

【0163】

以下に、図17に示した光学系100の数値実施例を示す。面データにおいて、rは各光学面の曲率半径、d(mm)は第m面と第(m+1)面との間の軸上間隔(光軸上の距離)を表わしている。ただし、mは光入射側から数えた面の番号である。また、n550は各光学部材の波長550nmにおける屈折率、vdは光学部材のアッベ数である。

【0164】

なお数値実施例において、d、焦点距離(mm)、Fナンバー、半画角(°)は全て光学系100が無限遠物体に焦点を合わせた時の値である。バックフォーカスBFは最終レンズ面から像面までの距離である。レンズ全長は第1レンズ面から最終レンズ面までの距離にバックフォーカスを加えた値である。20

【0165】

[数値実施例]

単位 mm

面データ

面番号	r	d	n550	vd
1	251.287	16.40	1.48898	70.2
2	-569.439	47.74		
3	134.398	21.28	1.43484	95.1
4	-239.479	0.24		
5	-237.555	4.00	1.61635	44.3
6	178.77	17.18		
7	76.688	14.20	1.43484	95.1
8	318.525	1.03		
9	60.263	6.00	1.51805	64.1
10	47.352	22.04		
11	-1630.821	4.00	1.93307	18.9
12	-301.81	3.20	1.65762	39.7
13	149.471	45.57		
14(絞り)		8.36		
15	327.772	2.18	1.72487	34.7
16	40.638	10.87	1.73200	54.7
17	-927.465	10.02		
18	103.249	5.93	1.85415	23.8
19	-133.81	1.71	1.71582	53.9
20	45.777	5.62		
21	-155.221	1.67	1.88761	40.8
22	121.068	6.32		

10

20

30

40

50

23	137.098	3.35	1.75400	35.3
24	-256.865	5.53		
25	85.03	7.34	1.65762	39.7
26	-133.787	2.00	1.93307	18.9
27	-3193.452	21.53		
28		2.20	1.51805	64.1
29		67.57		

30(像面)

各種データ

焦点距離 390.06

10

Fナンバー 2.90

半画角(°) 3.17

像高 21.64

レンズ全長 365.05

BF 67.53

【0166】

なお、本発明の光学系は、図17に示す光学系100のように、デジタルカメラ等に用いられる撮影光学系に限定されない。本発明の光学系は、望遠鏡、双眼鏡、顕微鏡の光学系であっても良いし、プロジェクタに用いられる投射光学系であっても良い。

【0167】

20

以上、本発明の実施例について説明したが、本発明はこれらの実施例に限定されず、その要旨の範囲内で種々の組合せ、変形及び変更が可能である。

【符号の説明】

【0168】

10 光学素子

11 基板

12 吸収層

13 反射防止膜

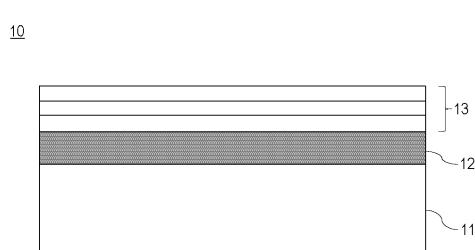
30

40

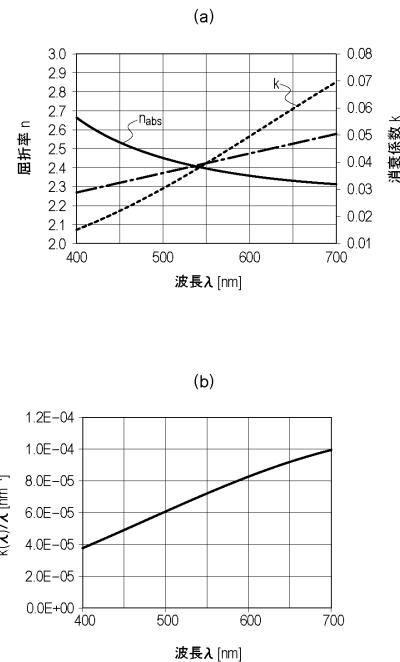
50

【図面】

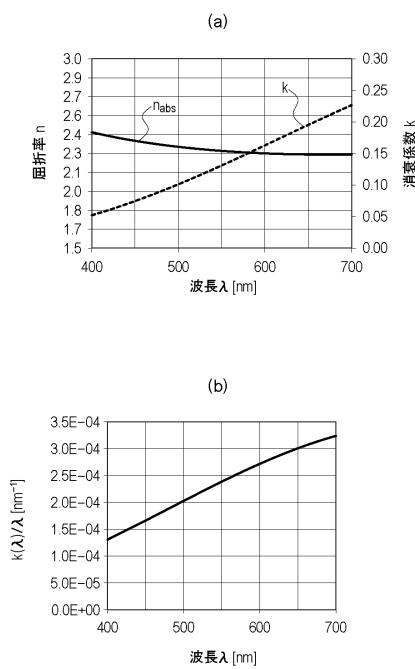
【図 1】



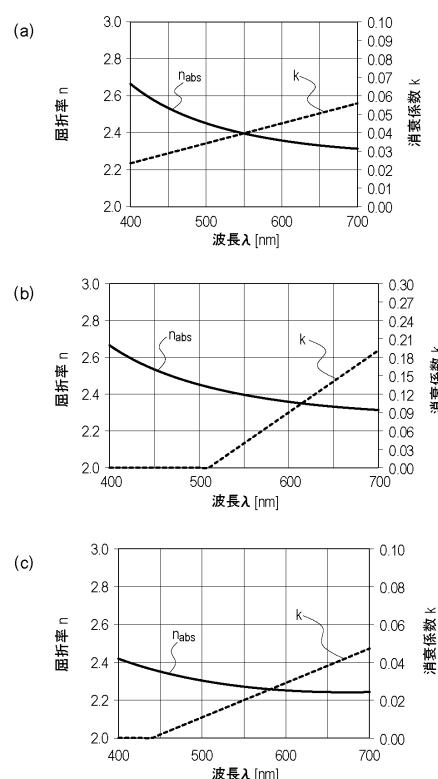
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

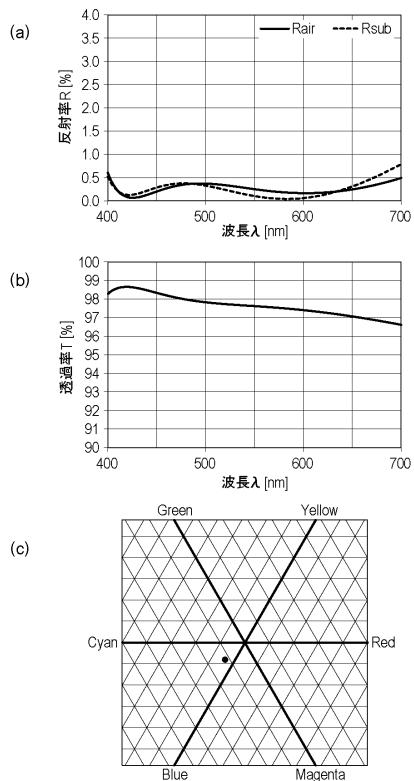
20

30

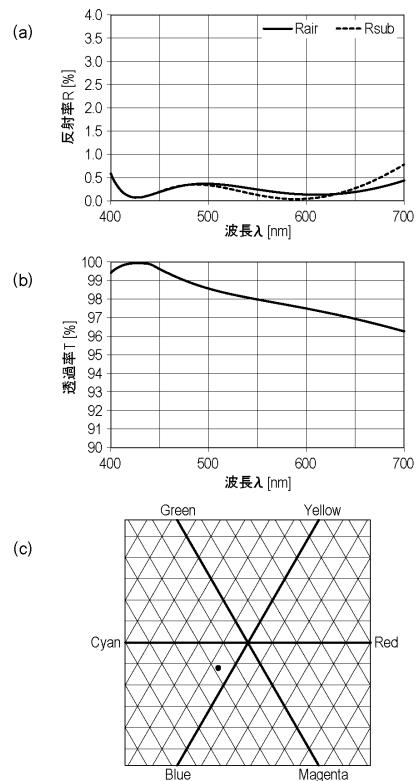
40

50

【図 5】



【図 6】



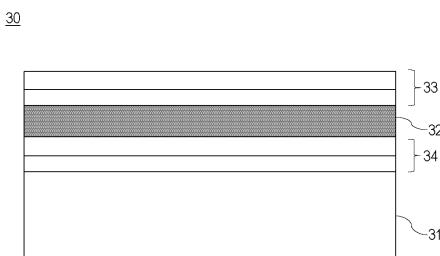
10

20

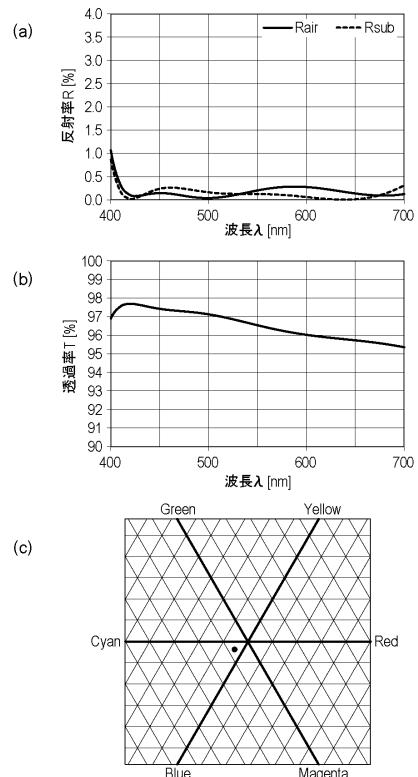
30

40

【図 7】

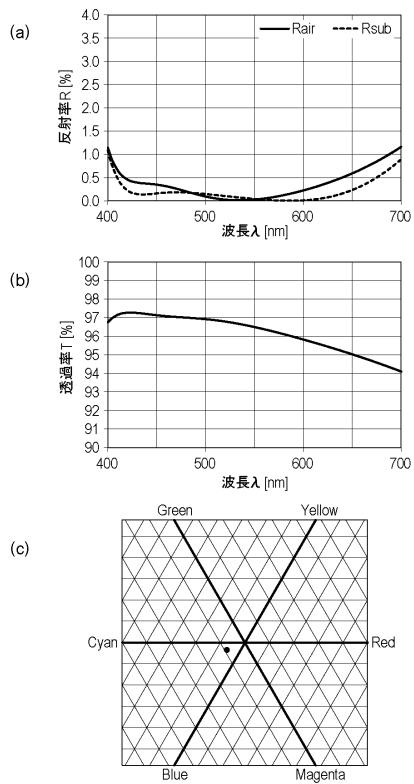


【図 8】

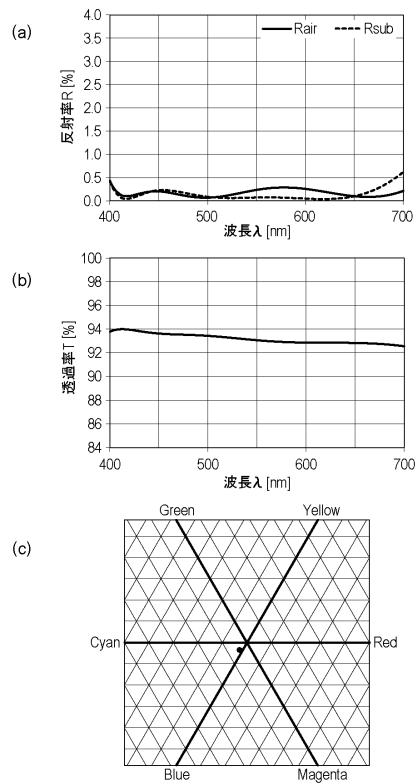


50

【図9】



【図10】



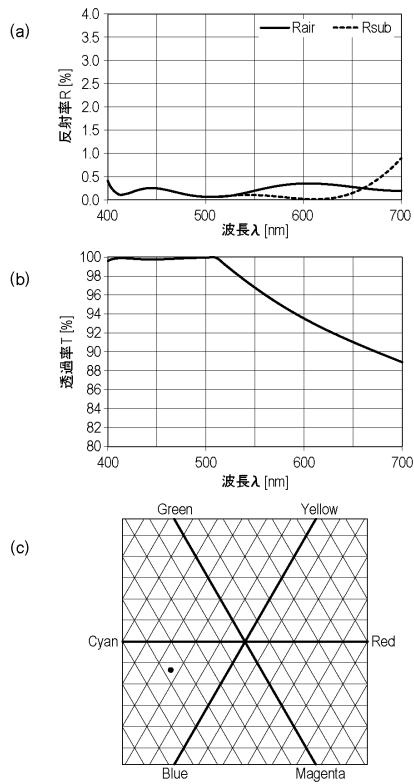
10

20

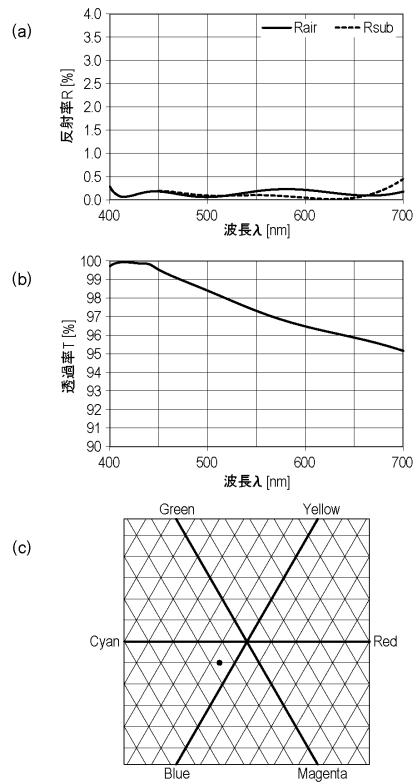
30

40

【図11】

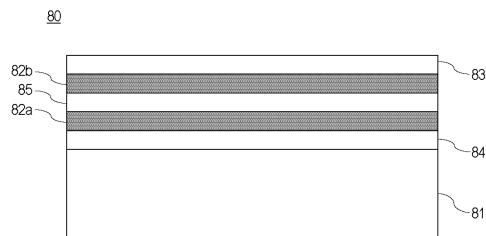


【図12】

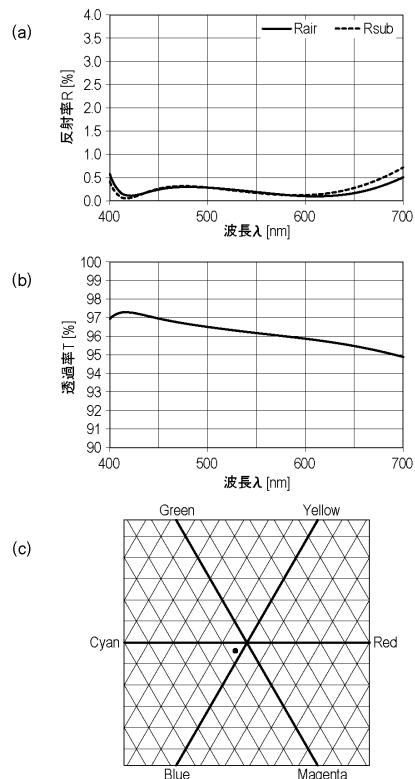


50

【図13】



【図14】



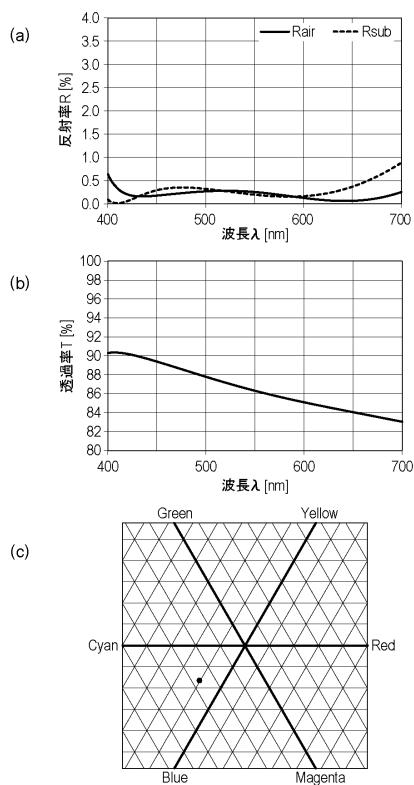
10

20

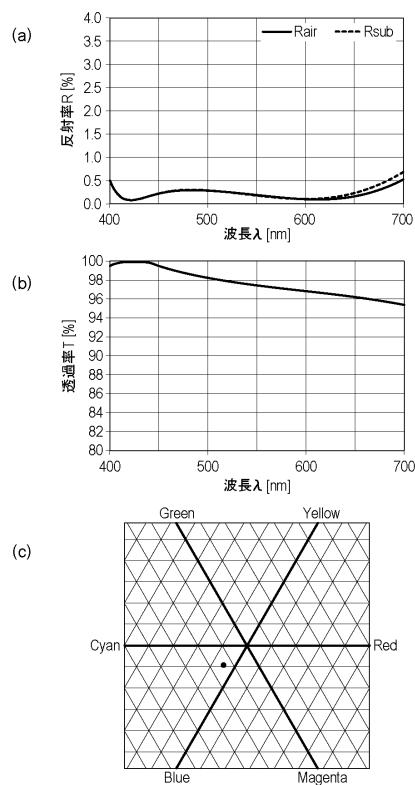
30

40

【図15】

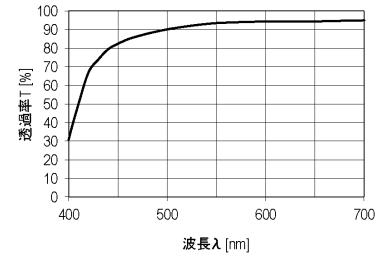
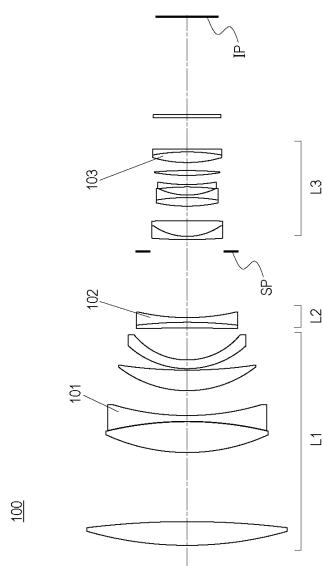


【図16】



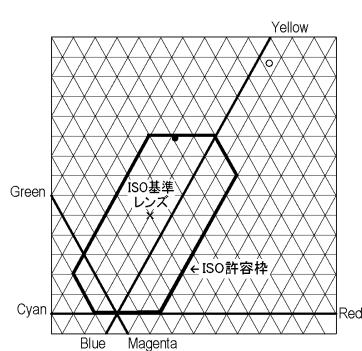
50

【図 1 7】



20

【図 1 9】



40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2015-203863(JP,A)
 特開2015-128127(JP,A)
 国際公開第2008/102545(WO,A1)
 特表2007-520738(JP,A)
 米国特許第00571905(US,A)
 国際公開第2015/093280(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
 G02B 5/22
 G02B 5/00
 G02B 1/11