

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5473472号  
(P5473472)

(45) 発行日 平成26年4月16日(2014.4.16)

(24) 登録日 平成26年2月14日(2014.2.14)

(51) Int.Cl.

F I

G O 2 B 1/11 (2006.01)

G O 2 B 1/10

A

請求項の数 8 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2009-188373 (P2009-188373)  
 (22) 出願日 平成21年8月17日(2009.8.17)  
 (65) 公開番号 特開2010-79278 (P2010-79278A)  
 (43) 公開日 平成22年4月8日(2010.4.8)  
 審査請求日 平成24年8月1日(2012.8.1)  
 (31) 優先権主張番号 特願2008-222900 (P2008-222900)  
 (32) 優先日 平成20年8月29日(2008.8.29)  
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(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  
 (74) 代理人 100104628  
 弁理士 水本 敦也  
 (72) 発明者 佐野 大介  
 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 井海田 隆

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学素子及び光学機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ベース部材と、該ベース部材上に形成された反射防止膜と、を有する光学素子であって

前記反射防止膜は、前記ベース部材側から表面側にかけて屈折率が次第に小さくなるグ  
レーデッド層を含み、

前記グレーデッド層の使用中心波長 = 650nm における屈折率の変化量は0.05  
以上であり、

前記グレーデッド層の前記使用中心波長における光学膜厚は350nm以上500nm  
以下であり、

波長300nm～1000nmの範囲における反射率が0.8%以下であり、  
以下の条件を満足することを特徴とする光学素子。

【数 1】

$$n_t = n_i + 0.1 \cdot (n_s - n_i)$$

$$0.5 \leq \frac{n\{t(n_t)/2\} - n_t}{n_s - n\{t(n_t)/2\}} \leq 0.8$$

$$\frac{\lambda}{4} \leq t(n_t) \leq 2\lambda$$

$$1.0 \leq n_i \leq 1.1$$

10

ただし、 $n_i$  は前記グレーデッド層における前記表面側の部分の前記使用中心波長における屈折率であり、 $n_s$  は前記グレーデッド層における前記ベース部材側の部分の前記使用中心波長における屈折率であり、 $t(n_t)$  は前記使用中心波長における屈折率が  $n_t$  となる前記グレーデッド層の光学膜厚であり、 $n\{t(n_t)/2\}$  は前記光学膜厚が  $t(n_t)/2$  となる位置での前記使用中心波長における屈折率である。

【請求項 2】

前記グレーデッド層の使用中心波長 = 650 nm における屈折率の変化量は 0.53  
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。

20

【請求項 3】

波長 400 nm ~ 700 nm の範囲における反射率が 0.5 % 以下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】

前記ベース部材は、光学ガラスから成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】

前記光学ガラスの屈折率は 1.6033 であることを特徴とする請求項 4 に記載の光学素子。

30

【請求項 6】

前記グレーデッド層における屈折率の変化量は、前記ベース部材側よりも前記表面側の方が緩やかであることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光学素子。

【請求項 7】

前記グレーデッド層は、前記使用中心波長よりも小さい複数の構造部から成る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】

請求項 1 乃至 7 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機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、反射抑制作用を有する構造体を備えた光学素子に関し、さらに該光学素子を含む光学機器に関する。

【背景技術】

【0002】

一般に、透過部材により形成される光学素子の少なくとも 1 面には、蒸着法やスパッタ法に代表される成膜技術を利用して反射防止機能を有する薄膜が形成される。ただし、このような方法では、成膜できる材料が限定されるため、任意の屈折率の薄膜を得ることが難しい。

このため、特許文献 1 には、高屈折率の薄膜と低屈折率の薄膜を選択的に導入して膜厚を

50

適切に設定することで、仮想的に中間屈折率を有する膜を得る方法が開示されている。  
また、他の手法として、使用する光の波長（以下、使用波長という）よりも小さな構造を有する反射防止構造体を光学素子の少なくとも１面に形成する方法がある。最も有名な概念が蛾の目（moth-eye）である。蛾の目の表面は非常に反射率が低いことが知られており、それは蛾の目に特有の微細構造に起因することも知られている。

使用波長よりも小さな構造では、該使用波長の光はその構造を認識できずに一様な媒質に入射したように振る舞う。このとき、該構造体は、それを構成する材料の体積比に準じた屈折率を示す。そのことを利用することで、通常の方法では得られない低い屈折率の構造体を実現することができる。低屈折率材料を用いることで、より高性能な反射防止機能を得ることができる。

10

特許文献２には、上記のような微細構造を有する反射防止構造体として、表面側（光入射側）に向かって先細りになる形状を有する構造体が開示されている。このような構造体では、光学素子等のベース部材側から表面側に向かって換算屈折率が徐々に小さくなる。特許文献３には、微細構造体を構成する突起の形状として、該突起の最凸部と最凹部の形状の比較において最凸部の方が尖る形状にすることが開示されている。このような突起の形状により、最表面部又は構造体とベース部材との境界での屈折率の変化を緩やかにし、反射率を低減する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

20

【特許文献１】特公昭６１－５１２８３号公報

【特許文献２】特開２００５－６２６７４号公報

【特許文献３】特開２００３－２４０９０４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にて開示された仮想的に中間屈折率を有する膜では、高屈折率材料を用いているために、広帯域特性に劣る。

また、特許文献２では、屈折率を傾斜させるために微細構造を斜めに形成することを開示しているものの、最適な屈折率構造までは開示していない。

30

さらに、特許文献３にて開示された微細構造体では、界面での屈折率の変化のみに着目しているために、屈折率の変化が大きな部分が発生してしまい、良好な広帯域特性が得られない。

このように、特許文献１～３にて開示された方法では、限られた条件内では反射防止機能を実現できるが、広帯域特性に劣り、さらに入射角度特性にも劣るという問題がある。

本発明は、広帯域特性や入射角度特性に優れた反射抑制機能（反射防止機能）を有する光学素子及びこれを含む光学機器を提供する。

【課題を解決するための手段】

【０００５】

40

本発明の一側面としての光学素子は、ベース部材と、該ベース部材上に形成された反射防止膜と、を有する光学素子であって、前記反射防止膜は、前記ベース部材側から表面側にかけて屈折率が次第に小さくなるグレーデッド層を含み、前記グレーデッド層の使用中心波長  $\lambda_c$  = 650 nm における屈折率の変化量は 0.05 以上であり、前記グレーデッド層の前記使用中心波長における光学膜厚は 350 nm 以上 500 nm 以下であり、波長 300 nm ~ 1000 nm の範囲における反射率が 0.8 % 以下であり、以下の条件を満足することを特徴とする。

【０００６】

## 【数 1】

$$n_t = n_i + 0.1 \cdot (n_s - n_i)$$

$$0.5 \leq \frac{n\{t(n_t)/2\} - n_t}{n_s - n\{t(n_t)/2\}} \leq 0.8$$

$$\frac{\lambda}{4} \leq t(n_t) \leq 2\lambda$$

$$1.0 \leq n_i \leq 1.1$$

## 【0007】

ただし、 $n_i$  は前記グレーデッド層における前記表面側の部分の前記使用中心波長における屈折率であり、 $n_s$  は前記グレーデッド層における前記ベース部材側の部分の前記使用中心波長における屈折率であり、 $t(n_t)$  は前記使用中心波長における屈折率が  $n_t$  となる前記グレーデッド層の光学膜厚であり、 $n\{t(n_t)/2\}$  は前記光学膜厚が  $t(n_t)/2$  となる位置での前記使用中心波長における屈折率である。

10

なお、上記光学素子を有する光学機器も、本発明の他の一側面を構成する。

## 【発明の効果】

## 【0008】

本発明によれば、従来の方法では得られなかったような広帯域特性及び入射角度特性に優れた反射抑制機能を有する光学素子を実現することができる。このため、本発明の光学素子を光学機器に用いることにより、光学機器の性能を従来よりも向上させることができる。

20

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図1】本発明の実施例におけるグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図2】実施例の光学素子の基本構造を示す図。

【図3】ベース部材上に屈折率が均一な層を形成した光学素子の構造を示す図。

【図4】ベース部材上に屈折率が均一な層を形成した場合の屈折率構造を示す図。

【図5】光学膜厚に対して屈折率の変化が一様であるグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図6】図5のグレーデッド層をベース部材に付加したときの反射率特性を示す図。

30

【図7】図1のグレーデッド層をベース部材に付加したときの反射率特性を示す図。

【図8】実施例において、グレーデッド層を微細構造層として形成した場合の光学素子の構造を示す図。

【図9】実施例1のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図10】実施例1の反射率特性を示す図。

【図11】参考例1のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図12】参考例1の光学素子の屈折率構造を示す図。

【図13】参考例1の反射率特性を示す図。

【図14】参考例2のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図15】参考例2の光学素子の屈折率構造を示す図。

40

【図16】参考例2の反射率特性を示す図。

【図17】実施例2のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図18】実施例2の反射率特性を示す図。

【図19】比較例1のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図20】比較例1の反射率特性を示す図。

【図21】比較例2のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図22】比較例2の反射率特性を示す図。

【図23】実施例の光学素子を用いたデジタルカメラを示す図。

【図24】実施例3のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図25】実施例3の反射率特性を示す図。

50

【図 2 6】実施例 4 のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図 2 7】実施例 4 の反射率特性を示す図。

【図 2 8】比較例 3 のグレーデッド層の屈折率構造を示す図。

【図 2 9】比較例 3 の反射率特性を示す図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 0 】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

まず、後述する具体的な実施例 1 ~ 6 の説明に先立って、これらの実施例に共通する事項について説明する。

各実施例では、例として、使用波長帯域を 400 ~ 700 nm または 300 ~ 1000 nm とし、その中心である使用中心波長を 550 nm または 650 nm として説明する。ただし、本発明にいう使用波長帯域及び使用中心波長はこれらに限定されるものではない。図 2 には、各実施例に共通する光学素子の基本構成を示している。021 は第 1 の層であり、以下の説明では、その厚み方向（層厚方向又は膜厚方向）である z 方向に屈折率が変化する層という意味でグレーデッド層という。グレーデッド層 021 は、反射抑制機能（別の言い方では、反射防止機能）を有する。

022 はベース部材（基材）であり、グレーデッド層 021 を含む光学素子の本体（透過部材）に相当する。図 2 では、グレーデッド層 021 がベース部材 022 のうち一方の面上に形成されている場合を示している。しかし、ベース部材 022 の両方の面上にグレーデッド層 021 形成してもよい（つまり、グレーデッド層はベース部材のうち少なくとも一方の面上に形成されていればよい）。

023 はグレーデッド層 021 の屈折率構造を模式的に示している。横軸はグレーデッド層 021 の屈折率  $n$  を、縦軸はグレーデッド層 021 の光学膜厚  $t$  を示す。

図 1 には、上記屈折率構造 023 をより詳細に示している。ただし、図 1 に示す屈折率構造は、図 2 に示した屈折率構造 023 に対して 90 度回転させてあり、横軸が光学膜厚  $t$  を、縦軸が屈折率  $n$  をそれぞれ示している。実線 011 は、グレーデッド層 021 の光学膜厚に対する屈折率の変化を示し、以下の説明では屈折率曲線という。光学膜厚  $t$  を示す横軸において、原点  $O$  はベース部材 022 とグレーデッド層 021 との境界面を、 $t_i$  はグレーデッド層 021 の総光学膜厚をそれぞれ示している。

グレーデッド層 021 は、ベース部材側から見て、屈折率  $n$  が  $n_s$  から  $n_i$  まで変化する。 $n_i$  はグレーデッド層 021 における最も表面側の部分（最表面）、つまりは最も光入射側の部分の使用中心波長における屈折率である。また、 $n_s$  はグレーデッド層 021 における最もベース部材側の部分の使用中心波長における屈折率である。

ここで、実施例では、 $n_s$ 、 $n_i$  を用いて  $n_t$  という値を定義する。 $n_t$  は以下の式（1）で表される。

【 0 0 1 1 】

【数 2】

$$n_t = n_i + 0.1 \cdot (n_s - n_i) \quad (1)$$

【 0 0 1 2 】

実施例では、グレーデッド層 021 において使用中心波長における屈折率が  $n_{\perp}$  となる光学膜厚を  $t(n_{\perp})$  とし、光学膜厚が  $t(n_{\perp})/2$  となる位置での使用中心波長における屈折率を  $n\{t(n_{\perp})/2\}$  とするとき、以下の式（2）で表される条件を満足する。

【 0 0 1 3 】

10

20

30

40

【数 3】

$$0.5 \leq \frac{n\{t(n_t)/2\} - n_t}{n_s - n\{t(n_t)/2\}} \leq 0.8 \quad (2)$$

【0014】

この式(2)で表される条件は、グレーデッド層021のうち光学膜厚 $t(n_t)$ の部分(位置)から、光学膜厚 $t(n_t)/2$ の部分(位置)までの変化の程度を表している。反射抑制機能は、光の波の干渉で考えることができる。このことは、屈折率が内部(厚み方向)で変化するグレーデッド層でも同じである。光の波の干渉を考える場合、屈折率の

10

変化量が光の波の振幅を示し、光学膜厚が波と波の位相のずれ量を示す。厚み方向において屈折率が均一な層の例を図3に示す。032はベース部材であり、031は厚み方向に均一な屈折率を持つ薄膜層である。033は薄膜層031の屈折率構造を模式的に示している。

図4には、上記屈折率構造033をより詳細に示している。ただし、図4に示す屈折率構造は、図3に示した屈折率構造033に対して90度回転させてあり、横軸が光学膜厚 $t$ を、縦軸が屈折率 $n$ をそれぞれ示している。041は薄膜層031の屈折率と光学膜厚を示している。

042は薄膜層031の表面で反射した光の波(イメージ図)を、043は薄膜層031とベース部材032との界面で反射した光の波(イメージ図)をそれぞれ示し、これらにより、薄膜層031の光学膜厚 $t_s$ を $/4$ としたときの波の干渉を示している。この場合、波042と波043との位相のずれ量は $/2$ 程度となり、これらの波042, 043は互いに打ち消し合う。これにより、薄膜層031は反射防止膜となる。

20

一方、グレーデッド層を有する光学素子の屈折率構造の例を図5に示す。図5では、光学膜厚に対して屈折率の変化が一様である場合を示している。051は光学膜厚に対する屈折率を示している。052はグレーデッド層の各位置で反射した光の波(反射波)の一部(イメージ図)を示している。

グレーデッド層051では、明確な界面があるわけではないが、屈折率が変化する部分では光の波は反射される。つまり、グレーデッド層051では、無数の光が反射されていることになり、反射波052はその一部を表現したにすぎない。このようなグレーデッド層051の場合、各光学膜厚からの全ての反射波052の重ね合わせによって反射防止特性が求められる。

30

実施例では、 $n_s$ と $n_i$ の差が0.05以上であること、つまりグレーデッド層は、厚み方向において使用中心波長における屈折率が0.05以上変化することを条件とする。これは、上述したようなグレーデッド層の干渉により反射防止特性を示す範囲である。

また、この条件は、グレーデッド層の内部で屈折率が大きく変化するということも意味している。屈折率の変化が大きいということは、反射率特性への影響も大きいことを意味する。このため、実施例では、上記式(1), (2)で表される条件を満足することを特徴とする。

式(1)の $n_t$ は屈折率 $n_s$ ,  $n_i$ の間の値を表しており、式(2)は $n_t$ と $n_s$ の間での屈折率の勾配を表している。これは、グレーデッド層の表面側の部分での屈折率の変化( $n\{t(n_t)/2\} - n_t$ )よりも、グレーデッド層のベース部材側の部分での屈折率の変化( $n_s - n\{t(n_t)/2\}$ )の方がより光の干渉に影響を与えることを意味している。

40

また、実施例では、使用中心波長におけるグレーデッド層の光学膜厚 $t(n_t)$ が、以下の式(3)表される条件を満足することを特徴とする。

【0015】

【数 4】

$$\frac{\lambda}{4} \leq t(n_t) \leq 2\lambda \quad (3)$$

【0016】

グレーデッド層の光学膜厚  $t(n_t)$  が  $\lambda/4$  よりも薄い場合、グレーデッド層内で光の干渉が十分に生じず、反射防止膜として機能しない。一方、 $t(n_t)$  が  $2\lambda$  よりも厚い場合には、グレーデッド層 051 を作製することは非常に難しくなる。

式(3)式の範囲は、より好ましくは  $\lambda/3$  以上で  $3\lambda/2$  以下の範囲とするとよい。さらに望ましくは、 $3\lambda/8$  以上で  $5\lambda/4$  以下の範囲とするとよい。

10

また、実施例では、以下の式(4)を満たすことを特徴とする。

【0017】

【数 5】

$$1.0 \leq n_i \leq 1.1 \quad (4)$$

【0018】

式(4)の上限値を超えると、グレーデッド層 051 の先端の屈折率と空気の屈折率の差が大きくなってしまい、グレーデッド層 051 と空気との界面における反射光が増加するため、全波長領域において反射率を抑制することが難しくなる。

20

ベース部材に図5に示したグレーデッド層 051 を付加した場合の反射率特性の例を図6に示す。横軸が波長  $\lambda$  を、縦軸が反射率  $R$  を示している。061 はベース部材のみの反射率特性を、062 はベース部材にグレーデッド層 051 を付加した場合の反射率特性をそれぞれ示している。ベース部材の屈折率は、 $n_s$  とした。

図6に示す場合、グレーデッド層 051 の式(2)の値は 1.0 となり、式(2)の条件を満足していない。この反射率特性を見ると、特定の波長では反射率がほぼ 0 であるのに対して、他の波長では反射率が上がっている。

一方、図7は、ベース部材に図1に示したグレーデッド層 021 を付加した場合の反射率特性を示している。横軸が波長  $\lambda$  を、縦軸が反射率  $R$  を示している。071 はベース部材のみの反射率特性を、072 はベース部材にグレーデッド層 021 を付加した場合の反射率特性をそれぞれ示している。ベース部材の屈折率は、 $n_s$  とした。

30

図7に示す場合、グレーデッド層 021 の式(2)の値は、0.52 となり、式(2)を満足している。この場合の反射率特性は極小値を 2 つ持ち、図6に示した反射率特性に比べて広波長帯域できわめて低い反射率が得られることがわかる。

このように式(1)、(2)、(3)、(4)の条件を満足することで、広帯域特性に優れた反射抑制性能(反射防止性能)を得ることができる。

一方、式(2)の値が 0.5 より小さい場合、屈折率が小さいグレーデッド層の表面側の部分よりもベース部材側の部分での屈折率の変化が大きくなるため、反射率を低下させることが難しくなる。さらに、反射率の特性が W 字の形状になりにくいため、広帯域特性に劣ってしまう。また、式(2)の値が 0.8 以上になると、光学膜厚に対する屈折率の変化が直線に近くなるために広帯域特性が劣ってしまう。

40

なお、より好ましくは、式(2)の値の範囲を 0.55 以上で、0.75 以下の範囲とするとよい。さらに好ましくは、式(2)の値の範囲を 0.58 以上で、0.7 以下の範囲にするとよい。

また、屈折率が異なる多くの硝材に対して高性能な反射防止機能を付加するためには、各硝材に対応するようにグレーデッド層の屈折率を調整する必要がある。そこで、実施例では、硝材としてのベース部材とグレーデッド層との間に、少なくとも 1 層の光学干渉層を設け、グレーデッド層と光学干渉層とにより積層体を構成することが好ましい。

これにより、グレーデッド層の屈折率を調整しなくても、光学干渉層の屈折率や膜厚を調整することで、種々の硝材に対応する高性能な反射防止積層体を得ることができる。

50

また、上記少なくとも 1 層の光学干渉層のうち少なくとも 1 つの光学干渉層の使用中心波長における屈折率は、ベース部材の屈折率と  $n_s$  との間の屈折率であることが好ましい。これにより、ベース部材からグレーデッド層の最表面まで、屈折率が徐々に減少するような屈折率構造を実現できる。そして、このような構造によれば、光の斜入射による反射光の増大が防げるため、広帯域特性に優れ、かつ斜入射特性にも優れた反射防止積層体が得られる。

また、実施例では、グレーデッド層を、使用中心波長より小さい構造部を複数形成することで構成された微細構造層とすることが好ましい。このような微細構造層をベース部材上に形成した例を図 8 に示す。081 は微細構造層（グレーデッド層）であり、082 はベース部材である。

各構造部が使用中心波長よりも十分に小さい微細構造においては、前述したように、これに入射する光は該微細構造そのものを認識できず、均一な媒質に入射したように振る舞う。この場合、光はその構造を平均化したような特性を示す。

微細構造層 081 の等価屈折率（effective refractive index） $n_e$  は、以下の式（5）で表される。

【0019】

【数 6】

$$n_e = \{ff \times n_m^2 + (1 - ff)\}^{1/2} \quad (5)$$

【0020】

ここで、 $n_m$  は微細構造をなす材料の屈折率であり、 $ff$  は該微細構造の体積充填率（フィリングファクタ）である。この手法は、一次の等価屈折率法と呼ばれ、微細構造（微細構造層 081）を等価屈折率に変換する最も簡単な手法である。

一方、微細構造層 081 の実効的な屈折率は、微細構造のピッチや 3 次元的な形状によっても変化する。例えば、 $n_m$  が 2.3 で、 $ff$  が 0.5 である場合、式（5）で求めた等価屈折率  $n_e$  は、1.77 程度となる。これに対し、微細構造のピッチが 80 ~ 150 nm まで変化すると仮定して厳密結合波解析法を用いて解析すると、等価屈折率  $n_e$  は、1.73 ~ 1.79 まで変化する。このため、微細構造の断面形状や  $ff$  のみから実効的な屈折率を正確に求めることは難しい。

そこで、実施例では、微細構造層（グレーデッド層）081 の光学膜厚に対する実効的な屈折率の変化を求める。実効的な屈折率を求める手法の 1 つとして、分光エリプソメトリーがある。分光エリプソメトリーとは、波長の異なる直線偏光を試料に照射し、偏光反射率の比と位相の遅れ量とを測定し、その測定値に対して最も近い屈折率及び膜厚モデルを算出する手法である。このような手法を用いることで、微細構造の詳細が不明でも式（2）式の条件を満足するかどうかを確認することができる。式（2）を満足すれば、グレーデッド層が薄膜層であっても微細構造層であってもかまわない。

また、実施例のグレーデッド層を得る方法としては、均一に成膜した比較的疎な膜を透明ゾルゲル溶液に長時間浸漬して焼結する方法や、2 元成膜法での成膜中に徐々に混合割合を変化させる方法等がある。本発明では、所定の屈折率構造の条件を満たしていれば、グレーデッド層の製造方法はどのようなものであってもよい。

以上説明したグレーデッド層が形成された光学素子は、多くの光学機器で使うことができる。図 23 には、実施例の光学素子を用いた光学機器としてのデジタルカメラを示している。

【0021】

20 はカメラ本体、21 は実施例の光学素子であるレンズを用いて構成された撮影光学系である。撮影光学系 21 は、複数のレンズによって構成されており、このうち少なくとも 1 つのレンズが実施例の光学素子により構成されている。22 はカメラ本体 20 に内蔵され、撮影光学系 21 によって形成された被写体像を受光する CCD センサや CMOS センサ等の固体撮像素子（光電変換素子）である。

23 は撮像素子 22 によって光電変換された被写体像に対応する画像情報を記録するメモ

10

20

30

40

50



り、24は液晶ディスプレイパネル等によって構成され、画像情報（つまりは被写体）を観察するための電子ビューファインダである。

#### 【0022】

このように、実施例の光学素子を用いて撮影光学系を構成することで、撮影光学系内の不要な反射を抑えた高い光学性能を有するカメラを実現することができる。

なお、本実施例の光学素子は、カメラのファインダ光学系や、液晶プロジェクタの照明光学系及び投射光学系等にも使用することができる。そして、該光学素子が上述した反射抑制構造を有することで、透過光量が十分に多く、不要な反射によるゴーストやフレアの発生を十分に抑えることができる。

以下、具体的な実施例（シミュレーション例）1～4および参考例1～2とこれらに対する比較例1～3について説明する。

#### [実施例1]

#### 【実施例1】

#### 【0023】

実施例1では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長650nmにおける屈折率は、1.6033であった。ベース部材上に、図9に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。 $n_s$ は1.530、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は350nmであった。

式(1)より、 $n_t$ は1.053であり、式(2)の値は0.72であった。実施例1の反射率特性を図10に示す。実施例1では、反射率特性に2つの極小値があり、可視域全域で反射率0.2%以下という低い反射率を実現した。

#### [参考例1]

#### 【実施例2】

#### 【0024】

参考例1では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長550nmにおける屈折率は、1.6088であった。ベース部材上に、屈折率が1.50で光学膜厚が113nmの光学干渉層を形成し、さらにその表面に図11に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。参考例1の光学素子の屈折率構造を図12に示す。光学膜厚が負となっている部分は、ベース部材の屈折率を示している。 $n_s$ は1.38、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は485nmであった。

式(1)より、 $n_t$ は1.038であり、式(2)の値は0.50であった。参考例1の反射率特性を図13に示す。参考例1では、反射率特性に2つの極小値があり、可視域全域で反射率0.1%以下という低い反射率を実現した。

#### [参考例2]

#### 【実施例3】

#### 【0025】

参考例2では、ベース部材として、OHARA社製S-LAH55を用意した。波長550nmにおける屈折率は、1.8390であった。ベース部材上に、屈折率が1.56で光学膜厚が105nmの光学干渉層を形成し、さらにその表面に図14に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。グレーデッド層は、ゾルゲル法により酸化アルミを主成分とする薄膜を形成し、それを熱水処理することで微細構造層として形成した。この微細構造層を分光エリプソメトリーで解析した。参考例2における光学素子の屈折率構造を図15に示す。光学膜厚が負となっている部分は、ベース部材の屈折率を示している。 $n_s$ は1.39、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は250nmであった。

式(1)式より、 $n_t$ は1.039であり、式(2)の値は0.53であった。参考例2の反射率特性を図16に示す。参考例2では、可視域全域で反射率0.4%以下という低い反射率を実現した。

#### [実施例2]

#### 【実施例4】

#### 【0026】

10

20

30

40

50

実施例2では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長650nmにおける屈折率は、1.6033であった。ベース部材上に、図17に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。 $n_s$ は1.530、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は350nmであった。

式(1)より、 $n_t$ は1.053であり、式(2)の値は0.51であった。実施例2の反射率特性を図18に示す。実施例2では、反射率特性に2つの極小値があり、可視域全域で反射率0.4%以下となる低い反射率を実現した。

[実施例3]

【実施例5】

【0027】

10

実施例3では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長650nmにおける屈折率は、1.6033であった。ベース部材上に、図24に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。 $n_s$ は1.530、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は350nmであった。

式(1)式より、 $n_t$ は1.053であり、式(2)の値は0.78であった。実施例3の反射率特性を図25に示す。実施例3では、反射率特性に2つの極小値があり、可視域全域で反射率0.5%以下となる低い反射率を実現した。

[実施例4]

【実施例6】

【0028】

20

実施例4では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長650nmにおける屈折率は、1.6033であった。ベース部材上に、図26に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。 $n_s$ は1.530、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は500nmであった。

式(1)式より、 $n_t$ は1.053であり、式(2)の値は0.51であった。実施例4の反射率特性を図27に示す。実施例4では、反射率特性に2つの極小値があり、可視域全域で反射率0.4%以下となる低い反射率を実現した。

(比較例1)

比較例1では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長550nmにおける屈折率は、1.6088だった。ベース部材上に図19に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。 $n_s$ は1.51、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は440nmであった。図19に示したグレーデッド層は、物理膜厚に対して屈折率が直線的に変化する膜により形成した。

30

式(1)より、 $n_t$ は1.051であり、式(2)の値は1.19であった。この比較例は、式(2)の条件を満足していない。比較例1の反射率特性を図20に示す。この比較例は、実施例1と比べると、広帯域特性で劣っている。

(比較例2)

比較例2では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長650nmにおける屈折率は、1.6033だった。ベース部材上に図21に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。 $n_s$ は1.53、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は350nmであった。

40

式(1)より、 $n_t$ は1.053であり、式(2)の値は0.48であった。この比較例は、式(2)の条件を満足していない。比較例2の反射率特性を図22に示す。この比較例は、実施例1に比べて同じ光学膜厚でも特性が大きく変化している様子がわかる。

(比較例3)

比較例3では、ベース部材として、OHARA社製S-BSM14を用意した。波長650nmにおける屈折率は、1.6033だった。ベース部材上に図28に示すような屈折率構造のグレーデッド層を形成した。 $n_s$ は1.53、 $n_i$ は1.0、 $t_i$ は500nmであった。

式(1)より、 $n_t$ は1.053であり、式(2)の値は0.48であった。この比較

50

例は、式(2)の条件を満足していない。比較例3の反射率特性を図29に示す。この比較例は、実施例1に比べて同じ光学膜厚でも特性が大きく変化している様子がわかる。

実施例1～4および参考例1～2の各数値を表1に、比較例1～3の各数値を表2にまとめて記載する。

【0029】

【表1】

		実施例1	参考例1	参考例2	実施例2	実施例3	実施例4
グレーデッド層	$n_s$	1.530	1.380	1.390	1.530	1.530	1.530
	$n_i$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
	$t_i$ [nm]	350	485	250	350	350	500
光学干渉層	屈折率	-----	1.500	1.560	-----	-----	-----
	光学膜厚 [nm]	-----	113	105	-----	-----	-----
ベース部材	硝種	S-BSM14	S-BSM14	S-LAH55	S-BSM14	S-BSM14	S-BSM14
	屈折率	1.6033	1.6088	1.8390	1.6033	1.6033	1.6033
$\lambda$ [nm]		650	550	550	650	650	650
$n_t$		1.05	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05
$f(n_t)$	[nm]	304	262	205	304	349	428
	$\lambda$	$0.47\lambda$	$0.48\lambda$	$0.37\lambda$	$0.47\lambda$	$0.54\lambda$	$0.66\lambda$
$n\{f(n_t)\}$		1.25	1.15	1.16	1.22	1.26	1.22
式(2)		0.72○	0.50○	0.53○	0.51○	0.78○	0.51○

【0030】

【表2】

		比較例1	比較例2	比較例3
グレーデッド層	$n_s$	1.511	1.530	1.530
	$n_i$	1.000	1.000	1.000
	$t_i$ [nm]	440	350	500
光学干渉層	屈折率	-----	-----	-----
	光学膜厚 [nm]	-----	-----	-----
ベース部材	硝種	S-BSM14	S-BSM14	S-BSM14
	屈折率	1.6088	1.6033	1.6033
$\lambda$ [nm]		550	650	650
$n_t$		1.05	1.05	1.05
$f(n_t)$	[nm]	201	308	370
	$\lambda$	$0.36\lambda$	$0.47\lambda$	$0.57\lambda$
$n\{f(n_t)\}$		1.30	1.20	1.20
式(2)		$1.19 \times$	$0.48 \times$	$0.48 \times$

【0031】

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。

【産業上の利用可能性】

【0032】

広帯域特性や入射角度特性に優れた反射抑制機能（反射防止機能）を有する光学素子及びこれを含む光学機器を提供できる。

【符号の説明】

【0033】

011 グレーデッド層の光学膜厚に対する屈折率

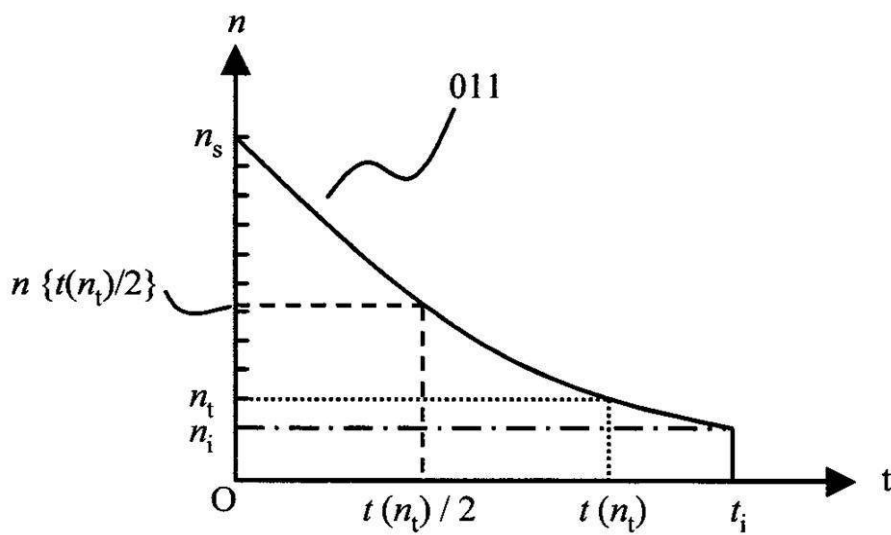
021 グレーデッド層

022, 032, 082 ベース部材

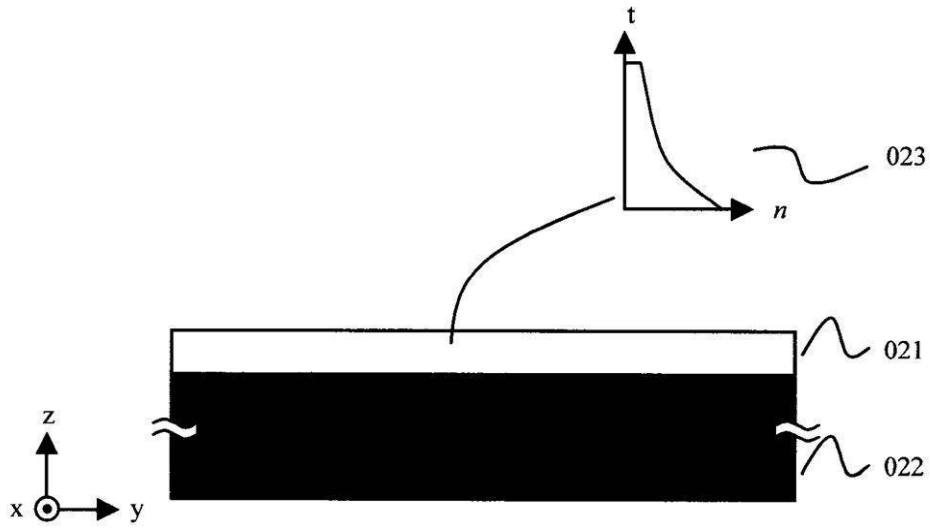
- 0 2 3 グレーデッド層の屈折率構造の模式図
- 0 3 1 厚み方向に均一な屈折率を有する薄膜層
- 0 3 3 薄膜層の屈折率構造の模式図
- 0 4 1 薄膜層の屈折率と光学膜厚
- 0 4 2 薄膜層の表面で反射した光の波
- 0 4 3 薄膜層とベース部材との界面で反射した光の波
- 0 5 1 光学膜厚に対する屈折率
- 0 5 2 グレーデッド層の各位置で反射した光の波の一部
- 0 6 1 , 0 7 1 ベース部材のみの反射率特性
- 0 6 2 , 0 7 2 ベース部材にグレーデッド層を付与した場合の反射率特性
- 0 8 1 微細構造層

10

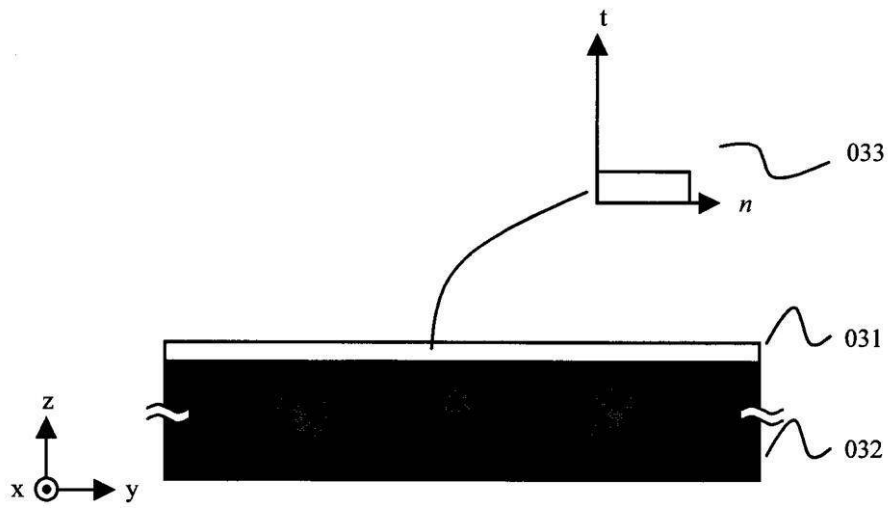
【図 1】



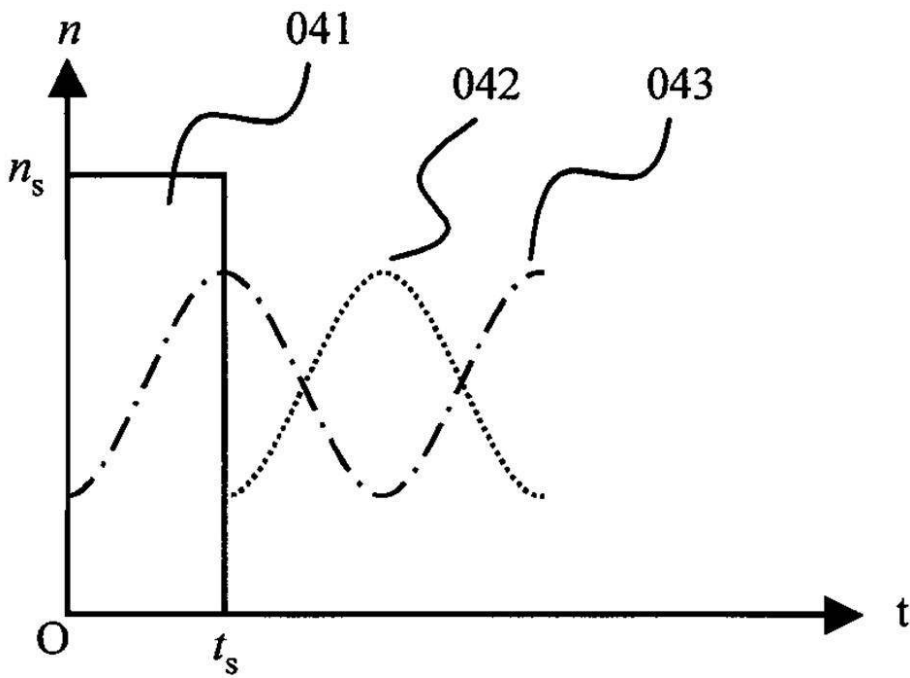
【図 2】



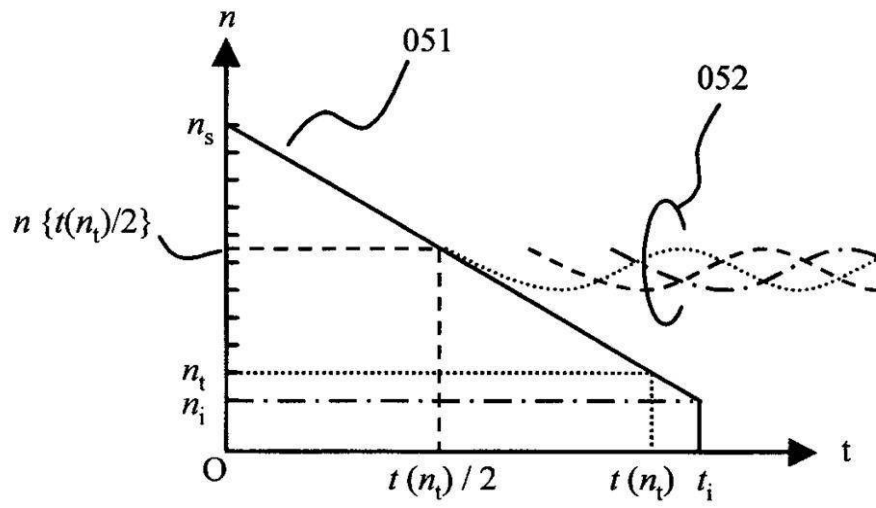
【図 3】



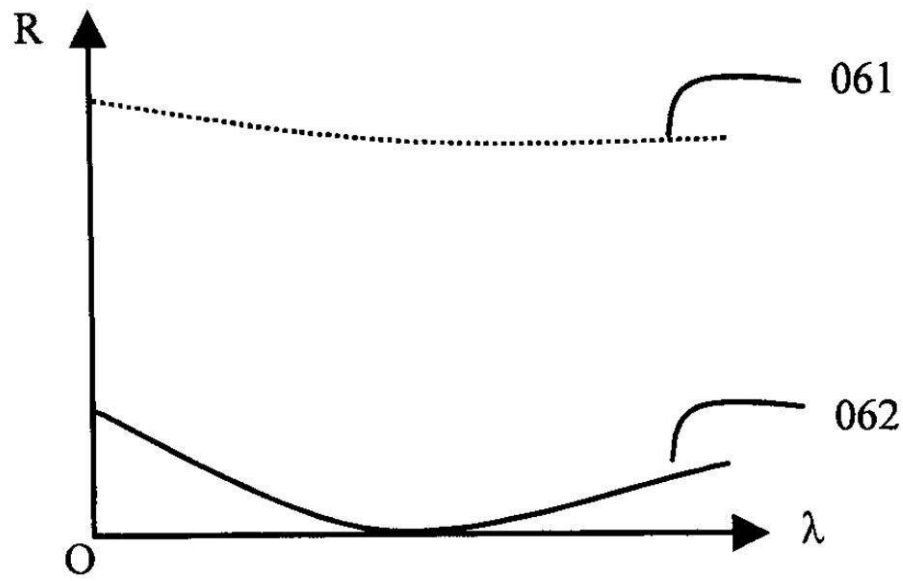
【図 4】



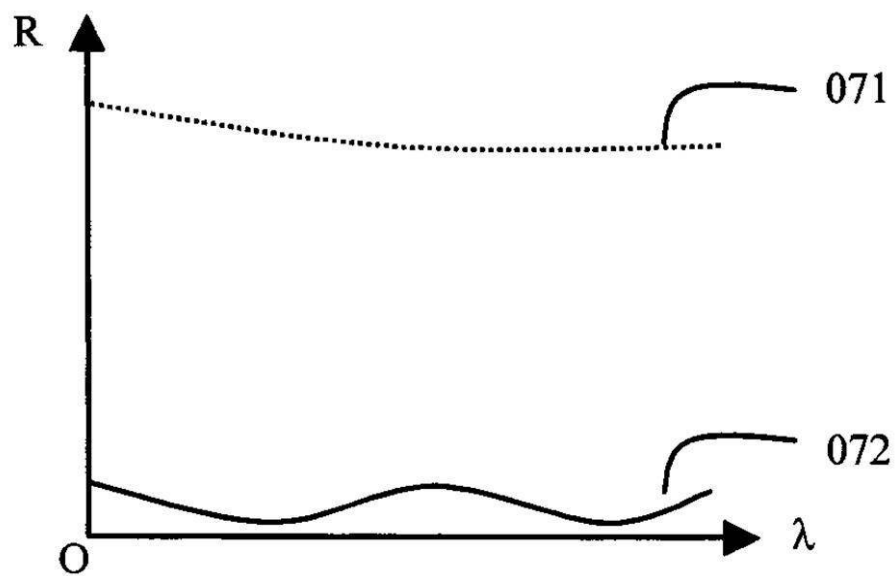
【図 5】



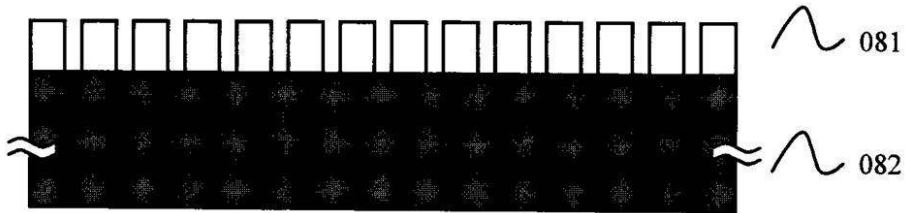
【図 6】



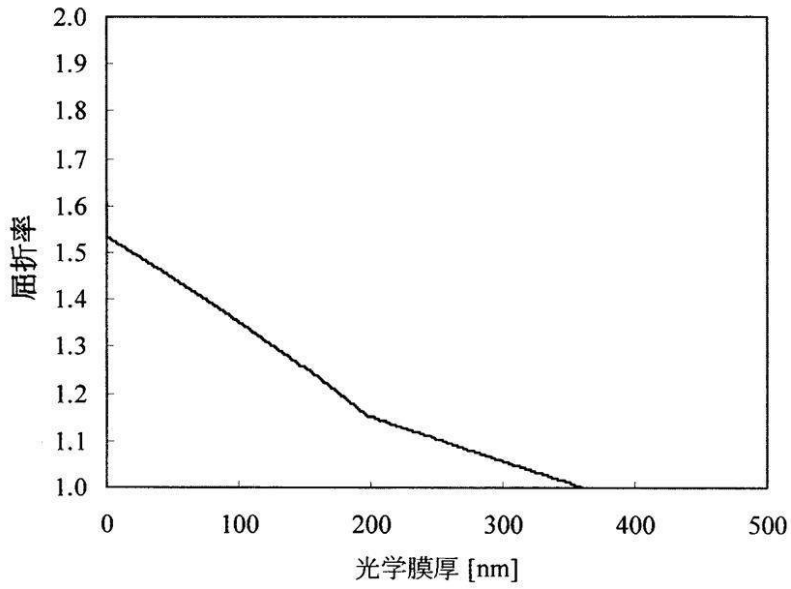
【図 7】



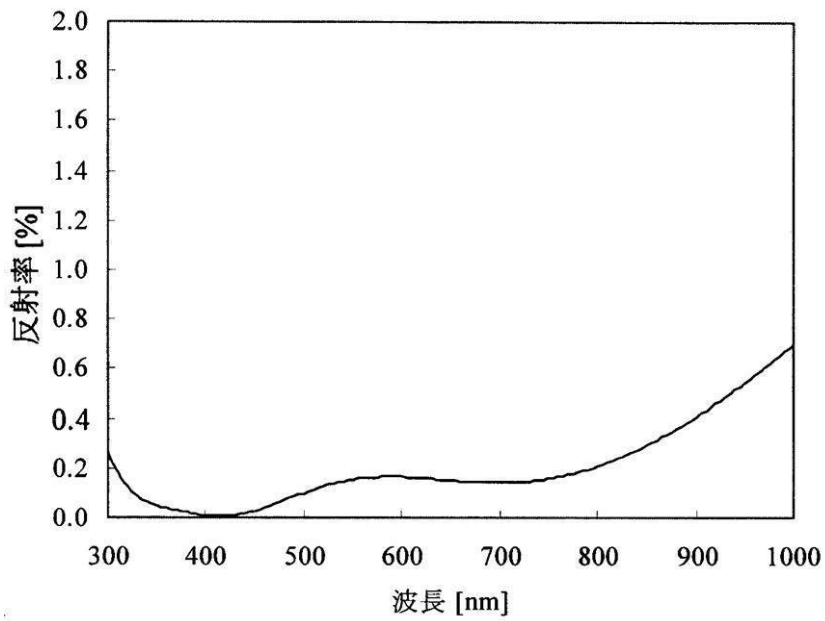
【図 8】



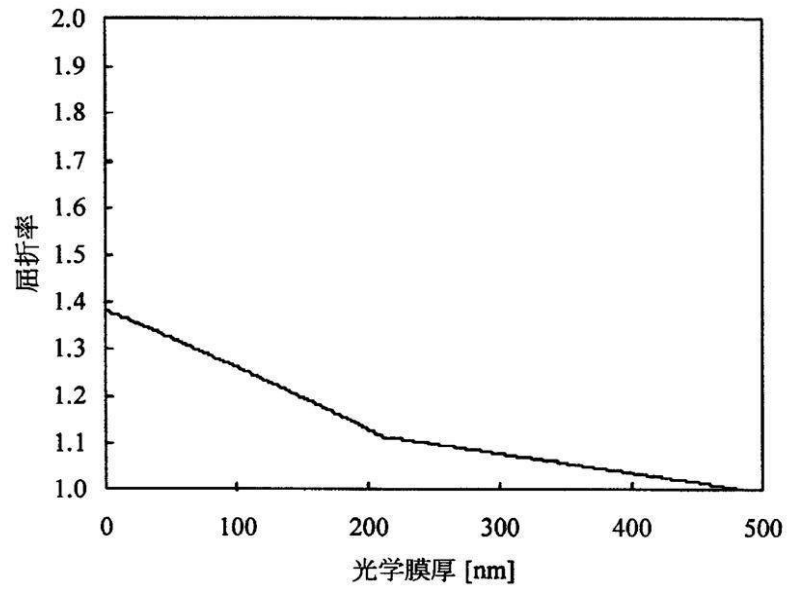
【図 9】



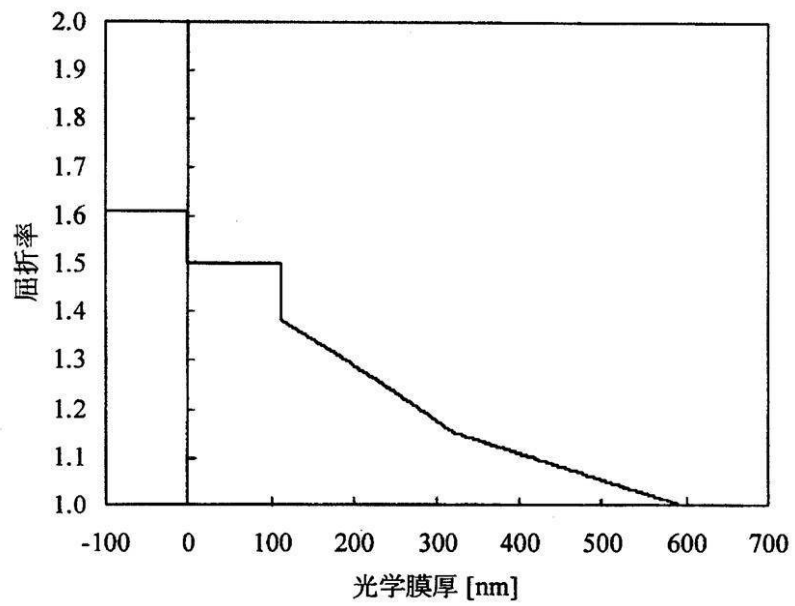
【図 10】



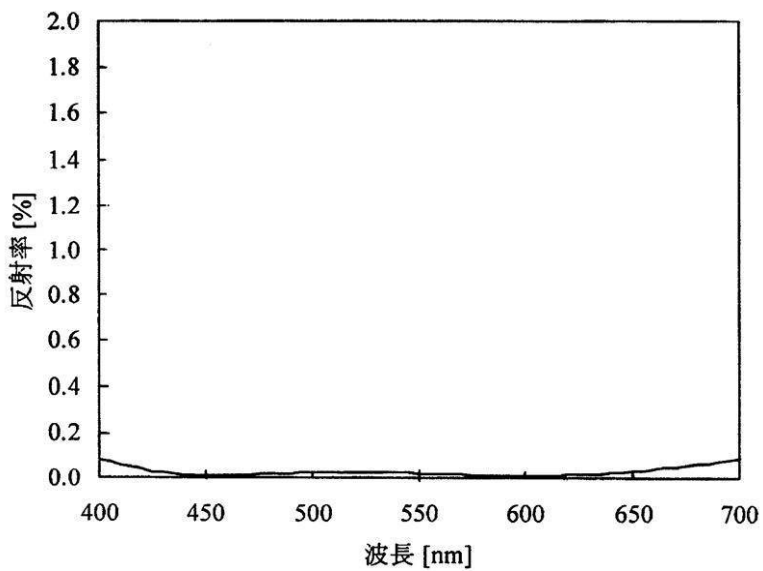
【図 1 1】



【図 1 2】

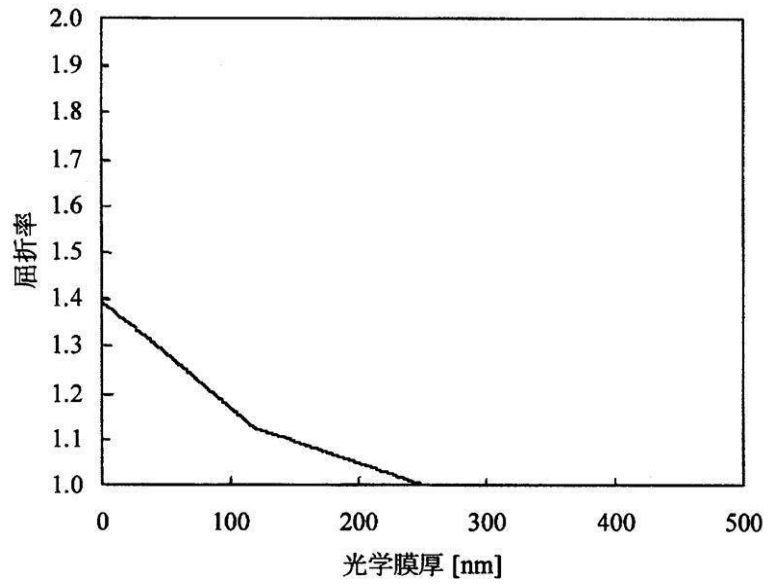


【図 1 3】

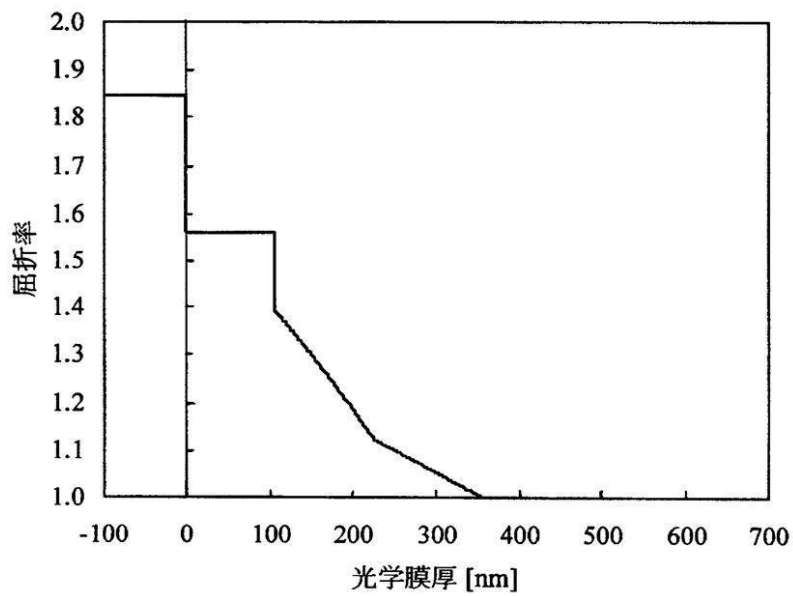




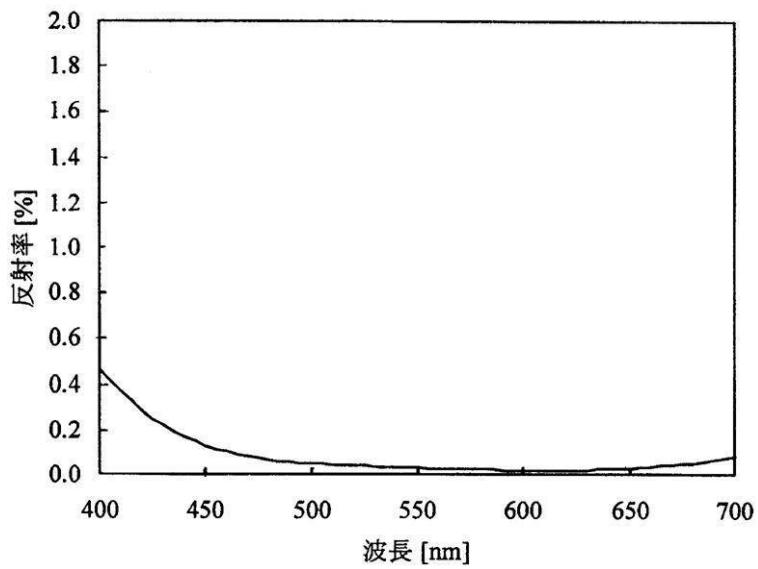
【図 1 4】



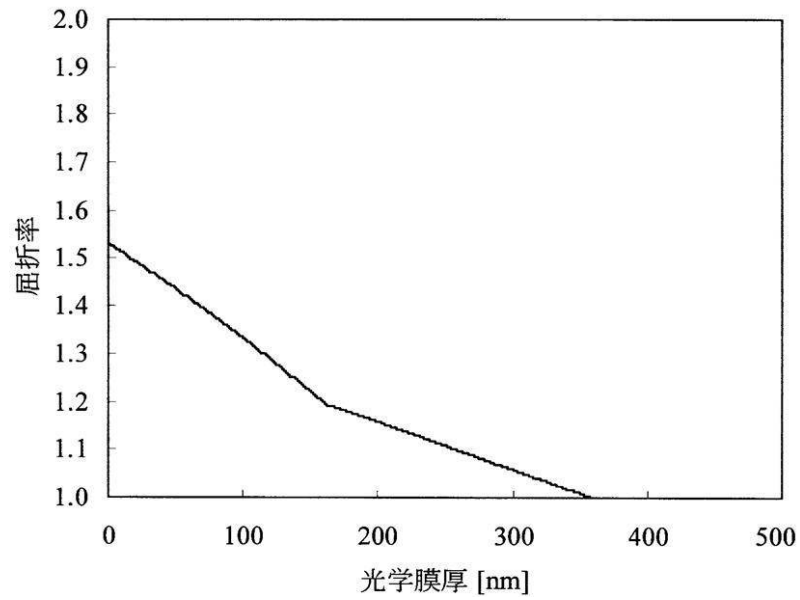
【図 1 5】



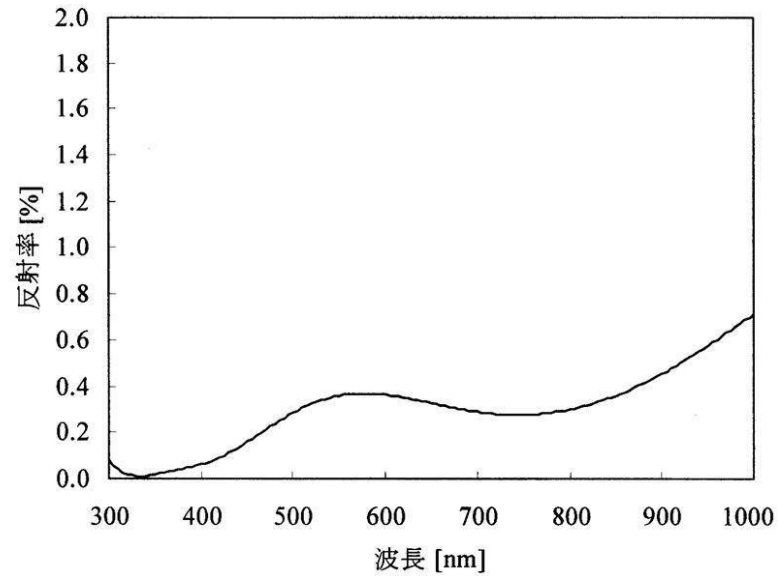
【図 1 6】



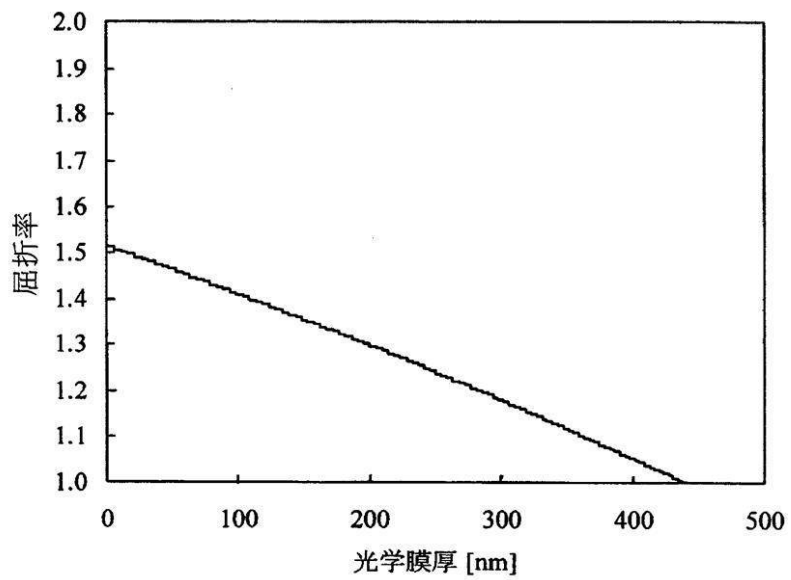
【図 17】



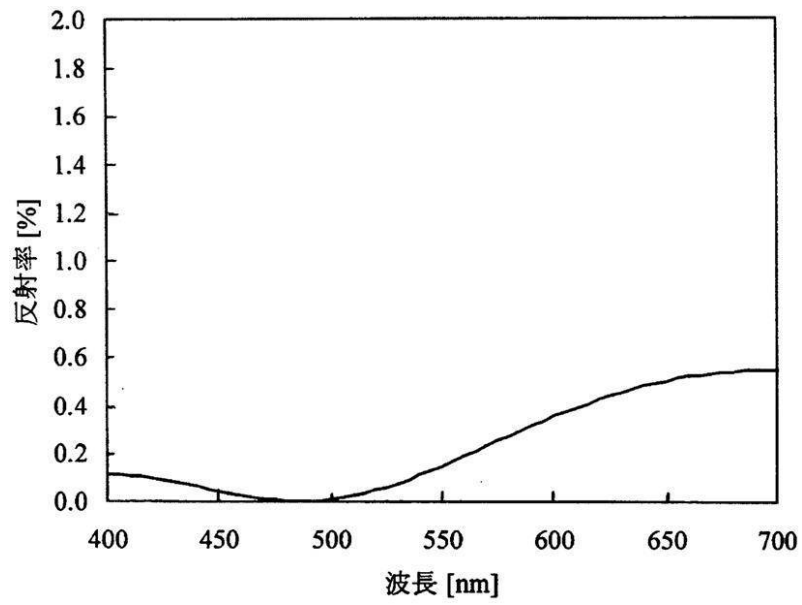
【図 18】



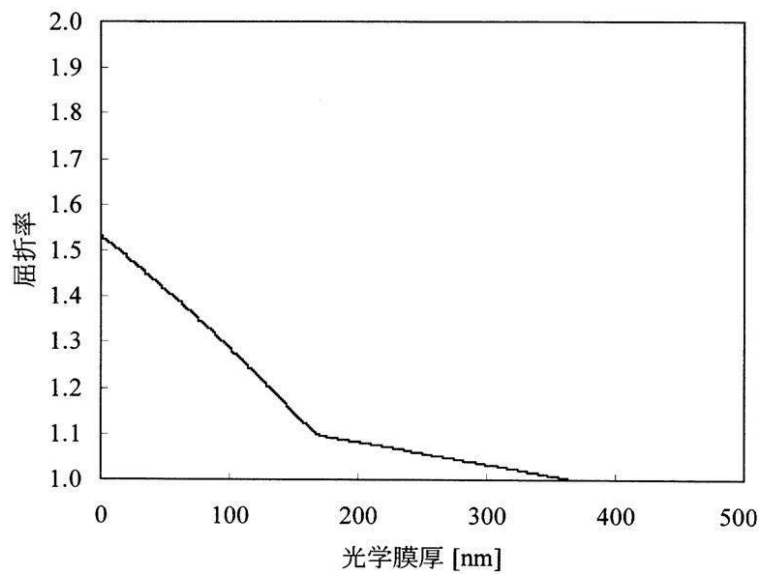
【図 19】



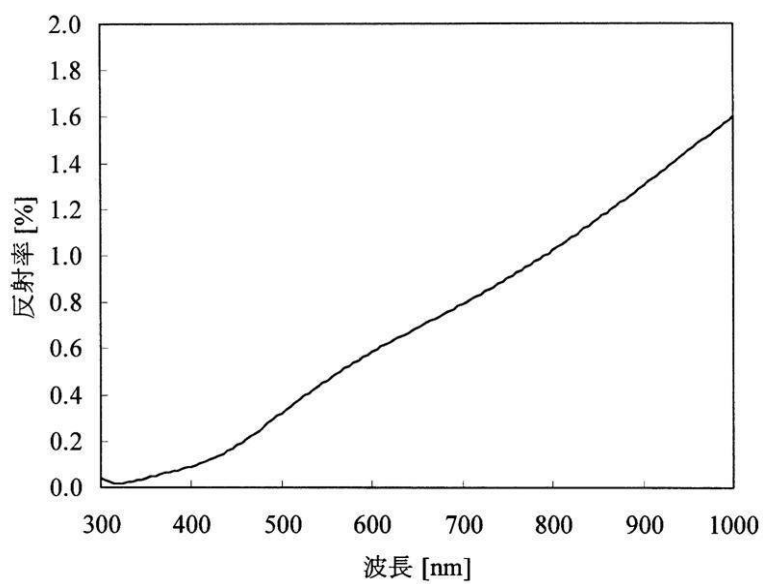
【図 2 0】



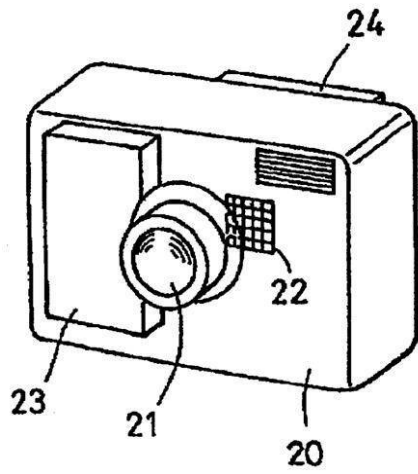
【図 2 1】



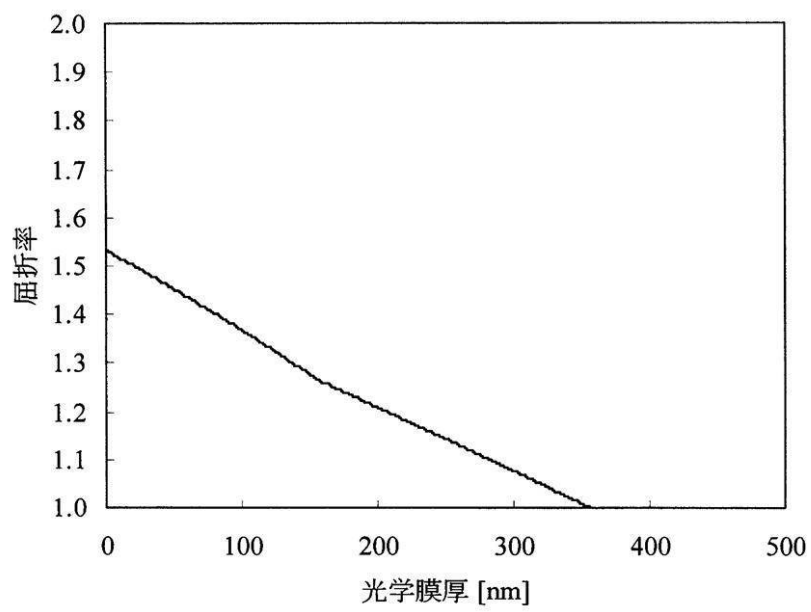
【図 2 2】



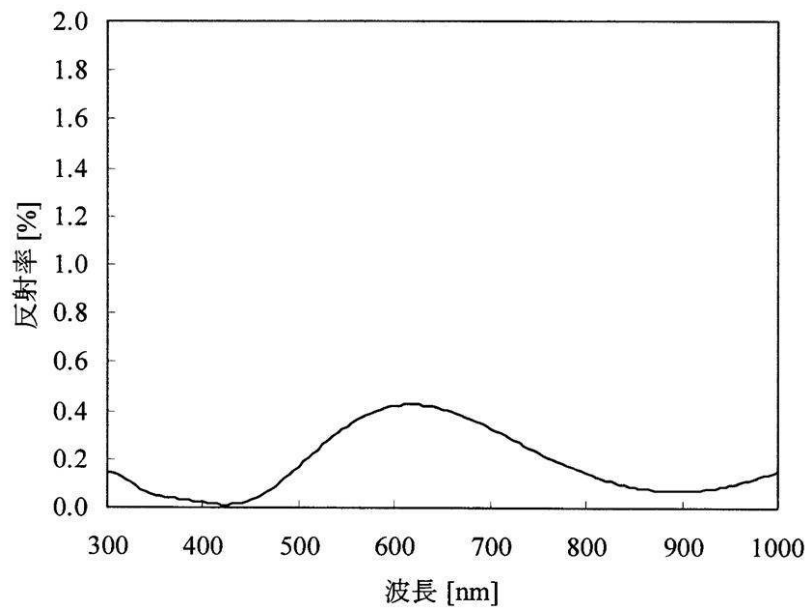
【図 2 3】



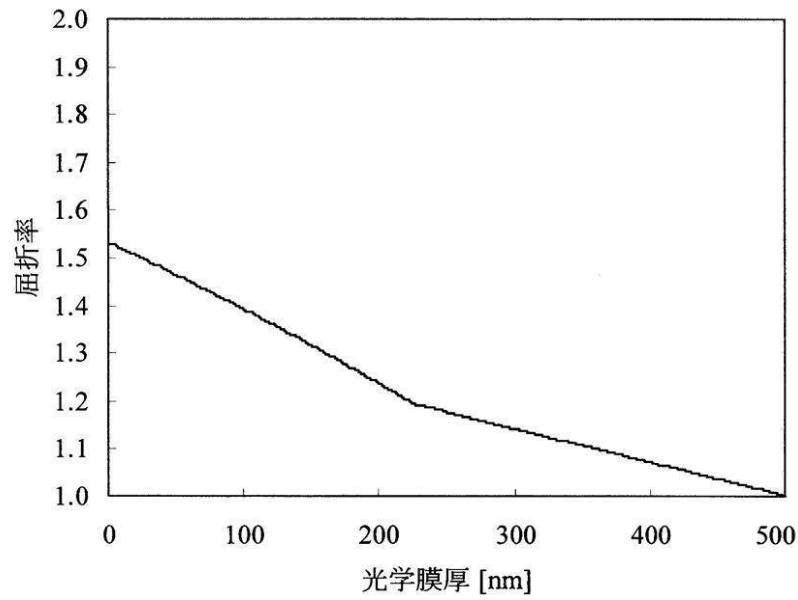
【図 2 4】



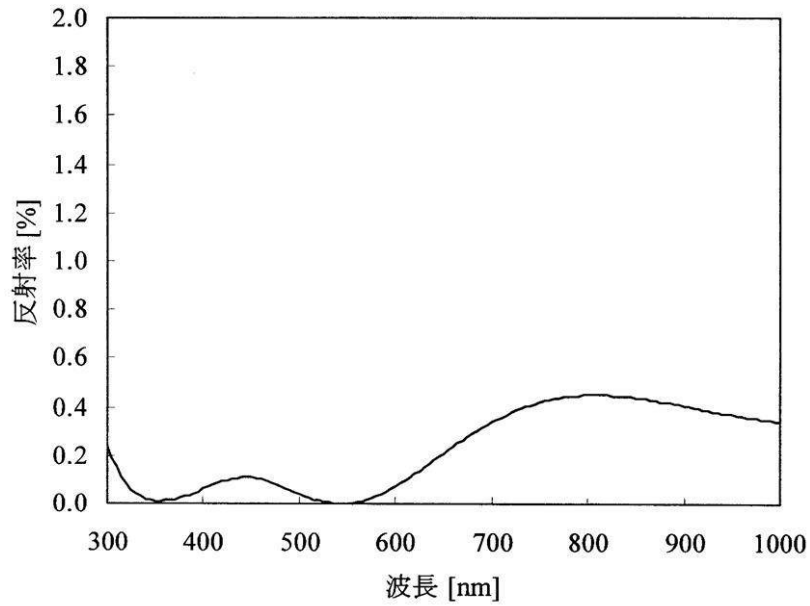
【図 2 5】



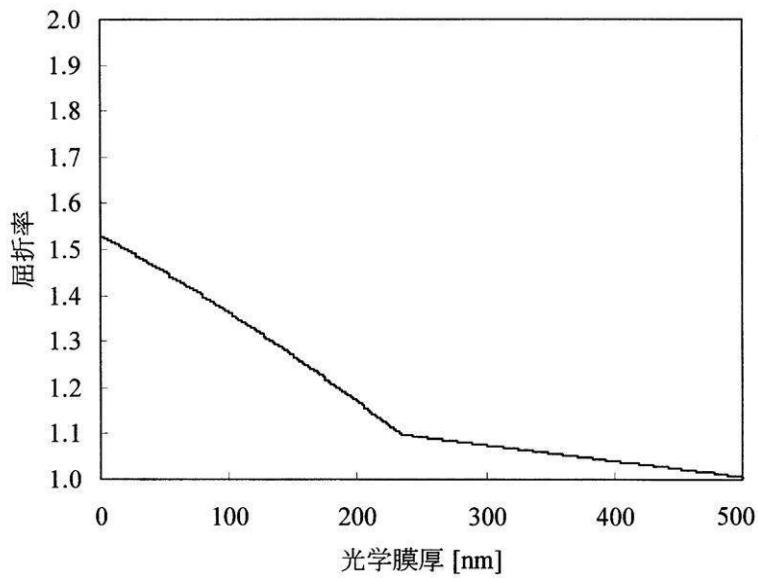
【図 2 6】



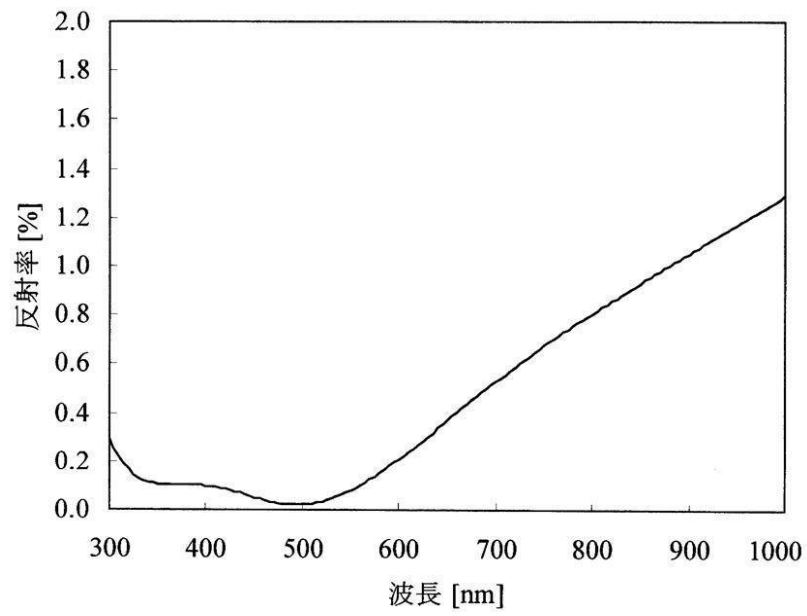
【図 2 7】



【図 2 8】



【図 29】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2006/059686(WO,A1)

特開2006-259711(JP,A)

特開2003-66203(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)

G02B 1/10