

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2012年11月22日(22.11.2012)



(10) 国際公開番号
WO 2012/157719 A1

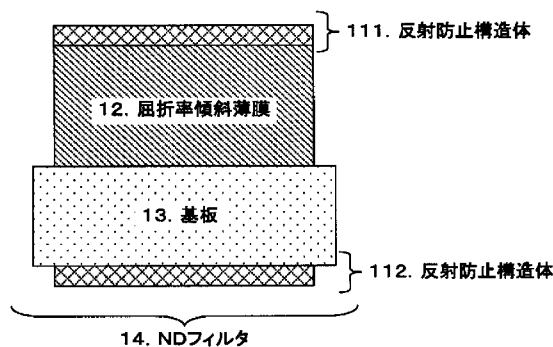
- (51) 国際特許分類:
G02B 5/00 (2006.01) G02B 1/11 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/062700
- (22) 国際出願日: 2012年5月17日(17.05.2012)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2011-110595 2011年5月17日(17.05.2011) JP
特願 2011-128757 2011年6月9日(09.06.2011) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): キヤノン電子株式会社(CANON DENSHI KABUSHIKI KAISHA) [JP/JP]; 〒3691892 埼玉県秩父市下影森 1 2 4 8 番地 Saitama (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 内山 真志 (UCHIYAMA, Masahiro) [JP/JP]; 〒3691892 埼玉県秩父市下影森 1 2 4 8 番地 キヤノン電子株式会社内 Saitama (JP). 柳 道男 (YANAGI, Michio) [JP/JP]; 〒3691892 埼玉県秩父市下影森 1 2 4 8 番地 キヤノン電子株式会社内 Saitama (JP).
- (74) 代理人: 宮崎 昭夫, 外(MIYAZAKI, Teruo et al.); 〒1070052 東京都港区赤坂 1 丁目 9 番 2 0 号 第 1 6 興和ビル 8 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーロパ (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FILTER AND OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: 光学フィルタ及び光学装置

[図2]



12 Thin film with refractive index gradient
 13 Substrate
 14 ND filter
 111, 112 Antireflection structure

(57) Abstract: A light-absorbing thin film with a refractive index gradient, the refractive index of which varies in such a manner as to approach the refractive index of a substrate toward the substrate side in the film thickness direction, is disposed on the surface of an optically-transparent substrate, thereby providing a low reflection optical filter that absorbs light. An optical device that uses the optical filter is also provided.

(57) 要約: 光透過性を有する基板上に、膜厚方向に前記基板側へ向かって前記基板の屈折率に近づくように屈折率変化する光吸収性の屈折率傾斜薄膜を設けることにより、吸収を持つタイプで低反射な光学フィルタを提供する。この光学フィルタを用いた光学装置を提供する。



WO 2012/157719 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

— 補正された請求の範囲及び説明書 (条約第 19 条(1))

明 細 書

発明の名称 : 光学フィルタ及び光学装置

技術分野

[0001] 本発明は、光透過性の基板上に光吸収性の屈折率傾斜薄膜を設けた光学フィルタ、及びこの光学フィルタを備えた撮像光学系を有する光学装置に関する。

背景技術

[0002] 各種様々な用途で使用されている多くの光学フィルタは、フィルタ自身の反射に起因した問題を抱えている。例えば、場合により、撮像光学系などで使用される光学フィルタでは、フィルタを透過した光の一部が、他の部材によって反射され、光学フィルタの光出射面から、再び光学フィルタに入射される現象が起きる。このような場合に、光学フィルタがこの入射光の波長領域に反射率を持っていると、他の部材で反射して入射した光が光学フィルタにより再度反射される。その結果、この光学フィルタで反射された光に起因した不具合が発生する。従って、光学フィルタにおける反射防止機能の更なる強化が強く望まれている。

[0003] 光吸収を持つタイプの光学フィルタにおいても、吸収構造体を有する面の反射率を限りなくゼロに近づけておけば、光吸収特性を調整する事によって所望の透過特性を得る事が可能である。

[0004] このような所望の波長領域に吸収を持つタイプの光学フィルタとしては、光量絞り装置などで用いられる、吸収型のND (Neutral Density) フィルタなどが一般的に広く知られている。

[0005] 光量絞りは、銀塩フィルム、或いはCCDやCMOSセンサと言った固体撮像素子への入射光量を制御するために光学機器に設けられている。光量絞りには、被写界が明るくなるにつれ、より小さく絞り込まれていく構造を有するものがある。このような構造の光量絞りにおいては、快晴時や高輝度の被写界を撮影する際、絞りはいわゆる小絞り状態となり、絞りのハンチング現

象や光の回折現象などの影響を受け易い事から、像性能に劣化を生じさせる場合がある。

[0006] これに対する対策として、絞りを通る光路中の絞りの近傍にNDフィルタを配置するか、若しくはNDフィルタを絞り羽根に直接貼り付ける工夫をしている。このようにNDフィルタを配置する事で光量の制御を行い、被写界の明るさが同一であっても、絞りの開口をより大きくすることができる。

[0007] 近年では撮像素子の感度が向上するに従い、NDフィルタの濃度を濃くして、光の透過率をさらに低下させる改善がなされてきた。それによって、高感度の撮像素子を使用した場合であっても、絞りの開口が小さくなり過ぎないようにすることができる。

[0008] NDフィルタを構成する基板には、ガラスやプラスチック材料からなる透明基板が用いられる。任意形状への加工性や、小型化・軽量化などの要望に伴い、最近では様々なプラスチック材料が基板用として多く使用されるようになってきている。この基板用のプラスチック材料としては、例えば、PET（ポリエチレンテレフタレート）、PEN（ポリエチレンナフタレート）、PC（ポリカーボネート）及びPO（ポリオレフィン）等を挙げることができる。これらの中でも特に、耐熱性や柔軟性、さらにはコスト的な要素も含めた総合的な観点より、Arton（JSR社製：製品名）やZeonex（日本ゼオン社製：製品名）などに代表されるノルボルネン系の樹脂や、ポリイミド系の樹脂などが好適である。

[0009] 光吸収タイプのNDフィルタには、基板中に光を吸収する有機色素または顔料を混ぜて練り込むタイプのものや、光を吸収する有機色素または顔料を塗布するタイプのものなどがある。これらのタイプでは、分光透過率の波長依存性が大きいと言った致命的な欠点を有する場合がある。したがって、現在では蒸着法やスパッタ法など真空成膜法により、プラスチックやガラスなどの透明基板上に、多層膜を生成する事でNDフィルタを作製するのが最も一般的なNDフィルタの作製手法となっている。

[0010] このような光学フィルタであるNDフィルタにおいても、最近の固体撮像

素子の更なる高感度化、高精細化等に伴い、先に述べたようなフィルタ自身の反射に起因した、ゴーストやフレア等の撮影画像への不具合が生ずる可能性が高まってきており、強い光源の下で使用するカメラの用途であれば、可視光波長領域における分光反射率を従来以上に低減することが1つの大きな課題となっている。

[0011] 反射低減策としては次のような方法が知られている。まず、特開平8-075902号公報（特許文献1）では、例えば SiO_2 、 MgF_2 、 Nb_2O_5 、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 ZrO_2 等の異なる材料からなる屈折率の異なる数種類の薄膜を積層して多層膜タイプの反射防止膜とし、任意の波長領域の反射率を抑制する方法が提案されている。また、特開2009-122216号公報（特許文献2）には、反射防止構造体として微細周期構造体を用いたNDフィルタが開示されている。更に、光吸収膜において所望の光透過特性を得る例として、特開2010-277094号公報（特許文献3）では、透過平坦性を向上させる方法が提案されている。

先行技術文献

特許文献

- [0012] 特許文献1：特開平8-075902号公報
特許文献2：特開2009-122216号公報
特許文献3：特開2010-277094号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0013] しかしながら、特許文献1で示されたような多層膜での反射防止膜の場合には、広い波長領域にわたって反射率を大幅に低減するには、多層膜を構成する薄膜材料として使用できる材料が限定されている。そのため、相当の層数を必要としたり、設計が複雑になってしまう。

[0014] また、特許文献2で示されているサブミクロンピッチで形成された微細周期構造体をNDフィルタの反射防止構造体とする場合は、特許文献1で示し

た多層膜構成の場合よりも、反射防止の波長領域を拡げる事が比較的容易であり、さらに、反射率の低減も容易である。しかしながら、引用文献2に記載されている基板上に微細周期構造体を設ける構成では、これらの界面での光反射が問題となる場合がある。また、例えば多層薄膜からなる光吸収層でも、NDフィルタを構成する構造体間で生じる光反射を干渉効果のみでこれら全てを相殺させて、NDフィルタ総体としての反射をゼロに近づける事は著しく困難である。

[0015] 特許文献3では、所望の波長領域での分散特性が小さい吸収材料を用いる事で透過率の平坦性を向上させる方法が提案されている。透過率の平坦性のみを向上させ、所望の透過特性を得る事は比較的容易である。しかし、所定の濃度を維持したまま、例えば0.5%程度まで反射率を低減しつつ、平坦性を大幅に向上させる為には、非常に多くの層数を必要としたり、極薄層が必要となったり、設計が大変複雑になってしまうと言った問題が生じる。

[0016] 本発明の目的は、上述のような光吸収性を有する光学フィルタの反射率に起因した不具合を低減した光学フィルタを提供することにある。他の目的として、反射率に起因した不具合を低減するとともに透過率の平坦性を向上できる光学フィルタを提供する事にある。また、このような反射を低減した光学フィルタを撮像光学系に用いる事で、反射率に起因したゴーストを低減することができる。また、反射率を低減し、透過率の平坦性を向上した光学フィルタを撮像光学系に用いることで、高画質化など高精度化を実現できる光学装置を提供する事にある。

課題を解決するための手段

[0017] 本発明にかかる光学フィルタは、光透過性を有する基板と、膜厚方向に前記基板側へ向かって前記基板の屈折率に近づくように屈折率変化する光吸収性の屈折率傾斜薄膜を備えたことを特徴とする。

[0018] 本発明にかかる光学装置は、上記の光学フィルタを備えた撮像光学系を有することを特徴とする。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、反射を低減した吸収タイプの光学フィルタを得る事ができる。この光学フィルタを撮影光学系に用いた場合、フィルタの反射に起因した、例えばゴーストなどの不具合を著しく低減することができる。また、分光透過特性の平坦性を向上させたフィルタでは、分光透過に起因した、例えば色バランスなどを著しく改善する事ができる。また、このような光学フィルタを特に光量絞り装置などに用いた撮像装置は、高画質化を可能とした装置を得る事が可能である。

図面の簡単な説明

- [0020] [図1]本発明に係る屈折率傾斜薄膜の屈折率分布例である。
- [図2]本発明に係る光学フィルタの構成例である。
- [図3]本発明に係る光学フィルタの構成の変形例である。
- [図4]本発明に係る屈折率傾斜薄膜の屈折率プロファイル例である。
- [図5]本多層膜と屈折率傾斜薄膜の電子顕微鏡図である。
- [図6]本発明に係る TiO と Ti_2O_3 の分光透過率特性の例である。
- [図7]本発明の実施に用いたスパッタ装置の概略平面図である。
- [図8]実施例1により作製された光学フィルタの分光反射率特性である。
- [図9]比較例1としての光学フィルタの構成図である。
- [図10]比較例1により作製されたNDフィルタの分光反射率特性である。
- [図11]実施例1と実施例2の分光透過特性の比較図である。
- [図12]ピラーアレイ状の微細周期構造体の概略図である。
- [図13]微細周期構造体の配列例である。
- [図14]実施例3における屈折率傾斜薄膜の屈折率プロファイルである。左方に基板が配置され、右方に反射防止構造体が配置される。
- [図15]実施例3により作製された光学フィルタの分光反射率特性である。
- [図16]実施例4により作製された光学フィルタの構成図である。
- [図17]実施例4に記載の光学フィルタの構成例である。
- [図18]実施例4に記載の屈折率傾斜薄膜の屈折率プロファイルである。左方に基板が配置され、右方に反射防止構造体が配置される。

[図19]実施例4により作製された光学フィルタの分光反射率特性である。

[図20]実施例5のNDフィルタを用いた光量絞り装置の説明図である。

[図21]実施例5のNDフィルタを用いた光学撮影装置の光学系の説明図である。

[図22]実施例6のNDフィルタを用いた光学測定装置の説明図である。

発明を実施するための形態

[0021] 本発明にかかる光学フィルタは、光透過性を有する基板と、光吸収性を有する屈折率傾斜薄膜と、好ましくは、反射防止構造体とを有する。

[0022] 基板としては、光学フィルタの基板としての強度や光学特性を有するものであり、屈折率傾斜薄膜及び反射防止構造体の形成用の基体として機能可能であるものが利用される。基板としては、ガラス系の材料からなる基板、PET（ポリエチレンテレフタレート）、PEN（ポリエチレンナフタレート）、PES（ポリエーテルサルホン）、PC（ポリカーボネート）、PO（ポリオレフィン）、PI（ポリイミド）及びPMMA（ポリメチルメタクリレート）等から選択した樹脂材料からなる基板を用いることができる。

[0023] 屈折率傾斜薄膜は、基板の屈折率に近づくように膜厚方向に連続的または段階的に屈折率変化し、基板と、大気又は屈折率傾斜薄膜に隣接する構造体（例えば反射防止構造体）との屈折率差を低減する。

[0024] この膜厚方向の屈折率変化を膜厚方向において複数の領域に分けた場合に、屈折率傾斜薄膜は、可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて高くなる領域と、可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて低くなる領域とを有する。好ましくは、屈折率傾斜薄膜の屈折率は、膜厚方向は連続的に変化する。連続的に変化するることによって、反射防止効果や環境安定性が向上する効果を得られる。また、屈折率傾斜薄膜に隣接している構造体が反射防止構造体である場合は、屈折率傾斜薄膜は、基板と反射防止構造体の屈折率差を低減する。屈折率傾斜薄膜の基板側端部の屈折率と屈折率傾斜薄膜の反射防止構造体側端部の屈折率差が、基板と反射防止構造体の屈折率差より小さくなるように設定する。特に好ましくは、基板の屈折率と

反射防止構造体の屈折率を連続的に繋ぐように変化する。また基板の片面に設けた屈折率傾斜薄膜の反対側の面に少なくとも反射防止構造体及び屈折率傾斜薄膜のいずれか一方を備えることで基板両面の反射を低減してもよい。

[0025] 屈折率傾斜薄膜は光吸収性を有する薄膜であり、その厚さ方向において基板上に配置される。好ましくは、屈折率傾斜薄膜上に反射防止構造体を設ける。屈折率傾斜薄膜の光吸収性は、目的とする光学フィルタの機能や特性に応じて設定される。入射光の所定の波長に対して、少なくともおよそ1%程度が吸収される場合に、当該波長に対して光吸収性を持つといえる。

[0026] 屈折率傾斜薄膜は、その厚さ方向において連続的かつ周期的に変化する屈折率変化を有する。基板、屈折率傾斜薄膜及び反射防止構造体を有する光学フィルタにおける屈折率傾斜薄膜の屈折率変化は、

(1) 前記基板側において、前記屈折率変化の前記基板側の終点まで、前記屈折率が前記基板の屈折率に近づくように変化する部分と、

(2) 前記反射防止構造体側において、前記屈折率変化の前記反射防止構造体側の終点まで、前記屈折率が前記反射防止構造体の屈折率に近づくように変化する部分と

を有することが好ましい。

[0027] なお、上記の屈折率変化の基板側終点とは、例えば、図1におけるAで示された点であり、反射防止用の微細周期構造体側の終点はBで示された点である。図1に示す例では、屈折率分布の変化の基板側終点（あるいは起点）Aを含む末端部分において、屈折率傾斜薄膜の屈折率が基板の屈折率に近づくように変化している。屈折率分布の変化の反射防止構造体側終点（あるいは起点）Bを含む末端部分においても同様に、屈折率傾斜薄膜の屈折率が反射防止構造体の屈折率に近づくように変化している。なお、点Aは基板側界面に位置してもよい。また、点Bも反射防止構造体側の界面に位置してもよい。また、連続的な変化や微小な屈折率差であれば反射は大きく低減でき、屈折率変化が滑らかで隣接する構造体、すなわち基板または微細周期構造体の屈折率に、屈折率が大きい方から近づいても、屈折率が小さい方から近づい

てもよい。屈折率傾斜薄膜の膜厚方向における基板側の端部の屈折率と基板の屈折率の差 a と、屈折率傾斜薄膜の膜厚方向における微細周期構造体側の端部の屈折率と微細周期構造体の屈折率の差 b との和 ($a + b$) が、屈折率傾斜薄膜の両面に隣接する 2 つの構造体間の屈折率差よりも小さくなっていればよい。

[0028] つまり、屈折率傾斜薄膜の屈折率が、基板の屈折率と微細構造体を構成する材料の屈折率との屈折率差を低減するように膜厚方向に屈折率変化するとは、基板の屈折率 A と微細周期構造体の屈折率 B との屈折率差 $|A - B|$ と ($a + b$) の関係が、 $|A - B| > a + b$ が成り立つことである。なお、この関係は、後述する図 2 及び図 16 における基板、他の屈折率傾斜薄膜及び反射防止構造体の場合においても同様である。

[0029] なお、成膜方法によっては、基板上に形成される薄膜の最初の部分での厚さ方向の屈折率が一定である部分が生じても良い。例えば、後述するとおり、基板上に屈折率傾斜薄膜を成膜する際に、複数の薄膜形成用材料の配合比を変化させて膜厚方向での屈折率の連続的な変化を形成する。その際、一定の成膜材料濃度で成膜を開始してから、ある時間経過後に複数の薄膜形成用材料の配合比を変化させることができる。その場合には、上記のような厚さ方向における屈折率の変化がない部分が生じてもよい。

[0030] 基板側の屈折率変化の終点における屈折率は、基板の屈折率と同じとするか、あるいは、基板の屈折率に対して、目的とする光学フィルタの特性において許容される屈折率差の範囲内の屈折率であればよい。反射防止構造体側の屈折率変化の終点における屈折率も同様に、反射防止構造体の屈折率と同じか、あるいは、反射防止構造体の屈折率に対して、透過光の波長または波長領域における目的とする光学フィルタの特性において許容される屈折率差の範囲内の屈折率であればよい。これらの屈折率差は 0.05 以下が好ましい。従って、上述した厚さ方向における屈折率の変化がない部分が基板側の界面に接して存在する場合についても、この屈折率変化のない部分の屈折率が、基板の屈折率に対して 0.05 以内の屈折率差を有することが好ましい

。この点は、反射防止構造体側の界面に接して厚さ方向における屈折率の変化がない部分が存在する場合においても同様である。

- [0031] 屈折率傾斜薄膜の厚さ方向の屈折率の変化の幅は、目的とする光学フィルタの特性や屈折率傾斜薄膜形成用の材料の種類やその組合せなどによって各種設定できる。例えば、屈折率傾斜薄膜の厚さ方向において、3種類の元素を用いて、 SiO_2 からなる領域から TiO_2 からなる領域に変化させる場合は1.47～2.70程度の範囲内で変化させることができる。
- [0032] 屈折率傾斜薄膜の膜厚は、目的とする機能に応じて適宜選択できる。屈折率傾斜薄膜の膜厚は、10～4000nm、より好ましくは100～1000nmとすることができる。
- [0033] 反射防止構造体は、所望の光学フィルタの光学特性を得るために必要とされる反射防止機能を有するものであればよい。
- [0034] 反射防止構造体としては、微細構造体や、単層、若しくは複数層の薄膜で形成された反射防止膜を用いることができる。
- [0035] 微細構造体としては、可視光の波長よりも短いピッチで多数の微細な突起が配列された面を有する微細構造体、あるいは可視光の波長よりも短いピッチでの凹凸の繰り返しを設けた面を有する微細構造体を用いることができる。この微細構造体としては、ランダムに形成された針状体及び柱状体等の突起、階段形状に微細に形成された凹凸構造の突出部または凹部によって大気や隣接する媒体との屈折率差を低減したものも含む。この微細構造体としては、公知の微細構造体から目的に応じて選択したものを用いることができる。例えば、基板を透過する可視光の波長よりも短い繰返し周期で配置された多数の突起からなる周期構造、あるいは基板を透過する可視光の波長よりも短い繰返し周期の凹凸構造からなる周期構造を持つ微細周期構造体であれば、光ナノインプリントなどの方法を用いて再現性良く作成することができる。
- [0036] 単層または複数層の反射防止膜では、屈折率傾斜薄膜に隣接する層の屈折率と前記基板の屈折率との屈折率差を低減するように、屈折率傾斜薄膜は膜厚方向に屈折率変化する。

[0037] なお、基板と、膜厚方向に屈折率が連続的に変化する屈折率傾斜薄膜と、所望の光の波長領域において反射防止効果を発現する反射防止構造体とを、それぞれこの順番に隣接させ配置する事で、光学フィルタ内での光の反射率を著しく低減させることができる。光吸収性を屈折率傾斜薄膜に持たせた光学フィルタにおける色バランスなど、高画質化に必要とされる、分光透過特性を調整し向上させるためには、膜厚方向において段階的または連続的に、好ましくは連続的かつ周期的に屈折率が変化する薄膜を用い、基板、屈折率傾斜薄膜及び反射防止構造体の屈折率の関係を上記の（１）及び（２）のように設定することが好ましい。この好ましい構成により、反射を著しく低減し、分光透過特性の平坦性を向上させた吸収タイプの光学フィルタを得る事が可能となる。

[0038] 本発明にかかる光学フィルタの構成は、吸収を持つタイプで反射を課題とする光学フィルタであれば、例えば、NDフィルタ、光学フィルタ等の種々の光学フィルタに利用できる。

[0039] 以下、本発明の光学フィルタについて、NDフィルタとした場合について実施態様に基いて説明する。

[0040] （実施態様１）

図２のように構成した、吸収タイプのNDフィルタについて、以下に詳しく記載する。

[0041] なお、以下に説明する実施態様及び各実施例における屈折率は、基板、屈折率傾斜薄膜及び反射防止構造体の構成材料から540nmの波長の光での屈折率として特定できるものである。

[0042] 図２に示したように、基板13の片面（上面）側に屈折率傾斜薄膜12を配置した。また、屈折率傾斜薄膜12上に反射防止構造体111を配置し、基板13の裏面にも反射防止構造体112を配置した場合、さらに反射防止効果を得ることができる。また、屈折率傾斜薄膜12は膜中の少なくとも一部に吸収を持っている。

[0043] 図２のような構成の場合、基板の裏面での反射が大きくなってしまふ為、

この面にも何らかの反射防止構造体 112 が必要となる場合が多い。このような反射防止構造体 111、112 としては、図 3 (a) ~ (b) 中に示したように、反射防止効果を持つ微細周期構造体 151、152 や、単層、若しくは複数層の薄膜で形成された反射防止膜 161、162 が挙げられる。更には、図 3 (c) ~ (d) 中に示したように、微細周期構造体 15 と反射防止膜 16 を併用した構成などが挙げられる。適宜最適な構成を選択すれば良い。このような構成であれば、例えば撮像素子側にフィルタのどちらの面を向けても、フィルタの反射に起因したゴースト光の発生を抑制する事ができるなど、フィルタの方向を選ばず光学系内に配置する事も可能となる。

[0044] 図 3 (a) ~ (d) 中でも、反射低減の観点からは図 3 (a) に示したような構成にする事がより望ましい。従って、後述する本発明の実施例 3 では図 3 (a) のように、反射防止構造体として、基板 13 の両側の面で微細周期構造体 151、152 を形成した。

[0045] ここで、例えば図 3 (b) のような多層膜構成の反射防止膜 161 や 162 と同様の効果を持つ機能を屈折率傾斜薄膜 12 中に組み込む事も可能である。その場合は、表層の界面付近における所定の領域内で、屈折率を周期的に、且つ連続的に複数回増減させ、外気との界面反射防止用の屈折率プロファイルが必要となる。そのため、屈折率傾斜薄膜上に別途反射防止構造体を設けた構成とみなすことができる。また、反射防止膜の作成に際して、屈折率傾斜薄膜上に、屈折率傾斜薄膜の作成に使用する材料と異なる材料を使用し、屈折率が周期的かつ連続的に変化する反射防止膜を作成してもよい。

[0046] <屈折率傾斜薄膜について>

屈折率傾斜薄膜 12 は、メタモードスパッタ法により、 SiO_2 と TiO_x 膜の成膜レートを調整しながら、この 2 種類を混合させ、屈折率を膜厚方向で連続的に変化させる事で、所望の吸収特性を得るように調整し作製した。

[0047] このような連続的な屈折率プロファイルを持つ屈折率傾斜薄膜の例が図 1 及び図 4 である。図 1 では、比較的高屈折率を持つ基板から、屈折率傾斜薄膜、微細周期構造体の順に積層されている。そして、膜厚方向に対し、基板

側から連続的に屈折率が増減するような変化を持っており、屈折率傾斜薄膜両端の界面に向かうにつれ、それぞれ隣接する構造体の屈折率に近づくような変化をとっている。

[0048] このような屈折率傾斜薄膜の設計手法は以前より各種様々な方法が検討されており、連続的な変化とは異なり、階段状に徐々に屈折率が変化するステップ型の屈折率分布であっても、この屈折率分布を調整する事で、連続的なインデックス変化を持たせた膜と、略同様の光学特性を得る事も可能である事が判明している。しかし、反射低減などにおいては、連続的な屈折率変化を持った方が、より理想的な特性を得る事ができ、さらに薄膜中で界面が無くなり前後の膜組成が非常に近くなる事から、膜の密着強度の向上や、環境安定性の改善などの効果が現れる。このような観点からは、屈折率が連続的に変化する屈折率分布を選択する方が良い。

[0049] このような屈折率傾斜薄膜の屈折率プロファイル例が図1である。図1では比較的高屈折率を持つ基板から、屈折率傾斜薄膜、微細周期構造体のような反射防止構造体の順に積層されている場合を示した。そして、膜厚方向に対し、基板側から連続的に屈折率が増減するような変化を持っており、屈折率傾斜薄膜両端の界面に向かうにつれ、それぞれ隣接する構造体の屈折率に近づくような変化をとっている。図1に示した構成では、構造体として図1の左側に基板が右側に反射防止構造体が配置されている。反射防止構造体を形成しない場合では、隣接する媒質である例えば大気、水、有機媒体等に近づくように屈折率を変化させる。この際、隣接する媒質近傍では、屈折率変化が緩やかであることが好ましい。屈折率変化が緩やかであることで、膜厚方向前後の組成が近づき環境安定性がさらに向上する。また、隣接する媒質近傍で、酸素供給が行われやすい環境である場合、さらに経時変化の影響を低減させることができる。そのため図1のA及びB近傍は、屈折率変化がA及びBの間の屈折率を連続して変化させる膜厚当たりの最大の屈折率変化となる部分Cの屈折率変化よりも、膜厚当たりの屈折率変化が緩やか、すなわち小さな変化としている。膜厚当たりの最大の屈折率変化となる部分Cは、

吸収特性等を考えA、B間で適宜設計することができる。

[0050] 環境安定性の向上とともに、膜厚当たりの屈折率差を小さくすることで屈折率傾斜薄膜内での内部反射を低減することができる。

[0051] 屈折率傾斜薄膜は、膜面に垂直な方向、つまり膜厚方向に屈折率が連続的、好ましくは連続的かつ周期的に変化している薄膜の事である。膜厚方向に屈折率が、連続的かつ周期的に変化している膜は、ルゲート膜、ルゲートフィルタなどとして呼ぶことも可能である。図5に多層膜と屈折率傾斜薄膜の電子顕微鏡写真の模式図を示す。図5(a)は多層膜の膜厚方向断面の模式図であり、図5(b)が屈折率傾斜薄膜の断面の模式図である。例えば、色の濃い部分が SiO_2 で、色の薄い(白抜き)部分が TiO_2 とすると多層膜は、膜の界面が明確に分かれているのに対して、屈折率傾斜薄膜は、多層膜と異なり、膜の界面が明確に分かれていない。また、屈折率傾斜薄膜の屈折率変化の大きい部分ではコントラストが強くなる。

[0052] また、深さ方向分析によって得られた結果を、縦軸に濃度(強度)、横軸に深さ(膜厚など対応するパラメーター)を取ったプロットをデプス・プロファイルという。

[0053] 測定試料の表面から内側に向かって組成分布を調べる深さ方向分析において、ミクロンオーダー以下の分析には加速イオンを用いて表面を削り取りながら分析する手法が良く用いられる。この方法はイオンスパッタリング法と呼ばれ、X線光電子分光法(XPS)やオージェ電子分光法(AESまたはESCA)などとして知られており、基板表面に層を形成した構造を持った光学部品や電子部品、機能材料の評価に多く用いられている。

[0054] これらのX線光電子分光法では、超高真空中で試料にX線を照射し、放出される電子(光電子)を検出する。放出される光電子は、対象となる原子の内殻電子に起因するものであり、そのエネルギーは元素ごとに定まることから、エネルギー値を知ることで定性分析を行う事が可能である。このように屈折率傾斜薄膜中の膜厚方向における組成の変化を評価し、デプス・プロファイルを得る事により、所望の屈折率分布を得る事ができているのかを確か

める事が可能である。

[0055] このような屈折率傾斜薄膜の設計手法は以前より各種様々な方法が検討されており、連続的な変化とは異なり、階段状に徐々に屈折率が変化するステップ型の屈折率分布であっても、この屈折率分布を調整する事で、連続的なインデックス変化を持たせた膜と、略同様の光学特性を得る事も可能である事が判明している。しかし、反射低減などにおいては、連続的な屈折率変化を持った方が、より理想的な特性を得る事ができる。さらに薄膜中で界面が無くなり前後の膜組成が非常に近くなる事から、膜の密着強度の向上や、環境安定性の改善などの効果が現れる。このような観点からは、屈折率が連続的に変化する屈折率分布を選択する方が良い。

[0056] スパッタ法や蒸着法など、近年の成膜手法の発展により、屈折率の範囲は限定される事があるものの、少なくともその範囲内では任意の屈折率を得ることができる。

[0057] 例えばスパッタ法においては、2種類の材料に対して同時に放電し、各材料の放電パワー、つまりターゲットへの投入パワーを変化させ、混合比を変える事で、2つの物質の間の屈折率を持つ、中間屈折率材料を作製する事が可能である。また、混合する種類は2種類以上であっても良い。

[0058] このようなスパッタ法の場合、1つの材料を低パワーとしていくと、放電が不安定になる場合がある。メタモードスパッタの場合は、反応モードになってしまったりするなどの不具合が生じる。従って、2物質間の全ての屈折率を実現する為には、例えばマスク法により成膜量をコントロールするなど、投入パワー以外の要素も並行して調整し、膜厚を制御する必要があるが、この場合は、装置の機構や、制御が少なからず複雑化する。

[0059] 以上より、メタモードスパッタ法においては、放電を安定的に維持、制御できる範囲内で屈折率を変化させた。また、膜厚方向に屈折率を連続的に変化させる事に加え、 TiO_x の x を膜厚方向で変化させ、消衰係数も変化させることも可能である。このように、本実施態様の構成においては、屈折率傾斜薄膜の膜厚方向において、 Ti 、 Si 、 O の3種元素の組成比を連続的

に変化させる事で、屈折率及び消衰係数を連続的に変化させる事ができる。他の物質を使用した場合や、屈折率傾斜薄膜を構成する物質の種類が増えた場合であっても、同様に調整する事が可能である。また、薄膜の密度を連続的に変化させる事でも組成を連続変化させる事が可能である。

[0060] また、膜厚方向に屈折率を連続的に変化させる事に加え、 TiO_x の x を膜厚方向で変化させ、消衰係数も変化させる事で、屈折率傾斜薄膜12中の吸収特性を調整した。後述する実施例2~4では、可視波長領域である400nm~700nmにおける分光透過特性が、膜総体として分散が小さい平坦な特性となるようにした。

[0061] 一例を示すと、 x が1相当となる TiO では可視波長領域での分光透過特性が図6中の(a)のように、長波長側につれ徐々に高くなるような特性になる傾向がある。 x が1.5相当となる Ti_2O_3 では可視波長領域での分光透過特性が図6中の(b)のように、長波長側になるにつれ徐々に低くなるような特性になる傾向がある。そこで、これらのように、分散形状が相反する領域を屈折率傾斜薄膜12の膜厚方向に配置した組合せを1以上設ける事で、総体として分光透過特性を平坦に調整した。一般的な光学薄膜に使用される金属酸化物において金属と酸素の割合が変化する場合には同様な傾向を示す。透過率に関連する係数である消衰係数の異なる2種類以上の金属酸化物の透過率の波長依存性が互いに変化を相殺し合う関係にあることにより、多層膜構成であれば、平坦な透過率特性を得るという発想が、特許第3359114号に開示されている。金属酸化物のこの特性を利用して平坦性を改善するように膜設計を行うことができる。ここで、 x の値を可変させる事で、屈折率も変化する為、これを踏まえ、予め得た基礎データより、 SiO_2 との成膜比を決定し制御を行う必要がある。 x の値を膜厚方向で可変させる具体的な手段については、酸化源のパワーを調整したり、成膜方法によっては導入するガス量を調整する事などで制御する事が可能である。

[0062] <スパッタ装置構成>

図7は、屈折率傾斜薄膜の作製に用いたスパッタ成膜装置の基板搬送装置

の回転軸に直交する面での平面断面図である。

- [0063] スパッタ成膜装置としては、薄膜が形成される基板51を保持する回転可能な円筒状の基板搬送装置52を真空槽53内に備え、基板搬送装置52の外周部とその外側の真空槽53との間の環状空間に、2箇所のスパッタ領域54、55と、反応領域57が設けられている装置を用いた。領域59から基板を搬入する。
- [0064] 基板51は成膜される面が外側を向くように基板搬送装置52に搭載させた。スパッタ領域54、55には、ACダブル（デュアル）カソードタイプのターゲット54a、55aが装備されている。真空槽53の外側に高周波電源56が配置されている。ターゲット材の形状は平板型に限らず、円筒型のシリンドリカルタイプであっても良い。また、これらの他に、別途領域58には、例えばグリッド電極を有する高周波励起によるイオンガングリッドや、基板への正イオンの電荷蓄積を防ぐために正イオンを中和する低エネルギー電子を放出するニュートライザ等を設ける事も可能である。本発明に用いるスパッタ装置は、例えばスパッタ領域を3領域以上設けても良く、上記装置以外の構成でも実施可能である。
- [0065] 図7で示したスパッタ装置を用い、スパッタ領域54にSiターゲット、スパッタ領域55にTiターゲットを配置し、反応領域57には酸素を導入した構成で屈折率傾斜薄膜を形成した。基板搬送装置52に固定された基板51を高速回転させ、スパッタ領域54、55において、基板51上にSiとTiの極薄膜を形成した後、反応領域57でSiとTiの極薄膜を酸化させる。これにより、SiとTiの酸化膜を形成し、この動作を繰り返す事でSi酸化膜とTi酸化膜の混合膜を作製した。さらに、各スパッタ領域でのスパッタレートや酸化レートを、成膜中に連続的に変化させる事で、膜厚方向において連続的に屈折率が変化する屈折率傾斜薄膜を形成した。また、SiO₂とTiO_xのそれぞれ単独での成膜条件を基に、SiとTiのスパッタレート、及び酸化レートを制御する事で、SiO₂とTiO_x相当となる混合膜を作製する事も可能である。また、SiO₂膜単体の屈折率からTiO_x膜

単体の屈折率まで、屈折率を連続的に変化させる場合には、投入パワーを低くすると放電が不安定になる事がある為、酸化レートの制御時に、投入電力の制御だけではなくカソード上設けたマスク機構を併用した。

実施例

[0066] (実施例1)

図2のように構成した、吸収タイプのNDフィルタについて、以下に詳しく記載する。本実施例では、基板13の片面側に、薄膜中の少なくとも一部に吸収を持つ屈折率傾斜薄膜12を配置した。反射防止構造体は設けない構成とした。

[0067] このようなNDフィルタ14を形成する基板13には厚さ1.0mm、屈折率1.81のSFL-6ガラスを使用した。特に本実施例のような片面膜構成の為、基板の吸水による影響を小さくする目的でガラス材料を使用した。

[0068] 屈折率傾斜薄膜12は、メタモードスパッタ法により、 SiO_2 と TiO_x 膜の成膜レートを調整しながら、この2種類を混合させて作製した。膜厚方向において連続的に組成を変化させる事で、屈折率を膜厚方向で連続的に変化させ、所望の吸収特性を得るように調整した。また屈折率傾斜薄膜12の膜厚は200nmとなるように調節した。

[0069] 本実施例においては、屈折率傾斜薄膜12の膜厚方向の屈折率変化は、複雑化しないよう必要最低限の増減となるように設計した。図8に示すような吸収を持たすために、基板13の屈折率から屈折率を上昇させ下降させる山が一つとなる屈折率プロファイルとした。膜厚当たりの屈折率変化の最大値を設定した場合、基板13（高屈折率）側に、山を一つとして変曲点を持つ方が、山谷を複数持つような複雑なプロファイルより、屈折率傾斜薄膜12の隣接する媒質（基板13も含む）に対して、屈折率を緩やかに変化させ易い。基板13はガラス製で大気や一般的なプラスチックよりも屈折率が高い。そのため、変曲点は、所定の吸収を持たせるために屈折率傾斜薄膜12内でも基板13に近い方に、すなわち屈折率傾斜薄膜の膜厚方向での中心位置

よりも基板 1 3 側に、屈折率を上昇させて下降させる山を設けた。山から図 1 の C 点で示すような屈折率傾斜薄膜内の膜厚方向に対して膜厚当たり最大の変化率になる部分を経て、大気側に向かって緩やかな屈折率変化となるように構成した。屈折率傾斜薄膜 1 2 の終点は、反射防止と環境安定性の観点から SiO_2 の薄膜となるように構成した。そのため、屈折率傾斜薄膜 1 2 の終点の屈折率は、およそ 1.47 となる。

[0070] 以上によって作製された ND フィルタの分光透過率特性が図 8 である。これをドライ窒素雰囲気下での高温試験に投入し、1000 時間経過後の波長 540 nm での透過率を試験前後で比較した。透過率は 17.2% から 17.4% となり、その上昇率は 0.1 割程度となった。

[0071] 尚、本実施例においては、本構成での効果を明確化する為に、比較的酸化し易いとされる Ti を使用したが、より酸化し難い材料、例えば Nb や Ni などをを用いる事で、より透過率変化を小さくする事が可能となる。

[0072] また、本実施例では、単濃度の ND フィルタを作成した。グラデーション ND フィルタを作成する場合は、マスク面と成す角度の調節が可能な遮蔽板を有するマスクを使用する。そして、マスクでターゲットの面に対して膜材料の一部を遮蔽することによって、基板上にグラデーション濃度分布を成膜する方法を用いることにより形成できる。

[0073] (比較例 1)

実施例 1 での環境安定性の効果を考察する為に、図 8 と略同様となる分光透過率特性を多層膜構成を用いて、膜厚 200 nm で作製し、その他材料やプロセスは可能な限り実施例 1 と同様となるように作製した ND フィルタ 4 について以下に記載する。

[0074] 実施例 1 と同様に、図 9 に示すように、基板 3 の片面側に、 SiO_2 と TiO_x を交互に 7 層積層した光学多層膜 2 を形成した。膜設計は、図 10 に示すように、実施例 1 で作製した ND フィルタ 1 4 と略同様の分光透過率特性を持つ ND フィルタ 4 を作製した。このような ND フィルタ 4 を形成する基板 3 には屈折率が 1.81 の厚さ 1.0 mm の SFL-6 ガラスを使用した

。SiO₂とTiO_xはメタモードスパッタ法により形成した。

[0075] このように作製したNDフィルタをドライの窒素雰囲気下での高温試験に投入し、1000時間経過後の波長540nmでの透過率の上昇率を確認したところ、その透過率は試験前後で16.9%から17.6%となり、0.4割程度の変化となった。特に実施例1で作製されたNDフィルタと比較すると、非常に大きな変化を示す結果となった。

[0076] (実施例2)

実施例1と同様に基板13には厚さ1.0mmのSFL-6ガラスを用い、基板13と屈折率傾斜薄膜12からなるNDフィルタを作製した。屈折率傾斜薄膜12は膜厚が200nmとなるように、メタモードスパッタ法により、SiO₂とTiO_x膜の成膜レートを調整しながら、この2種類を混合させ、連続的に組成を変化させる事で、屈折率を膜厚方向で連続的に変化させ、所望の吸収特性を得るように調整し作製した。これに加え、TiO_xのxを変化させる事で、可視波長領域における分光透過率が、長波長側になるにつれ高くなる領域と、長波長側になるにつれ低くなる領域とを、屈折率傾斜薄膜12中に設ける構成とした。このように、特定の波長領域における分光透過率において、同一膜中に相反する分散形状を持つ領域を設ける事で、例えばNDフィルタであれば、より波長分散の小さい、より平坦な分光透過特性を得る事が可能となる。

[0077] また、本実施例においては、実施例1と同様に、屈折率傾斜薄膜12の屈折率プロファイルが複雑化しないよう必要最低限の増減となるように設計した。基板13の屈折率から屈折率を上昇させ下降させる山が一つとなる屈折率プロファイルとした。屈折率傾斜薄膜12は基板13との界面では、基板13に近い屈折率である1.81となるように、SiO₂とTiO_x相当の混合膜の組成比を調整した。そして、基板13から膜厚方向に離れていくにつれ、SiO₂に対しTiO_x相当の組成比を徐々に増やし、屈折率が2.1となったところで、これら2種材料の組成比の連続的な変化から、TiO_xの酸価の変化に変え、連続的にTi₂O₃相当となるまで変化させた。その後、SiO₂

と Ti_2O_3 の混合膜相当の組成となったところで、徐々に Ti_2O_3 に対し SiO_2 相当の組成比を増やしていく事で、酸価の変化から、これら2種材料の組成比の連続的な変化に変え、屈折率傾斜薄膜12の終点では、反射防止と環境安定性の観点から SiO_2 となるように構成した。そのため、屈折率傾斜薄膜12の終点の屈折率は、およそ1.47となる。

[0078] このように、 TiO の影響を強く受けた分光透過を示す領域と、 Ti_2O_3 の影響を強く受けた分光透過を示す領域とを、屈折率傾斜薄膜中に構成した。その結果、可視波長領域において図6で例示したような異なる分散特性を持つ領域を混在させる事で、所望の透過特性を得る事が可能となる。本実施例においては、可視波長領域において、実施例1よりも分光透過特性が平坦な形状となるように、これらを調整した。

[0079] 以上によって作製されたNDフィルタの分光透過率特性が図11である。図11より、実施例1で作製したNDフィルタと比較して、可視波長領域の分光透過率の平坦性が向上している事が確認できる。

[0080] これをドライ窒素雰囲気下での高温試験に投入し、1000時間経過後の波長540nmでの透過率を試験前後で比較した。透過率は15.7%から15.9%となり、その上昇率は0.1割程度となった。

[0081] (実施例3)

<反射防止構造体について>

基板13上に屈折率傾斜薄膜12の形成後、UV硬化性樹脂を用いた光ナノインプリント法により、屈折率傾斜薄膜12上に、反射防止効果を持つサブミクロンピッチの反射防止構造体としての微細周期構造体151と152を形成した。

[0082] 微細周期構造体は、近年の微細加工技術の向上とともに作製されるようになってきた。

このような構造体の1つである、反射防止効果を持つ微細周期構造体は、一般的にモス・アイ構造体などと呼ぶことも可能である。構造体の形状を擬似的に屈折率の変化が連続的となる形状とする事で、物質間の屈折率差に起因

した反射の低減を図ったものである。

[0083] 図12は、基板上にピラーアレイ状に円錐体が配置された、反射防止効果を持つ微細周期構造体の概略例を示す上方向からの斜視図である。これと同様にホールアレイ状に配置した微細周期構造体の形成も可能である。このような構造体は、真空成膜法などで薄膜を単層、または複数層積層する事により作製する反射防止膜とは別の手段として、例えば物質表面などに生成される事が多い。

[0084] このような微細周期構造体の作製に関しては、様々な方法が提案されているが、本実施例ではUV硬化性樹脂を用いた光ナノインプリント法を用いた。

[0085] 微細周期構造体は図12のように円錐体を周期的に配置したピラーアレイ状とし、NDフィルタの用途を考慮し、少なくとも可視波長領域の反射率は低減できる構造となるように、高さ350nm、周期250nmとなるように設計した。さらに、突起構造体のマトリックス状の配列に関して、図13(a)の平面図で示すように正方配列や、図13(b)の平面図で示すように三方(六方)配列などが考えられるが、三方配列の方が基板材料の露出面が少ない事などから、反射防止効果が高いと言われている。従って、本実施例では三方配列のピラーアレイとした。

[0086] 先に設計された形状を反転させたホールアレイ形状を持つモールドとしての石英基板に、UV硬化性樹脂を適量滴下した。その後、インプリントを施す基板に石英モールドを押し付けた状態でUV光を照射する事で樹脂を硬化させ、図3(a)に示すように、サブミクロンピッチのピラーアレイ状の微細周期構造体151、152を作製した。各種のUV硬化性樹脂を用いることができるがここでは、東洋合成製PAK-01(商品名)を用いて、重合硬化後に、屈折率が1.50となるように調整した。

[0087] ここで、屈折率傾斜薄膜と微細周期構造体との密着性を向上させるために、プライマー処理を行い、屈折率傾斜薄膜上と微細周期構造体との間に密着層を設けた。プライマー液としては、界面活性剤である信越化学社製のKB

M-503（商品名）をベースに、IPA（イソプロピルアルコール）や硝酸を適量加え、塗工後の硬化した密着層の屈折率が1.45となるように調整したものをを用いた。これを、0.2 μ mのPTFE（ポリテトラフルオロエチレン）フィルタを介し屈折率傾斜薄膜上に滴下し、スピコートにより極薄膜となるように塗工した。更に密着力を強化する必要がある場合は、前述のプライマー液の成分に更にTEOS（オルトケイ酸テトラエチル）などを加えても良い。また、プライマー液をより均一に塗工する為に、プライマー液塗工前に、基板にはUVオゾンによる親水化処理を施す事がより好ましい。さらに、基板両面に設ける場合は、濃度を適宜調整し、ディップコートにより塗工しても良いし、スピコートで片面塗工した後に基板の表裏を変え、もう一方の面を再度スピコートで塗工しても良いが、本実施例では後者を選択した。密着層と隣接する構造体との屈折率差も0.05以内とすることが好ましい。

[0088] また、NDフィルタのように可視波長全域に吸収を持つフィルタの場合、紫外域にも吸収を持っている場合が多い。従って、使用するUV光の波長によっては、フィルタの基板側から光を照射した場合、NDフィルタがその光の少なくとも一部を吸収してしまい、十分な光が樹脂まで届かない場合がある。従って、そのような場合はモールド側からUV光を照射する必要がある、必要なUV光の波長を十分に透過する材質のモールドを選択する必要がある。

[0089] 更に、光ナノインプリントのプロセスを考慮すると、基板13の片面にインプリントを施し、その後もう一方の面にインプリントすると、最初に形成した微細周期構造体に欠けやクラックなどのダメージを与えてしまう事が想定される。従って、基板両面にそれぞれインプリント用のモールドを配置し、両面同時に光ナノインプリントを実施する手法を選択した。この場合、UV光源も基板両面に2つ配置することで生産性を高めることができる。

[0090] このような実施例3のNDフィルタ14を形成する基板13には屈折率が1.60程度となるように厚さ0.1mmのPETフィルムを使用した。本

実施例ではPETフィルムを使用した。これらに限らずガラス系の材料でも良いし、POやPI系、PEN、PES、PC、PMMA系などの樹脂材料であっても良い。

- [0091] 図14(a)の屈折率プロファイルにおいて、基板側の界面点P0から点P1にかけては、 TiO_x の x は約1.5で固定されており、 SiO_2 との組成比を変化させる事で連続的な屈折率変化を形成した。
- [0092] 次に、点P1から点P2を通過し点P3に近づくにつれ、 TiO_x の x は1.5から1.0に連続的に変化させている。これと同時に SiO_2 との組成比を変化させ、点P1から点P2に近づくにつれ TiO_x に対し SiO_2 の組成比を増やし、更に点P2から点P3に近づくにつれ、 TiO_x に対し SiO_2 の組成比を減少させる事で連続的な屈折率変化を形成した。
- [0093] さらに、点P3から反射防止構造体側の界面点P4にかけては、 TiO_x の x は約1.0で固定されており、 SiO_2 との組成比を変化させる事で連続的な屈折率変化を形成した。
- [0094] 点P1付近では Ti_2O_3 の影響を大きく受けた分光透過を示し、点P3付近では TiO の影響を大きく受けた分光透過を示す。従って、このように構成する事で、屈折率傾斜薄膜中に、可視波長領域において図6で例示したような異なる分散特性を持つ領域を混在させ、膜厚や組成比により影響度を調整する事で、所望の透過特性を得る事が可能となる。本実施例においては、可視波長領域において分光透過特性が平坦な形状となるように、これらを調整した。
- [0095] 本実施例においては、上述したとおり屈折率傾斜薄膜12は、図14(a)で示すような屈折率のプロファイルを持つ構成とした。図14(a)中の山谷を複数形成したような図14(b)に示すプロファイルを形成する事も可能であるが、制御の容易性などを考慮して、複雑化しないよう必要最低限の増減となるように設計した。また、基板と反射防止構造体の界面は、屈折率差が生じ易い。反射防止の観点から基板と反射防止構造体に近い領域は、屈折率変化が緩やかな膜設計を行った。反射防止の観点からは図1に示した

概念図のように屈折率差をできるだけ生じさせないように設計することが好ましい。しかしながら、所望の吸収を得るためには、屈折率が高い領域が必要となる。そのため、屈折率傾斜薄膜は基板に近い方から屈折率が緩やかに上昇し、変曲点を経て、反射防止構造体に向かって反射防止構造体の屈折率に緩やかに近づくことが好ましい。

[0096] 一方、基板と屈折率傾斜薄膜との界面、および屈折率傾斜薄膜と微細周期構造体との界面においても、屈折率が異なるとその屈折率差に応じて反射が発生する。そこで、これらの界面での反射が問題となる場合は、屈折率差は出来るだけ小さくする事が望ましい。本実施例では、屈折率傾斜薄膜の成膜開始直後と成膜終了間際の SiO_2 と TiO_x とのレート比を調整する事で、2つの界面での屈折率差をそれぞれで0.05以下となるように調整した。また、屈折率傾斜薄膜12の膜厚は200nmとなるように調整した。屈折率傾斜薄膜の膜厚は、薄い方が基板から反射防止構造体までの屈折率の変化率が急峻になる。そのため、反射防止の観点からは、膜厚が厚い方が好ましい。反射をより低減する必要がある場合は、400nm程度までに厚くする事で対応できる。

[0097] <光学フィルタの特性>

以上によって作製されたNDフィルタの、分光反射率特性、及び分光透過率特性が図15である。濃度は約0.70程度であり、可視波長領域の殆どにおいて反射率が0.4%以下になっている。本構成により、非常に低い反射率を実現できた。測定には、分光光度計(U4100(株)日立ハイテクノロジーズ社製)を用いた。

[0098] さらに、可視領域全域において、分光透過特性が平坦であり、この平坦性の1つの指標である、 $\{ (400 \sim 700 \text{ nm} \text{ における透過率の最大値}) - (400 \sim 700 \text{ nm} \text{ における透過率の最小値}) \} \div (500 \sim 600 \text{ nm} \text{ における透過率の平均値})$ を平坦性と定義した場合、本実施例において作製されたフィルタの平坦性は約2.5%程度である。可視光領域の反射率を0.5%以下と非常に低い値に抑えたうえで、平坦性に優れたNDフィルタを

得る事ができた。

[0099] また、スパッタ法を用いることで、蒸着法などと比べて、密度の高い薄膜を安定的に形成することができる。

[0100] また、本実施例において、屈折率の制御に酸化物を用いたが窒化物でも良く屈折率傾斜薄膜として、連続的、周期的に屈折率が変化すれば各種の化合物を用いることができる。

[0101] また、基板と屈折率傾斜薄膜との間、及び／または屈折率傾斜薄膜と反射防止構造体の間に、バッファ層を設けて、密着性や耐久性を改善することなども可能である。その場合はバッファ層を考慮した設計を行えば良い。バッファ層の屈折率は、これに隣接する基板または反射防止構造体と同じ、あるいは屈折率差を近接させる、好ましくはこれらの屈折率差を0.05以下とする。このようなバッファ層は、図16に示す他の屈折率傾斜薄膜を有する構造においても同様に用いることができる。

[0102] バッファ層として密着層を設ける場合における密着層形成用の材料としては、シランカップリング剤の他には、Cr、Ti、TiO_x、TiN_x、SiO_x、SiN_x、AlO_x、SiO_xN_yなどの無機材料や各種の有機材料が挙げられる。密着性を高める層の材質に応じて公知の材料から密着層形成用の材料を適宜選択して用いることができる。密着層の膜厚は、目的とするフィルタの光学的機能及び密着性が得られるように設定すればよい。密着層は、例えば10nm以下の薄膜として形成してもよい。

[0103] (実施例4)

図16のように基板両面に屈折率傾斜薄膜を形成したフィルタの作製について以下に記載する。

[0104] 図16に示したように、本実施例では、基板23の片面(上面)側に屈折率傾斜薄膜221を配置し、屈折率傾斜薄膜221上に反射防止構造体211を配置した。その後、基板23の裏面側にも同様に屈折率傾斜薄膜222(他の屈折率傾斜薄膜)と反射防止構造体212(他の反射防止構造体)を配置した。NDフィルタ24における所望の波長領域に所望の吸収を持つ機

能は、屈折率傾斜薄膜 221、222 の両方に持たせた。場合によっては屈折率傾斜薄膜 221 と 222 のどちらか一方のみであっても同様の特性を得る事は可能である。このような反射防止構造体 211、212 としては、図 17 (a) 及び (b) 中に示したように、反射防止効果を持つ微細周期構造体 251、252 や、単層、若しくは複数層の薄膜で形成された反射防止膜 261、262 を挙げることができる。更には、図 17 (c) 中に示したように、微細周期構造体 25 と反射防止膜 26 を併用した構成などが挙げられる。適宜最適な構成を選択すれば良い。

[0105] 図 17 (a) ~ (c) 中でも、反射低減の観点からは図 17 (a) に示したような構成にする事がより望ましい。従って、本実施例では図 17 (a) のように、反射防止構造体として、基板 23 の両側の面で微細周期構造体 251、252 を形成した。

[0106] ND フィルタ 24 を形成する基板 23 には厚さ 1.0 mm の SFL-6 ガラスを使用した。実施例 1 と同様に、まずは基板 23 上の片面側に、屈折率傾斜薄膜 221 を、メタモードスパッタ法により、 SiO_2 と TiO_x 膜の成膜レートを調整しながら作製した。この場合においても、これらの 2 種類を混合させ、屈折率を膜厚方向で連続的に変化させる事で、所望の吸収特性を得るように調整した。その後、基板の表裏を変えて、再度同様に SiO_2 と TiO_x の混合膜である屈折率傾斜薄膜 222 を作製した。また屈折率傾斜薄膜 221、222 の膜厚は 200 nm となるように調節した。

[0107] 膜厚方向に屈折率を連続的に変化させる事に加え、 TiO_x の x を膜厚方向で変化させ、消衰係数も変化させる事で、屈折率傾斜薄膜 221、222 中の吸収特性を調整し、可視波長領域である 400 nm ~ 700 nm における分光透過特性が、膜総体として分散が小さい平坦な特性となるように膜設計を行った。すなわち、屈折率傾斜薄膜 221、222 は、図 18 (a) で示すような屈折率のプロファイルを持つ構成とした。図 12 (a) 中の山谷を複数形成したような図 18 (b) に示すプロファイルを形成する事も可能であるが、制御の容易性などを考慮して、複雑化しないよう必要最低限の増

減となるように設計した。

[0108] 図18(a)の屈折率プロファイルにおいて、基板側の界面点Q0から点Q1にかけては、 TiO_x の x は約1.0で固定されており、 SiO_2 との組成比を変化させる事で連続的な屈折率変化を形成した。

[0109] 次に、点Q1から点Q2を通過し点Q3に近づくにつれ、 TiO_x の x は1.0から1.5に連続的に変化させている。これと同時に SiO_2 との組成比を変化させ、点Q1から点Q2に近づくにつれ TiO_x に対し SiO_2 の組成比を増やし、更に点Q2から点Q3に近づくにつれ、 TiO_x に対し SiO_2 の組成比を減少させる事で連続的な屈折率変化を形成した。

[0110] さらに、点Q3から反射防止構造体側の界面点Q4にかけては、 TiO_x の x は約1.5で固定されており、 SiO_2 との組成比を変化させる事で連続的な屈折率変化を形成した。

[0111] 点Q1付近では TiO の影響を大きく受けた分光透過を示し、点Q3付近では Ti_2O_3 の影響を大きく受けた分光透過を示す。従って、このように構成する事で、屈折率傾斜薄膜中に、可視波長領域において図6で例示したような異なる分散特性を持つ領域を混在させ、膜厚や組成比により影響度を調整する事で、所望の透過特性を得る事が可能となる。本実施例においては、可視波長領域において分光透過特性が平坦な形状となるように、これらを調整した。

[0112] 吸収特性を維持しつつ反射防止を行う観点から、屈折率傾斜薄膜は基板に近い方から屈折率が緩やかに上昇し、変曲点を経て、反射防止構造体に向かって反射防止構造体の屈折率に緩やかに近づくことが好ましい。また、屈折率傾斜薄膜内でも屈折率変化が少ない方が良い。本実施例では、基板23と反射防止構造体（微細周期構造体251、252）の屈折率差が大きいため、複数の変曲点の中でも、屈折率が一番大きくなる変曲点を基板に一番近い側に設定した。

[0113] その後、基板両面に形成された屈折率傾斜薄膜上にUV硬化性樹脂を用いた光ナノインプリント法により反射防止効果を持つサブミクロンピッチの微

細周期構造体 251、252 を形成した。実施例 1 と同様の理由から、本実施例においても、ND 膜を形成した基板両面にそれぞれインプリント用のモールドを配置し、両面同時に光ナノインプリントを実施した。実施例 3 と同様に屈折率傾斜薄膜と屈折率傾斜薄膜の上に対応する微細周期構造体との間に、プライマー処理し、密着層を設けた。

[0114] 以上によって作製された ND フィルタの分光反射率特性、及び分光透過率特性が図 19 である。濃度は約 0.70 程度であり、可視波長領域において反射率が約 0.2% 以下になっている。本構成により、非常に低い反射率を実現できた。測定には、分光光度計を用いた。

[0115] さらに、可視領域全域において、分光透過特性が平坦であり、前述の平坦性の指標に換算すると、本実施例において作製されたフィルタの平坦性は約 0.5% 程度であり、可視光領域の反射率を 0.5% 以下と非常に低い値に抑えたうえで、平坦性に優れたフィルタを得る事ができた。

[0116] また、実施例 1～4 ではメタモードスパッタ法により SiO_2 と TiO_x の混合膜を作製し、膜厚方向でその混合比率を変える事で連続的な屈折率を持つ傾斜薄膜を形成した。これに限らず、 NbO_x や TaO_x 、 ZrO_x 、 AlO_x 、 MoSiO_x 、 MoO_x 、 WO_x など、様々な金属または半金属の酸化物の材料を使用する事が可能である。前述したような屈折率傾斜薄膜と界面をなす構造体の屈折率などの関係から、必要とされる屈折率を実現できる材料であれば良く、プロセス上の制約などを考慮し、時々で最適な材料を選択すれば良い。また、3種類以上の金属または半金属の元素を含んだ材料を組合せても良い。3種類以上の材料を組み合わせると安定的に屈折率を傾斜させることが可能となり、吸収の低減など消衰係数の調整も行い易くなり設計の自由度が広がる。この際、酸化物に限らず窒化物でも同様に設計の自由度を広げることができる。

[0117] さらに、反応性蒸着などを用いる場合は、その導入ガスを制御し、屈折率や消衰係数を制御する事で傾斜薄膜を形成する事も可能である。膜厚方向で傾斜薄膜中の一部に吸収を持たせる構成でも良いし、全体的に吸収を持ちつ

つ屈折率を連続的に変化させても良い。成膜手法もメタモードスパッタ法だけに限らず、他のスパッタ法や、各種の蒸着法などでも良い。

[0118] 本実施例のように形成された屈折率傾斜薄膜は、高密度の膜となり膜応力が問題となる事がある。その場合は本実施例のように、剛性の高いガラスなどの基板を用いると膜応力による反りなどの不具合を低減できる。また、屈折率傾斜薄膜を基板の両面に設けることで、それぞれの膜応力を打ち消しあい安定した光学フィルタを製造することができる。

[0119] 特に、本実施例に用いた基板の両面に屈折率傾斜薄膜、微細周期構造体を設ける構成は、膜応力に対する基板の安定性を得られる。加えて、微細周期構造体を両面から光ナノインプリントにより反射防止構造体を一連の連続または同時の工程で形成することができるため生産性に優れる。

[0120] (実施例5)

図20に光量絞り装置を示す。ビデオカメラあるいはデジタルスチルカメラ等の撮影光学系に使用するに適した光量絞り装置の絞りは、CCDやCMOSセンサと言った固体撮像素子への入射光量を制御するために設けられているものである。被写界が明るくなるにつれ、絞り羽根31を制御し、より小さく絞り込まれていく構造になっている。このとき、小絞り状態時に発生する像性能の劣化に対する対策として、絞りの近傍にNDフィルタ34を配置し、被写界の明るさが同一であっても、絞りの開口をより大きくできる構造にしている。入射光がこの光量絞り装置33を通過し、固体撮像素子(不図示)に到達する事で電氣的な信号に変換され画像が形成される。

[0121] この絞り装置33内の例えばNDフィルタ34の位置に、実施例1~4で作製されたNDフィルタを配置する。ただし、配置場所はこれに限らず、絞り羽根支持板32に固定するように配置する事も可能である。

[0122] 図21に光学撮影装置の撮影光学系の構造を示す。この撮影光学系41は、レンズユニット41A~41D、CCD等の固体撮像素子42、光学ローパスフィルタ43を有する。固体撮像素子42は、撮影光学系41によって形成される光線a、bの像を受光し、電気信号に変換する。撮影光学系41

は、NDフィルタ44、絞り羽根45、46、絞り羽根支持板47で構成される光量絞り装置を有している。

[0123] ビデオカメラあるいはデジタルスチルカメラ等の撮影系に使用するに適した光量絞り装置の絞りは、CCDやCMOSセンサと言った固体撮像素子への入射光量を制御するために設けられているものである。被写界が明るくなるにつれ、絞り羽根45、46を制御し、より小さく絞り込まれていく構造になっている。このとき、小絞り状態時に発生する像性能の劣化に対する対策として、絞りの近傍にNDフィルタ44を配置し、被写界の明るさが同一であっても、絞りの開口をより大きくできる構造にしている。

[0124] 入射光がこの光量絞り装置を通過し、固体撮像素子に到達することで電気的な信号に変換され画像が形成される。この絞り装置内の例えばNDフィルタ44の位置に、本実施例1～4で作製されたNDフィルタを配置する。ただし、配置場所はこれに限らず、絞り羽根支持板47に固定するように配置する事も可能である。

[0125] 以上の実施例の構成によれば、撮影画像の経時変化の可能性を低減することができるNDフィルタを搭載した撮影装置を提供することができる。NDフィルタ44に本実施例1～4で作成した屈折率傾斜薄膜を用いたNDフィルタを用いたものは、組み立て後に撮影した画像と組み立てから1ヶ月経過した画像を比較してもカラーバランスの違いは認識できなかった。

[0126] 一方、図9の比較例1で作成した光学多層膜構成のNDフィルタ23をNDフィルタ44として搭載し、NDフィルタ44を使用した光学装置で撮影した画像について評価した。その結果、光学装置の組み立て直後に撮影した画像と、組み立てから1ヶ月経過した後に同一対象を撮影した画像を比較するとカラーバランスが異なっていた。

[0127] 本発明のNDフィルタは、環境安定性を向上させているため、持ち運ばれて利用される環境変化の大きな、カメラ、ビデオカメラなどの光学撮影装置に用いることで撮影画像の品位を保つことができる。

[0128] これにより作製された光量絞り装置33は、フィルタの反射に起因したゴ

ーストなどの不具合を著しく低減する事ができ、また透過特性に起因する、例えば色バランスの向上などを、同時に実現する事が可能である。

[0129] これに限らず、他の光学装置であっても、実施例1～4で作製されたような反射率を低減した光学フィルタを用いることで、フィルタの反射に起因した装置上の不具合を低減する事が可能であり、同時に透過に起因した不具合を低減する事ができる。

[0130] 特に、実施例4に記載の微細周期構造と屈折率傾斜薄膜を両面に備えた構成を撮影光学系に備えた場合、CCD等への反射を抑え良好な撮影画像を得られるとともに、NDフィルタの設置の方向性を考えることなく組み立てることができ組み立て性に優れる。

[0131] (実施例6)

図22は光学測定装置である干渉顕微鏡の機能及び構成を示す。光源910は光源として所定の波長を出力する。この光源910から出力された観察光から、フィルタ911にて一定の波長成分のみが抽出される。その後、観察光は、それぞれ異なる透過率を有するNDフィルタ912を保持したフィルタホルダ913の回転位置に応じて選択的に光路上に配置されたNDフィルタ912を介して、適宜光量が調節される。光源としては、単色波長のレーザ光源等も光源として用いることができる。

[0132] このフィルタホルダ913は、それぞれ透過率の異なる複数のNDフィルタ912、を配置し、不図示のCPU等からの制御に基づいて動作する回転駆動部914の回転駆動によっていずれかの透過率のNDフィルタ912を上記光路上に選択的に配置する。また光源のスポット径とグラデーシヨンの範囲が対応していれば、グラデーシヨンのNDフィルタの位置決めで透過率を変更しても良い。その場合は、実施例5で示した絞り装置のようにNDフィルタが動作するように構成することもできる。このNDフィルタ912を介した光は、同じく光路上に配置された偏光板915を介して偏光角が変化される。この偏光板915は、偏光板回転駆動部916により回転駆動されることで透過する光の偏光角を所望する角度となるように変化させるもので、

偏光板回転駆動部 916 もまた、CPU 等からの制御に基づいて動作する。

[0133] 偏光板 915 を介した光は、ハーフミラー 917 で試料方向に反射された後にプリズム 918 で偏光方向によって 2 つの平行な光路に分割される。2 つの光路に分割された光は共に対物レンズ 919 を介して、焦点を調節するための焦点観察機構 921 上に載置された観察物体 920 に照射される。

[0134] 観察物体 920 から反射した光は、対物レンズ 919、プリズム 918 を介して今度はハーフミラー 917 を透過し、結像レンズ 922 によって CCD 等の撮像素子 924 に結像される。結像レンズ 922 と撮像素子 924 の間の光路上には回転可能な偏光素子としての検光子 923 が配置される。

[0135] 撮像素子 924 の出力はデジタル信号化され、CPU 等で処理され観測された干渉縞を分析することで表面構造や屈折率分布等を分析することができる。また、光学測定装置として、本実施例に限定されるものでなく、本発明の ND フィルタを用いることで、測定精度の信頼性が長期に渡って必要な光学装置である光学測定装置において、ND フィルタの経時変化による悪影響を抑えた測定を行うことができる。その結果、長期使用で測定結果への悪影響が懸念される光学測定装置などの光学装置による撮影画像である干渉縞等の画質安定性を向上させることができる。

[0136] (他の実施例)

実施例 1 ~ 4 で記載した ND フィルタ以外の光学フィルタにおいても、吸収を持つタイプで透過光の平坦性を課題とする光学フィルタであれば同様の効果を期待でき、例えばカラーフィルタなどに応用する事が可能である。これらの光学フィルタに本発明を適用する事で、反射率を低減しつつ、所望の透過特性を得る事が可能となる。また、これらの光学フィルタを搭載する事で、前述の不具合を改善した各種の光学装置を得る事が可能となる。

符号の説明

[0137] 111、112、211、212. 反射防止構造体
12、221、222. 屈折率傾斜薄膜
3、13、23、51. 基板

- 15、151、152、251、252. 微細周期構造体
- 16、161、162. 反射防止膜
- 31. 絞り羽根
- 32. 絞り羽根支持板
- 33. 光量絞り装置
- 4、14、24、34. 44、912. NDフィルタ
- 41. 撮影光学系
- 41A、41B、41C、41D. レンズユニット
- 42. 固体撮像素子
- 43. 光学ローパスフィルタ
- 45、46. 絞り羽根
- 52. 基板搬送装置
- 53. 真空槽
- 54、55. スパッタ領域
- 54a、55a. ターゲット
- 56. 高周波電源
- 57. 反応領域

請求の範囲

- [請求項1] 光透過性を有する基板と、
膜厚方向に前記基板側へ向かって前記基板の屈折率に近づくように屈折率変化する光吸収性の屈折率傾斜薄膜と、
を備えたことを特徴とする光学フィルタ。
- [請求項2] 前記屈折率傾斜薄膜は、その膜厚方向において、
可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて高くなる領域と、
可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて低くなる領域と、
を有することを特徴とする請求項1に記載の光学フィルタ。
- [請求項3] 前記屈折率傾斜薄膜を構成する物質の組成は、前記膜厚方向に連続的に変化することを特徴とする請求項1または請求項2に記載の光学フィルタ。
- [請求項4] 前記屈折率傾斜薄膜の前記基板側とは反対側の面の上に反射防止構造体を備え、
前記屈折率傾斜薄膜は、前記基板の屈折率と前記反射防止構造体の屈折率との屈折率差を低減するように膜厚方向に屈折率変化することを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の光学フィルタ。
- [請求項5] 前記反射防止構造体は、可視光の波長よりも短いピッチの微細構造体であることを特徴とする請求項4に記載の光学フィルタ。
- [請求項6] 前記基板の前記反射防止構造体側とは反対側の面の上に、他の反射防止構造体を備えたことを特徴とする請求項4または請求項5に記載の光学フィルタ。
- [請求項7] 前記基板と前記他の反射防止構造体との間に前記他の反射防止構造体の屈折率と前記基板の屈折率との屈折率差を低減するように膜厚方向に屈折率変化する他の屈折率傾斜薄膜を備えたことを特徴とする請求項6に記載の光学フィルタ。

- [請求項8] 前記他の反射防止構造体は、単層又は複数層の反射防止膜であり、前記他の屈折率傾斜薄膜は、前記反射防止膜の前記他の屈折率傾斜薄膜に隣接する層の屈折率と前記基板の屈折率との屈折率差を低減するように、前記膜厚方向に屈折率変化することを特徴とする請求項7に記載の光学フィルタ。
- [請求項9] 前記第2の反射防止構造体は、可視光の波長よりも短いピッチの微細構造体であることを特徴とする請求項7に記載の光学フィルタ。
- [請求項10] 前記屈折率傾斜薄膜が3種類以上の元素から構成されている事を特徴とする請求項1～6いずれか一項に記載の光学フィルタ。
- [請求項11] 前記屈折率傾斜薄膜の基板側の屈折率変化の終点と前記基板との屈折率差は、0.05より小さいことを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の光学フィルタ。
- [請求項12] 前記微細構造体は、可視光の波長よりも短いピッチの周期構造を有することを特徴とする請求項1～11のいずれか一項に記載の光学フィルタ。
- [請求項13] 請求項1～12のいずれか一項に記載の光学フィルタを撮影光学系に備えたことを特徴とする光学装置。

補正された請求の範囲
[2012年9月14日(14.09.2012)国際事務局受理]

- [請求項 1] (補正後) 光透過性を有する基板と、
膜厚方向に前記基板側へ向かって前記基板の屈折率に近づくように膜組成の変化によって屈折率変化させた光吸収性の屈折率傾斜薄膜と、
を備えたことを特徴とする光学フィルタ。
- [請求項 2] 前記屈折率傾斜薄膜は、その膜厚方向において、
可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて高くなる領域と、
可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて低くなる領域と、
を有することを特徴とする請求項 1 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 3] (追加) 光透過性を有する基板と、
膜厚方向に前記基板側へ向かって前記基板の屈折率に近づくように屈折率変化する光吸収性の屈折率傾斜薄膜と、
を備え、
前記屈折率傾斜薄膜は、その膜厚方向において、
可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて高くなる領域と、
可視波長領域の分光透過特性が長波長側になるにつれて低くなる領域と、
を有することを特徴とする光学フィルタ。
- [請求項 4] (補正後) 前記屈折率傾斜薄膜を構成する物質の組成は、前記膜厚方向に連続的に変化することを特徴とする請求項 1～3 のいずれか一項に記載の光学フィルタ。
- [請求項 5] (補正後) 前記屈折率傾斜薄膜の前記基板側とは反対側の面の上に反射防止構造体を備え、
前記屈折率傾斜薄膜は、前記基板の屈折率と前記反射防止構造体の屈

折率との屈折率差を低減するように膜厚方向に屈折率変化することを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一項に記載の光学フィルタ。

- [請求項 6] (補正後) 前記反射防止構造体は、可視光の波長よりも短いピッチの微細構造体であることを特徴とする請求項 5 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 7] (追加) 前記微細構造体は、可視光の波長よりも短いピッチの周期構造を有することを特徴とする請求項 6 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 8] (補正後) 前記基板の前記反射防止構造体側とは反対側の面の上に、他の反射防止構造体を備えたことを特徴とする請求項 5 または請求項 6 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 9] (補正後) 前記基板と前記他の反射防止構造体との間に前記他の反射防止構造体の屈折率と前記基板の屈折率との屈折率差を低減するように膜厚方向に屈折率変化する他の屈折率傾斜薄膜を備えたことを特徴とする請求項 8 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 10] (補正後) 前記他の反射防止構造体は、単層又は複数層の反射防止膜であり、前記他の屈折率傾斜薄膜は、前記反射防止膜の前記他の屈折率傾斜薄膜に隣接する層の屈折率と前記基板の屈折率との屈折率差を低減するように、前記膜厚方向に屈折率変化することを特徴とする請求項 9 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 11] (補正後) 前記他の反射防止構造体は、可視光の波長よりも短いピッチの微細構造体であることを特徴とする請求項 9 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 12] (補正後) 前記微細構造体は、可視光の波長よりも短いピッチの周期構造を有することを特徴とする請求項 11 に記載の光学フィルタ。
- [請求項 13] (補正後) 前記屈折率傾斜薄膜が 3 種類以上の元素から構成されている事を特徴とする請求項 1～8 のいずれか一項に記載の光学フィルタ。
- [請求項 14] (補正後) 前記屈折率傾斜薄膜の基板側の屈折率変化の終点と前記基板との屈折率差は、0.05 より小さいことを特徴とする請求項 1

～ 8 のいずれか一項に記載の光学フィルタ。

[請求項 15] (補正後) 請求項 1 ～ 14 のいずれか一項に記載の光学フィルタを
撮影光学系に備えたことを特徴とする光学装置。

条約第19条(1)に基づく説明書

請求の範囲第1項に補正前の請求項3に記載された構成を追加した。

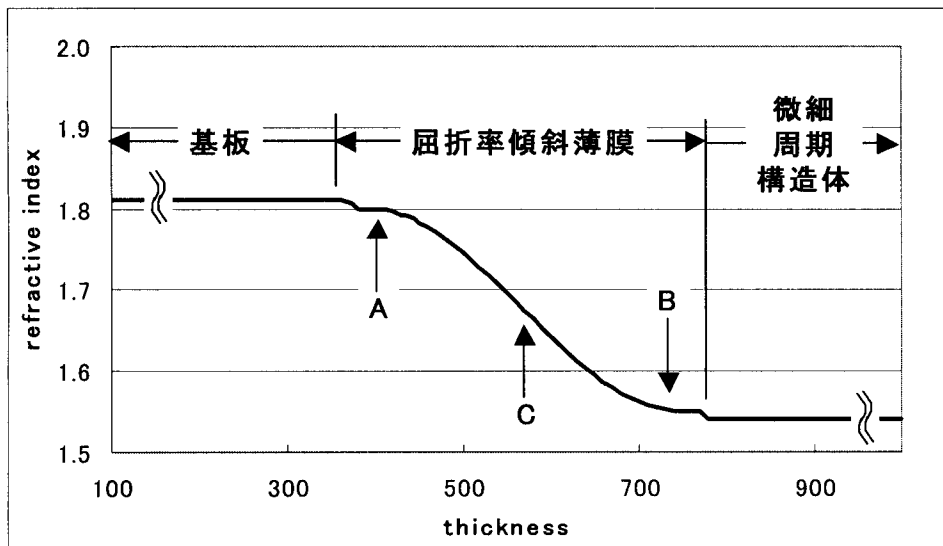
補正前の請求の範囲第3項は削除し、補正前の請求の範囲第1項と第2項の内容を合わせて新たな請求の範囲第3項として追加した。

補正前の請求の範囲第3項～第11項及び第13項については請求項番号を4～6、8～11、13～14及び15に変更し、従属先の請求項番号を調整した。

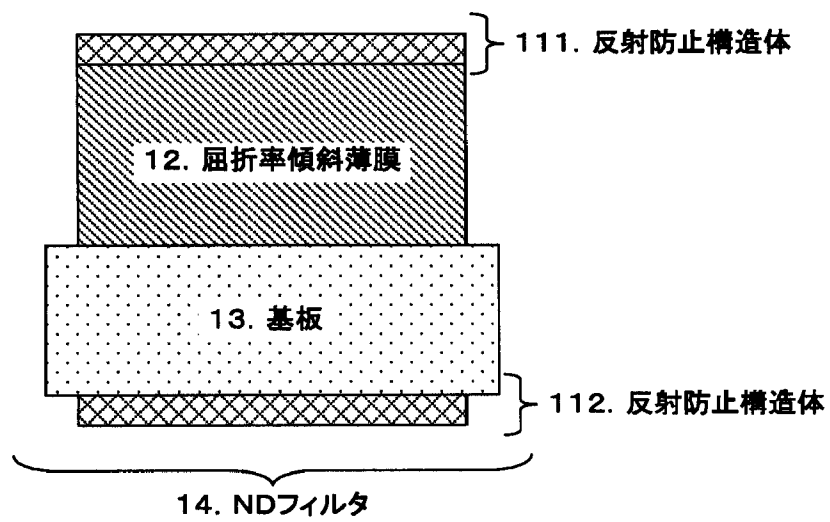
請求の範囲第7項は請求の範囲第12項の内容を有し、新たに追加されたものである。

請求の範囲第12項において従属先の請求項番号を補正した。

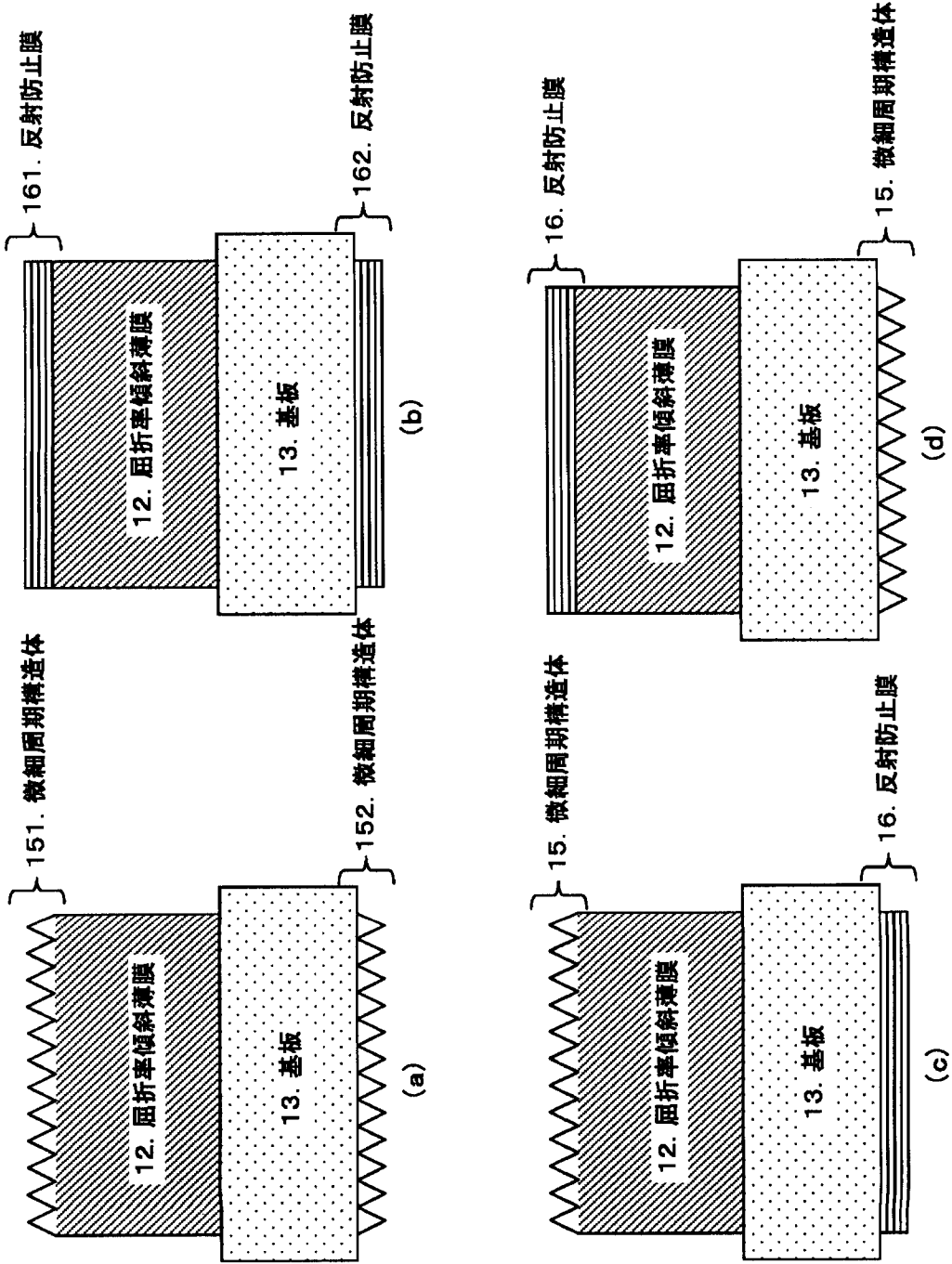
[図1]



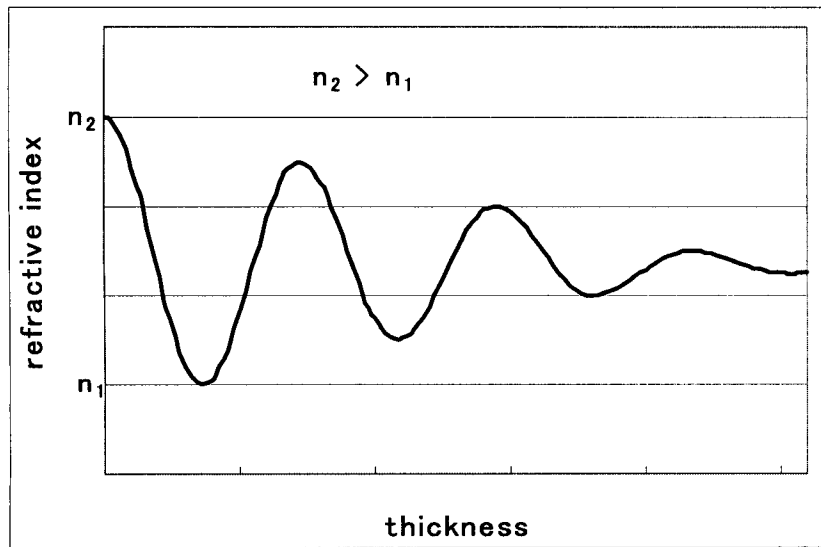
[図2]



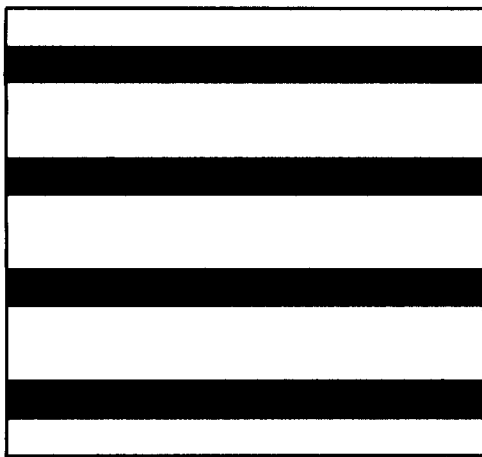
[図3]



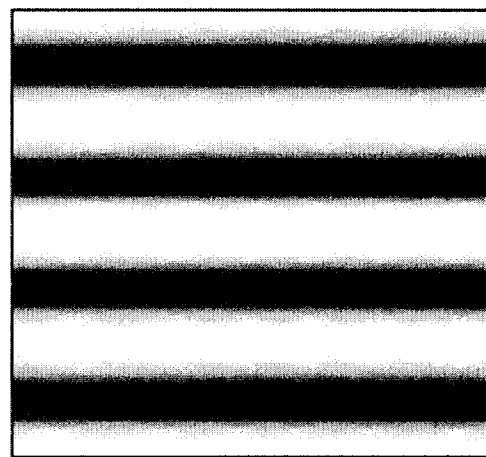
[圖4]



[圖5]

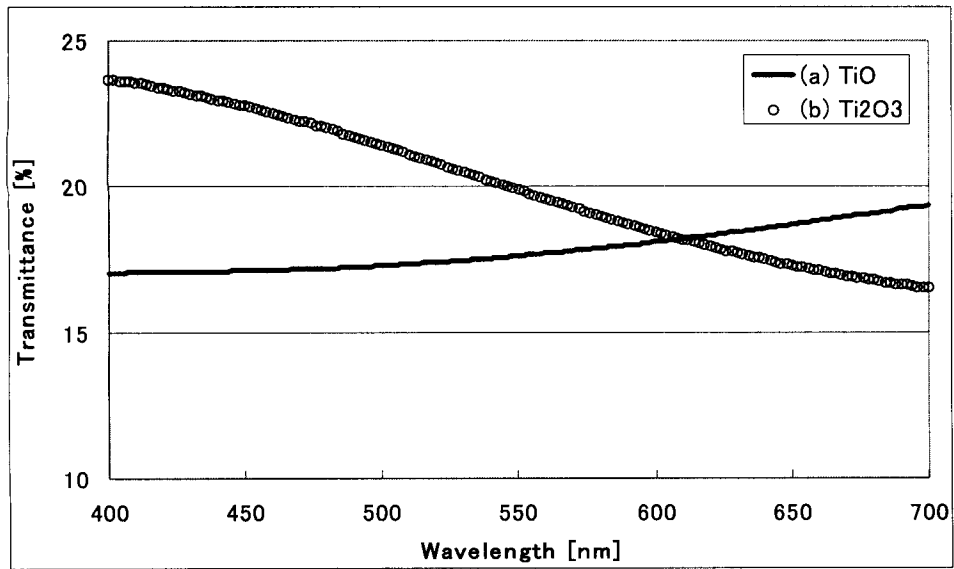


(a)

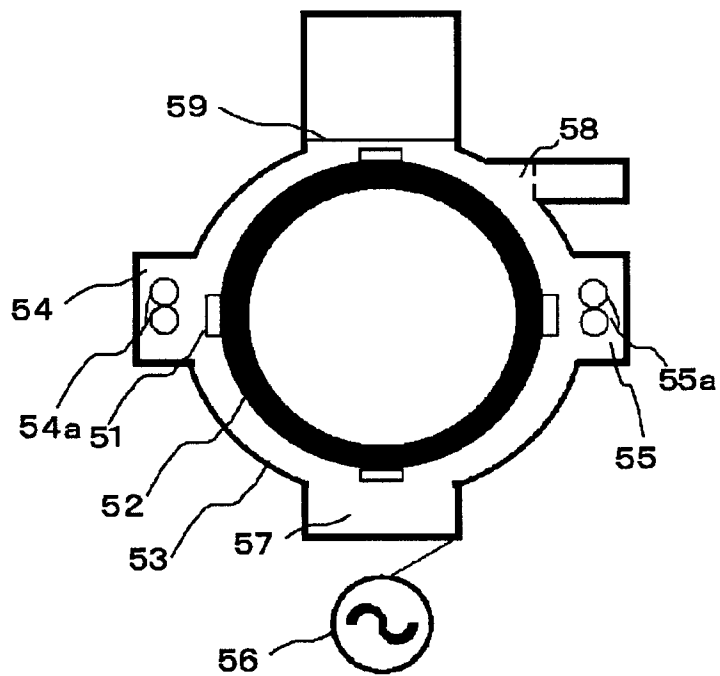


(b)

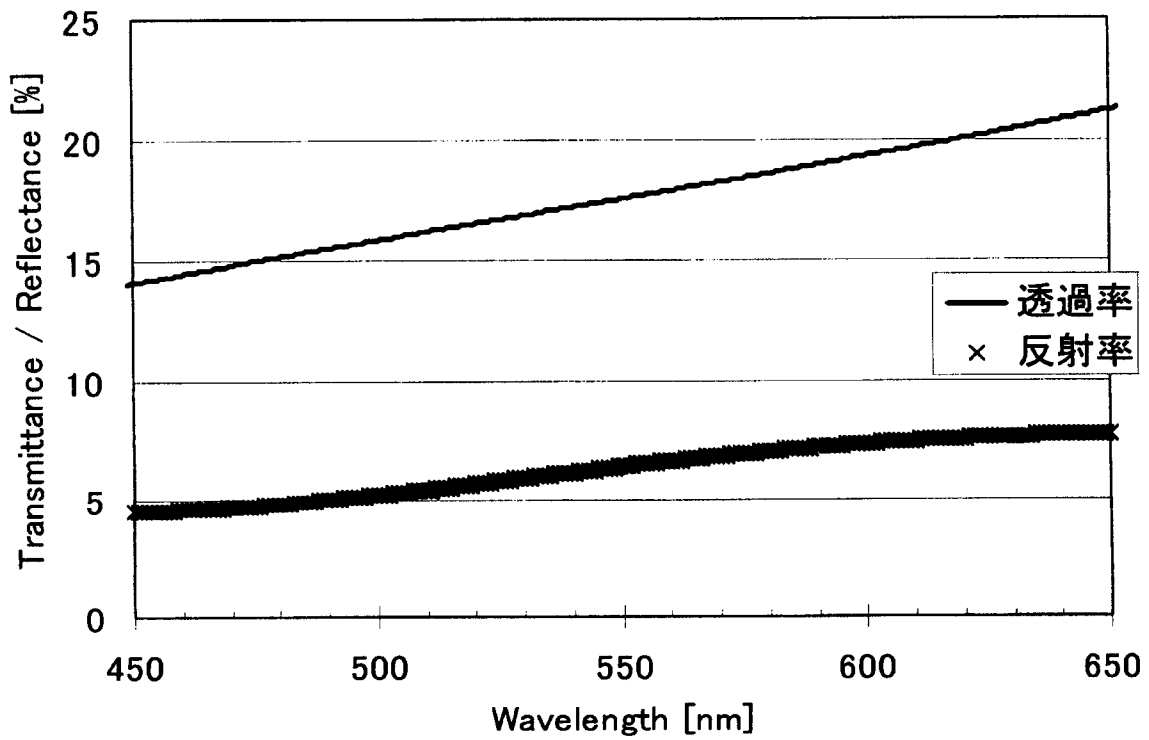
[図6]



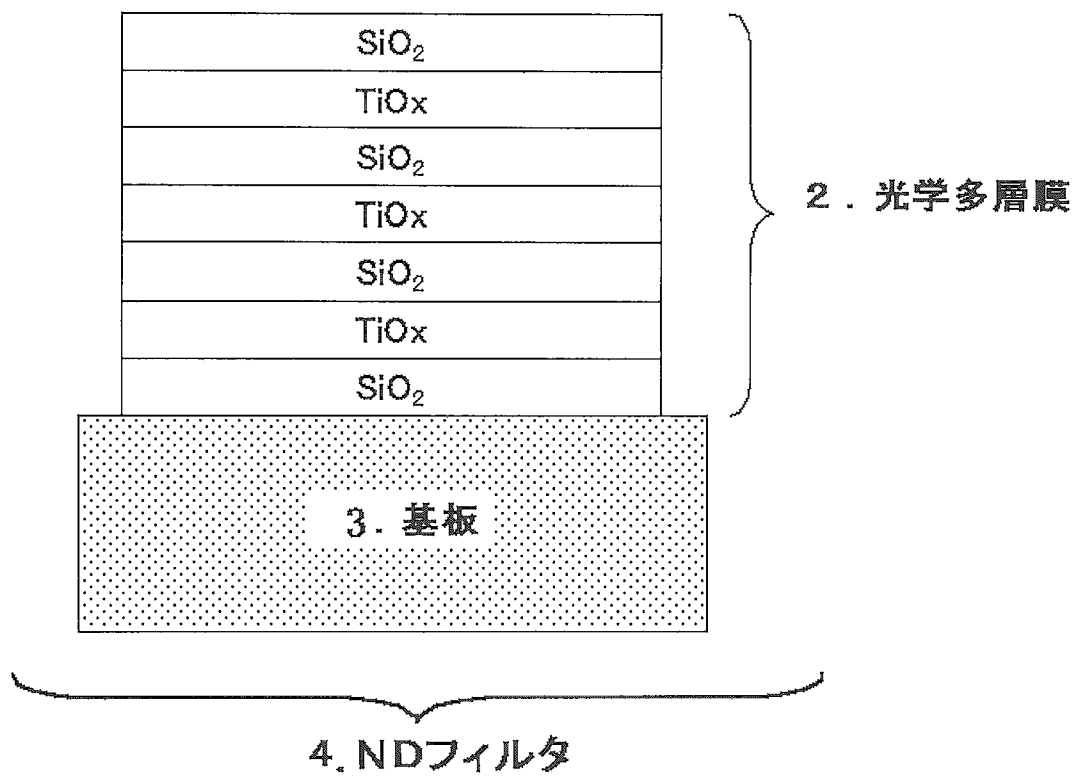
[図7]



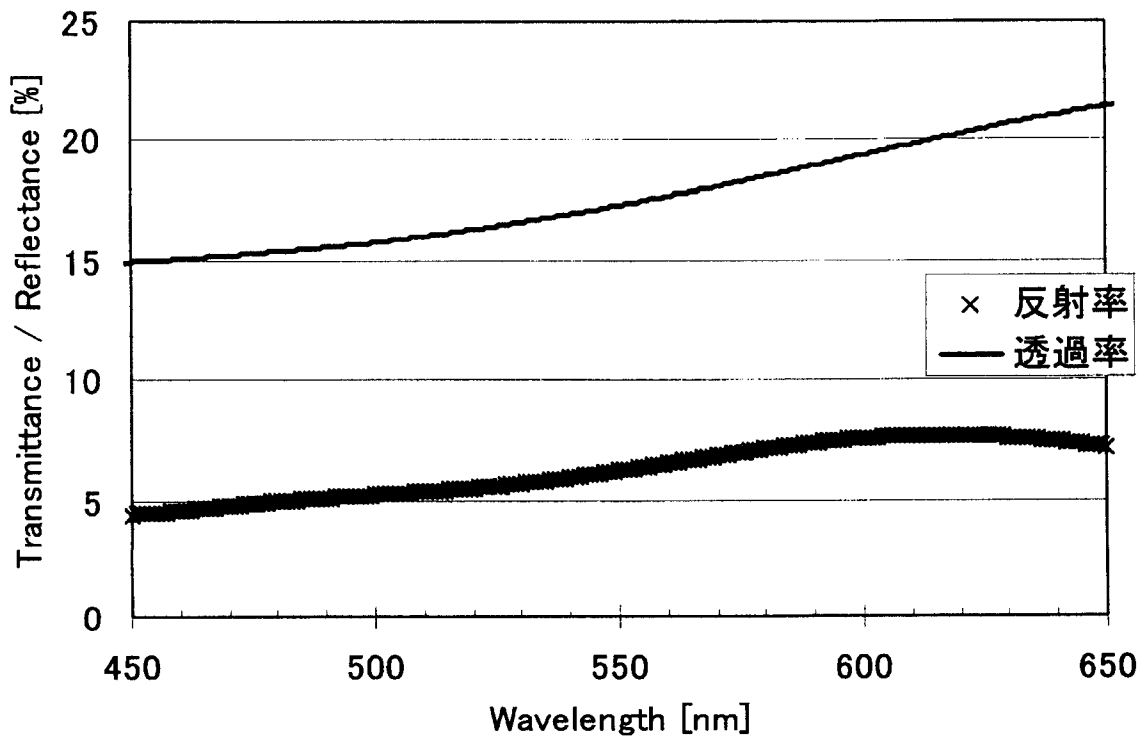
[図8]



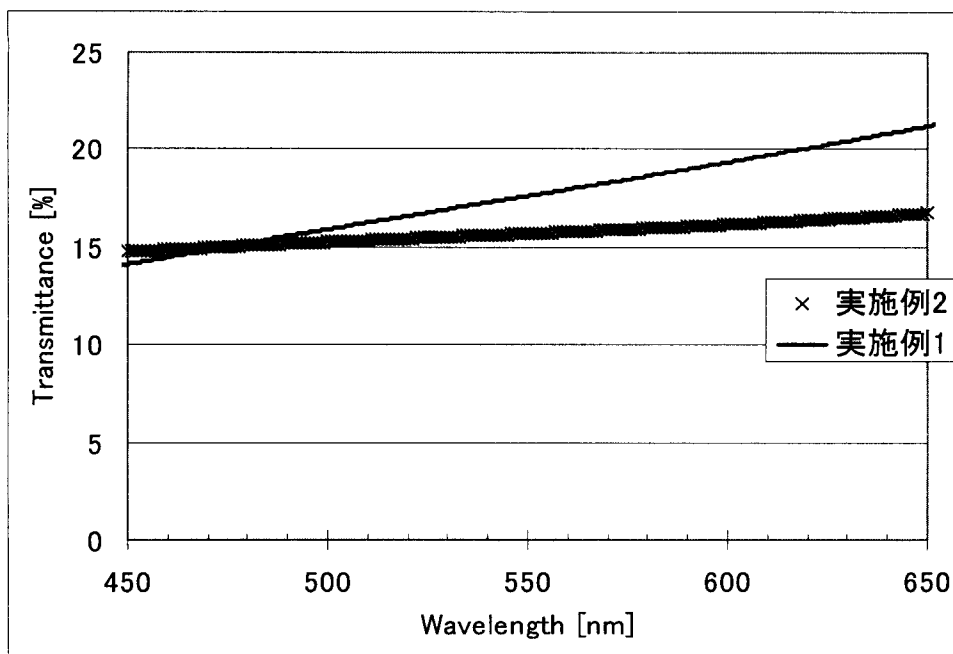
[図9]



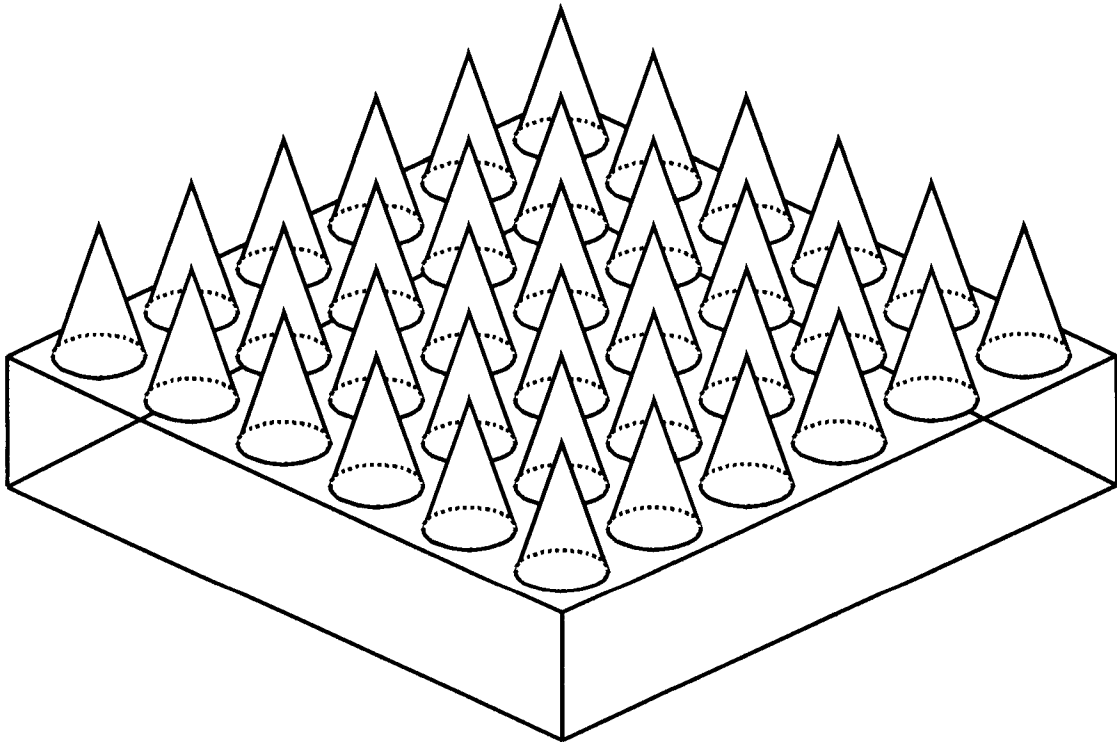
[圖10]



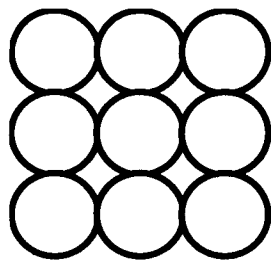
[圖11]



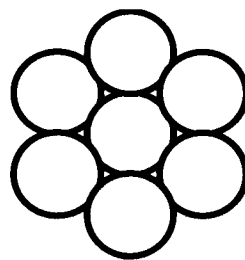
[圖12]



[圖13]

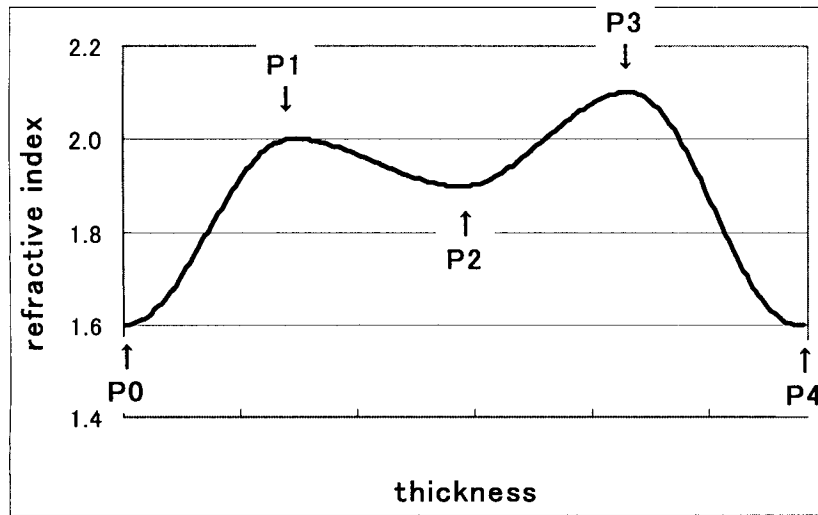


(a)

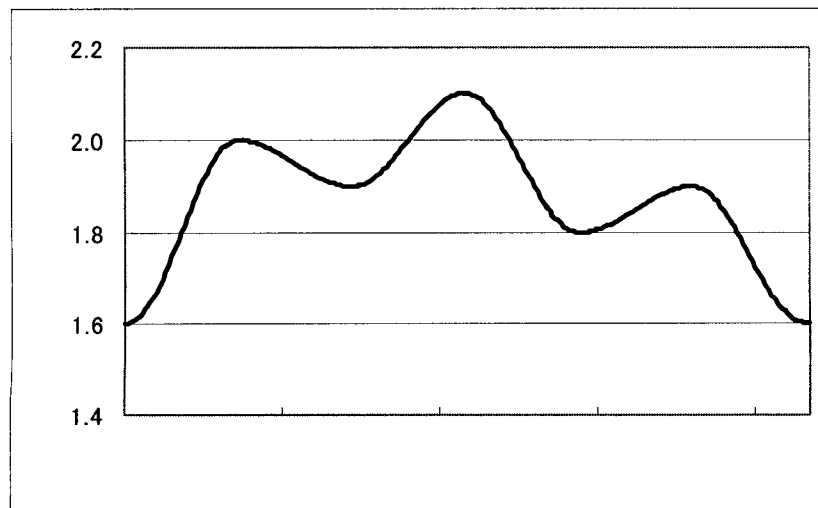


(b)

[図14]

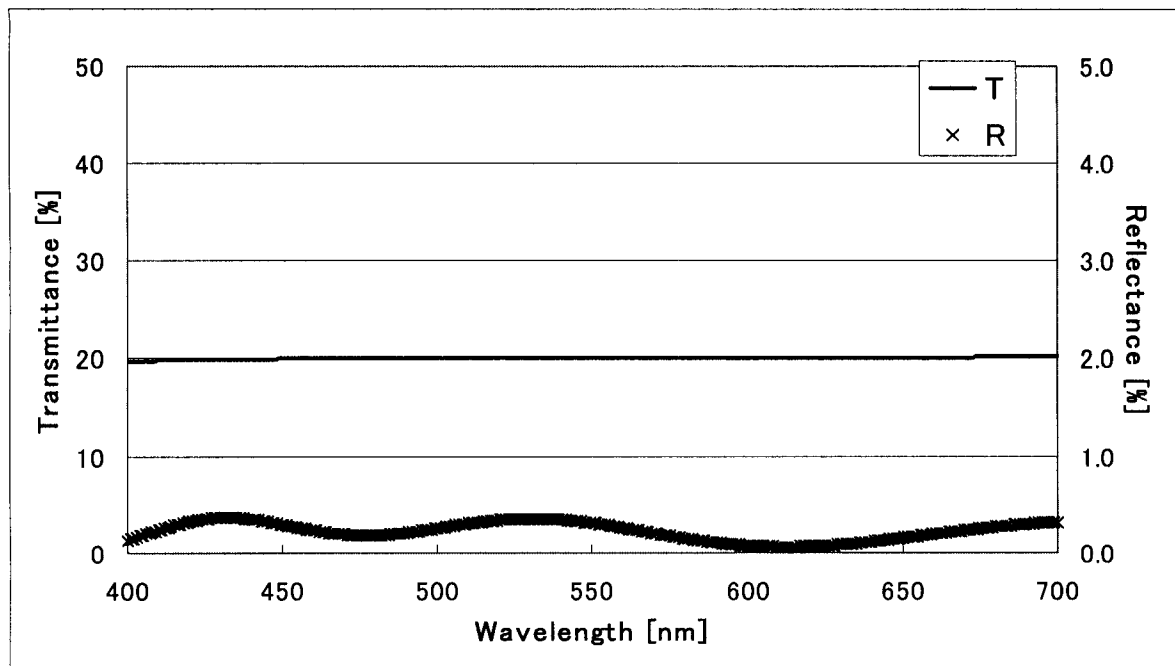


(a)

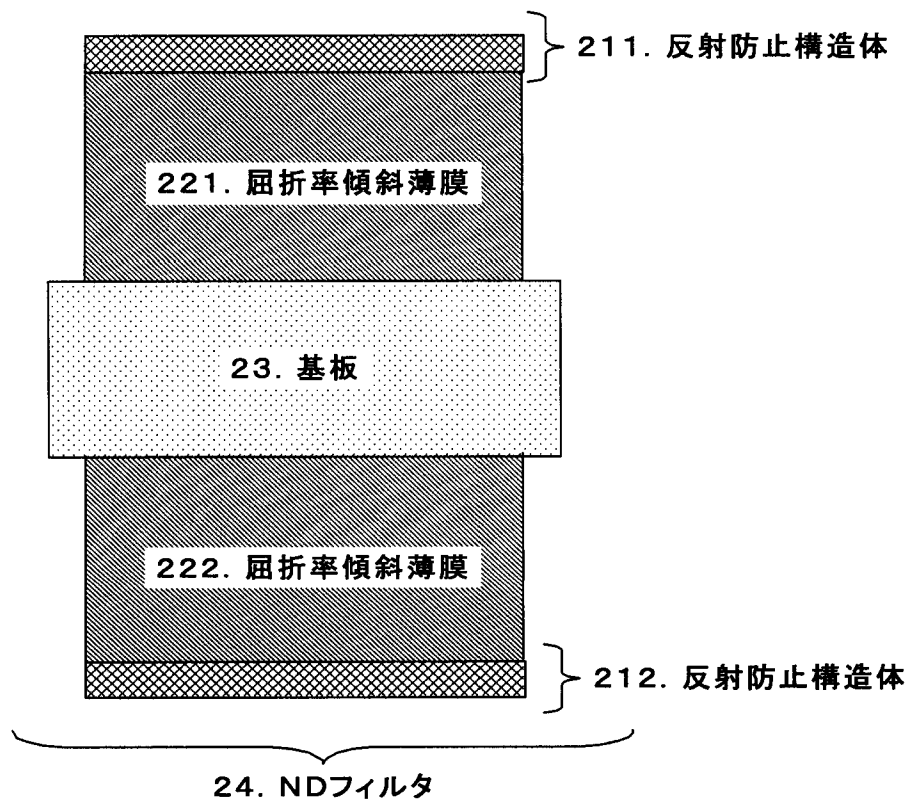


(b)

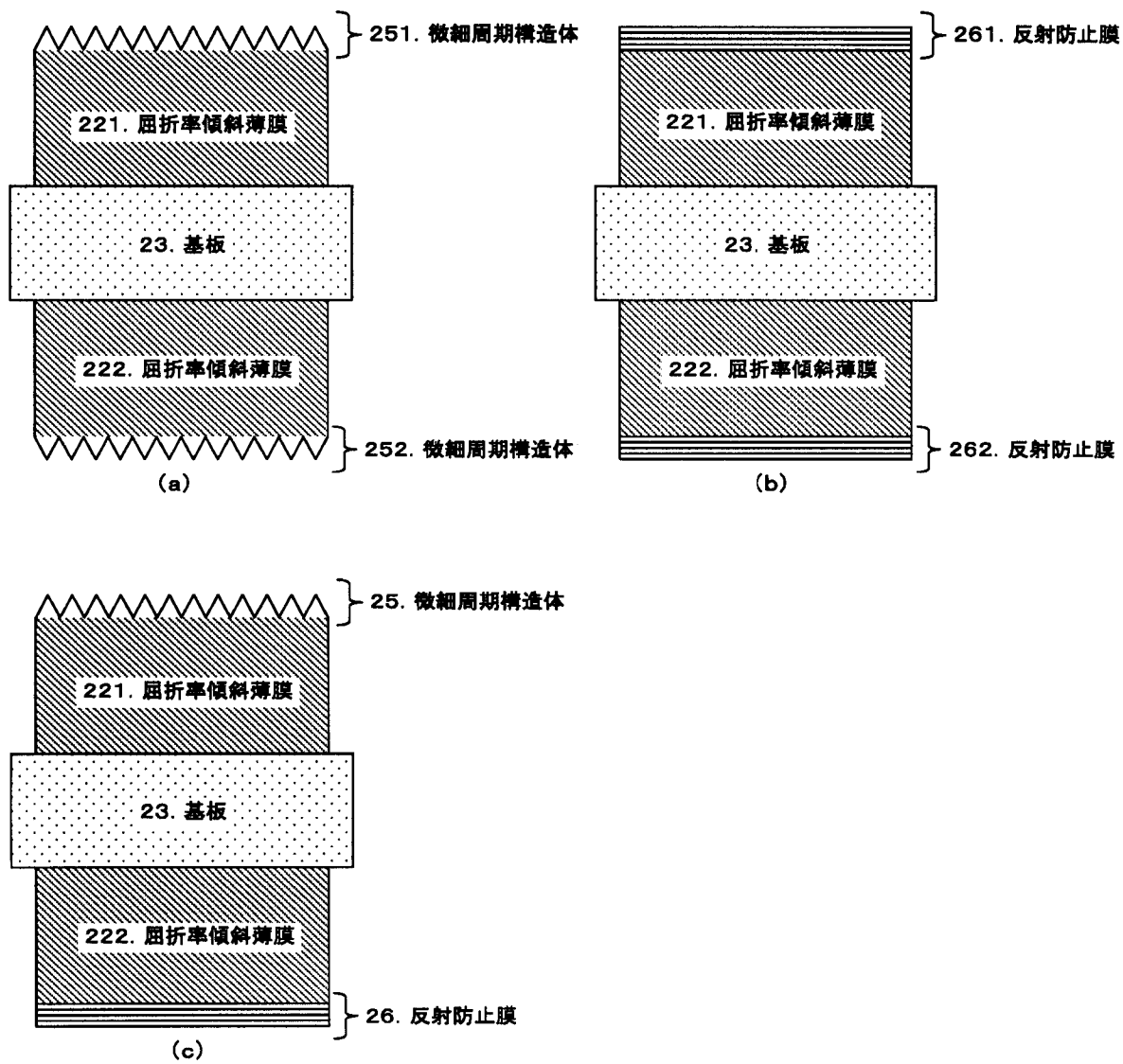
[図15]



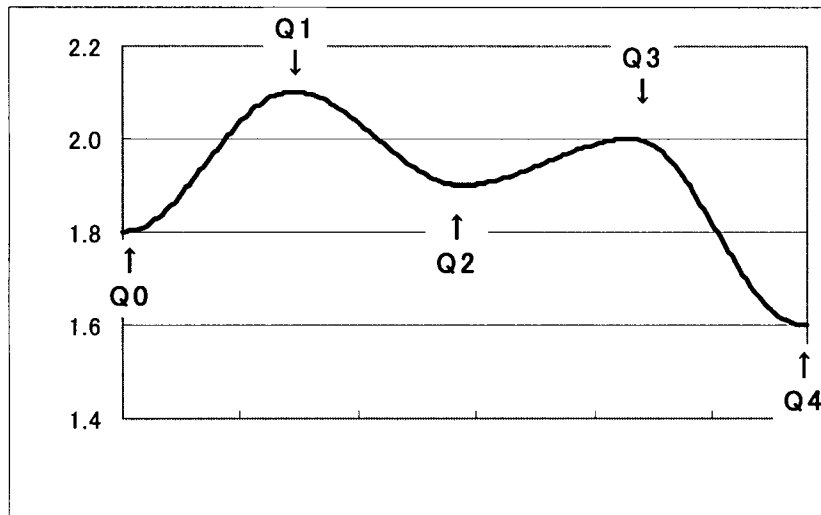
[図16]



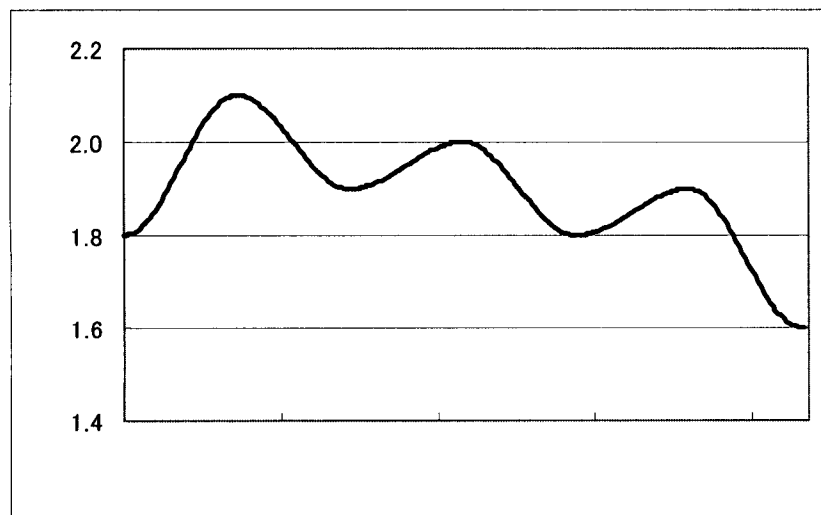
[図17]



[圖18]

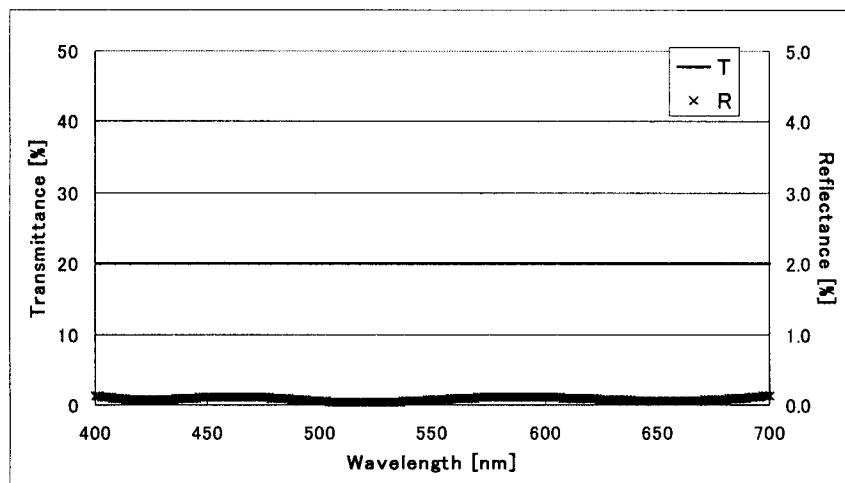


(a)

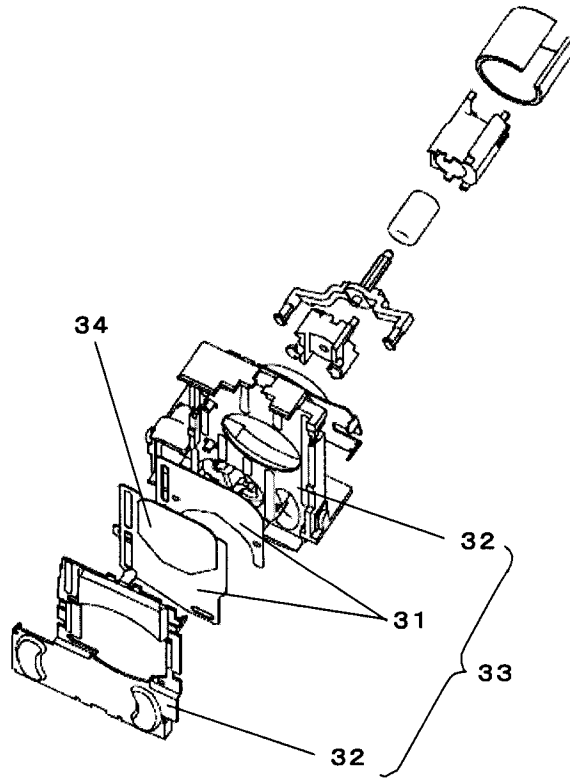


(b)

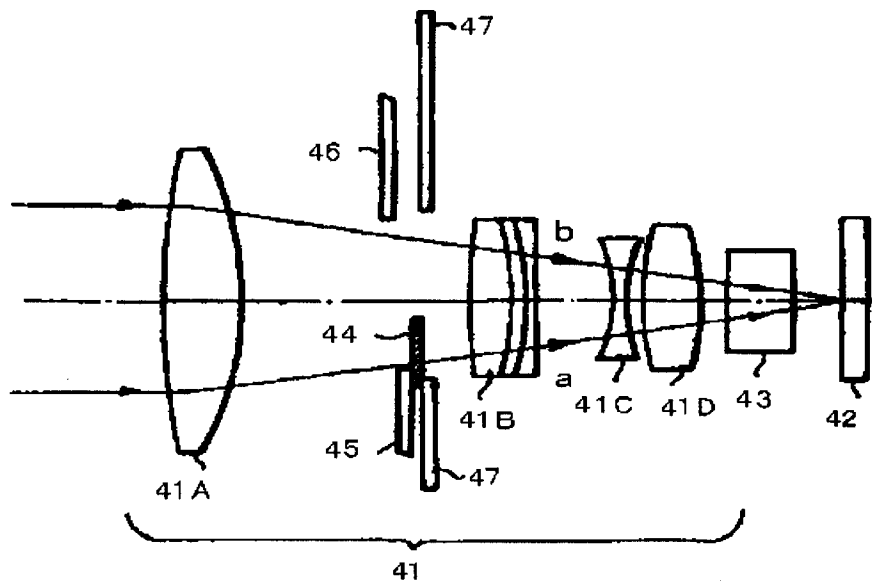
[圖19]



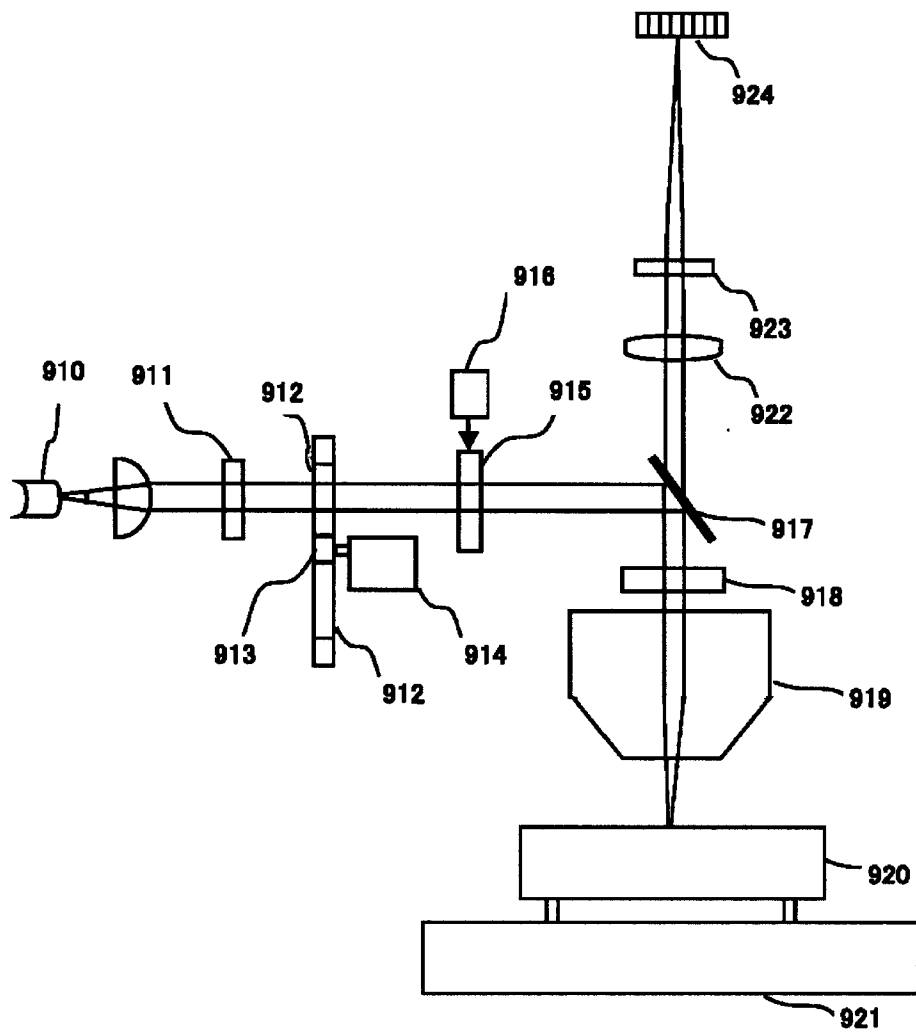
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/062700

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B5/00(2006.01) i, G02B1/11(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B1/10-1/12, G02B5/00-5/30

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	WO 2010/150615 A1 (Sharp Corp.), 29 December 2010 (29.12.2010), paragraphs [0029], [0032], [0074], [0085], [0102] to [0107], [0119] to [0132]; fig. 20, 23, 24 & CN 102460283 A	1, 4-5, 10-12 3, 6-9, 13 2
X Y A	JP 8-83581 A (Hitachi, Ltd.), 26 March 1996 (26.03.1996), paragraphs [0043], [0045], [0050] to [0068]; fig. 1 to 5 (Family: none)	1, 10-11 3, 13 2, 4-9, 12
Y A	JP 7-63915 A (Canon Inc.), 10 March 1995 (10.03.1995), entire text; all drawings & US 5715103 A	13 2

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
08 June, 2012 (08.06.12)

Date of mailing of the international search report
19 June, 2012 (19.06.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/062700

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2004-212462 A (Canon Electronics Inc.), 29 July 2004 (29.07.2004), entire text; all drawings (Family: none)	13 2
Y	JP 2005-133131 A (Dainippon Printing Co., Ltd.), 26 May 2005 (26.05.2005), paragraphs [0007] to [0012] (Family: none)	3
Y	JP 2002-267815 A (Dainippon Printing Co., Ltd.), 18 September 2002 (18.09.2002), paragraphs [0008] to [0009]; fig. 1 (Family: none)	6-9
Y	JP 2009-122216 A (Sumitomo Metal Mining Co., Ltd.), 04 June 2009 (04.06.2009), paragraphs [0020], [0052] to [0053] (Family: none)	13

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02B5/00(2006.01)i, G02B1/11(2006.01)i		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02B1/10 - 1/12, G02B5/00 - 5/30		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2012年 日本国実用新案登録公報 1996-2012年 日本国登録実用新案公報 1994-2012年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X Y A	WO 2010/150615 A1 (シャープ株式会社) 2010. 12. 29, 段落[0029], [0032], [0074], [0085], [0102]-[0107], [0119]-[0132], 図 20, 23, 24 & CN 102460283 A	1, 4-5, 10-12 3, 6-9, 13 2
X Y A	JP 8-83581 A (株式会社日立製作所) 1996. 03. 26, 段落【0043】 , 【0045】 , 【0050】 - 【0068】 , 図 1-5 (ファミリーなし)	1, 10-11 3, 13 2, 4-9, 12
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 08. 06. 2012	国際調査報告の発送日 19. 06. 2012	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 後藤 亮治 電話番号 03-3581-1101 内線 3230	20 9610

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 7-63915 A (キヤノン株式会社) 1995. 03. 10, 全文全図 & US 5715103 A	13 2
Y A	JP 2004-212462 A (キヤノン電子株式会社) 2004. 07. 29, 全文全図 (ファミリーなし)	13 2
Y	JP 2005-133131 A (大日本印刷株式会社) 2005. 05. 26, 段落【0007】 - 【0012】 (ファミリーなし)	3
Y	JP 2002-267815 A (大日本印刷株式会社) 2002. 09. 18, 段落【0008】 - 【0009】 , 図1 (ファミリーなし)	6-9
Y	JP 2009-122216 A (住友金属鉱山株式会社) 2009. 06. 04, 段落【0020】 , 【0052】 - 【0053】 (ファミリーなし)	13