

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2005 年 11 月 24 日 (24.11.2005)

PCT

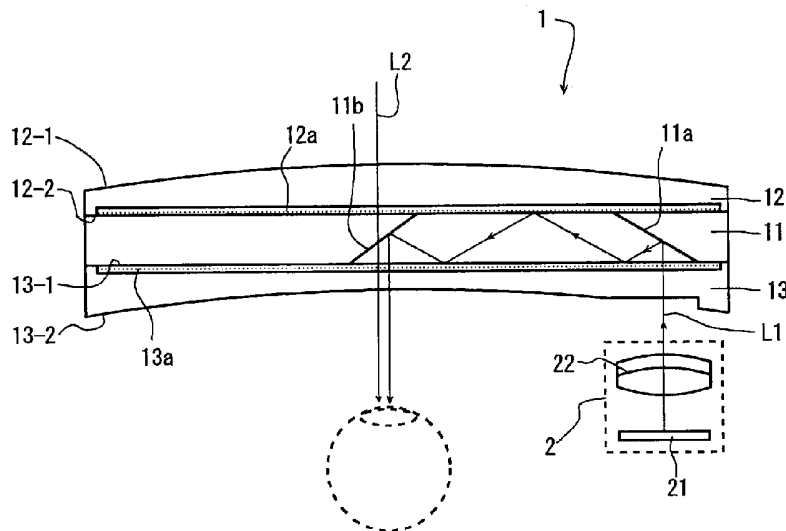
(10) 国際公開番号
WO 2005/111669 A1

- (51) 国際特許分類: **G02B 5/00, 5/32, 27/02** (72) 発明者; および
(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 平山 義一 (HI-RAYAMA, Yoshikazu) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 株式会社ニコン知的財産部内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/007038
- (22) 国際出願日: 2005 年 4 月 11 日 (11.04.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語 (74) 代理人: 古谷 史旺, 外 (FURUYA, Fumio et al.); 〒1600023 東京都新宿区西新宿 1 丁目 19 番 5 号 第 2 明宝ビル 9 階 Tokyo (JP).
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-146579 2004 年 5 月 17 日 (17.05.2004) JP
特願2004-351327 2004 年 12 月 3 日 (03.12.2004) 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, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE,
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL ELEMENT, COMBINER OPTICAL SYSTEM, AND IMAGE DISPLAY UNIT

(54) 発明の名称: 光学素子、コンバイナ光学系、及び画像表示装置



(57) Abstract: A light-propagating optical element having its inner-surface reflection function and a see-through feature not damaged even if a member higher in refractive index than a surrounding medium is brought into in close contact with the surface thereof. The optical element is characterized by comprising a substrate through the inside of which a specified light flux can propagate, and an optical function unit that is provided in close contact with the surface of the substrate the propagating specified light flux can reach, and has actions of reflecting the specified light flux and transmitting or interfering with or diffracting an external optical flux reaching the surface. This optical element, when used, can realize a combiner optical system that can easily mount functions such as a diopter correction, and an image display unit that can easily mount functions such as a diopter correction.

(57) 要約: 本発明は、周囲の媒質よりも屈折率の高い部材が表面に密着しても内面反射機能とシースルー性とが損なわれない光伝搬用の光学素子を提供する。そのために、所定の光束が内部を伝搬可

[続葉有]



WO 2005/111669 A1



SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

(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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

能な基板と、前記伝搬する前記所定の光束が到達可能な前記基板の面上に密着して設けられ、その所定の光束を反射すると共にその面に到来する外界光束を透過する干渉又は回折作用を有した光学機能部とを備えたことを特徴とする。この光学素子を利用すれば、視度補正などの機能を搭載することが容易なコンバイナ光学系、及び視度補正などの機能を搭載することが容易な画像表示装置が実現する。

明 細 書

光学素子、コンバイナ光学系、及び画像表示装置

技術分野

- [0001] 本発明は、シースルー性を有した光伝搬用の光学素子、その光学素子を用いたコンバイナ光学系、及びコンバイナ光学系を用いた画像表示装置に関する。

背景技術

- [0002] 空気・真空及びその他の気体などの低屈折率の媒質中に存在するガラス基板などの高屈折率材料(透明基板)は、その透明基板に固有の臨界角度より大きい角度で入射する光束を内面反射するが、臨界角度より小さい角度で入射する光束を透過する。つまり、内面反射機能とシースルー性とを有している。

この透明基板を光伝搬用の光学素子として利用した画像表示装置の1つに、アイグラスディスプレイがある(特許文献1、特許文献2など)。

- [0003] アイグラスディスプレイは、観察者の眼前に透明基板を配置しており、画像表示素子からの表示光束は、その透明基板内を観察眼の瞳の直前にまで伝搬し、さらに透明基板内に設けられたハーフミラーなどのコンバイナ上で外界光束に重畳して瞳に入射する。

このようなアイグラスディスプレイにより観察者は、外界と画像表示素子の画像とを同時に観察することができる。

- [0004] このアイグラスディスプレイを広く普及させるためには、他の様々な機能と共に、眼鏡と同様の機能(視度補正機能)を付加する必要がある。

特許文献1:特開2001-264682号公報

特許文献2:特表2003-536102号公報

発明の開示

発明が解決しようとする課題

- [0005] しかし、透明基板の内面反射機能を利用するアイグラスディスプレイは、透明基板の表面を曲面にして透明基板自身に屈折力を持たせることも、屈折力を有した別の屈折部材(平凸レンズ又は平凹レンズ。透明基板と同等又はそれ以上の屈折率。)を

透明基板の表面に貼付することも基本的にできない。

このため、視度補正機能を付加する方法として現在考えられているのは、そのような屈折部材を、エアギャップを介して透明基板の表面に取り付けることであるが、それには以下の様々な困難がある。

- [0006] 例えば、エアギャップの間隔を必要精度で保ちつつ機械的強度を得ることは難しく、しかも部品点数、重量、及び厚み等の増加、製造工程の煩雑化や高コスト化を伴う。また、観察眼と透明基板との位置関係によっては、エアギャップによる余分な反射光が観察眼に入射し、視認性が損なわれることもある。

本発明は、これらの問題点に鑑みてなされたもので、屈折部材など、周囲の媒質よりも屈折率の高い部材が表面に密着しても内面反射機能とシースルー性が損なわれない光伝搬用の光学素子を提供することを目的とする。

- [0007] 本発明は、視度補正などの機能を搭載することが容易なコンバイナ光学系、及び視度補正などの機能を搭載することが容易な画像表示装置を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0008] 本発明の光学素子は、所定の光束が内部を伝搬可能な基板と、前記伝搬する前記所定の光束が到達可能な前記基板の面上に密着して設けられ、その所定の光束を反射すると共にその面に到来する外界光束を透過する干渉又は回折作用を有した光学機能部とを備えたことを特徴とする。

前記光学機能部は、特定の偏光方位の前記所定の光束を反射し、かつ他の偏光方位の光束を透過する性質を有していてもよい。

- [0009] また、前記光学機能部は、前記基板と空気との屈折率によって決定する、基板内部の光束が全反射する条件の臨界角又は前記臨界角よりも大きな入射角度で前記面に到達する前記所定の光束を、所望の反射特性で反射する性質を有していてもよい。

また、前記光学機能部は、前記所定の光束の光路の光量ロスを増大させることなく前記外界光束を減光する機能を有していてもよい。

- [0010] 本発明のコンバイナ光学系は、所定の画像表示素子から射出した表示光束を伝搬

させると共に、少なくとも前記基板を観察眼に正対させた状態で外界からその観察眼に向かう前記外界光束を透過する本発明の光学素子と、前記光学素子に設けられ、前記基板の内部を伝搬した前記表示光束を前記観察眼の方向に反射すると共に前記外界光束を透過するコンバイナとを備えたことを特徴とする。

[0011] 前記光学機能部は、前記基板の表面に設けられた光学膜であり、前記光学膜の表面には、第2の基板が設けられていてもよい。

また、前記第2の基板は、視度補正用の屈折レンズであってもよい。

また、前記光学機能部は、前記基板の外界側の面に設けられており、前記光学機能部と前記第2の基板とからなる光学系の全体は、前記表示光束の光路の光量ロスを増大させることなく前記外界光束を減光する機能を有していてもよい。

[0012] また、前記第2の基板は、可視光に対する吸収性を有していてもよい。

また、前記光学膜は、前記表示光束の光路の光量ロスを増大させることなく前記外界光束を減光する機能を有していてもよい。

また、前記光学膜は、金属及び／又は誘電体から構成されてもよい。

また、前記光学膜は、ホログラフィック光学膜から構成されてもよい。

[0013] また、前記第2の基板の表面には、第2の光学膜が設けられてもよい。

また、前記第2の光学膜は、金属及び／又は誘電体から構成されてもよい。

また、前記第2の光学膜は、ホログラフィック光学膜から構成されてもよい。

また、前記第2の光学膜は、エレクトロクロミック膜から構成されてもよい。

また、前記第2の光学膜は、フォトクロミック膜から構成されてもよい。

[0014] また、前記光学機能部と前記第2の基板とからなる光学系の全体は、前記コンバイナに入射する前記外界光束を、その他の前記外界光束より高い減光率で減光してもよい。

また、本発明のコンバイナ光学系において、前記画像表示素子からの前記表示光束が前記基板中で内面反射可能となる方向に前記表示光束を導光する導入ミラーを備えてもよい。

[0015] 本発明の画像表示装置は、画像表示用の表示光束を出射する画像表示素子と、前記表示光束を前記観察眼へ導光する本発明のコンバイナ光学系とを備えたことを

特徴とする。

この画像表示装置においては、前記コンバイナ光学系を前記観察者の頭部に装着する装着手段が備えられてもよい。

発明の効果

[0016] 本発明によれば、周囲の媒質よりも屈折率の高い部材が表面に密着しても内面反射機能とシースルー性とが損なわれない光伝搬用の光学素子を実現する。

本発明によれば、視度補正などの機能を搭載することが容易なコンバイナ光学系、及び視度補正などの機能を搭載することが容易な画像表示装置が実現する。

図面の簡単な説明

[0017] [図1]第1実施形態のアイグラスディスプレイの外観図である。

[図2]第1実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断した概略断面図である。

[図3]空気中に存在するガラス基板の反射率の角度特性を示す図である。

[図4]HOE35を製造する光学系を示す図である。

[図5]第1実施例の反射率の角度特性を示す図である。

[図6]第1実施例の垂直入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図7]第1実施例の60°の入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図8]第2実施例の反射率の角度特性を示す図である。

[図9]第2実施例の垂直入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図10]第2実施例の60°の入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図11]第3実施例の反射率の角度特性を示す図である。

[図12]第3実施例の垂直入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図13]第3実施例の60°の入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図14]第4実施例の膜構成を示す図である。

[図15]第4実施例の反射率の角度特性を示す図である。

[図16]第4実施例の垂直入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図17]第4実施例の60°の入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図18]第5実施例の膜構成を示す図である。

[図19]第5実施例の反射率の角度特性を示す図である。

[図20]第5実施例の垂直入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図21]第5実施例の 60° の入射光に対する反射率の波長特性を示す図である。

[図22]第2実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してできる概略断面図である。

[図23]第2実施形態の反射増強膜22aに適用されるHOEを製造する光学系を示す図である。

[図24]第6実施例の膜構成を示す図である。

[図25]第6実施例の小入射角度の光(入射角度 $0^\circ \sim 20^\circ$)に対する反射率の波長特性である。

[図26]第6実施例の大入射角度の光(入射角度 $35^\circ, 40^\circ$)に対する反射率の波長特性である。

[図27]第6実施例の誘電体光学多層膜の各波長の光に対する反射率の角度特性である。

[図28]第3実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してできる概略断面図である。

[図29]第7実施例の膜構成を示す図である。

[図30]第7実施例の小入射角度の光(入射角度 $0^\circ \sim 20^\circ$)に対する反射率の波長特性である。

[図31]第7実施例の大入射角度の光(入射角度 $35^\circ \sim 50^\circ$)に対する反射率の波長特性である。

[図32]第7実施例の誘電体光学多層膜の各波長の光に対する反射率の角度特性である。

[図33]第4実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してできる概略断面図である。

[図34]第5実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してできる概略断面図である。

[図35]第6実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分の分解図である。

[図36]第7実施形態のアイグラスディスプレイを説明するための図である。

[図37]第8実施形態のアイグラスディスプレイの外観図である。

[図38]第8実施形態のアイグラスディスプレイの光学系の詳細図である。

[図39]Ag層の屈折率の波長特性である。

[図40]Ag層の消衰係数の波長特性である。

[図41]第8実施形態の減光膜20の基板11側の反射率、及び透過率の波長特性である。

[図42]第8実施形態の減光膜20の基板11側の反射率、及び透過率の角度特性である。

[図43]第8実施形態の第1変形例の減光膜20の膜構成を示す図である。

[図44]第8実施形態の第1変形例の減光膜20の透過率の波長特性である。

[図45]第8実施形態の第2変形例の減光膜20の膜構成を示す図である。

[図46]第8実施形態の第2変形例の減光膜20の透過率の波長特性である。

[図47](a)は、基板11の空気側の界面における反射を説明する図、(b)は、基板11の減光膜20側の界面における反射を説明する図である。

[図48]第1変形例、第2変形例の減光膜20の基板11側の反射率の角度特性である。

[図49]二酸化チタン(TiO_2)の屈折率の波長特性である。

[図50]二酸化チタン(TiO_2)の消衰係数の波長特性である。

[図51]第8実施形態の第3変形例の減光膜20の膜構成を示す図である。

[図52]第8実施形態の第3変形例の減光膜20の透過率の波長特性である。

[図53]第8実施形態の第3変形例の減光膜20の基板11側の反射率の波長特性である。

[図54]第9実施形態のアイグラスディスプレイの外観図である。

[図55]第9実施形態のアイグラスディスプレイの光学系の詳細図である。

[図56]第9実施形態の減光膜20、40の膜構成を示す図である。

[図57]減光膜20、40の中央領域の透過率の波長特性、減光膜20の周辺領域の透過率の波長特性である。

[図58]第9実施形態の第1変形例の減光膜20、40の中央領域の透過率の波長特性である。

[図59]第9実施形態の第1変形例の減光膜20の基板11側の反射率の角度特性(中央領域における特性)である。

[図60]ホログラフィック光学膜の製造における第1の露光を説明する図である。

[図61]ホログラフィック光学膜の製造における第2の露光を説明する図である。

[図62]第10実施形態のアイグラスディスプレイの実施形態である。

[図63]アイグラスディスプレイの光学系の詳細図である。

[図64]屈折率1.50、厚み1mmのガラス基板の、消衰係数 k と透過率との関係を示す図である。

[図65]第1の光学膜60の基板11側の反射率の波長特性である。

[図66]第1の光学膜60の第2の基板70側の反射率の角度特性である。

発明を実施するための最良の形態

[0018] [第1実施形態]

以下、図1、図2、図3、図4を参照して本発明の第1実施形態を説明する。

本実施形態は、アイグラスディスプレイ(請求項における画像表示装置に対応する。)の実施形態である。

先ず、アイグラスディスプレイの構成を説明する。

[0019] 図1に示すように、本アイグラスディスプレイは、画像表示光学系1、画像導入ユニット2、ケーブル3などからなる。画像表示光学系1、画像導入ユニット2は、眼鏡のフレームと同様の支持部材4によって支持され、観察者の頭部に装着される(支持部材4は、テンプル4a、リム4b、ブリッジ4cなどからなる。)

画像表示光学系1は、眼鏡のレンズと同様の外形をしておりリム4bによって周囲から支持される。

[0020] 画像導入ユニット2は、テンプル4aによって支持される。画像導入ユニット2には、外部機器からケーブル3を介して映像信号及び電力が供給される。

装着時、観察者の一方の眼(以下、右眼とし「観察眼」という。)の眼前に画像表示光学系1が配置される。以下、装着時のアイグラスディスプレイを、観察者及び観察

眼の位置を基準として説明する。

- [0021] 画像導入ユニット2の内部には、図2に示すように、ケーブル3を介して供給される映像信号に基づき映像を表示する液晶表示素子21(請求項における画像表示素子に対応。)と、液晶表示素子21の近傍に焦点を有した対物レンズ22とが配置される。

この画像導入ユニット2は、対物レンズ22から射出する表示光束L1(可視光である。)を、画像表示光学系1の観察者側の面の右端部に向けて出射する。

- [0022] 画像表示光学系1は、観察者の側から順に、基板13、基板11、基板12を密着して重ねて配置してなる。

基板13、基板11、基板12の各々は、少なくとも可視光に対し透過性を有した材料(例えば、光学ガラス)からなる。

このうち、基板11は、画像導入ユニット2から導入された表示光束L1を外界側の面11-1と観察者側の面11-2とで繰り返し内面反射する平行平板である(請求項における基板に対応する。)

- [0023] 基板11の外界側に配置された基板12は、観察眼の視度補正をする働きを担う。基板12は、観察者側の面12-2が平面、外界側の面12-1が曲面となったレンズである。

基板11の観察者側に配置された基板13も、観察眼の視度補正をする働きを担う。基板13は、外界側の面13-1が平面、観察者側の面13-2が曲面となったレンズである。

- [0024] なお、面13-2のうち表示光束L1が最初に通過する領域は、表示光束L1に対し何ら光学的パワーを与えない平面になっている。

また、基板11の内部において表示光束L1が最初に入射する領域には、表示光束L1の角度を、基板11内を内面反射可能な角度に変化させるための導入ミラー11aが形成される。

- [0025] また、基板11の内部において、観察眼の瞳に対向する領域には、内面反射した表示光束L1を瞳の方向に反射するハーフミラー11b(請求項におけるコンバイナに対応する。)が設けられる。

なお、ハーフミラー11bに代えて、所定の回折条件に合致した光を所定の方向に

偏向する性質のHOE(ホログラフィック・オプティカル・エレメントの略。)を用いることもできる。また、コンバイナには光学的パワーが付与されていてもよい。

- [0026] ここで、基板12と基板11との間には、置換膜12aが両者に密着して設けられる。また、基板13と基板11との間には、置換膜13aが両者に密着して設けられる(置換膜12a, 13aが請求項における光学機能部に対応する。)。

置換膜12a, 13aは、 60° 近傍の入射角度で入射する可視光を反射し、かつ 0° 近傍の入射角度で入射する可視光を透過する性質を有している。

- [0027] 次に、画像表示光学系1の各面の配置の詳細を表示光束L1の振る舞いに基づき説明する。

図2に示すように、画像導入ユニット2内の液晶表示素子21の表示画面から射出した表示光束L1(図示は、中心画角の表示光束のみ。)は、対物レンズ22を介して 0° 近傍の入射角度で基板13に入射するので、置換膜13aを通過して基板11内に入射する。

- [0028] 基板11内に入射した表示光束L1は、導入ミラー11aに対し所定の入射角度で入射し、反射する。反射した表示光束L1は、置換膜13aに対し 60° 近傍の入射角度 θ で入射するので、置換膜13aにて反射し、置換膜12aに向かう。置換膜12aに対する入射角度も同じく θ となるので、表示光束L1は、置換膜12aでも反射する。

よって、表示光束L1は、置換膜13a、12aで繰り返し交互に反射しつつ、画像導入ユニット2から離れた観察者の左方向へ伝搬する。

- [0029] その後、表示光束L1は、ハーフミラー11bに入射して観察眼の瞳の方向に反射する。

反射した表示光束L1は、 0° 近傍の入射角度で置換膜13aに入射するので、置換膜13aを透過し、基板13を介して観察眼の瞳に入射する。

一方、外界(遠方)からの外界光束L2は、基板12を介して 0° 近傍の入射角度で置換膜12aに入射するので、置換膜12aを透過し、基板11を介して置換膜13aに対し 0° 近傍の入射角度で入射する。その外界光束L2は、置換膜13aを透過し、基板13を介して観察眼の瞳に入射する。

- [0030] ここで、基板12の外界側の面12-1の形状、基板13の観察者側の面13-2の形

状は、観察眼の視度補正をするよう設定されている。

因みに、観察眼の外界に対する視度補正は、外界光束L2の光路に配置される面12-1と面13-2との形状の組み合わせによって図られる。観察眼の画像に対する視度補正は、表示光束L1の光路に配置される面13-2の形状によって図られる。観察眼の画像に対する視度補正を図るために、対物レンズ22の光軸方向の位置、液晶表示素子21の光軸方向の位置が調整されることもある。

[0031] なお、以上のアイグラスディスプレイにおいて、液晶表示素子21から瞳までの光路に配置された要素が、請求項におけるコンバイナ光学系に対応する。

次に、置換膜12a, 13aを詳細に説明する。

(1) 基板11の内部全反射について

一般に、媒質中に置かれた基板11の内部全反射は、以下の式(1)で示される臨界角度 θ_c を超えた場合に生起する。

[0032]
$$\theta_c = \arcsin[n_m / n_g] \cdots (1)$$

但し、 n_m は媒質の屈折率、 n_g は基板11の屈折率である。この式(1)によると、 θ_c が存在するためには、 $n_m < n_g$ でなければならないことがわかる。

このため、基板12, 13を基板11の表面に直接貼付すると、媒質の屈折率が高くなりすぎて θ_c が存在せず、内面反射機能が損なわれてしまう。

[0033] 一方、エアギャップを基板11の表面に設けると、媒質(空気)の屈折率は1($n_m = 1.0$)と低いので、基板11の材料が一般的な光学ガラスBK7($n_g = 1.56$)であるとき、臨界角度 θ_c は、式(1)により概ね40° となり、内面反射機能が得られる。

因みに、エアギャップを用いたときの基板11の反射率の入射角度特性は、図3に示すとおりである。

(2) 誘電体光学多層膜について

誘電体光学多層膜の理論では、以下の関係が明らかにされている。

[0034] 光学ガラスからなる基板と基板との間に挟まれた誘電体光学多層膜からなる対称膜の膜構成(下記)を考える。ここで、対称膜とは、各種類の層が中心対称に積層された膜構成のことを指す。また、構成を表すために1単位となる層群に括弧を付けて列記する(以下、同様)。

基板/(0.125L0.25H0.125L)^k/基板、又は、

基板/(0.125H0.25L0.125H)^k/基板

なお、各層群におけるHは高屈折率層、Lは低屈折率層、各層群の右上付き文字kは各層群の積層回数、各層の前に付けた数字は各層の入射光の中心波長に対する光学膜厚(nd/λ)である(以下、同様)。

- [0035] 対称膜は、或る仮想の屈折率を持つ等価的な単一の膜(等価膜)として扱えることが知られており、対称膜と、この膜の等価的な屈折率(等価屈折率)の理論は、HA.Macleod著「Thin-Film optical Filters 3rd.Edition」などに詳しく記述されているので、詳細は割愛する。

この膜構成において、等価膜の垂直入射光に対する等価屈折率を、基板11の屈折率と同じに選定すると、垂直入射する光に対しては界面反射は全く生じず透過率は100%であるが、入射角度が大きい光に対しては界面反射が生じ反射率が增大してくる。この理由は、一般に、誘電体の見かけの屈折率Nが誘電体中の光の進行角度 θ に対応して以下のとおり変化するためである。

- [0036] $N = n \cos \theta$ (s偏光)

$$N = n / \cos \theta \quad (\text{p偏光})$$

但し、nは誘電体の屈折率である。因みに、入射角度の増大に伴う反射率の増大量は、特にs偏光にて顕著である。

(3) 置換膜12a, 13aの構成について

置換膜12a, 13aは、(1)で述べた基板11の内部反射機能と、基板11のシースルー性(=外界の視認性)との双方を損なわないものである必要がある。つまり、表示光束L1に対し反射性を有し、外界光束L2に対し透過性を有する必要がある。

- [0037] そこで置換膜12a, 13aは、基板11と空気の屈折率差により決定される、臨界角又はその臨界角よりも大きな角度で入射する光を高い反射率で反射する(好ましくは全反射する)特性を有するように設計される。

本実施形態において、置換膜12a, 13aの性質を、「60°近傍の入射角度で入射する可視光を反射し、かつ0°近傍の入射角度で入射する可視光を透過する性質」に設定した。この性質は、(2)で述べた誘電体光学多層膜によって得ることができる。

。

[0038] そこで、本実施形態では、置換膜12a, 13aに誘電体光学多層膜を用いる。

この置換膜12a, 13aの設計方法は、以下のとおりである。

置換膜12a, 13aの構成(単位層群の構成、積層回数、各層の膜厚、各層の屈折率、各層の材料など)は、高反射率を得るべき光の入射角度(ここでは 60°)に対し最適化される。基板11の屈折率についても同時に最適化される。置換膜12a, 13aの基本的な構成は(2)で述べた対称膜とする。

[0039] 但し、(2)で述べた理論を単純に適用しても得られる解と実在する薄膜材料の屈折率とが一致することは非常に希であるため、設計に当たり、以下の各工夫の全部又は1部を施す。

第1の工夫は、基板11とのマッチングをとる目的で、幾つかの層(マッチング層)を基板11の側に挿入することである。

[0040] 第2の工夫は、最適化の際、材料の屈折率分散の吸収、反射率・透過率の分光特性・角度特性の微調整をすることである。

第3の工夫は、必要に応じて対称性を崩す(非対称性を許容する)ことである。

第4の工夫は、計算機による膜厚の最適化設計や膜構成の自動合成を利用することである。

[0041] 第5の工夫は、s偏光に対してのみ所望の特性が得られるよう設計することである(入射角度の増大に伴う反射率の増大量がs偏光に関して顕著であるという誘電体光学多層膜の性質があるので。)

第6の工夫は、特定の波長に対してのみ所望の特性が得られるよう設計することである。

[0042] なお、第5の工夫は、図2に示した液晶表示素子21の光源がs偏光であるときに有効である。また、光源がp偏光であるときにも、位相板などでその偏光方向を回転させれば、有効となる。偏光方向を限定した分だけ、設計の自由度が高まるという利点がある。

また、第6の工夫は、図2に示した液晶表示素子21の光源が特定の波長で発光しているときに有効である。波長を限定した分だけ、設計の自由度が高まるという利点

がある。

[0043] 次に、本アイグラスディスプレイの効果を説明する。

アイグラスディスプレイでは、基板11の外界側と観察者側とに置換膜12a, 13aが形成される。

置換膜12a, 13aの性質は、 60° 近傍の入射角度で入射する可視光を反射し、かつ 0° 近傍の入射角度で入射する可視光を透過するよう設定されている。

[0044] これらの置換膜12a, 13aで挟まれた基板11は、表示光束L1を内面反射し、かつ外界(遠方)からの外界光束L2を透過させることができる。

したがって、基板11と略同じ屈折率の基板12, 13が貼付されたにも拘わらず、基板11の内面反射機能とシースルー性は、何ら損なわれない。

その結果、基板12, 13を貼付するだけの簡単な方法で、アイグラスディスプレイに対し視度補正機能を搭載することができた。

[0045] なお、基板12, 13として、光吸収のある材料を用いれば、アイグラスディスプレイにサングラスの機能を付与できる。また、サングラスの機能のみ必要であり、視度補正の必要が無い場合には、基板12, 13を光吸収のある平行平板にしてもよい。

(その他)

なお、本実施形態では、表示光束L1を可視光とし、基板11, 置換膜12a, 13aの性質を、その可視光を内面反射するような性質に設定したが、液晶表示素子21の光源が発光スペクトルを有しているときには、少なくともそのピーク波長の光を内面反射するような性質に設定されていればよい。

[0046] また、本実施形態のアイグラスディスプレイは、2枚の基板(基板11, 12)と2つの置換膜(置換膜12a, 13a)によって視度補正が図られたが、1枚の基板と1つの置換膜により視度補正が図られてもよい。

また、本実施形態では、置換膜12a, 13aに誘電体光学多層膜を用いたが、HOEを用いてもよい。誘電体光学多層膜を用いた置換膜12a, 13aの構成の詳細は後述する実施例にて説明することとし、HOEの製造方法を以下に説明する。

[0047] 図4には、HOEを製造する光学系を示した。この光学系は、入射角度 θ で入射する表示光束L1を高い反射率で反射するHOEを製造するものである。

波長 λ のレーザ光源31から射出したレーザ光は、ビームスプリッタ32で2分割される。2分割されたレーザ光は、2つのビームエキスパンダ33でそれぞれ拡大された後、2つの補助プリズム34を介してホログラム感光材料35にそれぞれ入射する。これによって感光材料35が露光する。ここで、感光材料35へのレーザ光の入射角度は、 θ に設定されている。この感光材料35を現像処理すれば、HOEが完成する。

[0048] 完成したHOEは、所定の波長 λ 、かつ所定の角度 θ で入射する光束を回折反射し、かつ 0° 近傍の入射角度で入射する光を全透過する性質を有する。

なお、置換膜12a, 13aが反射性を示すべき光の入射角度や波長は1種類ではないので、必要に応じて、角度 θ やレーザ光の波長を変更しながら感光材料35を多重露光することになる。

[0049] また、ホログラム感光材料35として樹脂ベースの材料(樹脂シート)を用いると、大面積のHOEを低コストで製造することができる。また、HOEが樹脂シートであると、HOEをアイグラスディスプレイの基板11に密着させる際に貼付するだけで済むため、低コスト・大量生産の面で実用価値が高い。

また、本実施形態の置換膜12a, 13aには、金属膜や半導体膜などからなる光学多層膜が用いられてもよい。但し、そのような光学多層膜よりも誘電体光学多層膜の方が、光の吸収が少ないため、好適である。

[0050] 以上の各光学機能部(誘電体光学多層膜、HOE、その他の光学多層膜)は、アイグラスディスプレイの仕様やコストなどに応じて置換膜12a, 13aとして選択使用されることが望ましい。

[第1実施例]

以下、誘電体光学多層膜からなる置換膜12a, 13aの第1実施例を説明する。

[0051] 本実施例は、液晶表示素子21の光源が偏光しているときに有効な実施例である。本実施例の基本構成は例えば以下のとおりである。

基板/(0.125L0.25H0.125L)^k/基板

但し、基板の屈折率は1.74、高屈折率層Hの屈折率は2.20、低屈折率層Lの屈折率は1.48である。

[0052] 基板にはSCHOTT社製N-LAF35を用い、高屈折率層Hは、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5

O_5 の何れかを用い、成膜条件を調整して構成し、低屈折率層Lには SiO_2 を用いた。

因みに、この基本構成の誘電体光学多層膜は、一般に「短波長透過フィルタ」と呼ばれる。所定波長より短い波長の光に対する透過率が高く、所定波長より長い波長の光に対する反射率が高いという特徴がある。

[0053] また、一般の誘電体光学多層膜は、光が斜めに入射した場合の分光特性が入射角度に応じて短波長側にシフトするという特徴がある。

これら2特徴を合わせ、垂直入射する光の透過帯域を可視光全体(400～700nm)に一致させておき、入射角度が基板11の臨界角度 θ_c の前後になると、長波長側の反射帯域が可視光全体(400～700nm)に重なるよう基本構成を最適化する。最適化の結果、本実施例は以下のとおりとなった。

[0054] 基板/(0.125L0.28H0.15L)(0.125L0.25H0.125L)⁴(0.15L0.28H0.125L)/基板

但し、基板の屈折率は1.56、高屈折率層Hの屈折率は2.30、低屈折率層Lの屈折率は1.48、中心波長 λ は850nmである。

基板には、SCHOTT社製N-BAK4を使用し、高屈折率層Hは TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 の何れかから成膜条件を調整して形成した。

[0055] 本実施例の反射率の角度特性を図5に、垂直入射光に対する反射率の波長特性を図6に、60°の入射光に対する反射率の波長特性を図7に示す。なお、以下の各図においてRsはs偏光に対する特性、Rpはp偏光に対する特性、Raはs偏光とp偏光とに対する平均的特性である。

図5に示すとおり、本実施例の反射率の角度特性は、s偏光のみに限定すると、ガラス基板の反射率の角度特性(図3参照)によく一致している。また、図6に示すとおり、本実施例は、垂直入射する可視光に対し高い透過率を有する。また、図7に示すとおり、本実施例は、60°入射する略全域の可視光に対し略100%の反射率を有する。

[0056] なお、本実施例では、基板との間にマッチング層を介在させている。マッチング層は、透過帯(反射率の低い波長領域)のリップルを低減する役割などを果たしている。

[第2実施例]

以下、誘電体光学多層膜からなる置換膜12a, 13aの第2実施例を説明する。

本実施例は、液晶表示素子21の光源が偏光しているときに有効な実施例である。
基本構成は例えば以下のとおりである。

[0057] 基板/(0.125H0.25L0.125H)^k/基板

因みに、この構成は、一般に「長波長透過フィルタ」と呼ばれる。所定波長より長い波長の光に対する透過率が高く、所定波長より短い波長の光に対する反射率が高いという特徴がある。

最適化した結果、本実施例は以下のとおりとなった。

[0058] 基板/(0.3H0.27L0.14H)(0.1547H0.2684L0.1547H)³(0.14H0.27L0.3H)/基板

但し、基板の屈折率は1.56、高屈折率層Hの屈折率は2.00、低屈折率層Lの屈折率は1.48、中心波長 λ は750nmである。

高屈折率層Hは、 ZrO_2 , HfO_2 , Sc_2O_3 , Pr_2O_6 , Y_2O_3 の何れかを用い、成膜条件を調整して構成した。なお、基板と低屈折率層Lには、先の実施例と同じものを用いた。

[0059] 本実施例の反射率の角度特性を図8に、垂直入射光に対する反射率の波長特性を図9に、60°の入射光に対する反射率の波長特性を図10に示す。

図8、図9、図10に示すとおり、本実施例によれば、s偏光について第1実施例と略同様の良好な特性が得られる。

なお、本実施例は、長波長透過フィルタを基本構成とした。第1実施形態の(2)で述べた理論によると、短波長透過フィルタが適していることになるが、実在する薄膜材料の屈折率を前提に検討すると、このように、長波長透過フィルタを基本構成とした設計解が得られることもしばしばある。

[0060] [第3実施例]

以下、誘電体光学多層膜からなる置換膜12a, 13aの第3実施例を説明する。

本実施例は、液晶表示素子21の光源が無偏光であるときに有効な実施例である。
最適化の結果、本実施例は以下のとおりとなった。

基板/(0.25H0.125L)(0.125L0.25H0.125L)⁴(0.125L0.25H)/基板

但し、基板の屈折率は1.75、高屈折率層Hの屈折率は2.30、低屈折率層Lの屈

折率は1.48、中心波長 λ は1150nmである。

- [0061] 基板には、SCHOTT社製のN-LAF4を用いた。高屈折率層Hは、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 の何れかを成膜条件を調整して形成し、低屈折率層Lは、 SiO_2 を成膜して形成した。

本実施例の反射率の角度特性を図11に、垂直入射光に対する反射率の波長特性を図12に、 60° の入射光に対する反射率の波長特性を図13に示す。

- [0062] 図11、図12、図13に示すとおり、本実施例によれば、p偏光、s偏光のの双方について良好な特性が得られる。

なお、本実施例の構成をモデル化すると以下のような対称な構成となる。

基板/(マッチング層群I)^{k1}・(対称層群)^{k2}・(マッチング層II)^{k3}/基板

各層群は、低屈折率層L・高屈折率層Hを繰り返し積層してなり(LHL又はHLH)、 60° の入射光に対し反射率が高まるよう設定されている。中央の層群は、垂直入射光を反射する傾向にあるため、この反射を抑える目的でマッチング層群I、IIの各層の膜厚が最適化調整されている。

- [0063] 設計時には、光の入射角度や基板の屈折率などに応じて、このモデルの各層群の積層回数 k_1 、 k_2 、 k_3 を増減したり、マッチング層群I、IIの各層の膜厚を調整したりすればよい。

また、一方の基板との関係と、他方の基板との関係とが互いに異なる場合(2つの基板の屈折率が異なったり、一方の基板との間にのみ接着剤層が介在するときなど)には、マッチング層群I、IIの積層回数及び各層の膜厚を個別に調整すればよい。

- [0064] また、現在では計算機による膜厚の最適化設計や膜構成の自動合成の手法も普及している。この手法を用いた場合には、得られる設計解が上述した基本構成から若干外れることがある。しかし、それでも基本構成を一部調整したもの(基本構成の変形)とみなせる。

[第4実施例]

以下、誘電体光学多層膜からなる置換膜12a、13aの第4実施例を説明する。

- [0065] 本実施例は、液晶表示素子21の光源が偏光しているときに有効な実施例である。また、本実施例は、計算機による膜構成の自動合成の手法を適用した実施例である。

。本実施例の膜構成は、図14のとおりである。

図14に示すとおり、全層数は19、基板の屈折率は1.56、高屈折率層Hの屈折率は2.20、低屈折率層Lの屈折率は1.46、中心波長 λ は510nmである。

[0066] 基板には、SCHOTT社製のN-BAK4を用い、高屈折率層Hには第1実施例と同じものを用いた。低屈折率層Lは、 SiO_2 を用い、成膜条件を調整して形成した。

本実施例の反射率の角度特性を図15に、垂直入射光に対する反射率の波長特性を図16に、 60° の入射光に対する反射率の波長特性を図17に示す。

図15、図16、図17に示すとおり、本実施例によれば良好な特性が得られる。特に図16に示すとおり、垂直入射光に対する透過率が特に良く改善される。

[0067] [第5実施例]

以下、誘電体光学多層膜からなる置換膜12a、13aの第5実施例を説明する。

本実施例は、液晶表示素子21の光源が無偏光であるときに有効な実施例である。また、本実施例は、計算機による膜構成の自動合成の手法を適用した実施例である。本実施例の膜構成は、図18のとおりである。

[0068] 図18に示すとおり、全層数は40、基板の屈折率は1.56、高屈折率層Hの屈折率は2.20、低屈折率層Lの屈折率は1.3845、中心波長 λ は510nmである。

基板には、SCHOTT社製のN-BAK4を用い、高屈折率層Hには第1実施例と同じものを用いた。低屈折率層Lは、 MgF_2 、 AlF_3 の何れかを用いて形成した。

本実施例の反射率の角度特性を図19に、垂直入射光に対する反射率の波長特性を図20に、 60° の入射光に対する反射率の波長特性を図21に示す。

[0069] 図19、図20、図21に示すとおり、本実施例によれば、良好な特性が得られる。特に図20、図21に示すとおり、垂直入射光に対する透過率、及び 60° の入射光に対する反射率がそれぞれ改善される。

[第2実施形態]

以下、図22、図23を参照して本発明の第2実施形態を説明する。本実施形態は、アイグラスディスプレイの実施形態である。ここでは、第1実施形態との相違点を主に説明する。

[0070] 図22は、本アイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してでき

る概略断面図である。図22に示すように、本アイグラスディスプレイの光学系部分は、画像導入ユニット2及び1枚の基板11からなる(画像導入ユニット2は、液晶表示素子21及び対物レンズ22を搭載し、基板11は導入ミラー11a及びハーフミラー11bを内部に設置している。)

[0071] 本アイグラスディスプレイにおいては、基板11の観察者側の面と外界側の面との各々に、反射増強膜22aが密着して設けられている。

反射増強膜22aは、少なくとも置換膜12a, 13aと同じ機能(エアギャップと同じ機能)を持つ。すなわち、反射増強膜22aは、基板11内を内面反射すべき表示光束L1(ここでは、入射角度 60° 近傍で入射する可視光)に対し反射性を示し、かつ基板11を透過すべき表示光束L1及び外界光束L2(ここでは、入射角度 0° 近傍で入射する可視光)に対し透過性を示す。

[0072] 但し、反射増強膜22aが反射可能な可視光の入射角度範囲は、置換膜12a, 13aのそれよりも拡大されており、具体的には、その入射角度範囲の下限は、基板11の臨界角度 θ_c ($\simeq 40^\circ$)よりも小さく、例えば 35° などに設定される(なお、入射角度範囲 θ_g の上限は、置換膜12a, 13a、空気中の基板11の単体と同じく 90° 近傍である。)

[0073] この反射増強膜22aが設けられた基板11は、基板11が単体で空気中に存在していたときよりも、内面反射可能な表示光束L1の入射角度範囲 θ_g は、拡大される。入射角度範囲 θ_g が拡大されれば、観察眼が観察できる画像の画角が拡大される。

なお、反射増強膜22aが反射可能な可視光の入射角度範囲の下限を小さくし過ぎると次のような問題が生じうる。すなわち、外界光束L2の一部が反射増強膜22aを透過できなくなって外界の視認性が悪くなったり、ハーフミラー11bで偏向された表示光束L1の一部が基板11から外部(射出瞳)へ射出できなくなってロスとなる可能性がある。このため、反射増強膜22aが反射可能な可視光の入射角度範囲の下限は、表示光束L1の画角や内面反射するときの入射角度を考慮した上で、 $0^\circ \sim \theta_c$ の間の適当な値に設定される必要がある。

[0074] また、このような特性を持つ反射増強膜22aは、誘電体光学多層膜やHOE(ホログラフィック・オプティカル・エレメント)などによって構成される。このうち、誘電体光学多

層膜を用いた反射増強膜22aの構成の詳細は、後述する実施例にて説明する。HOEの製造方法は、第1実施形態で説明した製造方法(図4参照)と基本的に同じである。

但し、この製造方法では、図23に示すように、補助プリズム34は、感光材料35に入射するレーザ光の一方にのみ挿入されればよい(なぜなら、本実施形態の反射増強膜22aが接する2つの媒質の一方は空気だからである。)。

[0075] また、図23の光学系における角度 θ (ホログラム感光材料35に対するレーザ光の入射角度)の値は、反射増強膜22aが反射性を示すべき光の入射角度範囲に設定される。

ここでも、反射増強膜22aが反射性を示すべき光の入射角度や波長は1種類ではないので、必要に応じて、角度 θ やレーザ光の波長を変更しながら感光材料35を多重露光することになる。

[0076] また、ホログラム感光材料35として樹脂ベースの材料(樹脂シート)を用いると、大面積のHOEを低コストで製造することができる。また、HOEが樹脂シートであると、HOEをアイグラスディスプレイの基板11に密着させる際に貼付するだけで済むため、低コスト・大量生産の面で実用価値が高い。

また、本実施形態の反射増強膜22aには、金属膜や半導体膜などからなる光学多層膜が用いられてもよい。但し、そのような光学多層膜よりも誘電体光学多層膜の方が、光の吸収が少ないため、好適である。

[0077] 以上の各光学機能部(誘電体光学多層膜、HOE、その他の光学多層膜)は、アイグラスディスプレイの仕様やコストなどに応じて反射増強膜22aとして選択使用されることが望ましい。

[第6実施例]

以下、第6実施例を説明する。本実施例は、第2実施形態のアイグラスディスプレイの反射増強膜22aとして好適な誘電体光学多層膜の実施例である。

[0078] 本実施例では、アイグラスディスプレイの液晶表示素子21の光源が発光スペクトルを有しており(R色, G色, B色それぞれにピークを有しており)、かつ、液晶表示素子21の光源が偏光していることを前提とした。また、本実施例では、計算機による膜構

成の自動合成の手法を適用した。

本実施例の誘電体光学多層膜の膜構成は、図24のとおりである。

- [0079] 図24に示すとおり、全層数は51、基板11の屈折率は1.60、高屈折率層の屈折率は2.3、低屈折率層の屈折率は1.46である。

基板にはSCHOTT社製のN-SK14を用い、高屈折率層は、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 を用い、成膜条件を調整して形成した。また、低屈折率層は、 SiO_2 を用い、成膜条件を調整して形成した。

- [0080] 図25は、本実施例の誘電体光学多層膜の小入射角度の光(入射角度 $0^\circ \sim 20^\circ$)に対する反射率の波長特性である。図25において、 $R_a(0^\circ)$ 、 $R_a(5^\circ)$ 、 $R_a(10^\circ)$ 、 $R_a(15^\circ)$ 、 $R_a(20^\circ)$ は、それぞれ入射角度 0° 、 5° 、 10° 、 15° 、 20° の入射光に対する反射率(何れも入射光のs偏光成分に対する反射率とp偏光成分に対する反射率との平均値)である。

- [0081] 図25に明らかなとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、入射角度 $0^\circ \sim 20^\circ$ の入射光であれば、可視光域の略全域に亘り80%以上の透過性を示す。

図26は、本実施例の誘電体光学多層膜の大入射角度の光(入射角度 35° 、 40°)に対する反射率の波長特性である。図26において、 $R_s(35^\circ)$ 、 $R_s(40^\circ)$ は、それぞれ入射角度 35° 、 40° の光に対する反射率(何れも入射光のs偏光成分に対する反射率)である。

- [0082] 図26に明らかなとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、入射角度 40° のs偏光した光であれば、可視光域の全域に亘り略100%の反射性を示す。また、入射角度 35° のs偏光した光であれば、可視光域のR色、G色、B色の各成分(460、520、633nm)に対しそれぞれ80%以上の反射性を示す。

図27は、本実施例の誘電体光学多層膜の各波長の光に対する反射率の角度特性である。図27において、 $R_s(633\text{nm})$ 、 $R_s(520\text{nm})$ 、 $R_s(460\text{nm})$ は、それぞれ波長633nm、520nm、460nmの光(R色、G色、B色)に対する反射率(何れも入射光のs偏光成分に対する反射率)である。

- [0083] 図27に明かなとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、可視光域のR色、G色、B色の各成分の光であれば、 35° 以上の入射角度で80%以上の反射性を示す。

以上、本実施例の誘電体光学多層膜が反射性を示す可視光(ここではs偏光したR色、G色、B色の光)の入射角度範囲の下限は、 35° である。これは、本実施例で想定した基板11(屈折率1.60)の臨界角度 $\theta_c = 38.7^\circ$ よりも小さい。

[0084] したがって、本実施例の誘電体光学多層膜を反射増強膜22aとして用いたアイグラスディスプレイでは、基板11を内面反射する表示光束L1の入射角度範囲 θ_g の下限は、臨界角度 $\theta_c = 38.7^\circ$ から 35° へと 3.7° も引き下げられる。

その結果、アイグラスディスプレイは、入射角度範囲 $\theta_g = 35^\circ \sim 65^\circ$ の表示光束L1、つまり画角 30° の表示光束L1を伝送することができる。

[0085] また、図25に示したとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、小入射角度の光($0^\circ \sim 20^\circ$)の可視光に対する透過率が高いので、アイグラスディスプレイの外界の視認性は確実に保たれ、また、基板11から射出瞳へ入射する表示光束L1のロスも無い。

[第3実施形態]

以下、図28を参照して本発明の第3実施形態を説明する。本実施形態は、アイグラスディスプレイの実施形態である。ここでは、第1実施形態との相違点を主に説明する。

[0086] 図28は、本アイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してできる概略断面図である。図28に示すように、本アイグラスディスプレイは、第1実施形態のアイグラスディスプレイ(図2参照)において、置換膜12a、13aの代わりに、それぞれ反射増強膜22aを備えたものである。

この反射増強膜22aは、第2実施形態のそれと同様の機能を持つ。すなわち、反射増強膜22aが反射性を示す可視光の入射角度範囲の下限は、基板11の臨界角度 θ_c よりも引き下げられている。

[0087] したがって、本アイグラスディスプレイは、第1実施形態と同様に視度補正の効果が得られると共に、第2実施形態と同様に画角拡大の効果が得られる。

なお、この反射増強膜22aをHOEによって構成する場合の製造方法は、第1実施形態で説明した製造方法(図4参照)と同じである。

但し、図4の光学系における角度 θ (ホログラム感光材料35に対するレーザ光の入

射角度)の値は、反射増強膜22aが反射性を示すべき光の入射角度範囲に設定される。

- [0088] ここでも、反射増強膜22aが反射性を示すべき光の入射角度や波長は1種類ではないので、必要に応じて、角度 θ やレーザ光の波長を変更しながら感光材料35を多重露光することになる。

[第7実施例]

以下、第7実施例を説明する。本実施例は、第3実施形態のアイグラスディスプレイの反射増強膜22aとして好適な誘電体光学多層膜の実施例である。

- [0089] 本実施例では、アイグラスディスプレイの液晶表示素子21の光源が偏光していることを前提とした。また、本実施例では、計算機による膜構成の自動合成の手法を適用した。

本実施例の誘電体光学多層膜の膜構成は、図29のとおりである。

図29に示すとおり、全層数は44、基板11の屈折率は1.56、高屈折率層の屈折率は2.3、低屈折率層の屈折率は1.46である。

- [0090] 基板、低屈折率層は、第4実施例と同じであり、高屈折率層は、 TiO_2 、 Ta_2O_5 、 Nb_2O_5 を用い、成膜条件を調整して形成した。

図30は、本実施例の誘電体光学多層膜の小入射角度の光(入射角度 $0^\circ \sim 20^\circ$)に対する反射率の波長特性である。図30において、 $R_a(0^\circ)$ 、 $R_a(10^\circ)$ 、 $R_a(20^\circ)$ は、それぞれ入射角度 0° 、 10° 、 20° の入射光に対する反射率(何れも入射光のs偏光成分に対する反射率とp偏光成分に対する反射率との平均値)である。

- [0091] 図30に明らかなとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、入射角度 $0^\circ \sim 20^\circ$ の入射光であれば、可視光域の略全域に亘り70%以上の透過性を示す。

図31は、本実施例の誘電体光学多層膜の大入射角度の光(入射角度 $35^\circ \sim 50^\circ$)に対する反射率の波長特性である。図31において、 $R_s(35^\circ)$ 、 $R_s(40^\circ)$ 、 $R_s(50^\circ)$ は、それぞれ入射角度 35° 、 40° 、 50° の入射光に対する反射率(何れも入射光のs偏光成分に対する反射率)である。

- [0092] 図31に明らかなとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、入射角度 $35^\circ \sim 50^\circ$ のs偏光した光であれば、可視光域の略全域に亘り65%以上の反射性を示す。

図32は、本実施例の誘電体光学多層膜の各波長の光に対する反射率の角度特性である。図32において、 $R_s(633\text{nm})$, $R_s(520\text{nm})$, $R_s(460\text{nm})$ は、それぞれ波長633nm, 520nm, 460nmの光(R色, G色, B色)に対する反射率(何れも入射光のs偏光成分に対する反射率)である。

[0093] 図32に明らかたとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、可視光域のR色, G色, B色の各成分の光であれば、 35° 以上の入射角度で65%以上の反射性を示す。

つまり、本実施例の誘電体多層膜が反射性を示す可視光(ここではs偏光した波長633nm, 520nm, 460nmの光)の入射角度範囲の下限は、 35° である。これは、本実施例で想定した基板11(屈折率1.56)の臨界角度 $\theta_c = 39.9^\circ$ よりも小さい。

[0094] したがって、本実施例の誘電体光学多層膜を反射増強膜22aとして用いたアイグラスディスプレイでは、基板11を内面反射する表示光束11の入射角度範囲 θ_g の下限は、臨界角度 $\theta_c = 39.9^\circ$ から 35° へと 4.9° も引き下げられる。

また、図30に示したとおり、本実施例の誘電体光学多層膜は、小入射角度の光($0^\circ \sim 20^\circ$)の可視光に対する透過率が高いので、アイグラスディスプレイの外界の視認性は保たれ、また、基板11から射出瞳へ入射する表示光束L1のロスも無い。

[0095] [第4実施形態]

以下、図33を参照して本発明の第4実施形態を説明する。本実施形態は、上述した反射増強膜を、射出瞳の大きいタイプのアイグラスディスプレイに適用したものである。

図33は、本実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してできる概略断面図である。図33に示すように、本アイグラスディスプレイは、表示光束L1を内面反射する基板11中に、互いに平行な複数のハーフミラー11bを配置している。これらの複数のハーフミラー11bのそれぞれは、基板11を内面反射する表示光束L1のうち所定角度範囲で入射したものを反射し、基板11の外部に射出瞳を形成する。この射出瞳のサイズは、ハーフミラー11bが複数化された分だけ大きい。このように射出瞳が大きいと、観察眼の瞳の位置の自由度が高まる点で有利である。

[0096] このアイグラスディスプレイにおいて、反射増強膜22aは、基板11の観察者側の面

、外界側の面のそれぞれに密着して形成される。この反射増強膜22aは、上述した実施形態におけるそれと同様に、基板11を内面反射可能な表示光束L1の入射角度範囲を拡大する。よって、このアイグラスディスプレイの画角も拡大される。

〔第5実施形態〕

以下、図34を参照して本発明の第5実施形態を説明する。本実施形態は、上述した反射増強膜を、射出瞳の大きい別のタイプのアイグラスディスプレイに適用したものである。

[0097] 図34は、本実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分を観察者の水平面で切断してできる概略断面図である。図34に示すように、本アイグラスディスプレイは、大きな射出瞳を形成するための複数のハーフミラーを、基板11の外部に配置している。それら複数のハーフミラーは、外界側又は観察者側(図34では外界側)に配置された基板12の内部に設けられる。また、複数のハーフミラーは、互いに平行な複数のハーフミラー11b_Lと、それと姿勢の異なる互いに平行な複数のハーフミラー11b_Rの2種類からなる。

[0098] また、基板11の内部には、基板11に入射した表示光束L1を内面反射可能な角度に偏向するための導入ミラー11aと、基板11を内面反射した表示光束L1を折り返す折り返しミラー11cとが設けられる。この折り返しミラー11cの作用により、本アイグラスディスプレイの表示光束L1は、基板11を内面反射しながら往復する。

そして、複数のハーフミラーのうち一方のハーフミラー11b_Lの姿勢は、往路進行中の表示光束L1を観察者側に偏向するように設定され、他方のハーフミラー11b_Rの姿勢は、復路進行中の表示光束L1を観察者側に偏向するように設定される。したがって、複数のハーフミラー11b_L、11b_Rの全体は、屋根型のハーフミラーを密に並べた構成となる。

[0099] このアイグラスディスプレイにおいて、反射増強膜は、基板12と基板11との間と、基板11の観察者側の面との各々に密着して設けられる。

このうち、基板11の観察者側の反射増強膜22aは、上述した実施形態のそれと同じであり、基板11を内面反射する表示光束L1に対し反射性を示す。

一方、基板11の外界側の反射増強膜22a'は、上述した実施形態のそれとは若干

異なり、基板11を内面反射する表示光束L1に対し半透過性を示す。

[0100] すなわち、反射増強膜22a'は、基板11を透過すべき表示光束L1及び外界光束L2(ここでは、入射角度 0° 近傍で入射する可視光)に対し透過性(全透過性)を示すと共に、基板11内を内面反射すべき表示光束L1(ここでは、入射角度 60° 近傍で入射する可視光)に対し半透過性を示す。そして、その半透過性を示す入射角度範囲の下限は、基板11の臨界角度 θ_c よりも小さい値に設定される。

[0101] この反射増強膜22a'の半透過性により、基板11内を往復する表示光束L1は、一定の割合で基板12の側へ伝搬することになる。その伝搬した表示光束L1は、基板12内の複数のハーフミラー $11b_L$, $11b_R$ によって観察者側へと偏向される。そして、複数のハーフミラー $11b_L$, $11b_R$ により偏向した表示光束L1は、反射増強膜22a'、基板11及び反射増強膜22aを透過して、大きな射出瞳を形成する。

[0102] さらに、以上の反射増強膜22a, 22a'は、上述した実施形態のそれと同様に、内面反射可能な表示光束L1の入射角度範囲を拡大する。したがって、このアイグラスディスプレイの画角も、拡大される。

なお、本アイグラスディスプレイにおいては、折り返しミラー11cが設けられると共に、ハーフミラーが2種類設けられたが、折り返しミラー11cと一方のハーフミラー $11b_R$ とを省略することもできる。但し、それらを備えた方が、射出瞳内の光量が均一化されるので好ましい。

[0103] [第6実施形態]

以下、図35を参照して本発明の第6実施形態を説明する。本実施形態は、上述した反射増強膜を、射出瞳のさらに大きいタイプのアイグラスディスプレイに適用したものである。

図35は、本実施形態のアイグラスディスプレイの光学系部分の分解図である。図35に示すように、本アイグラスディスプレイは、第5実施形態のアイグラスディスプレイと同じ原理が適用され、かつ、観察者から見て縦横の2方向に亘って射出瞳を拡大したものである。また、このアイグラスディスプレイには、観察眼の視度補正の機能も付加されている。

[0104] 図35において、画像導入ユニット2から射出した表示光束L1は、最初に基板11'

に入射する。基板11'は、基板12'と共にその表示光束L1を導光し、観察者から見た縦方向に亘って表示光束L1の径を拡大する。その表示光束L1は、基板11に入射する。基板11は、基板12と共にその表示光束L1を導光し、観察眼から見た横方向に亘って表示光束L1の径を拡大する。その表示光束L1は、観察眼の近傍に射出瞳を形成する。

- [0105] また、基板11の観察者側には基板13が設けられており、基板13の観察眼側の面と、基板12の外界側の面との光学的パワーにより、観察眼の外界に対する視度補正が図られる。

基板11', 12'からなる第1光学系と、基板11, 12からなる第2光学系とのそれぞれには、第5実施形態の基板11, 12と同じ原理が適用されている。また、第1光学系と第2光学系との間で、各光学面の配置方向は90°回転している。

- [0106] すなわち、基板11'の内部に符号11a'で示すのは、基板11'に入射した表示光束L1を内面反射可能な角度に偏向する導入ミラーであり、符号11c'で示すのは、基板11'を内面反射した表示光束L1を折り返す折り返しミラーである。基板12'において符号12a'で示すのは、複数の屋根型のハーフミラーを密に並べたものである(詳細は、図34参照)。

- [0107] また、基板11の内部に符号11aで示すのは、基板11に入射した表示光束L1を内面反射可能な角度に偏向する導入ミラーであり、符号11cで示すのは、基板11を内面反射した表示光束L1を折り返す折り返しミラーである。基板12において符号12aで示すのは、複数の屋根型のハーフミラーを密に並べたものである(詳細は、図34参照)。

- [0108] 以上のアイグラスディスプレイにおいて、反射増強膜が設けられる箇所は、基板11'と基板12'との間、基板11'と基板13'との間、基板11と基板12との間、基板11と基板13との間の各々である。

但し、基板11'と基板12'との間に設けられる反射増強膜の特性は、基板11'を内面反射する表示光束L1を一定の割合で基板12'に伝搬させるものである必要がある。その特性は、第5実施形態の反射増強膜22a'の特性と同じである。

- [0109] また、基板11と基板12との間に設けられる反射増強膜の特性も、基板11を内面反

射する表示光束L1を一定の割合で基板12に伝搬させるものである必要がある。その特性は、第5実施形態の反射増強膜22a'の特性と同じである。

以上の反射増強膜は、基板11'を内面反射可能な表示光束L1の入射角度範囲と、基板11を内面反射可能な表示光束L1の入射角度範囲とをそれぞれ拡大する。しかも、基板11'における拡大方向と基板11における拡大方向とは、90° 回転している。

[0110] したがって、本アイグラスディスプレイでは、縦方向の画角と横方向の画角との双方が拡大される。

[第7実施形態]

以下、図36を参照して本発明の第7実施形態を説明する。本実施形態は、上述した反射増強膜を、内面反射に供される面の多いタイプのアイグラスディスプレイに適用したものである。

[0111] 図36(a)は、本アイグラスディスプレイの光学系部分の概略斜視図である。図36(b)は、その光学系部分を観察者の水平面(図36(a)のZX平面)で切断してできる概略断面図である。図36(c)は、その光学系部分を観察者の前面(図36(a)のYX平面)で切断してできる概略断面図である。図36(d)は、本アイグラスディスプレイの画角を説明する図である。

[0112] 図36(a), (b), (c)に示すように、本アイグラスディスプレイは、導入ミラー11a及び複数のハーフミラー11bの配置箇所や姿勢を調整し、基板11のうち内面反射に供される面を、観察者側の面、外界側の面、及び両者に挟まれた2面の合計4面としている。なお、この4面は何れも平面である。

図36(d)には、本アイグラスディスプレイの観察眼から見た画像の2方向の画角 θb_{-air} , θa_{-air} を示した。

[0113] このうち、画角 θb_{-air} は、図36(b)に示したように、基板11の観察者側の面と外界側の面との2面が内面反射可能な表示光束L1の角度範囲 θb_{-g} によって決まる。

また、画角 θa_{-air} は、図36(c)に示したように、基板11の他の2面が内面反射可能な表示光束L1の角度範囲 θa_{-g} によって決まる。

これを式にすると、以下のとおりである。

$$[0114] \quad \theta_{a_{-air}} = \sin^{-1} [n \sin \theta_{a_{-g}}]$$

$$\theta_{b_{-air}} = \sin^{-1} [n \sin \theta_{b_{-g}}]$$

つまり、画角 $\theta_{b_{-air}}$ 、 $\theta_{a_{-air}}$ は、基板11を内面反射可能な表示光束L1の角度範囲 $\theta_{a_{-g}}$ 、 $\theta_{b_{-g}}$ のそれぞれが大きいほど、大きくなる。

そして、本アイグラスディスプレイにおいて、反射増強膜が設けられる箇所は、基板11のうち、内面反射に供される4面である。図36(b)、(c)において符号22aで示すのが、反射増強膜である。この反射増強膜22aの特性は、上述した実施形態における反射増強膜22aのそれと同様であり、反射増強膜22aが反射性を示す可視光の入射角度範囲の下限は、基板11の臨界角度 θ_c よりも引き下げられている。

[0115] したがって、基板11を内面反射可能な表示光束L1の角度範囲 $\theta_{b_{-g}}$ 、 $\theta_{a_{-g}}$ (図36(b)、(c))は、それぞれ拡大される。その結果、本アイグラスディスプレイの画角 $\theta_{b_{-air}}$ 、 $\theta_{a_{-air}}$ (図36(d))も、それぞれ拡大される。

なお、図36(c)に示した2つの反射増強膜22aは、観察眼に正対しないので、外界光束を透過する必要が無い。よって、これら2つの反射増強膜22aには、上述した誘電体光学多層膜やHOEではなく、銀やアルミニウムなどの金属膜を適用するとよい。金属膜を適用した場合、画角 $\theta_{a_{-air}}$ を、画角 $\theta_{b_{-air}}$ よりもさらに拡大することができる。

[0116] よって、仮に、液晶表示素子21の縦横比が1:1でないときには、そのうち長い方の画角が画角 $\theta_{a_{-air}}$ に対応するように液晶表示素子21を配置するとよい。

なお、本アイグラスディスプレイの基板11は、断面が長方形の柱状の基体であるが、断面が三角形の柱状の基体や、断面が平行四辺形の柱状の基体や、断面が五角形の柱状の基体など、断面の異なる他の柱状の基体を用いることもできる。

[0117] [第8実施形態]

以下、図37、図38、図39、図40、図41、図42に基づき本発明の第8実施形態を説明する。本実施形態は、アイグラスディスプレイの実施形態である。ここでは、第1実施形態との相違点を主に説明する。

図37は、本アイグラスディスプレイの外観図である。図37中の座標系は、アイグラスディスプレイを頭部に装着した観察者から見て下向きをX方向、右向きをY方向とし

た右手系のXYZ直交座標系である。以下では、このXYZ座標系による方向表現、又はこの観察者から見た左右上下の方向表現を必要に応じて使用する。

[0118] 図37に示すように、本アイグラスディスプレイの画像表示光学系1には、外界から観察眼(観察者の右眼)に向かう外界光束を減光する減光機能が付与されている。

また、外界から観察眼に向かう外界光束の光量と、外界から非観察眼(観察者の左眼)に向かう外界光束の光量とのバランスをとるため、また、アイグラスディスプレイの左右の外観のバランスをとるために、非観察眼側のフロントには、画像表示光学系1と同様の減光機能が付与され、かつ画像表示光学系1と同じ外観の基板5が装着されている。なお、外界光束のバランス、外観のバランスをとる必要が無ければ、この限りではない。

[0119] 図38は、本アイグラスディスプレイの光学系の詳細図であり、本アイグラスディスプレイの光学系部分をYZ平面と平行な面にて切断してできる概略断面図である。

図38において符号20aで示すのは、LED光源及びミラーなどからなる照明光学系であり、第1実施形態では図示を省略したものである。

図38に示すように、画像表示光学系1は、少なくとも可視光に対し透過性を有した1枚の基板11からなる。基板11内の所定の位置には、第1実施形態と同様の導入ミラー11aとハーフミラー11bとが所定の姿勢で設けられている。なお、このハーフミラー11bの代わりに、偏光ビームスプリッタ、ホログラフィック光学膜などの、可視光からなる外界光束L2に対し透明な偏向光学膜を用いることもできることは、第1実施形態と同様である。

[0120] 基板11の外界側の面1bには、外界光束L2を所定の減光率で減光する減光膜20が形成されている。この減光膜20の機能により、外界像の明るさは、所定の割合で低減される。

次に、減光膜20の具体例を説明する。

一般の減光膜の材料には、アルミニウム(Al)、クロム(Cr)、タングステン(W)、ロジウム(Ro)などの単体金属や、インコネルなどの合金が用いられる。

[0121] しかし、これらの材料には、光を吸収する性質(吸収性)があるので、仮に基板11の表面にむやみに減光膜20を設けると、基板11中を内面反射する表示光束L1の一

定量が減光膜20にて吸収される。つまり、表示光束L1の光路の光量ロスが著しくなる。

そこで、本実施形態では、この光量ロスを防ぐため、減光膜20に、銀(Ag)の膜と誘電体膜とを積層した2層の膜が用いられる。この減光膜20の基本構成は、次のとおりである。

[0122] 基板/Ag/0.25L/空気

但し、

Ag:銀(Ag層),

L:低屈折率の誘電体(L層),

L層の左側の数値:L層の光学膜厚(使用波長の中心波長における)

この基本構成において、L層は、空気中で変質し易いAg層の表面を保護すると共に、大きい入射角度の入射光に対する反射率を向上させる役割を果たしている。

[0123] また、この減光膜20の詳細(仕様)は、次のとおりである。

設定透過率:30%(0度入射時),

中心波長 λ_c :500nm,

基板の屈折率:1.56,

Ag層の膜厚:30nm,

L層の屈折率:1.46,

因みに、Ag層の単体の光学定数は、図39、図40に示すとおりである。図39は、Ag層の単体の屈折率の波長特性、図40は、Ag層の単体の消衰係数の波長特性である。

[0124] そして、この減光膜20の基板11側の反射率、及び透過率の波長特性(入射角度0°、45°)は、図41に示すとおりである。また、この減光膜20の基板11側の反射率、及び透過率の角度特性(波長550nm)は、図42に示すとおりである。

なお、図41、図42において、「R」は反射率を示し、「T」は透過率を示す。また、反射率又は透過率の添え字「p」は、p偏光成分に対する特性を示し、反射率又は透過率の添え字「s」は、s偏光成分に対する特性を示す(他の各図も同様。)

[0125] 図41、図42に明らかなとおり、この減光膜20は、入射角度が40°以上のs偏光成

分の可視光線に対し、略100%の反射率を示す。また、この減光膜20は、入射角度が0°の可視光線に対し、約30%の透過率を示す。

したがって、減光膜20は、表示光束L1の光路の光量ロスを小さくし、可視光域の外界光束L2のみを約70%の減光率で減光する。

[0126] このとき、観察眼によって観察される画像(表示画像)の明るさは保たれ、外界像の明るさが約30%に低減される。したがって、外界が明るいときの表示画像の視認性は、確実に高まる。このように、減光膜20の入射角度に対する反射-透過率特性から、好ましい膜種を選択することで、最小構成で所望の効果を得ることができる。

なお、本実施形態の減光膜20の基本構成は、Ag層と誘電体層との2層構成であるが、Ag層に代えて他の金属層が用いられたり、2つの誘電体層で金属層を挟んだ3層構成とされてもよい。但し、Ag層と誘電体層との2層構成の方が、良好な特性(表示光束L1の光量ロスを増加させることなく外界光束L2のみを減光する特性)が簡単に得られる。

[0127] [第8実施形態の第1変形例]

以下、図43、図44に基づき第8実施形態の第1変形例を説明する。

本変形例は、減光膜20の変形例である。

本変形例の減光膜20は、誘電体のみからなる。この減光膜20は、各層界面での反射光の位相が所望の関係を有するように各層の膜厚を設定したものであり、その反射光の位相の関係により様々な特性を設定できる。ゆえに、第8実施形態の減光膜20よりも、設定透過率の自由度が高い。この減光膜20の基本構成は、3種類あり、次のとおりである。

[0128] 基板/(0.25H0.25L)^p0.25H/空気、

基板/(0.125H0.25L0.125H)^p/空気、

基板/(0.125L0.25H0.125L)^p/空気

但し、

H: 高屈折率の誘電体(H層)、

L: 低屈折率の誘電体(L層)、

各層の左側の数値: 各層の光学膜厚(使用波長の中心波長における)、

p:括弧で括られた層群の積層回数

これらの基本構成によれば、特定の光に対する反射率を向上させながら、かつ特定の光に対する透過率を抑えることが可能である。

[0129] 但し、外界像の明るさを確実に低減するためには、この減光膜20の設計で、中心波長の異なる複数種類の周期層群を並べて、透過率の抑えられる光の波長域を、可視光域全体にまで拡大する必要がある。

さらに、色による透過率のばらつきを抑えるためには、全層の膜厚を計算機で最適化する必要がある。

[0130] 最適化後の減光膜20の詳細(仕様)は、次のとおりである。

設定透過率:5%,

中心波長 λ_c :480nm,

基板の屈折率:1.583,

H層の屈折率:2.3,

L層の屈折率:1.46,

全層数:22

この減光膜20の構成は、図43に示すとおりである。

[0131] また、基板には、SCHOTT社製のN-BAF3を用い、H層及びL層には、第6実施例と同じものを用いた。

この減光膜20の透過率の波長特性は、図44に示すとおりである。

図44に明らかなとおり、この減光膜20は、可視光線に対し約5%の透過率を示す。したがって、本変形例によると、外界像の明るさは、約5%に低減される。

[0132] [第8実施形態の第2変形例]

以下、図45、図46に基づき第8実施形態の第2変形例を説明する。

本変形例は、減光膜20の変形例である。

本変形例の減光膜20の設定透過率は、15%である。この減光膜20も、誘電体のみからなり、その基本構成は第1変形例のそれと同じである。

[0133] この減光膜20の詳細(仕様)は、次のとおりである。

設定透過率:15%,

中心波長 λ_c : 480nm,

基板の屈折率 1.583,

H層の屈折率 2.3,

L層の屈折率 1.46,

全層数: 18

この減光膜20の構成は、図45に示すとおりである。また、各材料は、本実施形態の第1変形例と同じである。

[0134] この減光膜20の透過率の波長特性は、図46に示すとおりである。

図46に明らかなおと、この減光膜20は、可視光線に対し約15%の透過率を示す。したがって、本変形例によると、外界像の明るさは、約15%に低減される。

[変形例の補足]

第1変形例及び第2変形例の減光膜20において、表示画像の明るさが確実に保たれる条件、つまり表示光束L1が基板11中を約100%の反射率で内面反射する条件を、基板11の内面反射の条件から検討する。

[0135] 先ず、図47(a)に示すとおり、基板11に減光膜20が設けられていない状態を考える。

基板11の存在する媒質である空気の屈折率を n_0 、基板11の材料であるガラスの屈折率を n_g 、基板11及び媒質それぞれの光の入射角度を θ_0 、 θ_g とおくと、スネルの法則から以下の式が成り立つ。

$$[0136] \quad n_0 \sin \theta_0 = n_g \sin \theta_g$$

したがって、この状態の基板11の臨界角度 θ_c (内面反射可能な光の入射角度の最小値)は、以下の式で表される。

$$\theta_c = \arcsin(n_0 / n_g)$$

次に、図47(b)に示すとおり、基板11に誘電体の多層膜からなる減光膜20が設けられた状態を考える。仮に、多層膜の各層が無吸収(吸収性ゼロ)であれば、多層膜の各層の屈折率を $n_1, n_2, \dots, n_k$ 、各層それぞれの光の入射角度を $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_k$ とおくと、スネルの法則から以下の式が成り立つ。

$$[0137] \quad n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_1$$

$$\begin{aligned}
 &= n_2 \sin \theta_2, \\
 &\quad \dots, \\
 &= n_k \sin \theta_k \\
 &= n_g \sin \theta_g
 \end{aligned}$$

したがって、多層膜の各層が無吸収であれば、基板11の臨界角度 θ_c は、減光膜20が設けられていない状態と同じ式で表される。

- [0138] よって、第1変形例、第2変形例の減光膜20には、無吸収の誘電体が用いられる。
 因みに、無吸収の誘電体が用いられた第1変形例、第2変形例の減光膜20の、基板11側の反射率(基板11の内面反射の反射率)の角度特性は、図48に示すとおりである。

図48に明らかなおり、この減光膜20は、入射角度が45° 以上の光に対し約100%の反射率を示す。

- [0139] [第8実施形態の第3変形例]

以下、図49、図50、図51、図52、図53に基づき第8実施形態の第3変形例を説明する。

本変形例は、減光膜20の変形例である。

本変形例の減光膜20には、紫外線及び赤外線カットの機能が付与される。

- [0140] この減光膜20も、誘電体のみからなり、その基本構成は第1変形例又は第2変形例のそれと同じである。

本変形例では、紫外線及び赤外線カットの機能を付与するため、H層に、吸収性を有した誘電体が積極的に用いられる。吸収性を有した誘電体として、二酸化チタン(TiO_2)が用いられる。

- [0141] 因みに、二酸化チタン(TiO_2)の光学定数は、図49、図50に示すとおりである。図49は、二酸化チタン(TiO_2)の屈折率の波長特性、図50は、二酸化チタン(TiO_2)消衰係数の波長特性である。

この減光膜20の詳細(仕様)は、次のとおりである。

設定透過率:30%,

中心波長 λ_c :800nm,

基板の屈折率:1.583,

L層の屈折率1.46,

全層数:48

この減光膜20の構成は、図51に示すとおりである。基板とL層の材料には、本実施形態の第1変形例と同じものを用いた。

- [0142] この減光膜20の透過率の波長特性は、図52に示すとおりである。また、本変形例の減光膜20の基板11側の反射率(基板11の内面反射の反射率)の波長特性は、図53に示すとおりである。

図53に明らかなおと、この反射率の波長特性のカーブには、凹み(反射率のバレー)が生じている。

- [0143] 一方、アイグラスディスプレイの液晶表示素子21の発光波長特性のカーブには、一般に、R色、G色、B色の各波長にピークが生じている。

そこで、反射率の波長特性のカーブのバレーが、発光波長特性のカーブのピークから外れるよう、本変形例の減光膜20の構成は、微調整される。

その結果、表示光束L1に含まれる各波長成分は、基板11中を確実に高い反射率で内面反射する。よって、表示画像の明るさは確実に保たれる。

- [0144] ところで、図53を参照すると、s偏光成分のカーブと、p偏光成分のカーブとでは、バレーの生じ方が異なる。特に、p偏光成分のカーブの方が、生じるバレーの数が少ない。

そこで、この減光膜20がアイグラスディスプレイに適用される場合、表示光束L1をp偏光成分のみに制限すれば、反射率の波長特性のカーブのバレーを発光波長特性のカーブのピークから確実に外すことができる。

- [0145] 因みに、液晶表示素子21の原理上、表示光束L1は偏光しているので、その偏光方向が減光膜20に対してp偏光方向となるように液晶表示素子21と基板11との位置関係を最適化するか、液晶表示素子21の後段に位相板を挿入すれば、表示光束L1をp偏光成分のみに制限することができる。

[第9実施形態]

以下、図54、図55、図56、図57に基づき本発明の第9実施形態を説明する。

[0146] 本実施形態は、アイグラスディスプレイの実施形態である。ここでは、第8実施形態との相違点のみ説明する。

図54は、本アイグラスディスプレイの外観図である。図54中の座標系は、観察者から見て下向きをX方向、右向きをY方向とした右手系のXYZ直交座標系である。以下では、このXYZ座標系による方向表現、又は観察者から見た左右上下の方向表現を必要に応じて使用する。

[0147] 図54に示すように、本アイグラスディスプレイの第8実施形態との相違点は、画像表示光学系1においてハーフミラー11bの近傍の中央領域の減光率が、画像表示光学系1においてその中央領域から外れた周辺領域の減光率よりも高く設定された点にある。

また、外界から観察眼(観察者の右眼)に向かう外界光束の光量と、外界から非観察眼(観察者の左眼)に向かう外界光束の光量とのバランスをとるため、また、アイグラスディスプレイの左右の外観のバランスをとるために、非観察眼側のフロントには、画像表示光学系1と同様の減光機能が付与され、かつ画像表示光学系1と同じ外観の基板5が装着されている。なお、外界光束のバランス、外界のバランスをとる必要が無ければ、この限りではない。

[0148] 図55は、本アイグラスディスプレイの光学系の詳細図であり、本アイグラスディスプレイの光学系部分をYZ平面と平行な面にて切断してできる概略断面図である。

図55に示すように、本アイグラスディスプレイにおける表示光束L1、外界光束L2の振る舞いは、第8実施形態のそれ(図38参照)と同じである。

画像表示光学系1を構成する基板11の外界側の面1bには、第8実施形態又はその変形例と同様の減光膜20が設けられている。

[0149] 但し、減光膜20の表面の中央領域には、金属又は誘電体の多層膜からなる減光膜40が重畳して設けられている。

これにより、画像表示光学系1の中央領域の減光率は、画像表示光学系1の周辺領域の減光率よりも高くなる。

なお、観察者から見た中央領域の位置は、観察者から見たハーフミラー11bの位置と略同じである。また、観察者から見た中央領域のサイズは、観察者から見たハー

フミラー11bのサイズよりも若干大きい。

- [0150] このような本アイグラスディスプレイでは、表示画像の背景となる部分の外界像の明るさが特に強く抑えられるので、表示画像の視認性は、さらに高まる。

次に、減光膜20、40の具体例を説明する。

減光膜20は、第8実施形態の変形例と同じ誘電体の多層膜で構成される。減光膜40も、第8実施形態の変形例と同じ誘電体の多層膜で構成される。また、基板にも、第8実施形態の変形例と同じものが用いられる。

- [0151] この減光膜20、40の詳細(仕様)は、次のとおりである。

減光膜20の設定透過率:50%,

減光膜40の設定透過率:50%,

中心波長 λ_c :800nm,

基板の屈折率1.583,

H層の屈折率2.3,

L層の屈折率1.46,

減光膜20の全層数:11,

減光膜40の全層数:16

この減光膜20、40の構成は、図56に示すとおりである。

- [0152] 減光膜20、40の中央領域の透過率の波長特性、減光膜20の周辺領域の透過率の波長特性は、図57に示すとおりである。

図57に明らかなとおり、中央領域の可視光に対する透過率は約25%、周辺領域の可視光に対する透過率は約50%である。

したがって、本アイグラスディスプレイによると、外界像の全体の明るさは、約50%に低減され、表示画像の背景となる部分の外界像の明るさは、約25%に低減される。

- [0153] なお、本実施形態では、減光膜20と減光膜40とが重畳しているが、両者は重畳していなくてもよい。その場合、中央領域が開口となった減光膜20を基板11上に設け、その開口に、減光膜20よりも減光率の高い減光膜40が設けられる。但し、この場合、減光膜20の成膜時と、減光膜40の成膜時との双方においてマスキングをする必要

が生じるので、減光膜20と減光膜40とを重畳させた方が、製造コストを低減できる点で望ましい。

[0154] [第9実施形態の第1変形例]

以下、図58, 図59に基づき第9実施形態の第1変形例を説明する。

本変形例は、減光膜20, 減光膜40の変形例である。

本変形例の減光膜40は、金属膜で構成される。

本変形例の減光膜20の構成は、図45に示したものと同一である。この減光膜20の単体の特性は、図46に示したとおりである。

[0155] 減光膜40の構成は、膜厚5nmのクロム(Cr)の1層とされる。このとき、減光膜20, 40の中央領域の透過率の波長特性は、図58に示すとおりである。

また、減光膜20の基板11側の反射率(基板11の内面反射の反射率)の角度特性(但し、中央領域における特性)は、図59に示すとおりである。

図59に明らかなおと、入射角度 40° 以上の光のs偏光成分に対する反射率は、高い数値である。但し、その光のp偏光成分に対する反射率は低い。よって、本変形例の減光膜20, 40がアイグラスディスプレイに適用される場合、表示光束L1を、s偏光成分のみに制限することが望ましい。

[0156] 因みに、液晶表示素子21の原理上、表示光束L1は偏光しているので、その偏光方向がs偏光方向となるように液晶表示素子21と基板11との位置関係を最適化するか、液晶表示素子21の後段に位相板を挿入すれば、表示光束L1をs偏光成分のみに制限することができる。

[第9実施形態の第2変形例]

以下、図60, 図61に基づき第9実施形態の第2変形例を説明する。

[0157] 本変形例は、減光膜20の変形例である。本変形例の減光膜20は、ホログラフィック光学膜からなる。

このホログラフィック光学膜の製造では、2回の露光が行われる。

第1の露光は、入射角度 0° 近傍の光を所定の透過率で透過するような特性を、ホログラフィック光学膜に付与するための露光である。この露光は、例えば、図60に示すような光学系で行われる。

[0158] すなわち、ホログラム感光材料56には、2つの光束が垂直に入射する。一方の光束には、光減衰器52が挿入されている。透過率の値は、光減衰器52の減衰量によって設定可能である。図60において、51はレーザ光源(R色, G色, B色の各波長のレーザ光を射出可能である。)、BSはビームスプリッタ、Mはミラー、53はビームエキスパンダ、55はビームスプリッタである。

[0159] 第2の露光は、基板11中を内面反射する表示光束L1の反射率を確保するための露光である。この露光は、例えば、図61に示すような光学系で行われる。

すなわち、ホログラム感光材料56には、基板11中を内面反射する表示光束L1と同じ角度で2つの光束が入射する。図61において、51はレーザ光源(R色, G色, B色の各波長のレーザ光を射出可能である。)、BSはビームスプリッタ、Mはミラー、53はビームエキスパンダ、57は補助プリズムである。

[0160] 2回の露光の終了後、ホログラム感光材料56は現像処理され、ホログラフィック光学膜が完成する。

このようにして完成したホログラフィック光学膜には、減光膜20に必要とされる機能が付与される。

なお、本変形例は、減光膜20をホログラフィック光学膜で構成した変形例であるが、減光膜20及び減光膜40を、1つのホログラフィック光学膜で構成することもできる。

[0161] そのホログラフィック光学膜の製造では、第1の露光が2回に分けて行われる。

そのうち1回は、ホログラフィック光学膜の中央領域の露光であり(周辺領域にはマスキングが施される。)、他の1回は、周辺領域の露光である(中央領域にはマスキングが施される。))。

これら2回の露光では、光減衰器52の減衰量が互いに異なる値に設定される。それによって、ホログラフィック光学膜の中央領域の透過率と、周辺領域の透過率とが異なる値に設定される。

[0162] [第10実施形態]

以下、図62, 図63, 図64, 図65, 図66に基づき本発明の第10実施形態を説明する。

本実施形態は、アイグラスディスプレイの実施形態である。ここでは、第8実施形態

との相違点のみ説明する。

- [0163] 図62は、本アイグラスディスプレイの外観図である。図62中の座標系は、観察者から見て下向きをX方向、右向きをY方向とした右手系のXYZ直交座標系である。以下では、このXYZ座標系による方向表現、又は観察者から見た左右上下の方向表現を必要に応じて使用する。

図62に示すように、本アイグラスディスプレイの外観は、第8実施形態のそれ(図37参照)と略同じである。

- [0164] 図63は、本アイグラスディスプレイの光学系の詳細図であり、本アイグラスディスプレイの光学系部分をYZ平面と平行な面にて切断してできる概略断面図である。

図63に示すように、本アイグラスディスプレイにおける表示光束L1、外界光束L2の振る舞いは、第8実施形態のそれ(図38参照)と同じである。

基板11の外界側の面1bには、第1の光学膜60が設けられている。第1の光学膜60の表面には、光学ガラスからなる第2の基板70が貼付されている。また、第2の基板70の表面には、第2の光学膜80が設けられている。

- [0165] 第1の光学膜60は、基板11に対してエアギャップと同じ働きをする。つまり、第1の光学膜60の基板11側の界面は、表示光束L1を略100%の反射率で反射する。また、第1の光学膜60は、外界光束L2を透過する。なお、この第1の光学膜60には、可視光線の減光機能や、紫外線又は赤外線カットの機能が付与されていてもよい。

第2の基板70、第2の光学膜80は、外界光束L2を減光する機能を有する。なお、この第2の基板70、第2の光学膜80にも、可視光線の減光機能や、紫外線又は赤外線カットの機能が付与されていてもよい。

- [0166] 本アイグラスディスプレイでは、第1の光学膜60の働きにより、基板11中を内面反射する表示光束L1の反射率は確保されるので、第2の基板70、第2の光学膜80に対し、表示光束L1の反射率を高めるための機能を付与する必要が無い。

よって、第2の基板70、第2の光学膜80の設計の自由度は高い。例えば、第2の基板70には、各種の既存の光学フィルタガラスを適用することができる。

- [0167] よって、それら第2の基板70、第2の光学膜80に対しては、より高い減光機能を付与することができる。

なお、高い減光機能とは、例えば、入射角度による減光率のばらつきが少ないことや、波長による減光率のばらつきが少ないことなどを指す。

次に、第1の光学膜60の具体例を説明する。ここでは、表示光束L1がs偏光成分のみに制限された場合を説明する。

[0168] 第1の光学膜60の構成は、次のとおりである。

基板/(0.125L0.28H0.15L)(0.125L0.25H0.125L)⁴(0.15L0.28H0.125L)/第2の基板
但し、

H:高屈折率の誘電体(H層),

L:低屈折率の誘電体(L層),

各層の左側の数値:各層の光学膜厚(使用波長の中心波長における),

上付き数字:括弧で括られた層群の積層回数

また、第1の光学膜60の詳細(仕様)は、次のとおりである。

[0169] 中心波長 $\lambda_c = 850\text{nm}$,

基板の屈折率:1.56,

H層の屈折率:2.30,

L層の屈折率:1.48,

第2の基板の屈折率:1.507,

第2の基板の消衰係数 $k = 0.01$

因みに、第2の基板70の消衰係数 k を0.01のように大きな値に設定したのは、各種の光学フィルタガラスを第2の基板70に適用し、第2の基板70に対し多彩な減光特性や波長カット機能を付与することを想定したからである。

[0170] 図64は、屈折率1.50、厚み1mmのガラス基板の、消衰係数 k と透過率との関係を計算で求めたものである。

この図64から、消衰係数 k の実質的な最大値は、0.01であることがわかる。

よって、第2の基板70の消衰係数 k を0.01に設定しておけば、第2の基板70に如何なる光学フィルタガラスを適用した場合にも有効な、第1の光学膜60を設計することができる。

[0171] この第1の光学膜60の基板11側の反射率の波長特性(入射角度 0° , 60°)は、

図65に示すとおりである。

また、この第1の光学膜60の第2の基板70側の反射率の角度特性は、図66に示すとおりである。

図65、図66に明らかなおりに、この第1の光学膜60は、入射角度 0° の可視光線のs偏光成分に対し平均10%以下の反射率を示し、入射角度 60° の可視光線のs偏光成分に対し略100%の反射率を示す。

[0172] また、先に述べたように、第2の基板70としては、任意の光学フィルタガラスを用いることができる。すなわち、赤外線カット・紫外線カット・色フィルタ・ニュートラルインデンシティフィルタ(可視光域全波長を均一に減光するフィルタ)など、市販のあらゆる光学フィルタガラスを、第2の基板70に適用できる。

また、第2の光学膜80には、第2の基板70の表面を保護するのに適した任意の膜、例えば、反射防止膜などを適用できる。好ましくは、第2の基板70との組み合わせで所望の性能を達成する膜が、第2の光学膜80に適用される。

[0173] 例えば、第2の基板70にニュートラルインデンシティフィルタが適用され、第2の光学膜80に赤外カット膜が適用されてもよい。また、第2の基板70に紫外線カットガラスが適用され、第2の光学膜80に減光膜及び赤外線カット膜が適用されてもよい。

つまり、第2の基板70と第2の光学膜80との組み合わせは、アイグラスディスプレイに要求される性能や、アイグラスディスプレイの製造コストなどに応じて、適宜選定可能である。

[0174] なお、各種フィルタなど、各種の多層膜の種類や機能については、例えば、H.A.Macleod著「Thin-Film optical Filters 3rd.Edition」等の書物に詳細が記載されているので、ここでは省略する。

なお、上述した第1の光学膜60の構成において、複数周期の層群の両側に、1周期の層群が配置されている理由は、第1の光学膜60と基板11との屈折率のミスマッチ調整のため、及び、第1の光学膜60と第2の基板70との屈折率のミスマッチ調整のためである(つまり、1周期の層群は、マッチング層である。)。マッチング層は、透過率を抑えるべき波長帯のリップルを低減するなど、第1の光学膜60の特性を微修正する役割を果たしている。

[0175] [第10実施形態の変形例]

なお、第1の光学膜60には、上述した構成とは別の構成が適用されてもよい。何れの構成も、適当な周期層群を含む。また、何れの構成も、計算機による最適化が施されることが望ましい。

また、第2の光学膜80と第2の基板70との組み合わせとしては、クロム(Cr)などの金属膜と、消衰係数 k の小さい光学ガラス基板との組み合わせも適用可能である。

[0176] また、第2の光学膜80に、各種の機能性薄膜、例えば、エレクトロクロミック膜(EC膜)、フォトクロミック膜(PC膜)などが適用されてもよい。

エレクトロクロミック膜(EC膜)が適用されれば、ユーザによる通電操作により、アイグラスディスプレイの使用状況に応じて、減光の有無を選択できる。例えば、ユーザは、アイグラスディスプレイを日中の屋外で使用するときなど、外界像が極端に明るいときには減光し、アイグラスディスプレイを室内で使用するときなど、外界像があまり明るくないときには減光しないという選択をすることができる。

[0177] その操作によれば、アイグラスディスプレイの使用状況に拘わらず、外界像の視認性と表示画像の視認性との双方が保たれる。

また、フォトクロミック膜(PC膜)が適用されれば、外界光束L2の光量が高いときのみ自動的に外界光束L2が減光されるので、アイグラスディスプレイの使用状況に拘わらず、外界像の視認性と表示画像の視認性との双方が自動的に保たれる。

[0178] 以上の機能性薄膜の適用によって、アイグラスディスプレイの性能は、格段に向上する。

また、本アイグラスディスプレイにおいては、第9実施形態と同様に、画像表示光学系1の中央領域の減光率を、画像表示光学系1の周辺領域の減光率よりも高く設定することが容易である。

[0179] 例えば、第2の基板70を、ニュートラルインデンシティフィルタで構成し、第2の光学膜80を減光膜で構成し、その第2の光学膜80の形成領域を中央領域のみに制限すればよい。

また、本アイグラスディスプレイにおいては、第1の光学膜60を、ホログラフィック光学膜で構成することもできる。そのホログラフィック光学膜の製造には、図61に示した

光学系を利用できる。但し、第1の光学膜60は、使用時に、基板11と第2の基板70とによって挟まれるので、図61における2つの光束の光路それぞれには、それらの基板と同型の補助プリズムが配置される。

- [0180] また、本アイグラスディスプレイにおいては、第2の光学膜80を、ホログラフィック光学膜で構成することもできる。

[その他の実施形態]

以上説明した第8実施形態～第10実施形態(変形例含む)の何れかの減光機能を、第1実施形態～第7実施形態の何れかのアイグラスディスプレイに搭載してもよい。

産業上の利用可能性

- [0181] 上記実施形態では、アイグラスディスプレイしか説明しなかったが、カメラ、双眼鏡、顕微鏡、望遠鏡のファインダなどにも同様に本発明は適用可能である。

請求の範囲

- [1] 所定の光束が内部を伝搬可能な基板と、
前記伝搬する前記所定の光束が到達可能な前記基板の面上に密着して設けられ、その所定の光束を反射すると共にその面に到来する外界光束を透過する干渉又は回折作用を有した光学機能部と
を備えたことを特徴とする光学素子。
- [2] 請求項1に記載の光学素子において、
前記光学機能部は、
特定の偏光方位の前記所定の光束を反射し、かつ他の偏光方位の光束を透過する性質を有している
ことを特徴とする光学素子。
- [3] 請求項1又は請求項2に記載の光学素子において、
前記光学機能部は、
前記基板と空気との屈折率によって決定する、基板内部の光束が全反射する条件の臨界角又は前記臨界角よりも大きな入射角度で前記面に到達する前記所定の光束を、所望の反射特性で反射する性質を有している
ことを特徴とする光学素子。
- [4] 請求項1～請求項3の何れか一項に記載の光学素子において、
前記光学機能部は、
前記所定の光束の光路の光量ロスを増大させることなく前記外界光束を減光する機能を有している
ことを特徴とする光学素子。
- [5] 所定の画像表示素子から射出した表示光束を伝搬させると共に、少なくとも前記基板を観察眼に正対させた状態で外界からその観察眼に向かう前記外界光束を透過する請求項1～請求項3の何れか一項に記載の光学素子と、
前記光学素子に設けられ、前記基板の内部を伝搬した前記表示光束を前記観察眼の方向に反射すると共に前記外界光束を透過するコンバイナと
を備えたことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [6] 請求項5に記載のコンバイナ光学系において、
前記光学機能部は、前記基板の表面に設けられた光学膜であり、
前記光学膜の表面には、第2の基板が設けられる
ことを特徴とするコンバイナ光学系。
- [7] 請求項6に記載のコンバイナ光学系において、
前記第2の基板は、視度補正用の屈折レンズである
ことを特徴とするコンバイナ光学系。
- [8] 請求項6に記載のコンバイナ光学系において、
前記光学機能部は、前記基板の外界側の面に設けられており、
前記光学機能部と前記第2の基板とからなる光学系の全体は、
前記表示光束の光路の光量ロスを増大させることなく前記外界光束を減光する機能
を有する
ことを特徴とするコンバイナ光学系。
- [9] 請求項8に記載のコンバイナ光学系において、
前記第2の基板は、
可視光に対する吸収性を有している
ことを特徴とするコンバイナ光学系。
- [10] 請求項8に記載のコンバイナ光学系において、
前記光学膜は、
前記表示光束の光路の光量ロスを増大させることなく前記外界光束を減光する機能
を有する
ことを特徴とするコンバイナ光学系。
- [11] 請求項8に記載のコンバイナ光学系において、
前記光学膜は、
金属及び／又は誘電体からなる
ことを特徴とするコンバイナ光学系。
- [12] 請求項8に記載のコンバイナ光学系において、
前記光学膜は、

ホログラフィック光学膜からなる

ことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [13] 請求項8に記載のコンバイナ光学系において、
前記第2の基板の表面には、
第2の光学膜が設けられる
ことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [14] 請求項13に記載のコンバイナ光学系において、
前記第2の光学膜は、
金属及び／又は誘電体からなる
ことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [15] 請求項13に記載のコンバイナ光学系において、
前記第2の光学膜は、
ホログラフィック光学膜からなる
ことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [16] 請求項13に記載のコンバイナ光学系において、
前記第2の光学膜は、
エレクトロクロミック膜からなる
ことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [17] 請求項13に記載のコンバイナ光学系において、
前記第2の光学膜は、
フォトクロミック膜からなる
ことを特徴とするコンバイナ光学系。

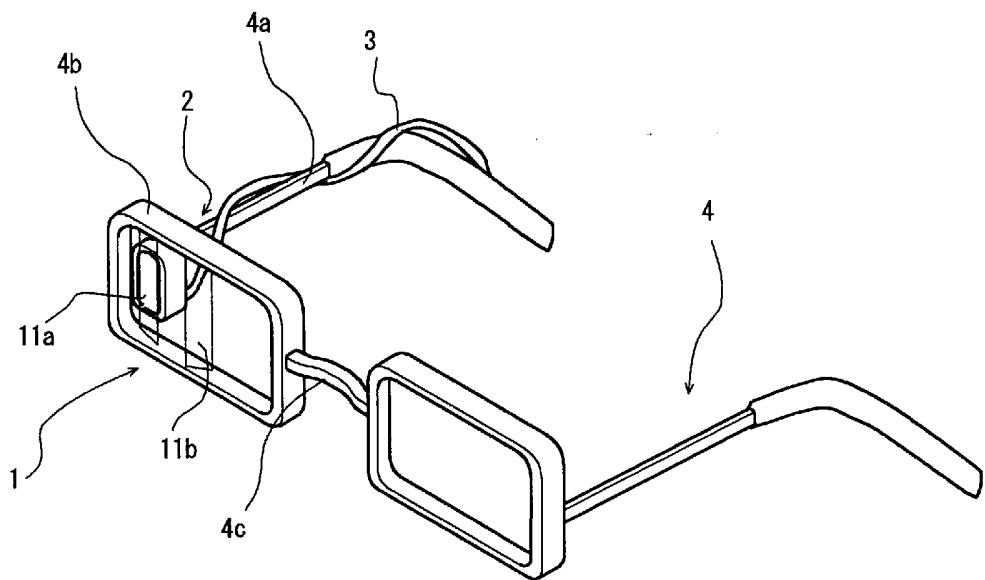
- [18] 請求項8～請求項17の何れか一項に記載のコンバイナ光学系において、
前記光学機能部と前記第2の基板とからなる光学系の全体は、
前記コンバイナに入射する前記外界光束を、その他の前記外界光束より高い減光
率で減光する
ことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [19] 請求項5～請求項18の何れか一項に記載のコンバイナ光学系において、

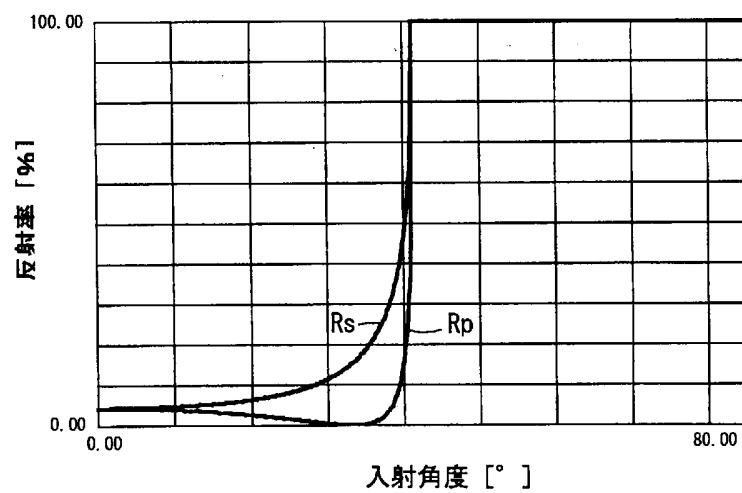
前記画像表示素子からの前記表示光束が前記基板中で内面反射可能となる方向に前記表示光束を導光する導入ミラーを備えたことを特徴とするコンバイナ光学系。

- [20] 画像表示用の表示光束を出射する画像表示素子と、
前記表示光束を前記観察眼へ導光する請求項5～請求項19の何れか一項に記載のコンバイナ光学系と
を備えたことを特徴とする画像表示装置。
- [21] 請求項20に記載の画像表示装置において、
前記コンバイナ光学系を前記観察者の頭部に装着する装着手段を備えたことを特徴とする画像表示装置。

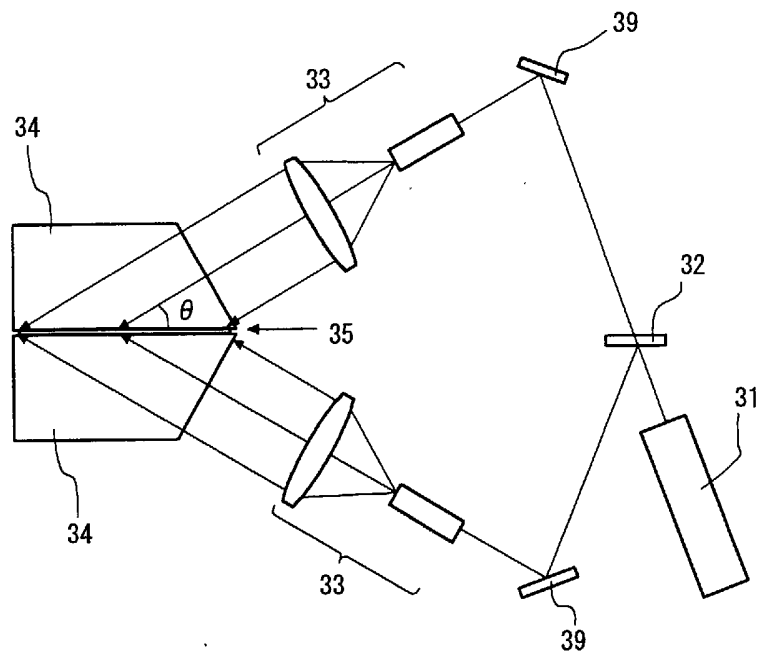
[図1]



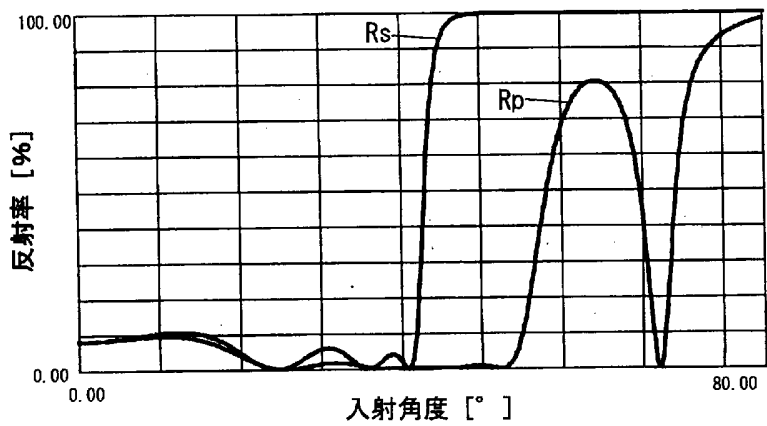
[図3]



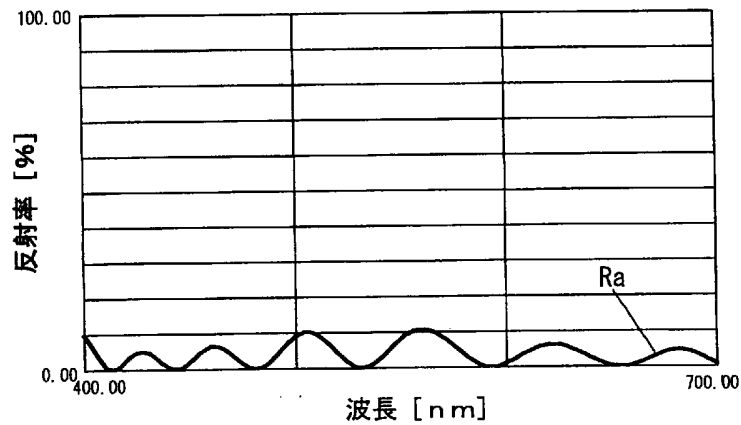
[図4]



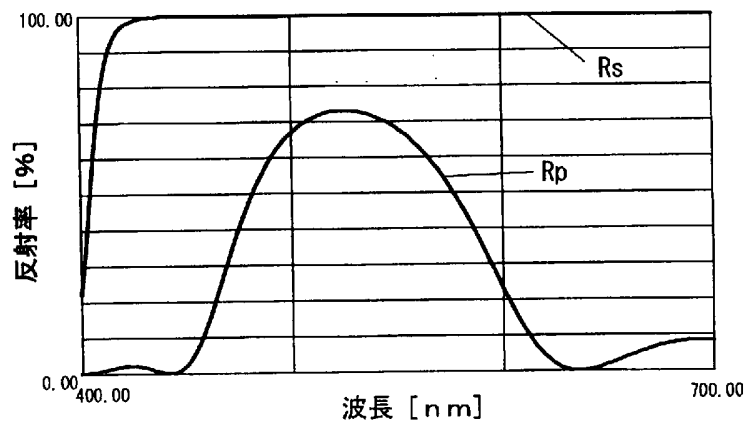
[図5]



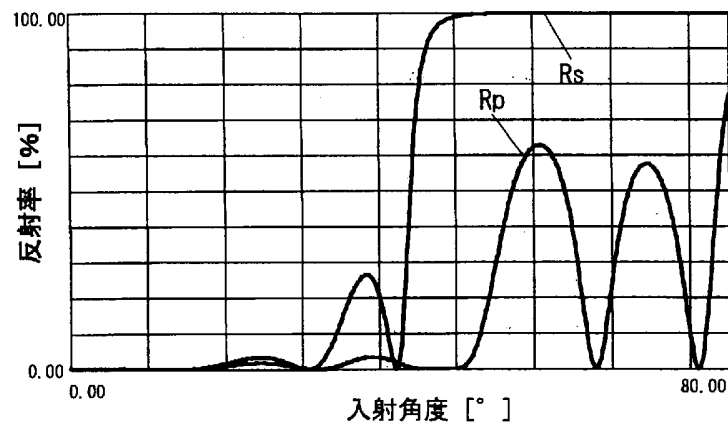
[図6]



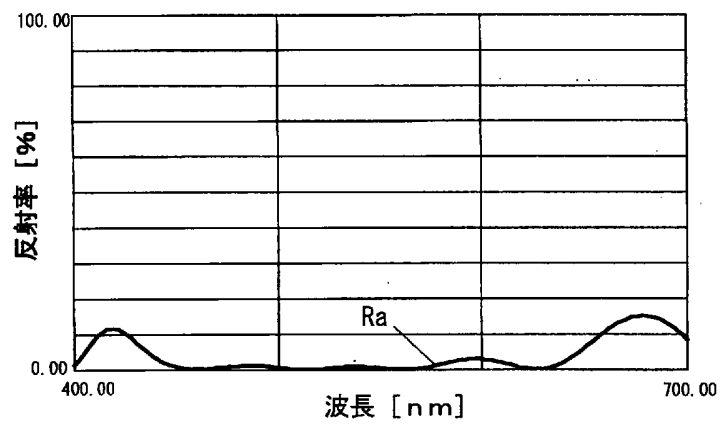
[図7]



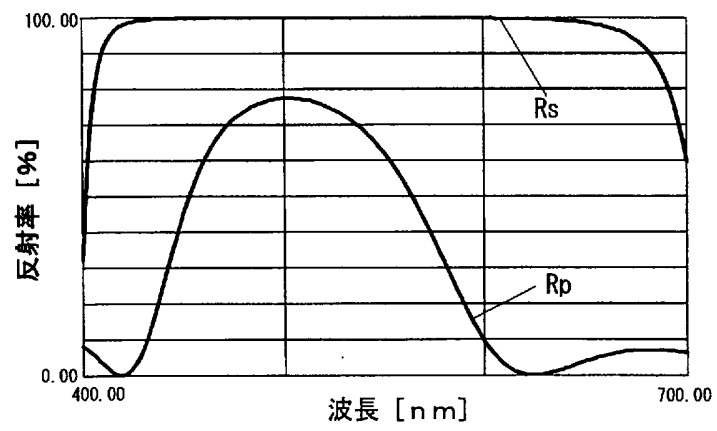
[図8]



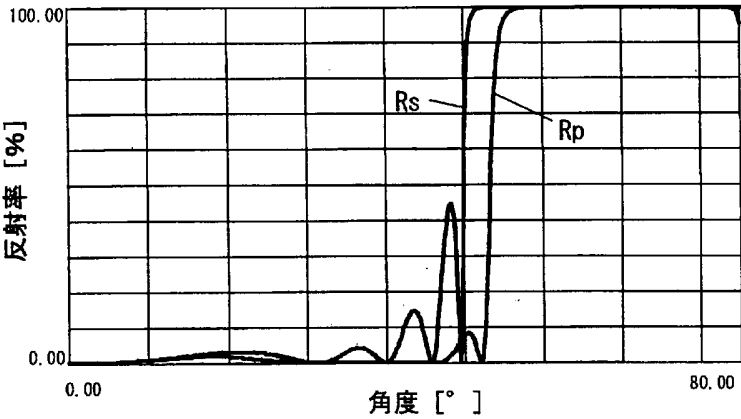
[図9]



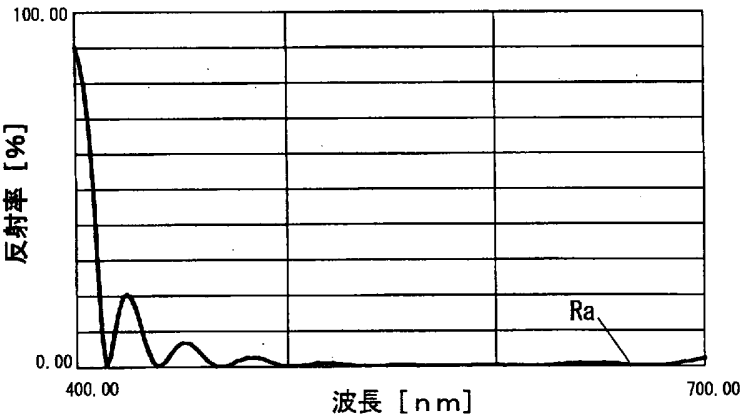
[図10]



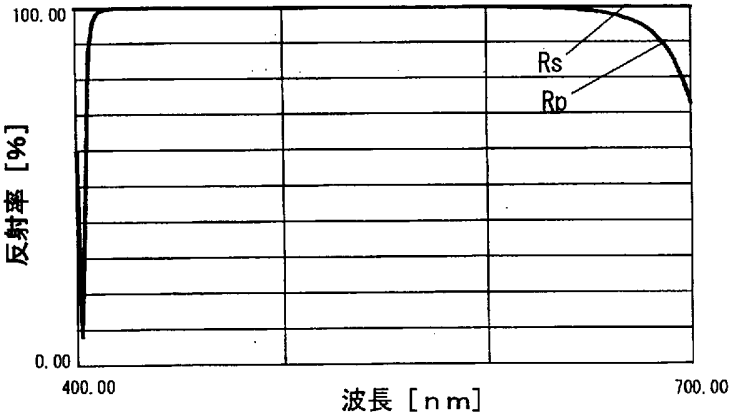
[図11]



[図12]



[図13]

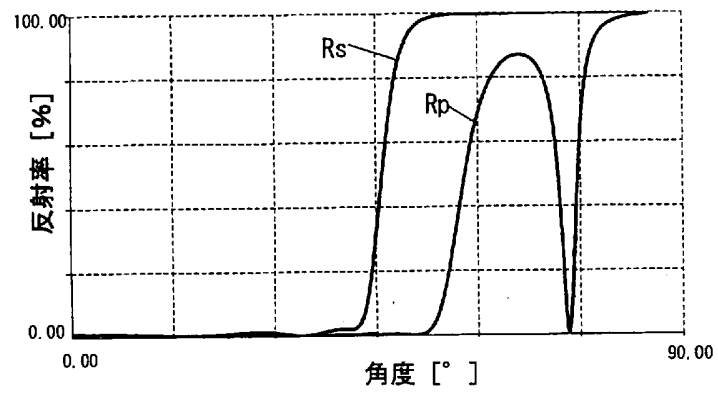


[図14]

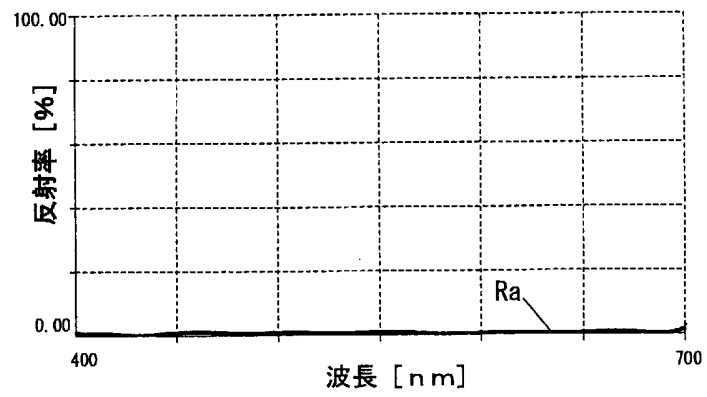
 $\lambda=510\text{nm}$

層番号	屈折率	膜厚(nd/λ)
基板	1.5600	
1	2.2000	0.06988
2	1.4600	0.07211
3	2.2000	0.38315
4	1.4600	0.04919
5	2.2000	0.14002
6	1.4600	0.07159
7	2.2000	0.01924
8	1.4600	0.03917
9	2.2000	0.50430
10	1.4600	0.43804
11	2.2000	0.41685
12	1.4600	0.42760
13	2.2000	0.15623
14	1.4600	0.02719
15	2.2000	0.18385
16	1.4600	0.43801
17	2.2000	0.41294
18	1.4600	0.44948
19	2.2000	0.47158
基板	1.5600	

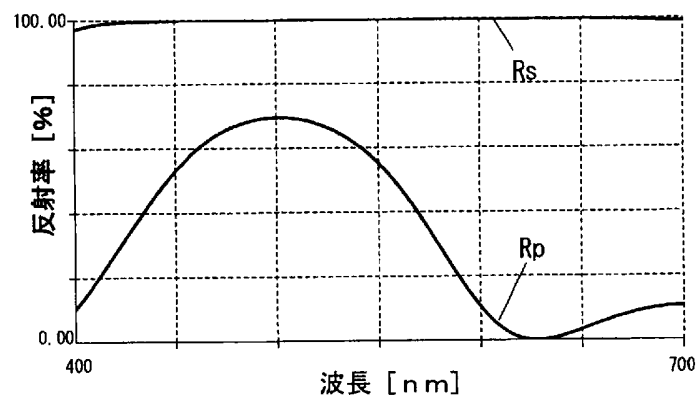
[図15]



[図16]



[図17]

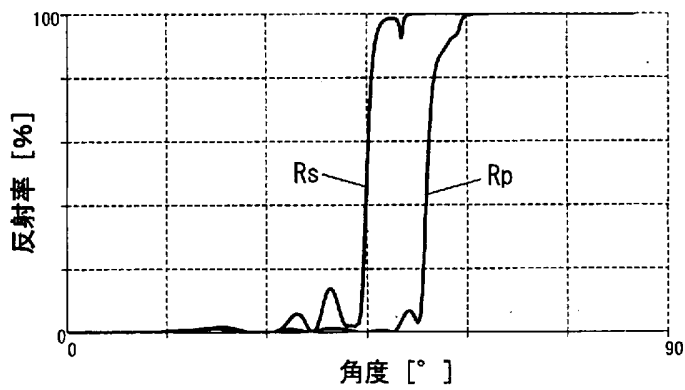


[図18]

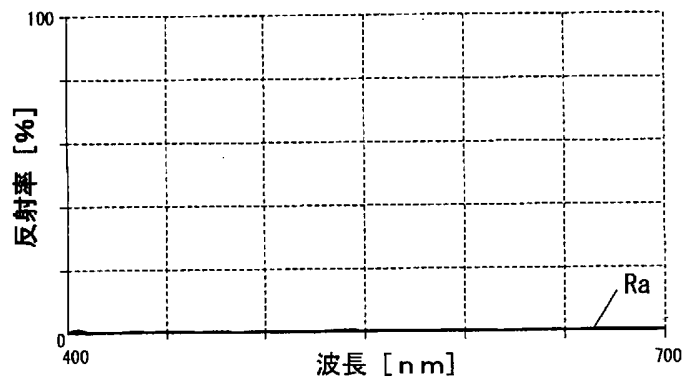
 $\lambda = 510\text{nm}$

層番号	屈折率	膜厚(nd/λ)
基板	1.5600	
1	1.3845	0.11056
2	2.2000	0.02142
3	1.3845	1.02261
4	2.2000	0.03911
5	1.3845	0.09816
6	2.2000	0.50382
7	1.3845	0.49821
8	2.2000	0.38782
9	1.3845	0.02651
10	2.2000	0.09255
11	1.3845	0.98790
12	2.2000	0.03817
13	1.3845	0.05037
14	2.2000	0.47999
15	1.3845	0.52832
16	2.2000	0.12849
17	1.3845	0.00187
18	2.2000	0.39585
19	1.3845	0.52150
20	2.2000	0.25969
21	1.3845	0.02287
22	2.2000	0.16016
23	1.3845	0.44843
24	2.2000	0.13844
25	1.3845	0.05007
26	2.2000	0.17367
27	1.3845	0.45809
28	2.2000	0.43680
29	1.3845	0.45307
30	2.2000	0.20979
31	1.3845	0.02861
32	2.2000	0.17739
33	1.3845	0.54739
34	2.2000	0.09848
35	1.3845	0.14497
36	2.2000	0.06622
37	1.3845	0.95961
38	2.2000	0.01043
39	1.3845	0.11515
40	2.2000	0.00480
基板	1.5600	

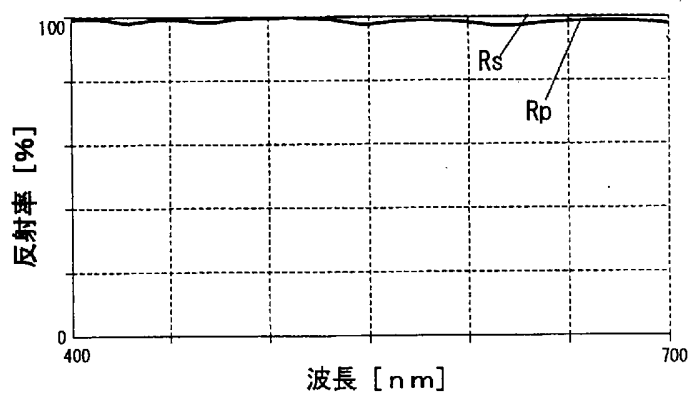
[図19]



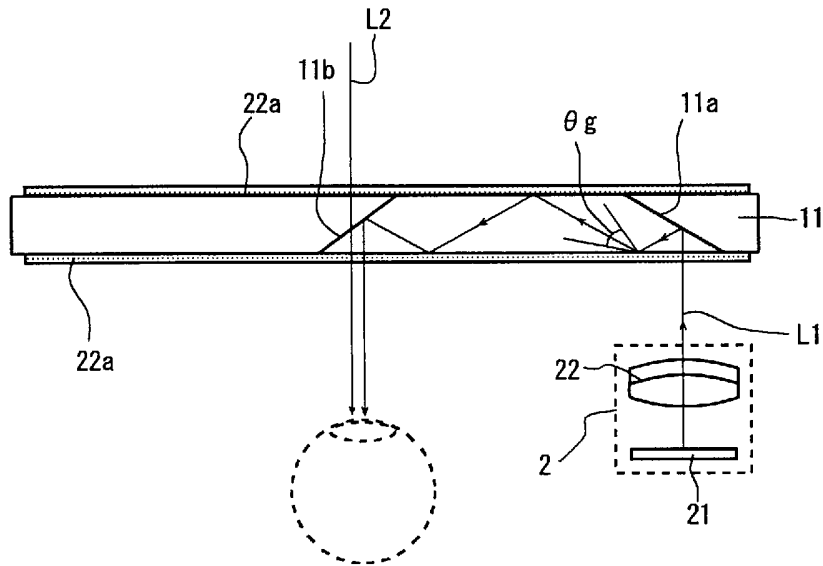
[図20]



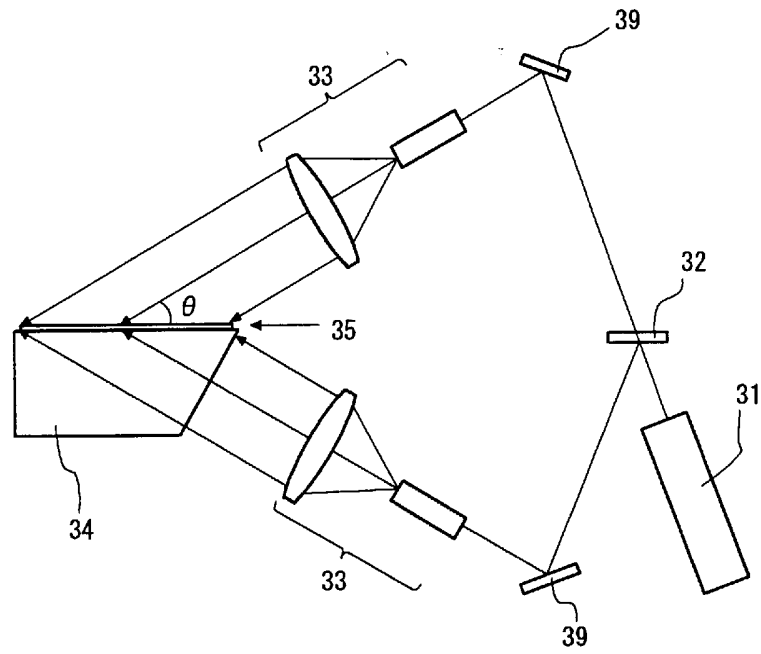
[図21]



[図22]



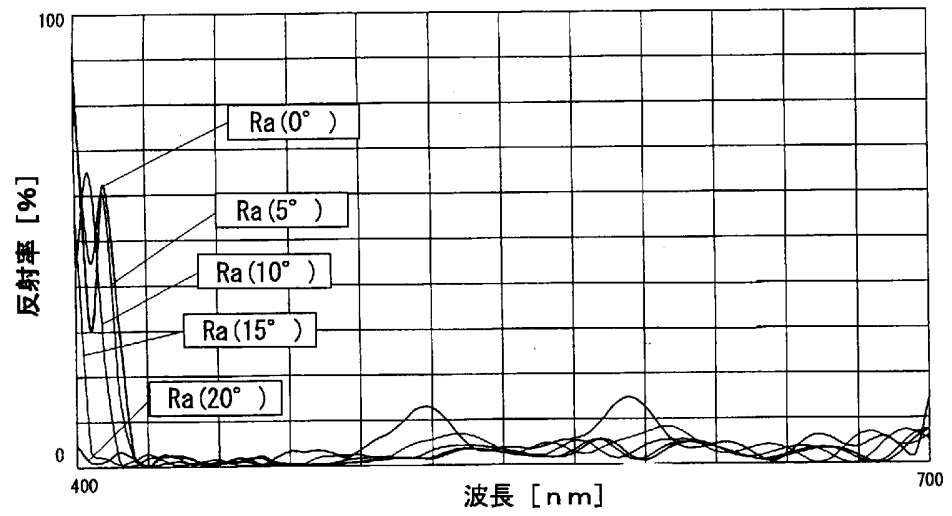
[図23]



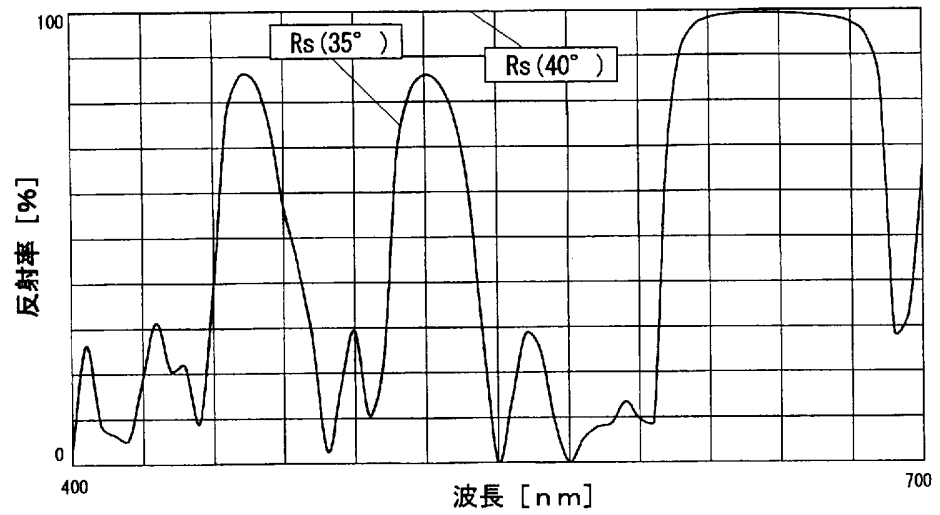
[図24]

層番号	膜厚(nm)	屈折率
基板		1.60
1	80.429	L1.46
2	114.131	H2.3
3	181.15	L1.46
4	141.464	H2.3
5	23.891	L1.46
6	64.191	H2.3
7	28.161	L1.46
8	36.869	H2.3
9	46.054	L1.46
10	126.836	H2.3
11	187.922	L1.46
12	17.198	H2.3
13	197.842	L1.46
14	123.535	H2.3
15	200.63	L1.46
16	39.021	H2.3
17	8.516	L1.46
18	80.586	H2.3
19	191.561	L1.46
20	40.612	H2.3
21	28.472	L1.46
22	21.342	H2.3
23	181.77	L1.46
24	18.218	H2.3
25	59.287	L1.46
26	4.411	H2.3
27	135.31	L1.46
28	114.546	H2.3
29	204.55	L1.46
30	11.767	H2.3
31	220.205	L1.46
32	9.673	H2.3
33	227.817	L1.46
34	7.978	H2.3
35	233.716	L1.46
36	10.171	H2.3
37	211.712	L1.46
38	113.391	H2.3
39	219.568	L1.46
40	11.166	H2.3
41	407.567	L1.46
42	33.408	H2.3
43	25.905	L1.46
44	43.611	H2.3
45	62.984	L1.46
46	1.101	H2.3
47	143.64	L1.46
48	20.468	H2.3
49	49.393	L1.46
50	13.416	H2.3
51	179.482	L1.46
媒質		1.00

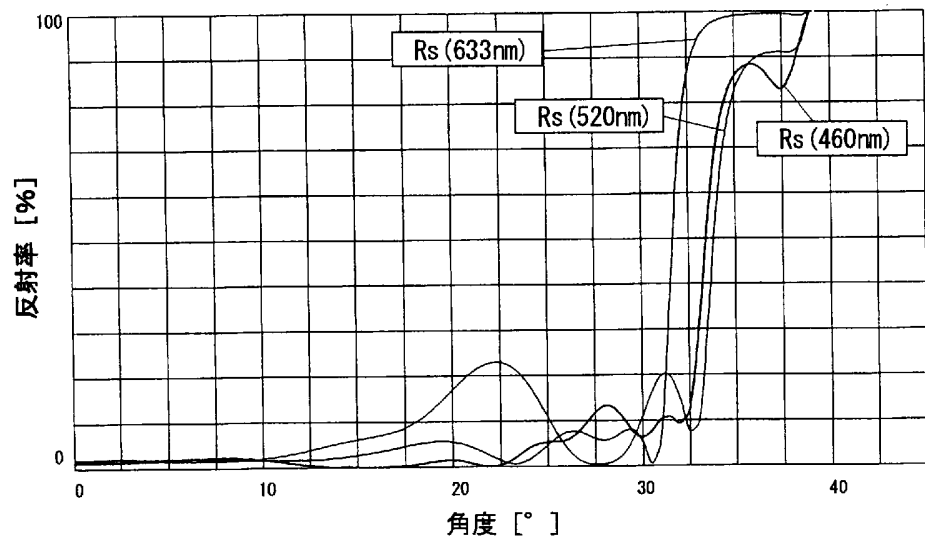
[図25]



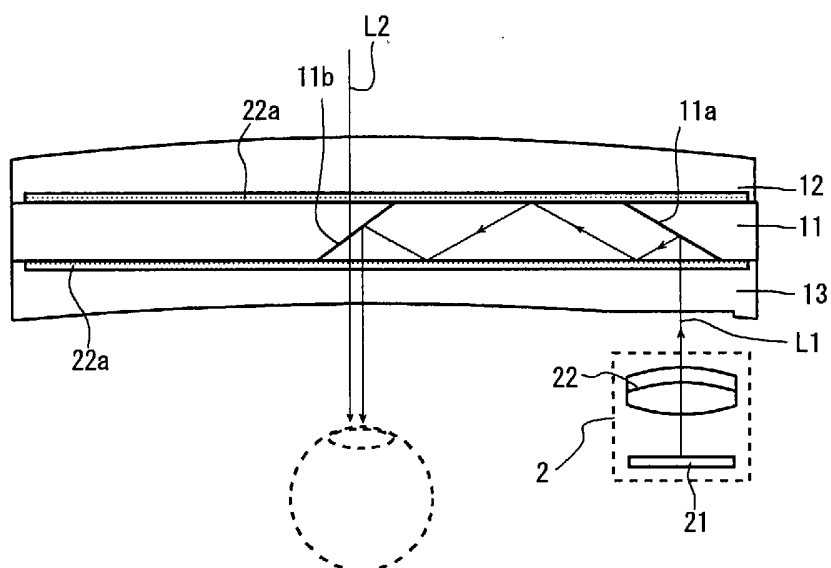
[図26]



[図27]



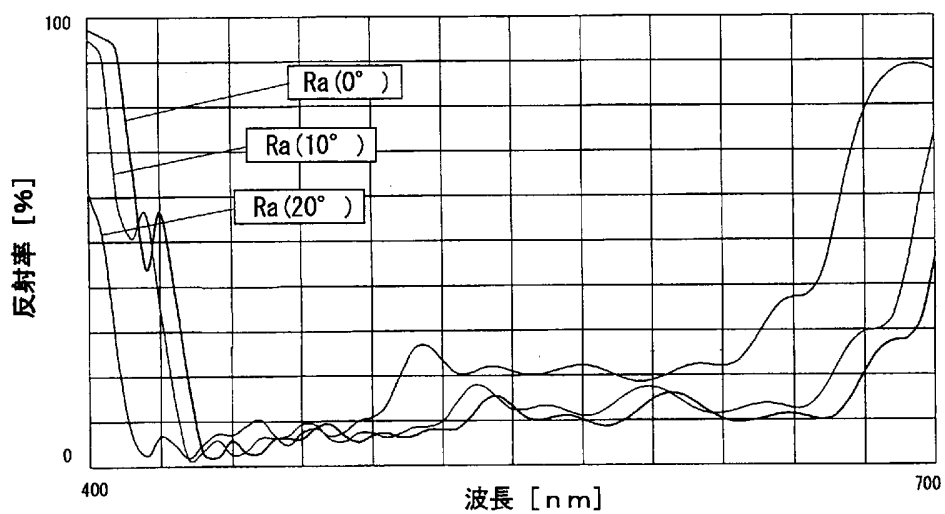
[図28]



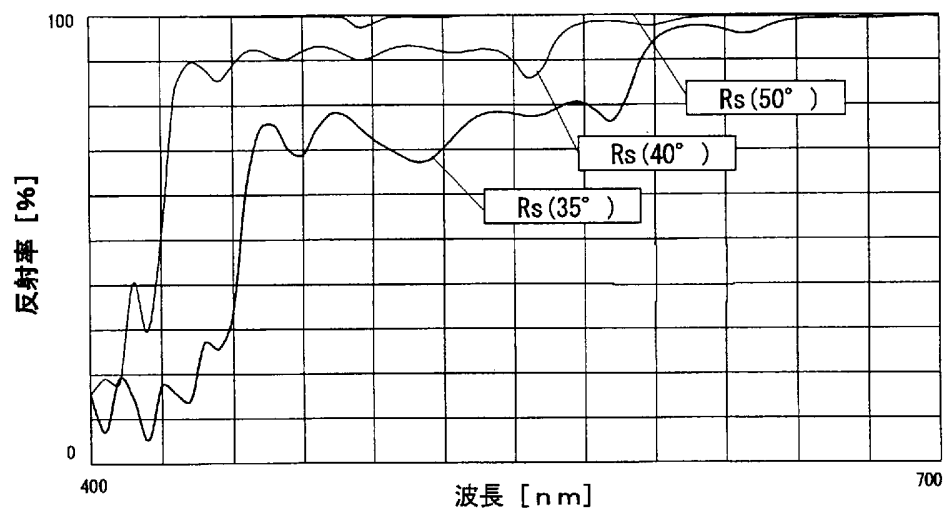
[図29]

層番号	膜厚(nm)	屈折率
基板		1.56
1	130.588	L1.46
2	18.382	H2.3
3	19.027	L1.46
4	73.624	H2.3
5	188.115	L1.46
6	37.964	H2.3
7	203.086	L1.46
8	38.878	H2.3
9	197.223	L1.46
10	35.054	H2.3
11	199.399	L1.46
12	31.258	H2.3
13	182.564	L1.46
14	93.986	H2.3
15	11.081	L1.46
16	33.449	H2.3
17	19.429	L1.46
18	114.822	H2.3
19	197.669	L1.46
20	24.718	H2.3
21	203.624	L1.46
22	71.495	H2.3
23	4.13	L1.46
24	55.526	H2.3
25	191.117	L1.46
26	3.784	H2.3
27	194.723	L1.46
28	55.417	H2.3
29	0.816	L1.46
30	70.98	H2.3
31	188.179	L1.46
32	61.22	H2.3
33	10.514	L1.46
34	59.358	H2.3
35	179.975	L1.46
36	123.674	H2.3
37	183.74	L1.46
38	48.608	H2.3
39	6.998	L1.46
40	67.535	H2.3
41	178.718	L1.46
42	121.983	H2.3
43	26.101	L1.46
44	5.084	H2.3
基板		1.56

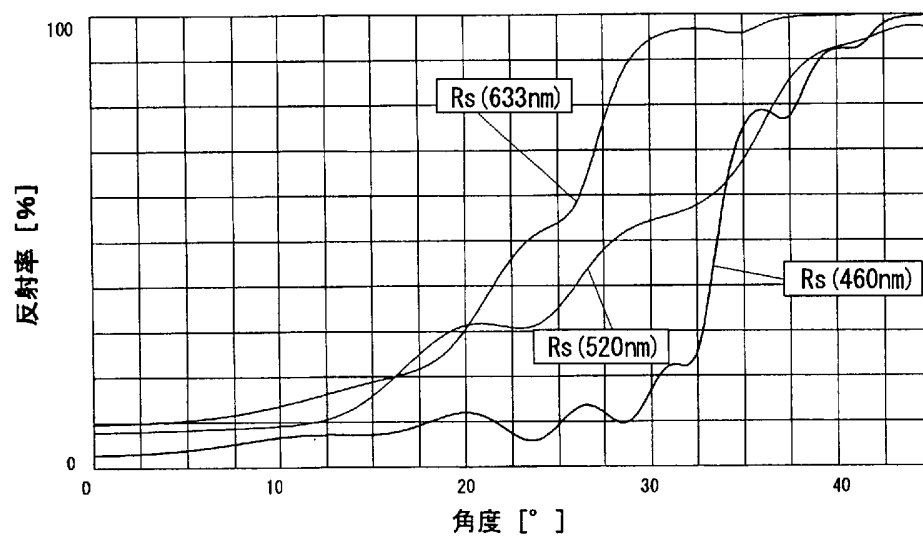
[図30]



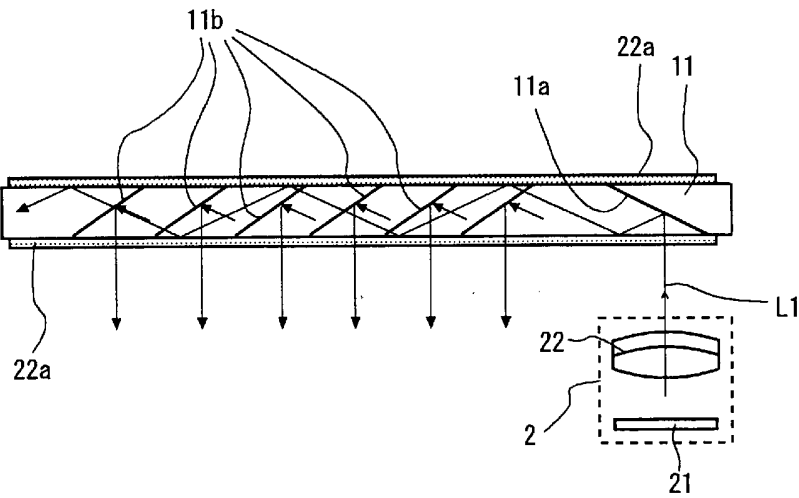
[図31]



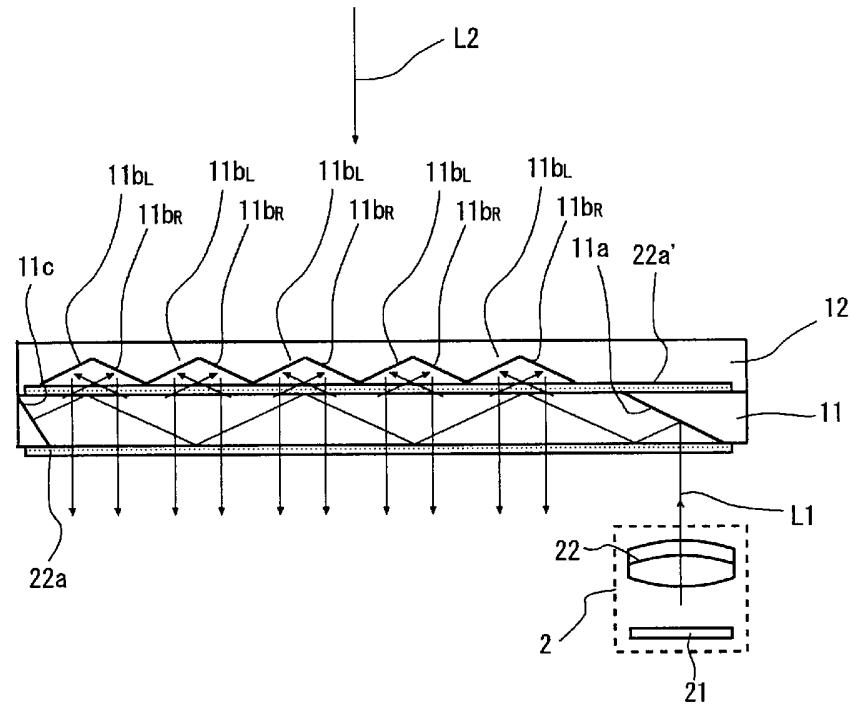
[図32]



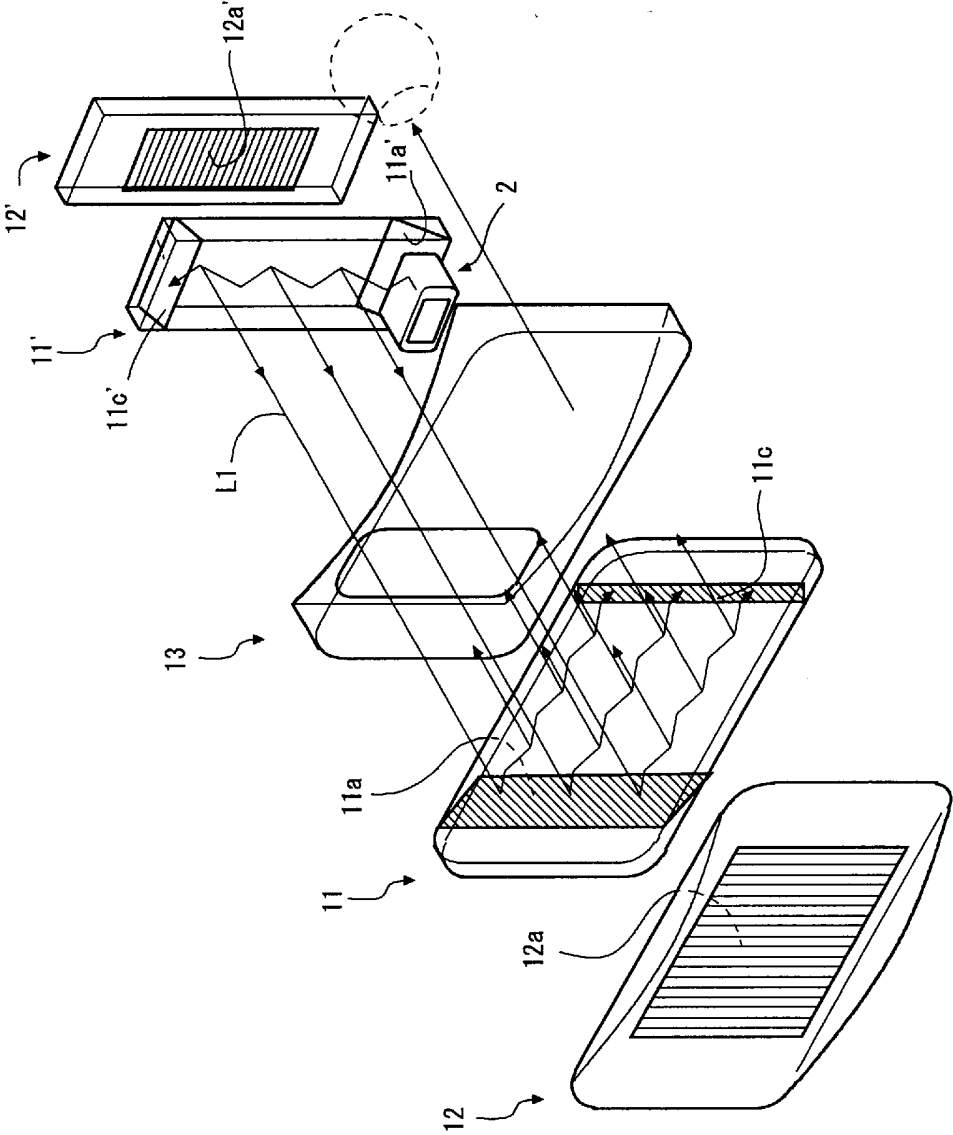
[図33]



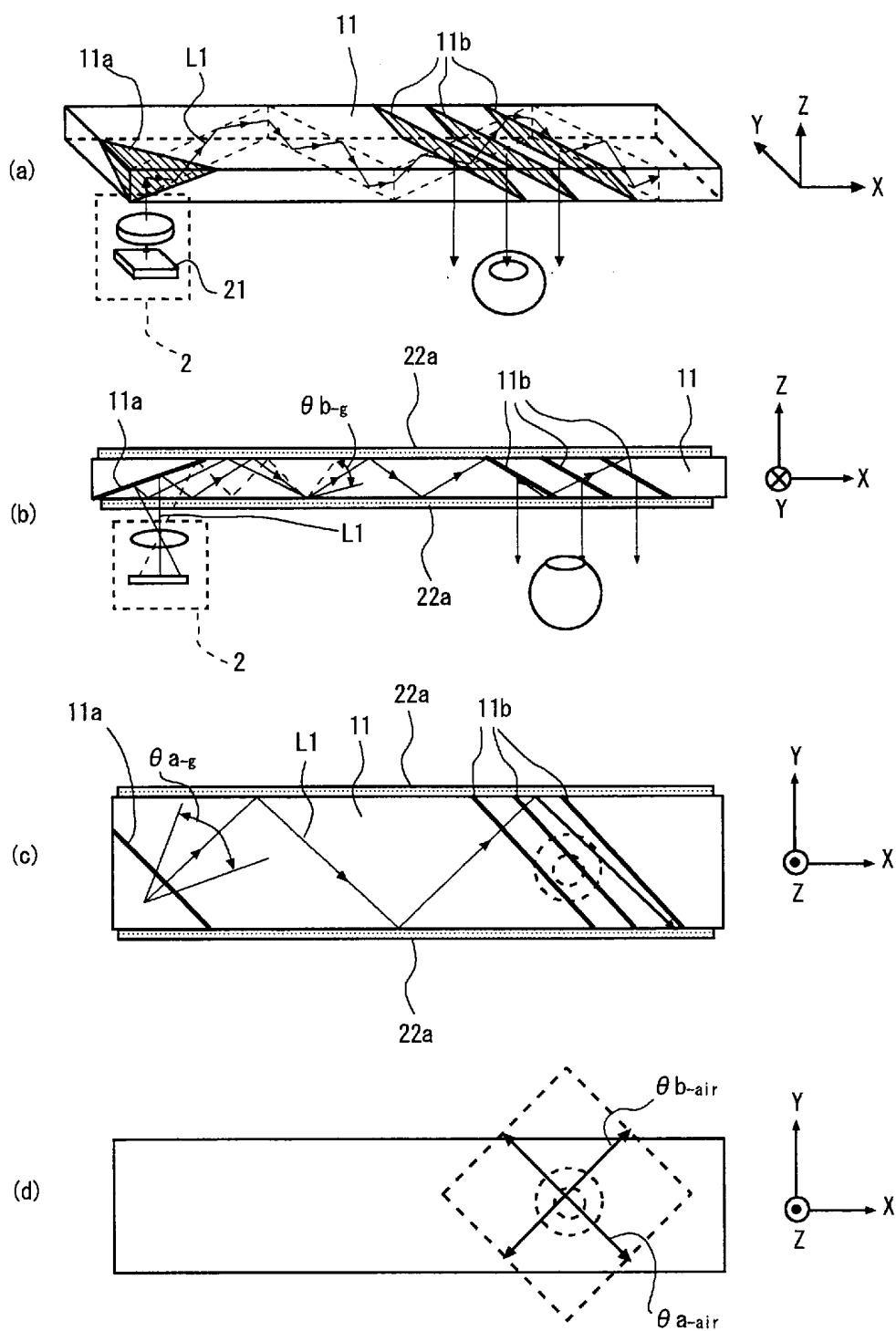
[図34]



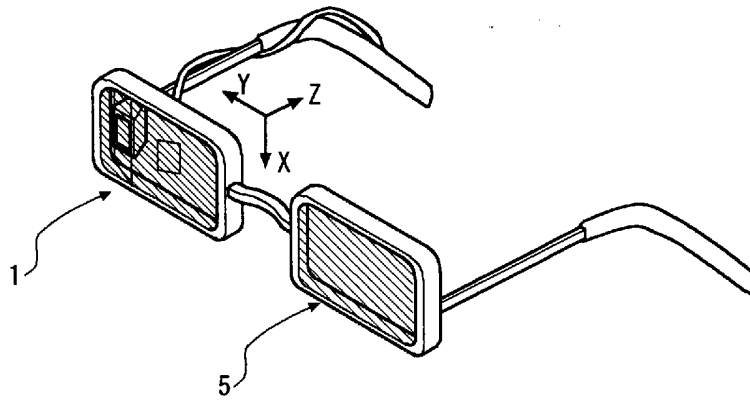
[図35]



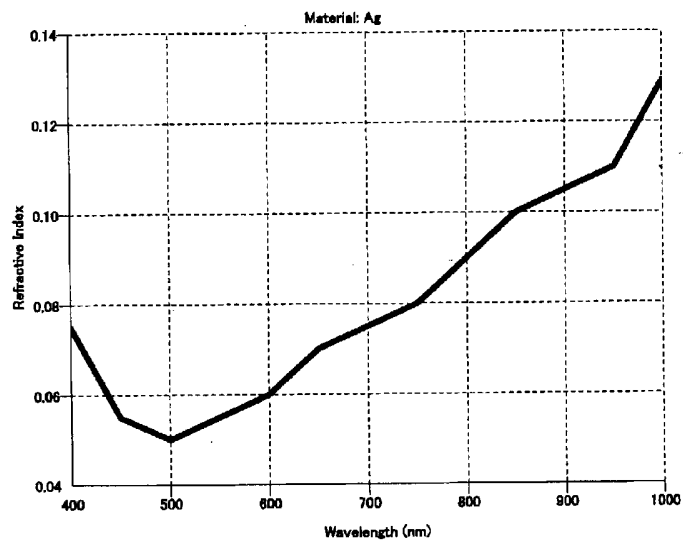
[図36]



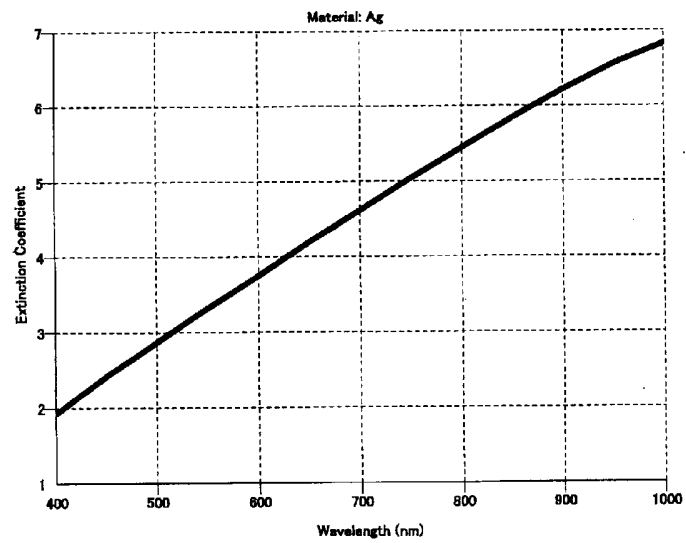
[図37]



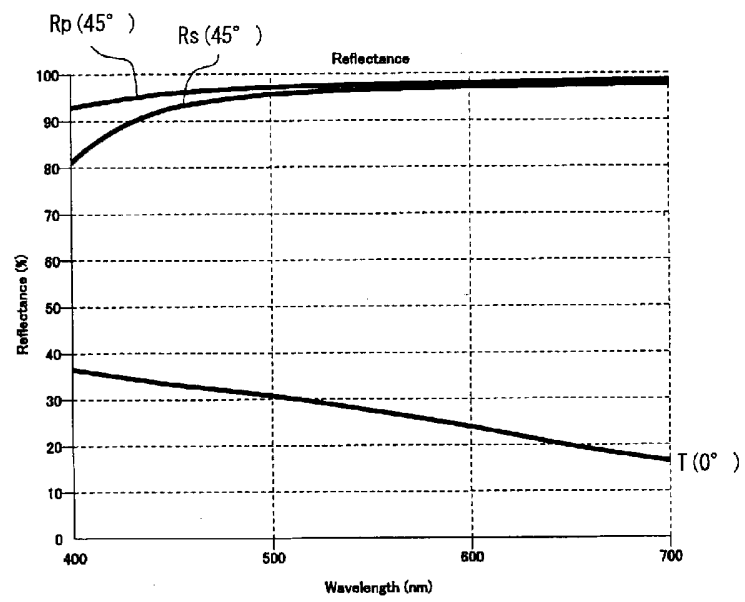
[図39]



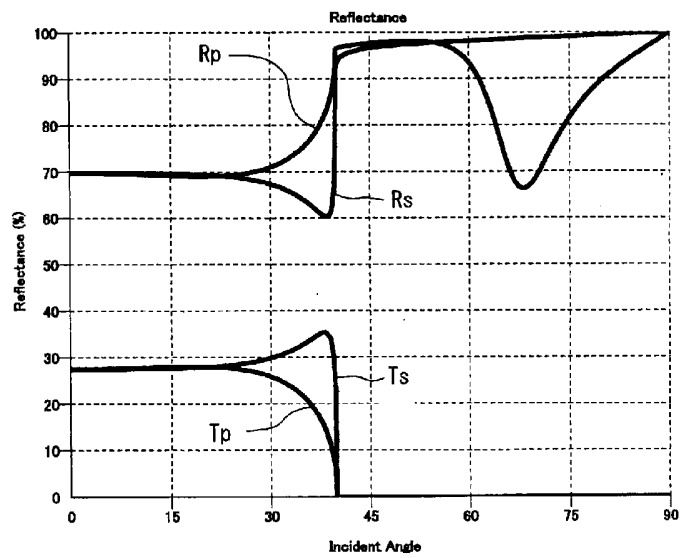
[図40]



[図41]



[図42]

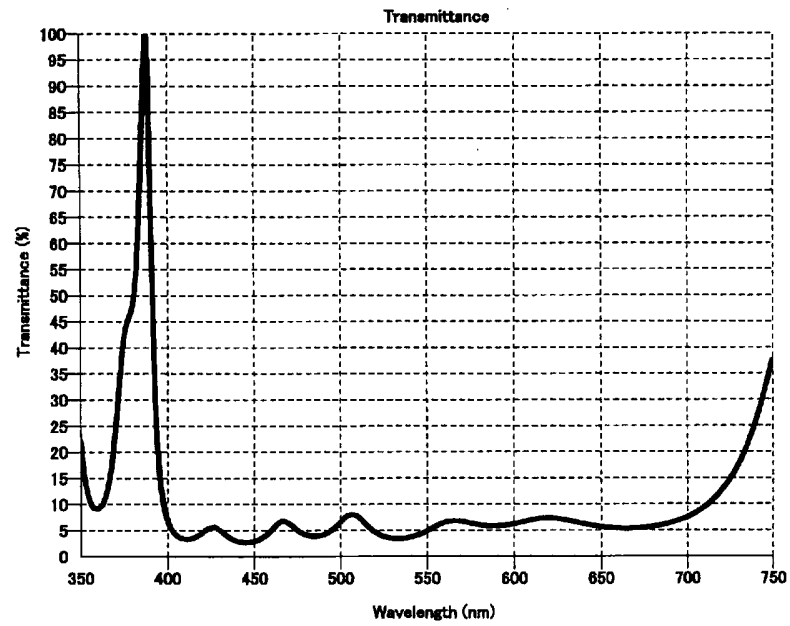


[図43]

 $\lambda_c=480\text{nm}$

層番号	屈折率	膜厚(nd/ λ_c)
媒質	1.000	
1	2.300	0.3854
2	1.460	0.3333
3	2.300	0.3140
4	1.460	0.3122
5	2.300	0.3255
6	1.460	0.3327
7	2.300	0.3139
8	1.460	0.2813
9	2.300	0.9399
10	1.460	0.2195
11	2.300	0.1844
12	1.460	0.2062
13	2.300	0.2700
14	1.460	0.3089
15	2.300	0.2668
16	1.460	0.1440
17	2.300	0.2573
18	1.460	0.2291
19	2.300	0.2816
20	1.460	0.1757
21	2.300	0.1597
22	1.460	0.8659
基板	1.583	

[図44]

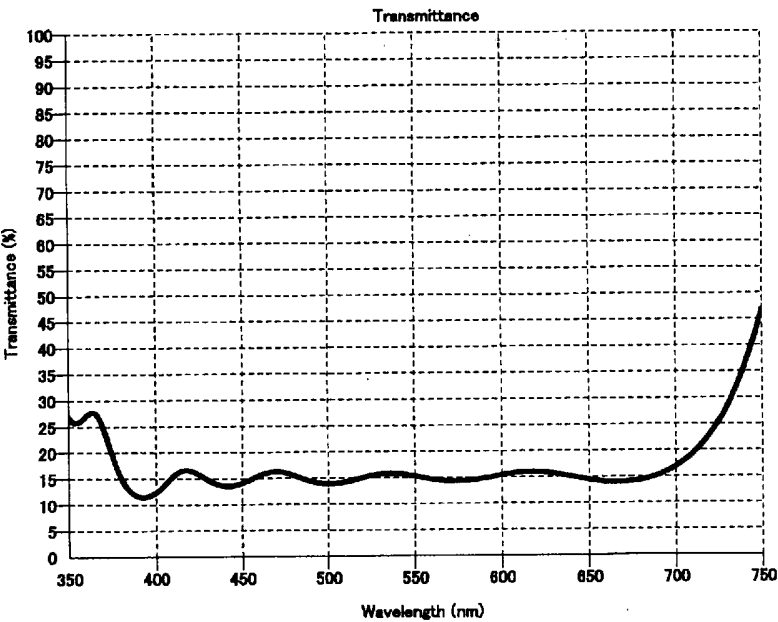


[図45]

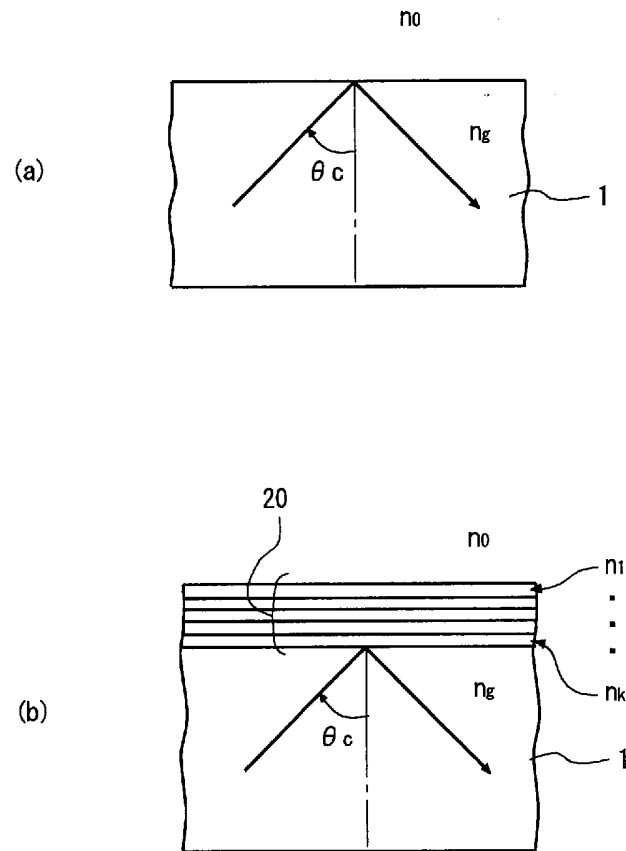
 $\lambda_c=480\text{nm}$

層番号	屈折率	膜厚 (nd/ λ_c)
媒質	1.000	
1	2.300	0.0179
2	1.460	0.0864
3	2.300	0.3444
4	1.460	0.2914
5	2.300	0.3146
6	1.460	0.2983
7	2.300	0.2894
8	1.460	0.2930
9	2.300	0.3281
10	1.460	0.2292
11	2.300	0.1460
12	1.460	0.2194
13	2.300	0.2279
14	1.460	0.2715
15	2.300	0.1969
16	1.460	0.1804
17	2.300	0.1504
18	1.460	0.2886
基板	1.583	

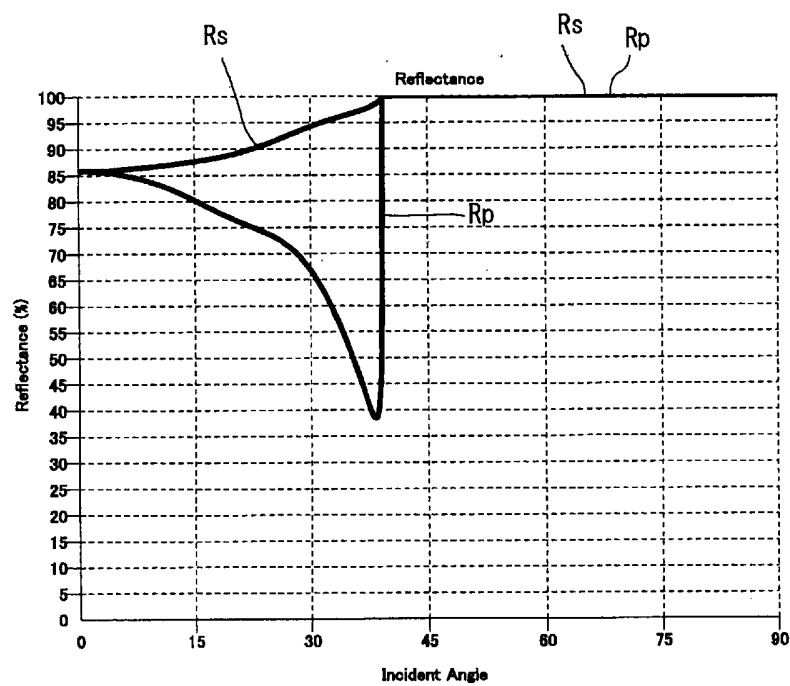
[図46]



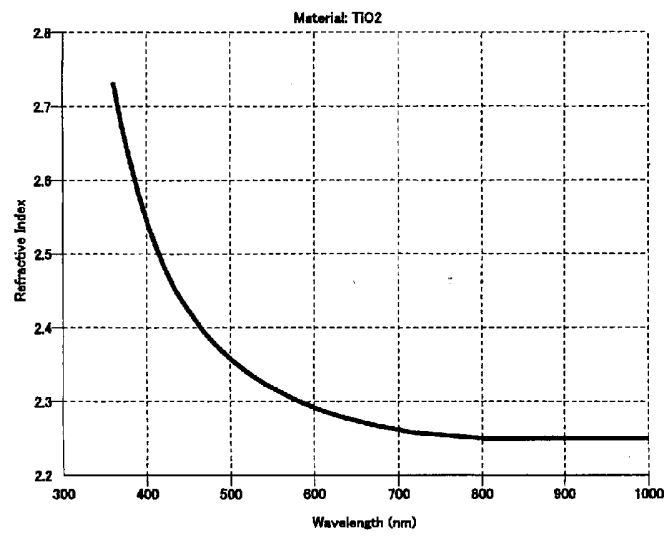
[図47]



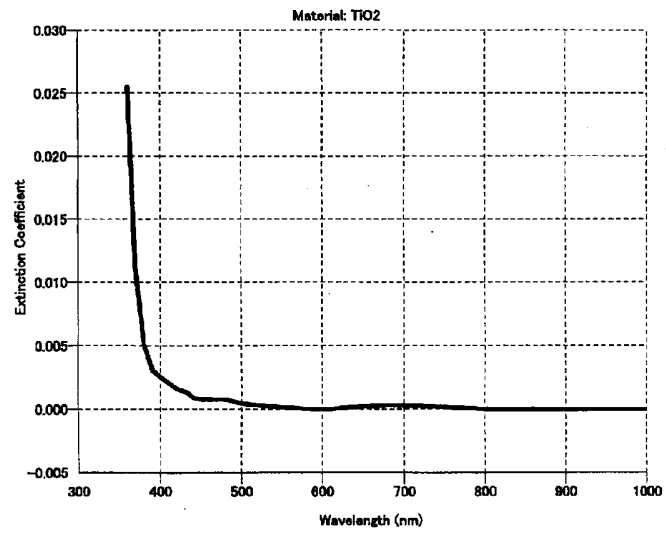
[図48]



[図49]



[図50]

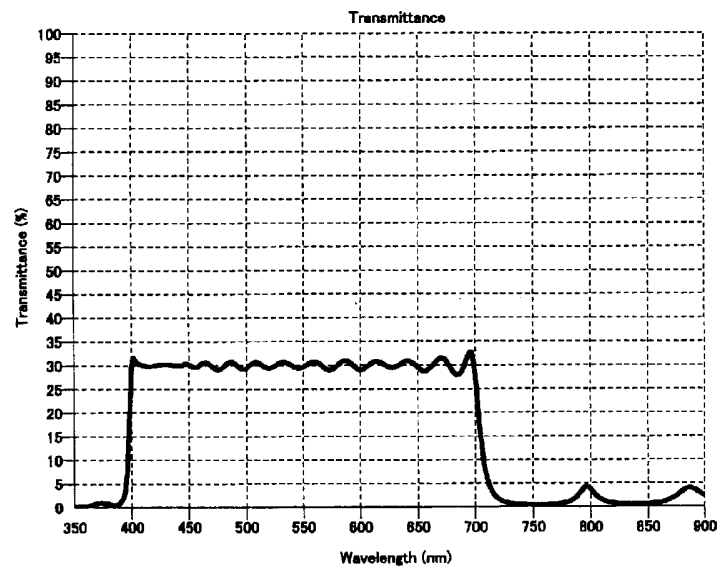


[図51]

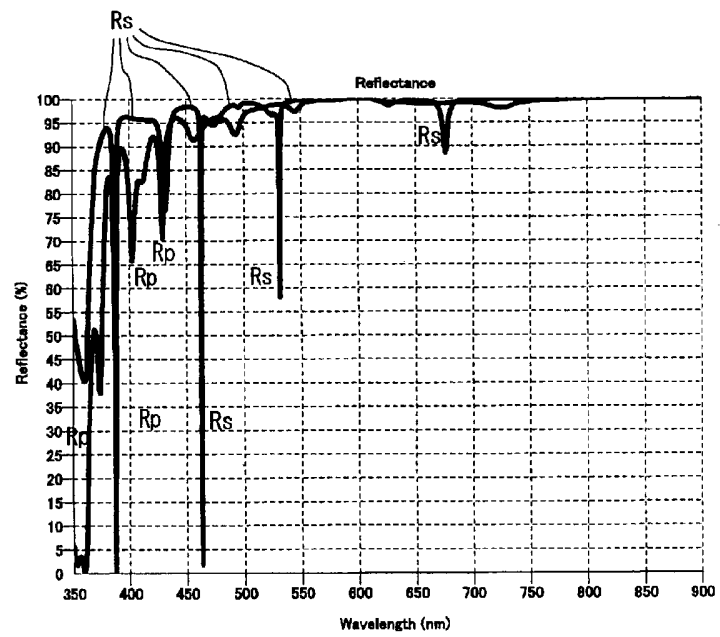
 $\lambda_c=800\text{nm}$

層番号	屈折率	膜厚(nd/ λ_c)
媒質	1	
1	TiO ₂	0.0079
2	1.46	0.0973
3	TiO ₂	0.2442
4	1.46	0.2620
5	TiO ₂	0.2613
6	1.46	0.2341
7	TiO ₂	0.0313
8	1.46	0.0040
9	TiO ₂	0.2515
10	1.46	0.2425
11	TiO ₂	0.2605
12	1.46	0.2300
13	TiO ₂	0.3348
14	1.46	0.1931
15	TiO ₂	0.2874
16	1.46	0.2138
17	TiO ₂	0.2754
18	1.46	0.2451
19	TiO ₂	0.1440
20	1.46	0.2012
21	TiO ₂	0.1559
22	1.46	0.1700
23	TiO ₂	0.2375
24	1.46	0.0863
25	TiO ₂	0.0630
26	1.46	0.1438
27	TiO ₂	0.0977
28	1.46	0.0633
29	TiO ₂	0.1113
30	1.46	0.1068
31	TiO ₂	0.0801
32	1.46	0.1024
33	TiO ₂	0.0994
34	1.46	0.6122
35	TiO ₂	0.3288
36	1.46	0.2878
37	TiO ₂	0.0427
38	1.46	0.0143
39	TiO ₂	0.1756
40	1.46	0.0442
41	TiO ₂	0.0143
42	1.46	0.0188
43	TiO ₂	0.0358
44	1.46	0.1035
45	TiO ₂	0.0041
46	1.46	0.0631
47	TiO ₂	0.0145
48	1.46	0.6557
基板	1.583	

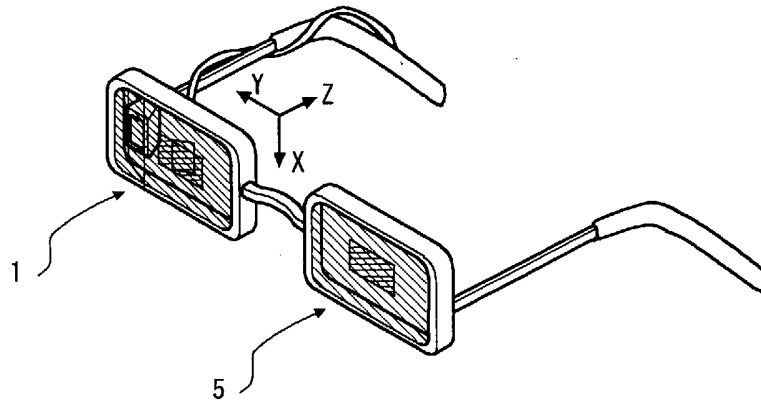
[図52]



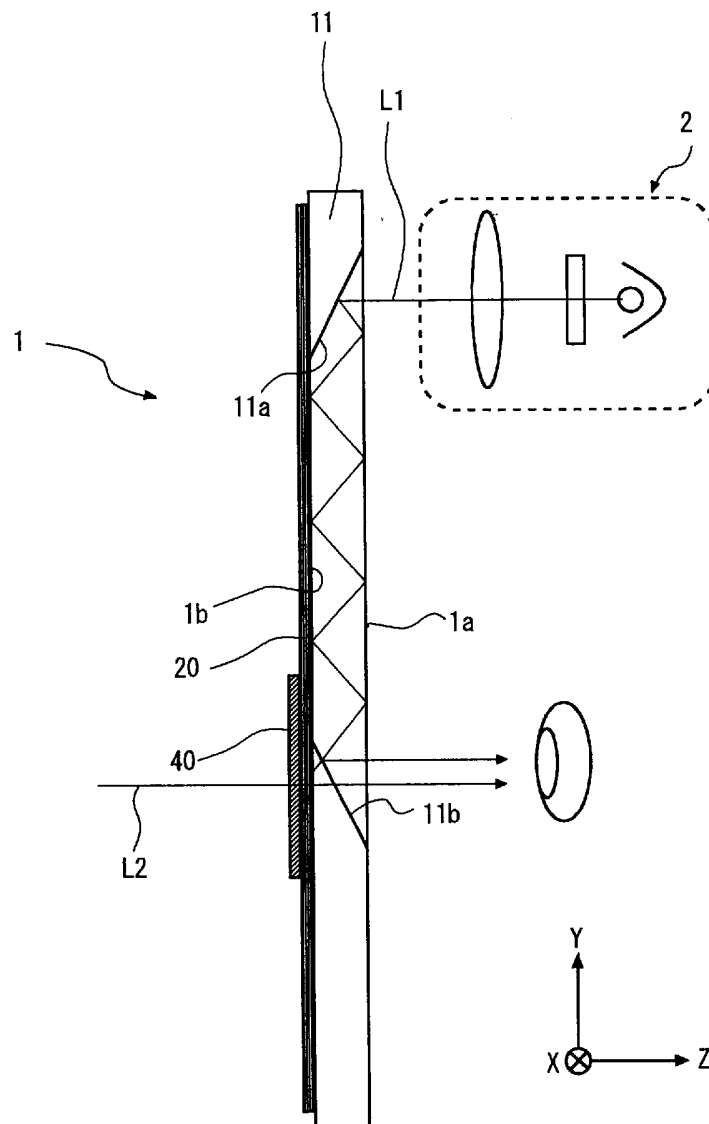
[図53]



[図54]



[図55]



[図56]

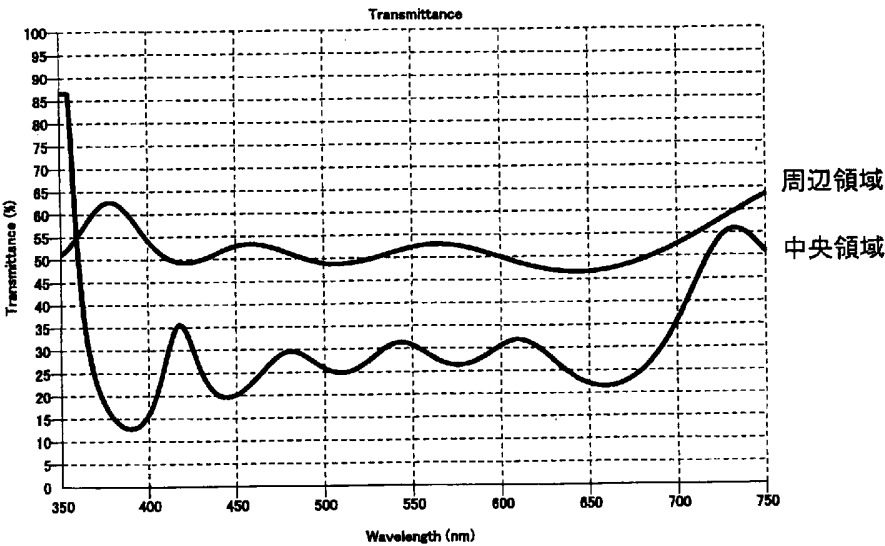
 $\lambda_c=800\text{nm}$

層番号	屈折率	膜厚 (nd/ λ_c)		
媒質	1			
1	2.30	0.1097		
2	1.46	0.0988		
3	2.30	0.3028		
4	1.46	0.3052		
5	2.30	0.0836		
6	1.46	0.0003		
7	2.30	0.0870		
8	1.46	0.0618		
9	2.30	0.2811		
10	1.46	0.2928		
11	2.30	0.2888		
12	1.46	0.1273		
13	2.30	0.1130		
14	1.46	0.2861		
15	2.30	0.2756		
16	1.46	0.0372	媒質	基板からの層数
17	2.30	0.1238		11
18	1.46	0.1314		10
19	2.30	0.2818		9
20	1.46	0.2564		8
21	2.30	0.3027		7
22	1.46	0.3368		6
23	2.30	0.4573		5
24	1.46	0.0129		4
25	2.30	0.3967		3
26	1.46	0.0567		2
27	2.30	0.0415		1
基板	1.583			

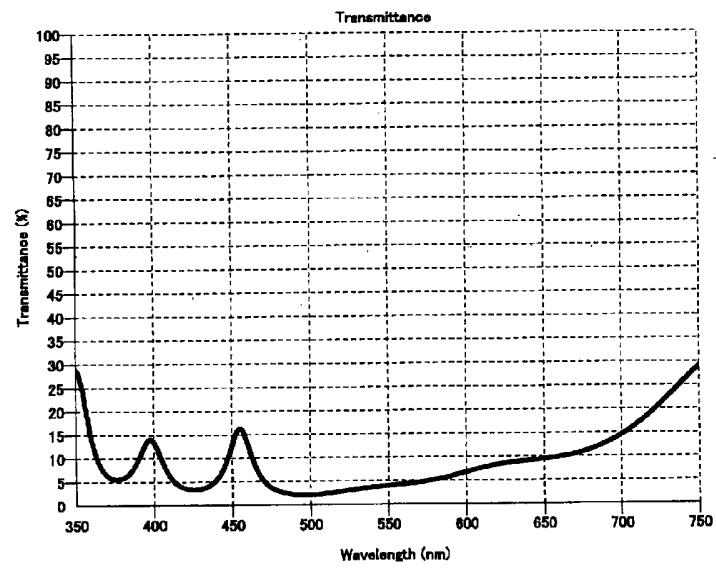
中央領域の減光膜透過率 25 %

周辺領域の減光膜透過率 50 %

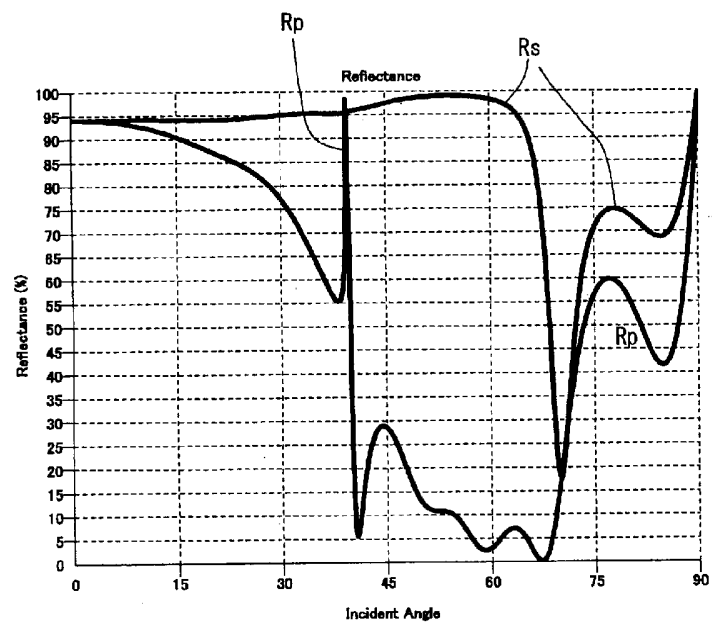
[図57]



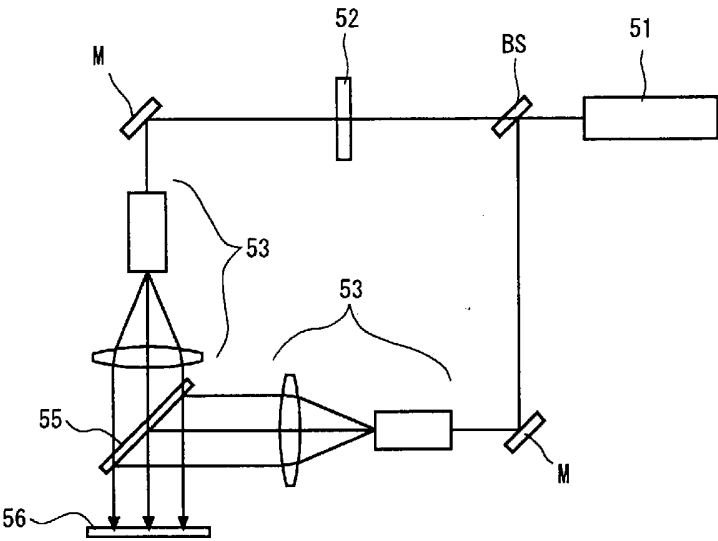
[図58]



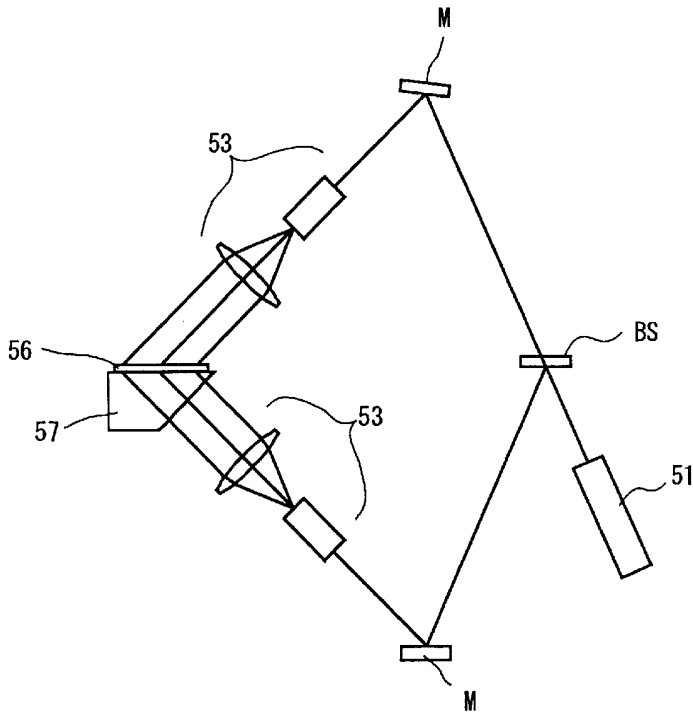
[図59]



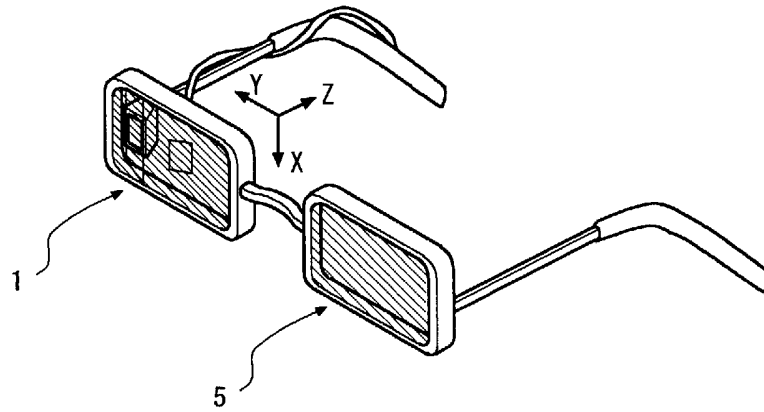
[図60]



[図61]



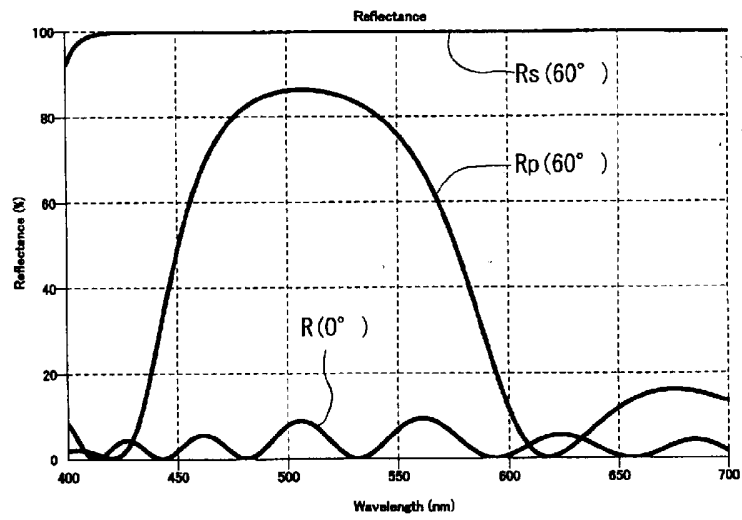
[図62]



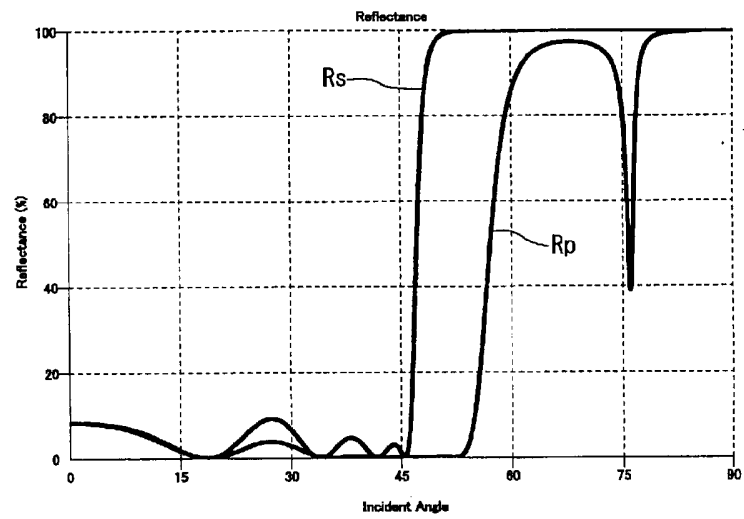
[図64]

消衰係数k2	基板透過率(%)
0.000000	92.141695
0.000001	90.053577
0.000002	88.013074
0.000005	82.166342
0.000010	73.276057
0.000020	58.286227
0.000050	29.353958
0.000070	18.585224
0.000100	9.364052
0.001000	0.000000
0.010000	0.000000

[図65]



[図66]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/007038

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B5/00, 5/32, 27/02

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)

Int.Cl⁷ G02B5/00, 5/32, 27/02

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	1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2005	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2005

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.
Y A	JP 2002-162598 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 07 June, 2002 (07.06.02), Full text; all drawings (Family: none)	1, 3-5, 19-21 2, 6-18
Y A	JP 10-319240 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 04 December, 1998 (04.12.98), Full text; all drawings (Family: none)	1, 3-5, 19-21 2, 6-18
Y A	JP 2002-296536 A (Nikon Corp.), 09 October, 2002 (09.10.02), Full text; all drawings (Family: none)	1, 3-5, 19-21 2, 6-18

☒ 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
03 August, 2005 (03.08.05)Date of mailing of the international search report
23 August, 2005 (23.08.05)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/007038

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	US 2002/0167463 A1 (Kazutaka INOUCHI), 14 November, 2002 (14.11.02), Full text; all drawings & JP 2002-228970 A	19 1-18, 20, 21
Y A	US 2004/0032666 A1 (Tomoyuki BABA), 19 February, 2004 (19.02.04), Full text; all drawings & JP 2004-77825 A	19 1-18, 20, 21
Y A	WO 01/95027 A2 (LUMUS LTD.), 13 December, 2001 (13.12.01), Full text; all drawings & JP 2003-536102 A	19 1-18, 20, 21
A	US 2001/0033401 A1 (MINOLTA CO., LTD.), 25 October, 2001 (25.10.01), Full text; all drawings & JP 2001-264682 A	1-21
A	EP 0772103 A2 (Denso Corp.), 07 May, 1997 (07.05.97), Full text; all drawings & JP 9-197554 A	1-21

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B5/00, 5/32, 27/02

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.⁷ G02B5/00, 5/32, 27/02

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	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005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 請求の範囲の番号
Y	JP 2002-162598 A (オリンパス光学工業株式会社)	1, 3-5, 19-21
A	2002. 06. 07, 全文、全図 ファミリーなし	2, 6-18
Y	JP 10-319240 A (富士ゼロックス株式会社)	1, 3-5, 19-21
A	1998. 12. 04, 全文、全図 ファミリーなし	2, 6-18

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ 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、一般的技术水準を示すもの
「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

の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

03. 08. 2005

国際調査報告の発送日

23. 8. 2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

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)

森口 良子

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

2V

9125

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 請求の範囲の番号
Y	J P 2002-296536 A (株式会社ニコン) 2002. 10. 09, 全文、全図 ファミリーなし	1, 3-5, 19-21
A		2, 6-18
Y	US 2002/0167463 A1 (Kazutaka Inoguchi) 2002. 11. 14, 全文、全図	19
A	& J P 2002-228970 A	1-18, 20, 21
Y	US 2004/0032666 A1 (Tomoyuki Baba) 2004. 02. 19, 全文、全図	19
A	& J P 2004-77825 A	1-18, 20, 21
Y	WO 01/95027 A2 (LUMUS LTD) 2001. 12. 13, 全文、全図	19
A	& J P 2003-536102 A	1-18, 20, 21
A	US 2001/0033401 A1 (MINOLTA CO., LTD) 2001. 10. 25, 全文、全図 & J P 2001-264682 A	1-21
A	EP 0772103 A2 (Denso Corporation) 1997. 05. 07, 全文、全図 & J P 9-197554 A	1-21