

(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
2019年6月6日(06.06.2019)



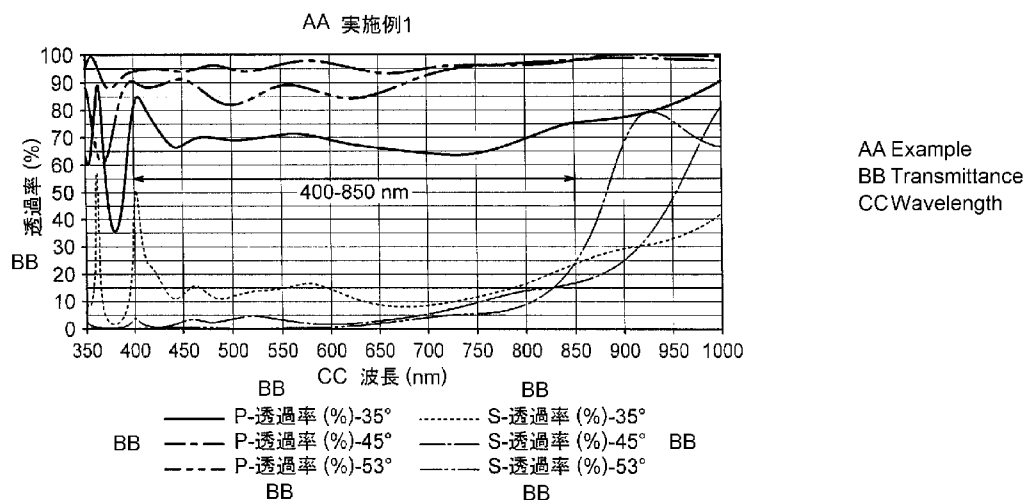
(10) 国際公開番号

WO 2019/106970 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 5/30 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/037919
- (22) 国際出願日: 2018年10月11日(11.10.2018)
- (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 2017-229612 2017年11月29日(29.11.2017) JP
- (71) 出願人: オリンパス株式会社 (**OLYMPUS CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 豊原 延好 (**TOYOHARA Nobuyoshi**); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).
小川 晃一 (**OGAWA Koichi**); 〒1928507 東京都八王子市石川町2951番地 オリンパス株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 斎藤 圭介 (**SAITO Keisuke**); 〒1010051 東京都千代田区神田神保町1-4-3 駿河台下MKビル6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, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,

(54) **Title:** POLARIZATION SEPARATION ELEMENT, POLARIZATION SEPARATION ELEMENT DESIGN METHOD, OPTICAL SYSTEM AND OPTICAL DEVICE

(54) 発明の名称: 偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器



(57) **Abstract:** The purpose of the present invention is to provide a polarization separation element, a polarization separation element design method, an optical system, and an optical instrument that do not require a structure birefringence layer and can handle a wide incident angle with a simple multilayer film (laminated film). Provided is a polarization separation element 101e formed between a pair of light-transmitting substrates, wherein the transmittance of P-polarized light and the transmittance of S polarization light thereof differ by B% or more in the entire wavelength interval from a wavelength A1 (nm) to a wavelength A2 (nm), where $A1 = \lambda \times 0.86$, $A2 = \lambda \times 1.7$ (where λ (nm) is a design wavelength), and $B (\%) = 22.5$. The polarization separation element 101e is a dielectric alternate laminate structure, and the dielectric alternate laminate structure has at least a broadband polarization separation film configuration, a first narrowband polarization separation film configuration, and a second narrowband polarization separation film configuration.

HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (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, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

(57) 要約: 構造複屈折層を必要とせず、単純な多層膜(積層膜)により幅広い入射角度に対応する偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器を提供すること。1対の透光性基板の間に形成され、波長 $A1$ (nm) から波長 $A2$ (nm) の波長区間全域において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が少なくともB%以上異なる偏波分離素子101eであって、ここで、設計波長 λ (nm) において、 $A1 = \lambda \times 0.86$ 、 $A2 = \lambda \times 1.7$ 、 $B(\%) = 22.5$ 、であり、偏波分離素子101eは、誘電体交互積層構造を有し、誘電体交互積層構造は、広帯域偏波分離膜構成と、第1の狭帯域偏波分離膜構成と、第2の狭帯域偏波分離膜構成と、を少なくとも有することを特徴とする。

明 細 書

発明の名称：

偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器

技術分野

[0001] 本発明は、偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器に関するものである。

背景技術

[0002] 従来、偏波分離素子は、誘電体多層膜を用いたものが知られている。そして、幅広い入射角度に対応し、誘電体多層膜を用いた構成は、例えば、特許文献1に提案されたものがある。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2010-152391号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、従来の構成では、構造複屈折層を格子方向が直交するように複数層積層する技術である。このため、複雑な積層技術が要求されるという問題点がある。

[0005] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、構造複屈折層を必要とせず、単純な多層膜（積層膜）により幅広い入射角度に対応する偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器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

[0006] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る偏波分離素子は、1対の透光性基板の間に形成され、波長 λ_1 （nm）から波長 λ_2 （nm）の波長区間全域において、P偏光の透

過率とS偏光の透過率が少なくともB%以上異なる偏波分離素子であって、
ここで、

設計波長 λ において、

$$A1 = \lambda \times 0.86、$$

$$A2 = \lambda \times 1.7、$$

$$B = 22.5、$$

であり、

偏波分離素子は、第1の屈折率を有する第1の誘電体と、第1の屈折率よりも低い第2の屈折率を有する第2の誘電体を交互に積層した誘電体交互積層構造を有し、

誘電体交互積層構造は、P偏光の透過率の透過率高低差と、S偏光の透過率の透過率高低差が、それぞれ少なくとも15%以内の分光特性である広帯域偏波分離膜構成を、少なくとも波長A1 (nm) から波長A2 (nm) の波長区間全域のうちの1/4の波長区間範囲において有し、

さらに、誘電体交互積層構造は、波長区間全域の波長範囲に含まれ、波長範囲よりも狭い第1の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が少なくとも30%以上異なる分光特性を、少なくとも波長A1 (nm) から波長A2 (nm) の波長区間全域のうちの1/8の波長区間範囲において有する第1の狭帯域偏波分離膜構成と、

さらに、誘電体交互積層構造は、波長区間全域の波長範囲に含まれ、波長範囲よりも狭く、第1の波長範囲とは重複しない第2の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が少なくとも30%以上異なる分光特性を、少なくとも波長A1 (nm) から波長A2 (nm) の波長区間全域のうちの1/8の波長区間範囲において有する第2の狭帯域偏波分離膜構成と、を少なくとも有することを特徴とする。

また、本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る偏波分離素子設計方法は、1対の透光性基板の間に構成される、所定の波長範囲でP偏光とS偏光を分離する偏波分離素子を設計する方法であり、

所定の波長範囲に含まれる第1の波長範囲でP偏光の透過率とS偏光の透過率が所定値以上異なる分光特性を有する広帯域偏波分離膜構成を設計する広帯域偏波分離膜構成設計工程と、

第1の波長範囲に含まれ、第1の波長範囲よりも狭い第2の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が所定値以上異なる分光特性を有する第1の狭帯域偏波分離膜構成を設計する第1の狭帯域偏波分離膜構成設計工程と、

第1の波長範囲に含まれ、第1の波長範囲よりも狭く、第2の波長範囲とは重複しない、第3の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が所定値以上異なる分光特性を有する第2の狭帯域偏波分離膜構成を設計する第2の狭帯域偏波分離膜構成設計工程と、を少なくとも有することを特徴とする。

また、本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る光学系は、上述の偏波分離素子を有することを特徴とする。

また、本発明の少なくとも幾つかの実施形態に係る光学機器は、上述の光学系を有することを特徴とする。

発明の効果

[0007] 本発明は、構造複雑屈折層を必要とせず、単純な多層膜（積層膜）により幅広い入射角度に対応する偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器を提供するという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0008] [図1]実施例1に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図2]実施例1に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図3]実施例1に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図4]実施例1に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である。

[図5]実施例1に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図6]実施例1に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である。

[図7]実施例2に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図8]実施例2に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図9]実施例2に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図10]実施例2に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である

。

[図11]実施例2に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図12]実施例2に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図13]実施例3に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図14]実施例3に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図15]実施例3に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図16]実施例3に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である

。

[図17]実施例3に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図18]実施例3に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図19]実施例4に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図20]実施例4に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図21]実施例4に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図22]実施例4に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である

。

[図23]実施例4に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図24]実施例4に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図25]実施例5に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図26]実施例5に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図27]実施例5に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図28]実施例5に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である

。

[図29]実施例 5 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図30]実施例 5 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図31]実施例 6 に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図32]実施例 6 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図33]実施例 6 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図34]実施例 6 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である

。

[図35]実施例 6 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図36]実施例 6 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図37]実施例 7 に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図38]実施例 7 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図39]実施例 7 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図40]実施例 7 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である

。

[図41]実施例 7 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図42]実施例 7 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図43]実施例 7 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図44]実施例 8 に係る偏波分離素子の層構成を示す図である。

[図45]実施例 8 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

[図46]実施例 8 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す別の図である。

[図47]実施例 8 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに別の図である

。

[図48]実施例 8 に係る偏波分離素子の透過率特性を示す他の図である。

[図49]実施例 8 に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図50]実施例8に係る偏波分離素子の透過率特性を示すさらに他の図である

。

[図51]各実施例の透光性基板側4層の平均屈折率を示す図である。

[図52]各実施例に係る偏波分離素子を有するプリズム素子の構成を示す図である。

[図53]実施例9に係る光学系の構成を示す図である。

[図54]実施例10に係る光学機器の構成を示す図である。

[図55]実施例10に係る光学機器の構成を示す別の図である。

発明を実施するための形態

[0009] 以下に、実施形態に係る偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態により、この発明が限定されるものではない。

[0010] 実施形態に係る偏波分離素子について説明する。偏波分離素子は、1対の透光性基板の間に、第1の屈折率を有する第1の誘電体と、第1の屈折率よりも低い第2の屈折率を有する第2の誘電体を交互に積層した誘電体交互積層構造を有する。

[0011] そして、偏波分離素子は、1対の透光性基板の間に形成され、波長 A_1 (nm) から波長 A_2 (nm) の波長区間全域において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が少なくともB%以上異なる。

ここで、

設計波長 λ (nm) において、

$$A_1 = \lambda \times 0.86、$$

$$A_2 = \lambda \times 1.7、$$

$$B = 22.5、$$

である。

[0012] 誘電体交互積層構造は、P偏光の透過率の透過率高低差と、S偏光の透過率の透過率高低差が、それぞれ少なくとも15%以内の分光特性である広帯

域偏波分離膜構成を、少なくとも波長A1（nm）から波長A2（nm）の波長区間全域のうちの1／4の波長区間範囲において有している。

[0013] さらに、誘電体交互積層構造は、波長区間全域の波長範囲に含まれ、波長範囲よりも狭い第1の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が少なくとも30%以上異なる分光特性を、少なくとも波長A1（nm）から波長A2（nm）の波長区間全域のうちの1／8の波長区間範囲において有する第1の狭帯域偏波分離膜構成を有する。

[0014] さらに、誘電体交互積層構造は、波長区間全域の波長範囲に含まれ、波長範囲よりも狭く、第1の波長範囲とは重複しない第2の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が少なくとも30%以上異なる分光特性を、少なくとも波長A1（nm）から波長A2（nm）の波長区間全域のうちの1／8の波長区間範囲において有する第2の狭帯域偏波分離膜構成と、を少なくとも有する。

[0015] 上述の膜構成により、構造複屈折層を必要とせず、単純な多層膜（積層膜）により幅広い入射角度に対応し、リップルの少ない偏光分離素子を得ることができる。

[0016] 以下、式（1）及び以下すべての説明において、符号「H」は、第1の誘電体の膜厚（高屈折率材料層）、「L」は、第2の誘電体の膜厚（低屈折率材料層）であることを示す。

[0017] 偏波分離素子において、広帯域偏波分離膜構成は、第1の広帯域偏波分離膜構成と第2の広帯域偏波分離膜構成の2つ以下であり、透光性基板より順に、第1の誘電体、第2の誘電体、第1の誘電体、第2の誘電体の構成をしており、第1の誘電体の膜厚Hと第2の誘電体の膜厚Lは、以下の式（1）を満足することが望ましい。

$$\begin{aligned} H & (0.24 \pm a1) \times d \\ L & (0.8 \pm a2) \times e \\ H & (0.45 \pm a3) \times f \\ L & (3.3 \pm a4) \times g \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

係数 $a_1 = 0.15$ 、

係数 $a_2 = 0.2$ 、

係数 $a_3 = 0.2$ 、

係数 $a_4 = 0.6$ 、

係数 d は、第 1 の広帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の広帯域偏波分離膜構成 = $1.2 \sim 1.5$ 、

係数 e は、第 1 の広帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の広帯域偏波分離膜構成 = $0.9 \sim 1.2$ 、

係数 f は、第 1 の広帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の広帯域偏波分離膜構成 = $0.4 \sim 0.8$ 、

係数 g は、第 1 の広帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の広帯域偏波分離膜構成 = $0.6 \sim 0.95$ である。

また、第 2 の広帯域偏波分離膜構成以降の広帯域偏波分離膜構成において、 $d = e = f = g$ とはならない。

[0018] 光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT) として表している。

[0019] また、本実施形態の好ましい態様によれば、
第 1 の狭帯域偏波分離膜構成と第 2 の狭帯域偏波分離膜構成は、それぞれ、

透光性基板側から順に、

第 1 の誘電体と、

第 2 の誘電体と、

第 1 の誘電体と、

第 2 の誘電体と、

第 1 の誘電体と、

または、

透光性基板側から順に、

第2の誘電体と、

第1の誘電体と、

第2の誘電体と、

第1の誘電体と、

第2の誘電体と、

が積層されている構成を有している。

第1の誘電体の膜厚Hと第2の誘電体の膜厚Lは、以下の式(2-1)又は(2-2)を満足することが望ましい。

$$\begin{aligned} H &= (1.975 \pm b_1) \times h, \\ L &= (1.975 \pm b_2) \times i, \\ H &= (1.825 \pm b_3) \times j, \\ L &= (1.675 \pm b_4) \times k, \\ H &= (1.675 \pm b_5) \times l \quad (2-1), \end{aligned}$$

ここで、

係数 $b_1 = 0.4$ 、

係数 $b_2 = 0.4$ 、

係数 $b_3 = 0.3$ 、

係数 $b_4 = 0.3$ 、

係数 $b_5 = 0.3$ 、

及び、

$$\begin{aligned} L &= (1.975 \pm b_1) \times h, \\ H &= (1.975 \pm b_2) \times i, \\ L &= (1.825 \pm b_3) \times j, \\ H &= (1.675 \pm b_4) \times k, \\ L &= (1.675 \pm b_5) \times l \quad (2-2), \end{aligned}$$

ここで、

係数 $b_1 = 0.4$ 、

係数 $b_2 = 0.4$ 、

係数 $b_3 = 0.3$ 、

係数 $b_4 = 0.3$ 、

係数 $b_5 = 0.3$ 、

のいずれか一方である。

[0020] 係数 h は、第 1 の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.37 ± 0.05 、

係数 i は、第 1 の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.46 ± 0.11 、

係数 j は、第 1 の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.46 ± 0.2 、

係数 k は、第 1 の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.42 ± 0.16 、

係数 l は、第 1 の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、第 2 の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.28 ± 0.1 、である。

[0021] 上述したように、計算値は光学膜厚 (QWOT) である。

第 2 の広帯域偏波分離膜構成以降の狭帯域偏波分離膜構成において、 $h = i = j = k = l$ とはならない。

[0022] また、本実施形態の好ましい態様によれば、第 1 の狭帯域偏波分離膜構成と、第 2 の狭帯域偏波分離膜構成と、は異なる第 3 の狭帯域偏波分離膜構成を有することが望ましい。

[0023] また、本実施形態の好ましい態様によれば、誘電体交互積層構造の両端に配置された 1 対の透光性基板に接する偏波分離膜構成のうち、それぞれ透光性基板側から 4 層の平均屈折率が、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることが望ましい。

[0024] また、本実施形態の好ましい態様によれば、広帯域偏波分離膜構成は、使用する入射角度範囲の最大値において、P 偏光の透過率 T_p と S 偏光の透過率 T_s の差が 10% 以上である波長範囲を、少なくとも波長 A_1 (nm) から波長 A_2 (nm) の波長区間全域のうちの $1/2$ の波長区間範囲で有し、

さらに使用する入射角度範囲において、少なくとも波長 A_1 (nm) から波長 A_2 (nm) の波長区間全域のうちの $1/4$ の波長区間範囲内において、P 偏光の透過率高低差 T_{Tp} と S 偏光の透過率高低差 T_{Ts} がそれぞれ 15% 以内である分光特性を有し、

少なくとも何れかの狭帯域偏波分離膜構成が、使用する入射角度範囲において、P 偏光の透過率 T_p と S 偏光の透過率 T_s が以下の関係を満足する。

P 偏光の透過率 $T_p > S$ 偏光の透過率 T_s

[0025] かつ、P 偏光の透過率 T_p と S 偏光の透過率 T_s の差が 30% 以上となる分光特性を示す波長範囲として、少なくとも波長 A_1 (nm) から波長 A_2 (nm) の波長区間全域のうちの $1/8$ の波長区間範囲において有することが望ましい。

[0026] また、本実施形態の好ましい態様によれば、透光性基板と接する層、広帯域偏波分離膜構成と何れかの狭帯域偏波分離膜構成の間の層、少なくとも第 1 の狭帯域偏波分離膜構成と第 2 の狭帯域偏波分離膜構成同士の間層に関して、マッチングを取ることが望ましい。

ここで、マッチングの際、上述した比率及び計算方法による値とは異なる他の値の膜厚を用いることもできる。

[0027] また、本実施形態の好ましい態様によれば、透光性基板は、無アルカリガラス、ホウケイ酸ガラス、石英ガラス、水晶、BK7 (商品名)、Tempax (商品名) 等の光学ガラス、結晶材料、半導体基板、合成樹脂から選択することが望ましい。

[0028] また、本実施形態の好ましい態様によれば、第 1 の誘電体の材料 (高屈折率材料) と第 2 の誘電体の材料 (低屈折率材料) は、 TiO 、 TiO_2 、 Y_2O_3 、 Ta_2O_5 、 ZrO 、 ZrO_2 、 Si 、 SiO_2 、 HfO_2 、 Ge 、 Nb_2O_5 、 Nb_2O_6 、 CeO_2 、 Cef_3 、 ZnS 、 ZnO 、 Fe_2O_3 、 MgF_2 、 AlF_3 、 CaF_2 、 LiF 、 Na_3AlF_6 、 $Na_5Al_3F_{14}$ 、 Al_2O_3 、 MgO 、 LaF 、 PbF_2 、 NdF_3 、又はこれらの混合材料の中から、少なくとも 2 種類以上を選択することが望ましい。

[0029] また、本実施形態の好ましい態様によれば、第1の誘電体の材料（高屈折率材料）と第2の誘電体の材料（低屈折率材料）との、2種類以上の誘電体が積層する方法は、真空蒸着やスパッタリング、イオンプレーティングの物理膜厚気相成長法、抵抗加熱蒸着、電子ビーム加熱蒸着、高周波加熱蒸着、レーザービーム加熱蒸着、イオン化スパッタ、イオンビームスパッタ、プラズマスパッタ、イオンアシスト、ラジカルアシストスパッタの何れかを採用することが望ましい。

[0030] また、本実施形態の好ましい態様によれば、1対の透光性基板の間に、高屈折率材料と低屈折率材料を含め、2種類以上の誘電体が積層する誘電体交互積層構造（偏光分離膜構成）を有し、偏波分離素子は、最大で35～60度の入射角度で偏波分離特性を示すことが望ましい。

[0031] また、本実施形態の好ましい態様によれば、1対の透光性基板の間に、第1の誘電体の材料と第2の誘電体の材料を含む2種類以上の誘電体が積層する誘電体交互積層構造（偏光分離膜構成）を有し、1対の透光性基板のどちらか一方の面と誘電体交互積層構成の間に、接着剤を含む接着層を有することが望ましい。

[0032] 実施形態に係る偏波分離素子を設計する方法によれば、1対の透光性基板の間に構成される、所定の波長範囲でP偏光とS偏光を分離する偏波分離素子を設計する方法であり、

所定の波長範囲に含まれる第1の波長範囲でP偏光の透過率とS偏光の透過率が所定値以上異なる分光特性を有する広帯域偏波分離膜構成を設計する広帯域偏波分離膜構成設計工程と、

第1の波長範囲に含まれ、第1の波長範囲よりも狭い第2の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が所定値以上異なる分光特性を有する第1の狭帯域偏波分離膜構成を設計する第1の狭帯域偏波分離膜構成設計工程と、

第1の波長範囲に含まれ、第1の波長範囲よりも狭く、第2の波長範囲とは重複しない、第3の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率

が所定値以上異なる分光特性を有する第2の狭帯域偏波分離膜構成を設計する第2の狭帯域偏波分離膜構成設計工程と、を少なくとも有することを特徴とする。

[0033] また、本実施形態に係る光学系は、上述の偏波分離素子を有することを特徴とする。

[0034] また、本実施形態に係る光学機器は、上述の光学系を有することを特徴とする。

[0035] 本実施形態に係る偏波分離素子は、内視鏡用の対物光学系に用いることが好ましい。これに限られず、例えば、顕微鏡用の対物レンズ、カメラ、眼鏡、望遠鏡等のレンズ、プリズム、フィルタにも適用することが出来る。本実施形態に係る光学機器は、例えば、これらの光学機器であり、本実施形態に係る光学系は、例えば、これらの光学機器が有する光学系である。

[0036] ここで、上記各式を正確に満足する必要はなく、偏波分離素子に要求される性能と製造誤差を鑑み、本発明の実施者は適宜許容誤差を設定できるのは言うまでも無い。例えば、発明者の試算によれば、5%の誤差でも実用可能であり、3%の誤差なら良好な特性が得られた。しかしながら、特に精密性を要求される場合には、1%以内の誤差が好ましい。

[0037] (実施例1)

図1は、実施例1に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT)として表している。本実施例の偏波分離素子は、図1に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としての SiO_2 (屈折率 $n_L = 1.47$)と、高屈折率物質としての Ta_2O_5 (屈折率 $n_H = 2.24$)と、を交互に積層して成る多層膜を有し、交互に積層させた19層の偏波分離膜構成である。

[0038] 高屈折率物質としての Ta_2O_5 は、図1に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17及び第19層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層及び第18層に配置され

ている。

[0039] 図2は、実施例1に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図3は、実施例1に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図4は、実施例1に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図5は、実施例1に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(2)の透過率特性を示す図である。

図6は、実施例1に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(3)の透過率特性を示す図である。以下、全ての透過率特性の図は、横軸に波長(nm)、縦軸に透過率(%)を示す。

[0040] 実施例1では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長400nm～850nmの1/2の波長範囲、即ち波長225nm以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長400nm～850nmの1/4の波長範囲、即ち波長112.5nm以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0041] また、2つの狭帯域偏波分離構成(1)、狭帯域偏波分離構成(2)は、波長400nm～850nmの1/8の波長範囲、即ち56.25nmにより、第1の狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0042] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長400nm～850nmの1/8の波長範囲、すなわち52nm以上(56.25nm)を達成している。

[0043] さらに19層の多層膜が組み合わさった構成で、図1の入射角 $35^\circ \sim 53^\circ$ の分光特性を示す。このように、波長400nm～850nmの波長範囲で $35^\circ \sim 53^\circ$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0044] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0045] また、透光性基板の材質として、例えば無アルカリガラスやホウケイ酸ガラス、石英ガラス、水晶、BK7（商品名）、Tempax（商品名）等の光学ガラス、その他にサファイア等の結晶材料、半導体基板、合成樹脂などを使用できる。

[0046] さらに、第1の誘電体（高屈折率層）の材料Hと第2の誘電体（低屈折率層）の材料Lは、例えばTiO、TiO₂、Y₂O₃、Ta₂O₅、ZrO、ZrO₂、Si、SiO₂、HfO₂、Ge、Nb₂O₅、Nb₂O₆、CeO₂、CeF₃、ZnS、ZnO、Fe₂O₃、MgF₂、AlF₃、CaF₂、LiF、Na₃AlF₆、Na₅Al₃F₁₄、Al₂O₃、MgO、LaF、PbF₂、NdF₃、又はこれらの混合材料の中から、少なくとも2種類以上を選択した材料を使用できる。

[0047] また、第1の誘電体の材料と第2の誘電体の材料との、2種類以上の誘電体が積層する方法は、真空蒸着やスパッタリング、イオンプレーティングの物理膜厚気相成長法、抵抗加熱蒸着、電子ビーム加熱蒸着、高周波加熱蒸着、レーザービーム加熱蒸着、イオン化スパッタ、イオンビームスパッタ、プラズマスパッタ、イオンアシスト、ラジカルアシストスパッタの何れかを採用することが望ましい。

[0048] （実施例2）

次に、実施例2について説明する。上述の実施例1と重複する部分は、説明を省略する。

[0049] 図7は、実施例2に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ （QWOT）として表している。本実施例の偏波分離素子は、図7に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としてのSiO₂（屈折率 $n_L = 1.47$ ）と、高屈折率物質としてのTa₂O₅（屈折率 $n_H = 2.24$ ）と、を交互に積層して成る多層膜を有

し、交互に積層させた19層の偏波分離膜構成である。

[0050] 高屈折率物質としての Ta_2O_5 は、図7に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17及び第19層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層及び第18層に配置されている。

[0051] 図8は、実施例2に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図9は、実施例2に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図10は、実施例2に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図11は、実施例2に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(2)の透過率特性を示す図である。

図12は、実施例2に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(3)の透過率特性を示す図である。

[0052] 実施例2では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長 $400\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/2$ の波長範囲、即ち波長 225nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長 $400\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/4$ の波長範囲、即ち波長 112.5nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0053] また、2つの狭帯域偏波分離構成(1)、狭帯域偏波分離構成(2)は、波長 $400\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/8$ の波長範囲、即ち 56.25nm により、第1の狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0054] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長 $400\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/8$ の波長範囲、すなわち 52nm 以上(56.

25 nm) を達成している。

[0055] さらに19層の多層膜が組み合わさった構成で、図8の入射角 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の分光特性を示す。このように、波長400 nm $\sim$ 850 nmの波長範囲で $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0056] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0057] (実施例3)

次に、実施例3について説明する。上述の各実施例と重複する部分は、説明を省略する。

[0058] 図13は、実施例3に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT) として表している。本実施例の偏波分離素子は、図13に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としての SiO_2 (屈折率 $n_L = 1.47$) と、高屈折率物質としての Ta_2O_5 (屈折率 $n_H = 2.24$) と、を交互に積層して成る多層膜を有し、交互に積層させた19層の偏波分離膜構成である。

[0059] 高屈折率物質としての Ta_2O_5 は、図13に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17及び第19層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層及び第18層に配置されている。

[0060] 図14は、実施例3に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図15は、実施例3に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図16は、実施例3に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図17は、実施例3に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(2)の透過率特性を示す図である。

図18は、実施例3に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(3)の透過率特性を示す図である。

[0061] 実施例3では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長430nm～850nmの $1/2$ の波長範囲、即ち波長210nm以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長430nm～850nmの $1/4$ の波長範囲、即ち波長105nm以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0062] また、2つの狭帯域偏波分離構成(1)、狭帯域偏波分離構成(2)は、波長430nm～850nmの $1/8$ の波長範囲、即ち52.5nmにより、第1の狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0063] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長430nm～850nmの $1/8$ の波長範囲、すなわち52nm以上(52.5nm)を達成している。

[0064] さらに19層の多層膜組み合わせた構成で、図14の入射角 $35^\circ \sim 60^\circ$ の分光特性を示す。このように、波長430nm～850nmの波長範囲で $35^\circ \sim 60^\circ$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0065] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0066] (実施例4)

次に、実施例4について説明する。上述の各実施例と重複する部分は、説明を省略する。

[0067] 図19は、実施例4に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT)として表している。本実施例の偏波分離素子は、図19に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としての SiO_2 (屈折率 $n_L = 1.47$)と、高屈折率物質と

しての Ta_2O_5 （屈折率 $n_H = 2.24$ ）と、を交互に積層して成る多層膜を有し、交互に積層させた19層の偏波分離膜構成である。

[0068] 高屈折率物質としての Ta_2O_5 は、図19に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17及び第19層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層及び第18層に配置されている。

[0069] 図20は、実施例4に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図21は、実施例4に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成（1）の透過率特性を示す図である。

図22は、実施例4に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（1）の透過率特性を示す図である。

図23は、実施例4に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（2）の透過率特性を示す図である。

図24は、実施例4に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（3）の透過率特性を示す図である。

[0070] 実施例4では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長 $430\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/2$ の波長範囲、即ち波長 210nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長 $430\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/4$ の波長範囲、即ち波長 105nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0071] また、2つの狭帯域偏波分離構成（1）、狭帯域偏波分離構成（2）は、波長 $430\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/8$ の波長範囲、即ち 52.5nm により、第1の狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0072] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長 $430\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/8$ の波長範囲、すなわち 52nm 以上（ $52.$

5 nm) を達成している。

[0073] さらに19層の多層膜組み合わせた構成で、図20の入射角 $35^{\circ} \sim 55^{\circ}$ の分光特性を示す。このように、波長430 nm $\sim$ 850 nmの波長範囲で $35^{\circ} \sim 55^{\circ}$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0074] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0075] (実施例5)

次に、実施例5について説明する。上述の各実施例と重複する部分は、説明を省略する。

[0076] 図25は、実施例5に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT) として表している。本実施例の偏波分離素子は、図25に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としての SiO_2 (屈折率 $n_L = 1.47$) と、高屈折率物質としての Ta_2O_5 (屈折率 $n_H = 2.24$) と、を交互に積層して成る多層膜を有し、交互に積層させた19層の偏波分離膜構成である。

[0077] 高屈折率物質としての Ta_2O_5 は、図25に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17及び第19層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層及び第18層に配置されている。

[0078] 図26は、実施例5に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図27は、実施例5に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図28は、実施例5に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図29は、実施例5に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(2)の透過率特性を示す図である。

図30は、実施例5に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(3)の透過率特性を示す図である。

[0079] 実施例5では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長430nm～850nmの $1/2$ の波長範囲、即ち波長210nm以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長430nm～850nmの $1/4$ の波長範囲、即ち波長105nm以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0080] また、2つの狭帯域偏波分離構成(1)、狭帯域偏波分離構成(2)は、波長430nm～850nmの $1/8$ の波長範囲、即ち52.5nmにより、第1の狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0081] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長430nm～850nmの $1/8$ の波長範囲、すなわち52nm以上(52.5nm)を達成している。

[0082] さらに19層の多層膜組み合わせさせた構成で、図26の入射角 $35^\circ \sim 60^\circ$ の分光特性を示す。このように、波長430nm～850nmの波長範囲で $35^\circ \sim 60^\circ$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0083] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0084] (実施例6)

次に、実施例6について説明する。上述の各実施例と重複する部分は、説明を省略する。

[0085] 図31は、実施例6に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT)として表している。本実施例の偏波分離素子は、図31に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としての SiO_2 (屈折率 $n_L = 1.47$)と、高屈折率物質と

しての TiO_2 （屈折率 $n_H = 2.54$ ）と、を交互に積層して成る多層膜を有し、交互に積層させた19層の偏波分離膜構成である。

[0086] 高屈折率物質としての TiO_2 は、図31に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17及び第19層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層及び第18層に配置されている。

[0087] 図32は、実施例6に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図33は、実施例6に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成（1）の透過率特性を示す図である。

図34は、実施例6に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（1）の透過率特性を示す図である。

図35は、実施例6に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（2）の透過率特性を示す図である。

図36は、実施例6に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（3）の透過率特性を示す図である。

[0088] 実施例6では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長 $430\text{ nm} \sim 850\text{ nm}$ の $1/2$ の波長範囲、即ち波長 210 nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長 $430\text{ nm} \sim 850\text{ nm}$ の $1/4$ の波長範囲、即ち波長 105 nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0089] また、2つの狭帯域偏波分離構成（1）、狭帯域偏波分離構成（2）は、波長 $430\text{ nm} \sim 850\text{ nm}$ の $1/8$ の波長範囲、即ち 52.5 nm により、第1狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0090] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長 $430\text{ nm} \sim 850\text{ nm}$ の $1/8$ の波長範囲、すなわち 52 nm 以上（ $52.$

5 nm) を達成している。

[0091] さらに19層の多層膜組み合わせた構成で、図32の入射角 $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の分光特性を示す。このように、波長430nm $\sim$ 850nmの波長範囲で $35^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0092] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0093] (実施例7)

次に、実施例7について説明する。上述の各実施例と重複する部分は、説明を省略する。

[0094] 図37は、実施例7に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT) として表している。本実施例の偏波分離素子は、図37に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としての SiO_2 (屈折率 $n_L = 1.47$) と、高屈折率物質としての Ta_2O_5 (屈折率 $n_H = 2.24$) と、を交互に積層して成る多層膜を有し、交互に積層させた23層の偏波分離膜構成である。

[0095] 高屈折率物質としての Ta_2O_5 は、図37に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17、第19層、第21層及び第23層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層、第18層、第20層及び第22層に配置されている。

[0096] 図38は、実施例7に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図39は、実施例7に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図40は、実施例7に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(1)の透過率特性を示す図である。

図41は、実施例7に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(2)の透過率特性を示す図である。

図4 2は、実施例7に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成(3)の透過率特性を示す図である。

図4 3は、実施例7に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成(2)の透過率特性を示す図である。

[0097] 実施例7では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長430nm～850nmの $1/2$ の波長範囲、即ち波長210nm以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長430nm～850nmの $1/4$ の波長範囲、即ち波長105nm以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0098] また、2つの挟帯域偏波分離構成(1)、挟帯域偏波分離構成(2)は、波長430nm～850nmの $1/8$ の波長範囲、即ち52.5nmにより、第1の狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0099] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長430nm～850nmの $1/8$ の波長範囲、すなわち52nm以上(52.5nm)を達成している。

[0100] さらに23層の多層膜組み合わせさせた構成で、図38の入射角 $35^\circ \sim 60^\circ$ の分光特性を示す。このように、波長430nm～850nmの波長範囲で $35^\circ \sim 60^\circ$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0101] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0102] (実施例8)

次に、実施例8について説明する。上述の各実施例と重複する部分は、説明を省略する。

[0103] 図4 4は、実施例8に係る偏波分離素子の層構成を示す表である。光学膜厚は、参照波長を λ としたとき、 $\lambda/4 = 1.0$ (QWOT)として表して

いる。本実施例の偏波分離素子は、図44に示すように、透光性基板上に、低屈折率物質としての SiO_2 （屈折率 $n_L = 1.47$ ）と、高屈折率物質としての Ta_2O_5 （屈折率 $n_H = 2.24$ ）と、を交互に積層して成る多層膜を有し、交互に積層させた23層の偏波分離膜構成である。

[0104] 高屈折率物質としての Ta_2O_5 は、図44に示す上側の透光性基板側から順に、第1、第3、第5、第7、第9、第11、第13、第15層、第17、第19層、第21層及び第23層に配置されている。低屈折率物質としての SiO_2 は、第2、第4、第6、第8、第10、第12、第14、第16層、第18層、第20層及び第22層に配置されている。

[0105] 図45は、実施例8に係る偏波分離素子の透過率特性を示す図である。

図46は、実施例8に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成（1）の透過率特性を示す図である。

図47は、実施例8に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（1）の透過率特性を示す図である。

図48は、実施例8に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（2）の透過率特性を示す図である。

図49は、実施例8に係る偏波分離素子の狭帯域偏波分離構成（3）の透過率特性を示す図である。

図49は、実施例8に係る偏波分離素子の広帯域偏波分離構成（2）の透過率特性を示す図である。

[0106] 実施例8では、広帯域偏波分離構成の各構成は、

波長 $430\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/2$ の波長範囲、即ち波長 210nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上を達成し、

波長 $430\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/4$ の波長範囲、即ち波長 105nm 以上で、広帯域偏波分離構成は、透過率高低差が15%以内を達成している。

[0107] また、2つの狭帯域偏波分離構成（1）、狭帯域偏波分離構成（2）は、波長 $430\text{nm} \sim 850\text{nm}$ の $1/8$ の波長範囲、即ち 52.5nm により

、第1狭帯域偏光分離、第2の狭帯域偏光分離を達成している。

[0108] さらに、狭帯域偏光分離が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が $T_p > T_s$ 、かつ T_p と T_s の差が30%以上となる偏波分離特性を波長430nm～850nmの1/8の波長範囲、すなわち52nm以上（52.5nm）を達成している。

[0109] さらに23層の多層膜組み合わせた構成で、図45の入射角 $35^\circ \sim 60^\circ$ の分光特性を示す。このように、波長430nm～850nmの波長範囲で $35^\circ \sim 60^\circ$ の広角度で偏光分離特性が得られる。

[0110] また、1対の両側の透光性基板に接する多層膜構造のうち、それぞれ透光性基板側から4層の平均屈折率を図51に示す。本実施例では、透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることがわかる。

[0111] なお、実施例7、8では、広帯域偏波分離膜構成を2枚の透光性基板（第1基材と第2基材）それぞれに接する位置に構成されている。

[0112] 以下、表1は、実施例1～8における波長帯域幅を示す。

表2は、誘電体交互積層構造が、P偏光の透過率の透過率高低差 TT_p と、S偏光の透過率の透過率高低差 TT_s が、それぞれ少なくとも15%以内の分光特性である広帯域偏波分離膜構成を、少なくとも1/4の波長区間範囲において有することを示す数値例である。

表3は、誘電体交互積層構造が、波長区間全域の波長範囲に含まれ、波長範囲よりも狭い第1の波長範囲において、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s が少なくとも30%以上異なる分光特性を、少なくとも波長区間全域のうちの1/8の波長区間範囲において有する狭帯域偏波分離膜構成を有することを示す数値例である。

表4は、誘電体交互積層構造が、P偏光の透過率 T_p とS偏光の透過率 T_s の差が10%以上異なる分光特性を、少なくとも波長区間全域のうちの1/2の波長区間範囲において有する広帯域偏波分離膜構成を有することを示す数値例である。

[0113] [表1]

単位 n m

	全域A1-A2	広帯域(1)	狭帯域(1)	狭帯域(2)	狭帯域(3)	広帯域(2)
実施例 1	400-850	400-850	620-850	450-630	400-460	-
実施例 2	400-850	400-850	620-850	450-630	400-460	-
実施例 3	430-850	430-850	700-850	460-650	(-380)	-
実施例 4	430-850	430-850	650-850	455-610	430-485	-
実施例 5	430-850	430-850	645-850	580-700	430-460	-
実施例 6	430-850	520-850	700-850	480-615	(-420)	-
実施例 7	430-850	520-850	700-850	480-615	(-385)	520-850
実施例 8	430-850	520-850	695-850	500-700	(-385)	550-850

ここで、狭帯域(3)の「()」で表記したところはA1-A2の範囲外である。

[0114] [表 2]

単位 n m

$\lambda/4$ おきの最大最小差が「15%以内」である範囲

入射角度 (度)			35	35	45	45	60	60
	波長範囲	波長範囲/4	P	S	P	S	P	S
実施例 1	400-850nm	112.5	440	439	450	450	450	336
実施例 2	400-850nm	112.5	420	420	420	420	420	306
実施例 3	430-850nm	105	191	194	420	420	238	420
実施例 4	430-850nm	105	420	420	420	420	420	420
実施例 5	430-850nm	105	311	327	387	404	420	420
実施例 6	430-850nm	105	191	382	402	420	420	420
実施例 7	430-850nm	105	350	342	420	282	191	382

実施例 8	430-850nm	105	363	205	420	237	123	420
-------	-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

[0115] [表 3]

単位 n m

各狭帯域波長範囲における「30%以上異なる」波長範囲

	波長範囲	波長範囲/8	狭帯域 1	狭帯域 2	狭帯域 3
実施例 1	400-850nm	56.25	230	180	60
実施例 2	400-850nm	56.25	230	180	60
実施例 3	430-850nm	52.5	150	190	-
実施例 4	430-850nm	52.5	200	155	55
実施例 5	430-850nm	52.5	205	120	30
実施例 6	430-850nm	52.5	150	135	-
実施例 7	430-850nm	52.5	150	135	-
実施例 8	430-850nm	52.5	155	200	-

[0116] [表 4]

単位 n m

各広帯域波長範囲における「10%以上異なる」波長範囲

	波長範囲	波長範囲/2	広帯域 1	広帯域 2
実施例 1	400-850nm	225	450	-
実施例 2	400-850nm	225	450	-
実施例 3	430-850nm	210	420	-
実施例 4	430-850nm	210	420	-
実施例 5	430-850nm	210	420	-
実施例 6	430-850nm	210	330	-

実施例 7	430-850nm	210	330	330
実施例 8	430-850nm	210	330	300

[0117] (プリズム素子)

次に、上記各実施例に係る偏波分離素子を有するプリズム素子を説明する。図52は、各実施例に係る偏波分離素子を有するプリズム素子100の構成を示す図である。

[0118] プリズム素子100は、プリズム部101と、 $\lambda/4$ 板101cと、反射ミラー101bと、撮像素子102a、102bと、から構成される。プリズム部101は、さらにプリズム101aと101dから構成されている。

[0119] ここで、プリズム101aとプリズム101dとの間の斜面に、上記各実施例の偏波分離素子101eが形成されている。

[0120] 図面左方からプリズム101aへ入射する光のうち、P偏光光は、偏波分離素子101eを透過し、プリズム斜面で反射された後、撮像素子102bへ入射する。

[0121] これに対して、図面左方からプリズム101aへ入射する光のうち、S偏光光は、偏波分離素子101eを反射ミラー101bの方向へ反射する。反射ミラー101bで反射された光は、 $\lambda/4$ 板101cを往復2回透過して、偏光方向がP偏光へ変換される。P偏光光は偏波分離素子101eを透過して、撮像素子102aへ入射する。

[0122] これにより、入射光を2光路に分割する素子において、広い波長領域において、単純な多層膜（積層膜）により幅広い入射角度に対応する良好な特性を得られるという効果を奏する。

[0123] (光学系)

次に、上記各実施例に係る偏波分離素子を有する光学系について説明する。図53は、実施例9に係る光学系の構成を示す図である。本実施形態は、内視鏡用の光学系である。

[0124] 本実施形態に係る内視鏡201は、図53に示されるように、被検体内に

挿入される挿入部202内に配置される対物光学系203と、対物光学系203により集光された光を2つの光路に分割する光路分割部204と、光路分割部204により分割された光を同時に撮像して2つの画像を取得する撮像素子205と、撮像素子205上に結像される2つの光学像を部分的に切り欠くフレア絞り（遮蔽部）206と、を備えている。

[0125] 対物光学系203は、図53に示されるように、物体側から順に、物体側に平面を向けた平凹負レンズ207aを有する負レンズ群207と正レンズ群208とを備えている。広い視野範囲から負レンズ群207によって屈折した光は、正レンズ群208によって集光された後に、後段の光路分割部204に向けて出力されるようになっている。

[0126] 光路分割部204は、大小2つの三角プリズム209、210と、ミラー211と、 $\lambda/4$ 板212とを組み合わせ構成されている。第1プリズム209は、対物光学系203の光軸に直交する第1面209aと光軸に対して 45° の角度をなした第2面209bと、光軸に平行な第3面209cとを備えている。第2プリズム210は、対物光学系203の光軸に対して 45° の角度をなした第1面210aおよび第2面210bと、光軸に平行な第3面210cとを備えている。第2プリズム210の第1面210aと第2面210bとは相互に直交している。

[0127] 第1プリズム209の第1面209aは、対物光学系203から入射されてくる光束を入射させる入射面を構成している。第1プリズム209の第2面209bと第2プリズム210の第1面210aとは間に偏向分離膜（図示略）を挟んで隙間無く密着させられることにより、偏光分離面を構成している。第2プリズム210の第2面210bは、第2プリズム210内を光軸方向に進行してきた光を 90° 偏向する偏向面を構成している。

[0128] ミラー211は第1プリズム209の第3面209cとの間に $\lambda/4$ 板212を挟んで配置されている。これにより、対物光学系203から射出された光束は、第1プリズム209の第1面209aから第1プリズム209内に入射した後に、偏向分離膜が配置された偏光分離面（209b、210a

）においてP偏光（透過光）と、S偏光（反射光）とに分離される。

[0129] 偏光分離面（209b、210a）における反射光は、第1プリズム209の第3面209cから $\lambda/4$ 板212を透過させられ、ミラー211で180°折り返されるように偏向され、 $\lambda/4$ 板212を再度透過させられることで、偏光方向を90°回転させられ、今度は偏光分離膜を透過して第2プリズム210の第3面210cから外部に射出されるようになっている。一方、偏光分離面（209b、210a）における透過光は、第2プリズム210内を進行して第2プリズム210の第2面210bにおいて90°偏向され、第2プリズム210の第3面210cから外部に射出されるようになっている。

[0130] 第1プリズム209の第1面209aから第1プリズム209内に入射した後、第2プリズム210の第3面210cから射出されるまでの、分割された2つの光路を進行する光の光路長は若干、例えば、数 μm ～数十 μm 程度の光路長差dを有している。これにより、第2プリズム210の第3面210cに対向して配置された撮像素子205に入射される2つの光束による光学像は、ピント位置が若干異なるようになっている。

[0131] 撮像素子205は、第2プリズム210の第3面210cに平行間隔をあけて対向させられる撮像面205aを有し、第2プリズム210の第3面210cから射出されてくる2つの光束を同時に入射させるようになっている。すなわち、撮像素子205は、ピント位置が異なる2つの光学像を同時に撮像するために、撮像素子205の全画素領域の中に、2つの矩形状の受光領域（有効画素領域）を備えている。

[0132] これにより、内視鏡用の入射光を2光路に分割する光学系において、広い波長領域において、単純な多層膜（積層膜）により幅広い入射角度に対応する良好な特性を得られるという効果を奏する。

[0133] （光学機器）

次に、上記各実施例に係る偏波分離素子を有する光学機器について説明する。図54は、実施例10に係る光学機器である内視鏡システムの構成を示

す図である。また、図 5 5 は、内視鏡システムの偏光ビームスプリッタを示す図である。本内視鏡システムは、上述の内視鏡用の対物光学系を有している。

[0134] 図 5 4 に示すように本実施形態の内視鏡システム 3 0 1 は、被検体内に挿入される内視鏡 3 0 2 と、内視鏡 3 0 2 に照明光を供給する光源装置 3 0 3 と、内視鏡 3 0 2 に設けられた撮像素子により取得された画像信号に対する画像処理を行うプロセッサ装置 3 0 4 と、プロセッサ装置 3 0 4 により所定の画像処理がなされた画像信号を内視鏡画像として表示する画像表示装置 3 0 5 とを有する。

[0135] 内視鏡 3 0 2 は、被検体内に挿入される細長の挿入部 3 0 6 と、挿入部 3 0 6 の後端に設けられた操作部 3 0 7 と、操作部 3 0 7 から延出する第 1 ケーブル 3 0 8 とを有し、第 1 ケーブル 3 0 8 には、照明光を伝送するライトガイド 3 0 9 が挿通されている。

[0136] 内視鏡 3 0 2 の挿入部 3 0 6 の先端部 3 0 6 a には、ライトガイド 3 0 9 から出射された照明光を拡散する照明レンズ 3 1 5、被写体像を取得する対物光学系 3 1 6、被写体像を撮像する撮像ユニット 3 1 9 a が設けられている。第 1 ケーブル 3 0 8 の端部のライトガイドコネクタ 3 0 8 a は、第 1 ケーブル 3 0 8 に挿通されたライトガイド 3 0 9 の後端部が照明光の入射端となるように光源装置 3 0 3 に着脱自在に接続されている。

[0137] 光源装置 3 0 3 は、光源として例えばキセノンランプ等のランプ 3 1 1 を内蔵する。なお、光源として、キセノンランプ等のランプ 3 1 1 に限定されるものでなく、発光ダイオード（LED と略記）を用いても良い。

[0138] ランプ 3 1 1 により発生した白色光は絞り 3 1 2 により通過光量が調整された後、コンデンサレンズ 3 1 3 により集光されてライトガイド 3 0 9 の入射端面に入射（供給）される。なお、絞り 3 1 2 は、絞り駆動部 3 1 4 により、絞り 3 1 2 の開口量が可変される。

[0139] ライトガイド 3 0 9 は、光源装置 3 0 3 から入射端（後端側）に入射された照明光を挿入部 3 0 6 の先端部 3 0 6 a 側に導光する。先端部 3 0 6 a に

導光された照明光は、ライトガイド309の出射端（先端側）から先端部306aの先端面に配置された照明レンズ315により拡散されて照明窓315aを介して出射され、被検体内部の観察対象部位を照明する。

[0140] 照明された観察対象部位は、先端部306aの照明窓315aに隣接して設けられた観察窓320に取り付けられた対物光学系316により、その後方側に配置した撮像素子317（図55）に被写体像を結像する。

[0141] 対物光学系316は、複数の光学素子からなる光学素子群316a、遠方観察と近接観察の2つの観察領域にピント又は焦点を選択的に合わせられるように焦点切替機構としてのフォーカスレンズ321及びフォーカスレンズ321を駆動するアクチュエータ322を備えている。

[0142] 撮像ユニット319aは、対物光学系316の挿入部306の後端部側に設けられ、被写体像をピントの異なる2つの光学像に分割する偏光ビームスプリッタ319と、2つの光学像を撮像して2つの画像を取得する撮像素子317を備えている。

[0143] 偏光ビームスプリッタ319は、図55に示すように、第1プリズム318a、第2プリズム318b、ミラー318c、及び $\lambda/4$ 板318dを備えている。第1プリズム318a及び第2プリズム318bは共に光軸に対して45度の斜度であるビームスプリット面を有し、第1プリズム318aのビームスプリット面には偏光分離膜318eが設けられている。そして、第1プリズム318a及び第2プリズム318bは、互いのビームスプリット面を上記各実施例の偏光分離膜318eを介して当節させて偏光ビームスプリッタ319を構成している。また、ミラー318cは、第1プリズム318aの端面近傍に $\lambda/4$ 板318dを介して設けられ、第2プリズム318bの端面には撮像素子317が取り付けられている。

[0144] 対物光学系316からの被写体像は、第1プリズム318aにおいてビームスプリット面に設けられた偏光分離膜318eによりP偏光成分（透過光）とS偏光成分（反射光）とに分離され、反射光側の光学像と透過光側の光学像との2つの光学像に分離される。

- [0145] S偏光成分の光学像は、偏光分離膜318eで撮像素子317に対して対面側に反射されA光路を通り、 $\lambda/4$ 板318dを透過後、ミラー318cで撮像素子317側に折り返される。折り返された光学像は $\lambda/4$ 板318dを再び透過する事で偏光方向が 90° 回転し、偏光分離膜318eを透過して撮像素子317に結像される。
- [0146] P偏光成分の光学像は、偏光分離膜318eを透過してB光路を通り、撮像素子317に向かって垂直に折り返す第2プリズム318bのビームスプリット面と反対側に設けられたミラー面によって反射され、撮像素子317に結像される。この際、A光路とB光路で、例えば、数十 μm 程度の所定の光路差を生じさせるようにプリズム硝路を設定しておき、ピントが異なる2つの光学像を撮像素子317の受光面に結像させる。
- [0147] すなわち、第1プリズム318a及び第2プリズム318bを、被写体像をピント位置が異なる2つの光学像に分離できるように、第1プリズム318aにおける撮像素子317に至る透過光側の光路長（硝路長）に対して反射光側の光路長が短く（小さく）なるように配置する。
- [0148] 撮像素子317は、ピント位置が異なる2つの光学像を夫々個別に受光して撮像するために、撮像素子317の全画素領域の中に、2つの受光領域（有効画素領域）が設けられている。2つの受光領域は、2つの光学像を撮像するために、これらの光学像の結像面と夫々一致するように配置されている。そして、撮像素子317において、一方の受光領域は、他方の受光領域に対してそのピント位置が相対的に近点側にシフトしており（ずれており）、他方の受光領域は一方の受光領域に対してそのピント位置が相対的に遠点側にシフトしている。これにより、ピントが異なる2つの光学像を撮像素子317の受光面に結像させるようになっている。
- [0149] なお、第1プリズム318aと第2プリズム318bにおける両者の屈折率を異ならせることにより、撮像素子317に至る光路長を変えて2つの受光領域に対するピント位置を相対的にずらすようにしても良い。
- [0150] また、撮像素子317の受光領域の周囲には、2つに分割された光学像の

幾何的なズレを補正するための補正画素領域が設けられている。補正画素領域内において製造上の誤差を抑え、後述する画像補正処理部 332 にて画像処理による補正を行なうことで、上記した光学像の幾何学的なズレを解消するようになっている。

[0151] フォーカスレンズ 321 は、光軸の方向における 2 つの位置に移動可能となっており、アクチュエータ 322 により 2 つの位置間で一方の位置から他方の位置、他方の位置から一方の位置に移動するように駆動される。フォーカスレンズ 321 を前方側（物体側）の位置に設定した状態においては遠方観察する場合の観察領域の被写体にピントが合うように設定され、フォーカスレンズ 321 を後方側の位置に設定した状態においては近接観察する場合の観察領域の被写体にピントが合うように設定されている。

[0152] なお、アクチュエータ 322 は、挿入部 306 内を挿通された信号線 323 と接続され、この信号線 323 はさらに操作部 307 から延出された第 2 のケーブル 324 内を挿通される。この第 2 のケーブル 324 の端部の信号コネクタ 324a は、プロセッサ装置 304 に着脱自在に接続され、上記信号線 323 は、プロセッサ装置 304 内に設けたアクチュエータ制御部 325 に接続される。

[0153] このアクチュエータ制御部 325 は、例えば内視鏡 302 の操作部 307 に設けた切替操作スイッチ 326 からの切替操作信号も入力される。アクチュエータ制御部 325 は、切替操作スイッチ 326 の操作に応じてアクチュエータ 322 を電氣的に駆動する駆動信号を印加して、フォーカスレンズ 321 を移動する。

[0154] なお、切替操作信号を発生する切替操作部は、切替操作スイッチ 326 に限らず、切替操作レバー等でも良い。上記フォーカスレンズ 321 と、アクチュエータ 322 と、アクチュエータ制御部 325 とにより、焦点切替機構が形成される。ところで、本実施形態におけるフォーカス部は、前述の光軸方向にフォーカスレンズを移動させる手段に限定するものではない。例えば、レンズやフィルタを対物光学系に挿脱してフォーカスを切替える手段でも

構わない。

- [0155] 撮像素子 3 1 7 は挿入部 3 0 6、操作部 3 0 7、第 2 のケーブル 3 2 4 内を挿通された信号線 3 2 7 a と接続され、信号コネクタ 3 2 4 a がプロセッサ装置 3 0 4 に接続されることにより、プロセッサ装置 3 0 4 内に設けた画像処理部としての画像プロセッサ 3 3 0 と接続される。
- [0156] 画像プロセッサ 3 3 0 は、撮像素子 3 1 7 により撮像されたピント位置が異なる 2 つの光学像に係る画像を夫々読み出す画像読出部 3 3 1 と、画像読出部 3 3 1 により読み出された 2 つの画像に対する画像補正を行う画像補正処理部 3 3 2 と、補正された 2 つの画像を合成する画像合成処理を行う画像合成処理部 3 3 3 とを有する。
- [0157] 画像補正処理部 3 3 2 は、撮像素子 3 1 7 の 2 つの受光領域にそれぞれ結像される 2 つの光学像に係る画像に対し、互いのピント以外の差異が略同一となるように補正する。すなわち、2 つの画像の各光学像における相対的な位置、角度及び倍率が略同一となるように 2 つの画像に対して補正を行う。
- [0158] 被写体像を 2 つに分離して撮像素子 3 1 7 に夫々結像させる場合、幾何的な差異が生じる場合がある。すなわち、撮像素子 3 1 7 の 2 つの受光領域にそれぞれ結像される夫々の光学像は、相対的に倍率ズレ、位置ズレ、角度すなわち回転方向のズレ等が発生する場合がある。これらの差異を製造時などにおいて、完全に解消することは困難であるが、それらのズレ量が大きくなると、合成画像が 2 重画像となったり、不自然な明るさムラ等を生じたりする。このため、画像補正処理部 3 3 2 にて上述した幾何的な差異、明るさ差異を補正する。
- [0159] 画像合成処理部 3 3 3 は、画像補正処理部 3 3 2 により補正された 2 つの画像間の対応する所定領域において、相対的にコントラストが高い画像を選択して合成画像を生成する。つまり、2 つの画像における空間的に同一の画素領域それぞれにおけるコントラストを比較し、相対的にコントラストが高い方の画素領域を選択することにより、2 つの画像から合成された 1 つの画像としての合成画像を生成する。なお、2 つの画像の同一の画素領域にお

るコントラスト差が小さい又は略同一である場合は、その画素領域に所定の重み付けして加算する合成画像処理により、合成画像を生成する。

[0160] また、画像プロセッサ330は、画像合成処理部333により合成された1つの画像に対して、色マトリクス処理、輪郭強調、ガンマ補正等の後段画像処理を行う後段画像処理部334と、後段画像処理された画像を出力する画像出力部335とを有し、画像出力部335から出力される画像は画像表示装置305に出力される。

[0161] さらに、この画像プロセッサ330は、画像読出部331により読み出された画像から基準の明るさに調光するための調光信号を生成する調光部336を有し、調光部336により生成した調光信号を光源装置303の絞り駆動部314に出力する。絞り駆動部314は、調光信号に従って、基準の明るさを維持するように絞り312の開口量を調整する。

[0162] また、本実施形態は、画像補正処理部332において、画像を補正する場合に使用する補正パラメータ（の情報）を格納した補正パラメータ格納部337を設けている。

[0163] 内視鏡302にはその内視鏡302に固有の内視鏡識別情報（内視鏡ID）を格納したIDメモリ338を有すると共に、その内視鏡302において補正すべき固有の補正パラメータがある場合には、その内視鏡302に対応した補正パラメータを格納した補正パラメータ格納部337が設けてある。

[0164] ここで、補正パラメータとは、例えば、光路分割素子や撮像素子のシェーディング特性、 $\lambda/4$ 板の波長特性によって2つの光学像にかかる画像には上述した幾何的な差異や明るさの差異、もしくは色の差異が生じることがある。2画像間にこのような差異があると、合成画像に不自然な明るさムラや色ムラが生じてしまうため、これを補正するために光路分割素子や撮像素子、 $\lambda/4$ 板の特性を考慮して決定されたものである。

[0165] なお、画像補正処理部332は予め設定された補正パラメータを補正パラメータ格納部337から受け取り補正が行なわれるようにしても良い。例えば、工場出荷時に、予めそのズレ量を補正パラメータ格納部337に設定し

ておき、内視鏡３０２が画像プロセッサ３３０に接続された際に、内視鏡３０２が接続されたことを認識して補正パラメータ格納部３３７から対応する補正パラメータを呼び出して補正を行なうようにすることができる。

[0166] なお、補正すべき固有の補正パラメータがない場合には、補正パラメータ格納部３３７を設けることが不必要になる。また、補正パラメータ格納部３３７をＩＤメモリ３３８の内部に設ける場合に限定されるものでなく、ＩＤメモリ３３８と別のメモリに設けるようにしても良い。

[0167] そして、画像プロセッサ３３０の制御部３３９は補正の有無を内視鏡３０２側に設けた内視鏡ＩＤで識別して、補正有りの場合には内視鏡３０２側に格納されているＩＤメモリ３３８内の補正パラメータ格納部３３７から補正パラメータを読み取り、この補正パラメータを画像補正処理部３３２に送る。

[0168] 画像補正処理部３３２は、制御部３３９から転送された補正パラメータに基いて各内視鏡３０２に搭載された撮像ユニット３１９aに対応した画像補正を行う。

[0169] また、画像補正処理部３３２は、補正パラメータを用いて、２つの像または画像における１つを基準像または基準画像として上述した倍率の差異の補正、位置の差異の補正等、画像の補正を行う。例えば、２つの画像で倍率ズレが生じる場合は、対物光学系３１６の仕様による場合がある。

[0170] 対物光学系３１６のサイズを比較的小さくしようとした場合、テレセントリック性を崩して撮像素子３１７への光線が斜めに入射するような設計が行なわれる場合がある。例えば、光軸とのなす角を入射角として、時計回りをプラス、反時計回りをマイナスとすると、マイナスの入射角となるような設計が行なわれる。

[0171] このようなテレセントリック性が崩れた対物光学系でピント位置をずらすと２つの画像間で倍率ズレが生じる事になる。

[0172] このような設計上の仕様であれば、予めそのズレ量を補正パラメータ格納部３３７に格納しておき、対象の内視鏡３０２がプロセッサ装置３０４に接

続された場合、その内視鏡 302 を認識して補正パラメータ格納部 337 から対応する補正パラメータを呼び出して補正を行なうようにする。

[0173] 撮像ユニット 319a の組立て時に 2 つの画像の相対的な画素の位置が微小にズレる場合がある。この場合、製造時のズレ量を補正パラメータ格納部 337 に格納しておき、画像補正処理部 332 にてそのズレ補正を行なうようにする。位置のズレ補正は例えば撮像素子 317 の一方の受光領域で撮像された画像と他方の受光領域で撮像された画像との相対的な位置が合致するように 2 つの画像の読出し位置を修正するような処理が行なわれ、位置ズレが補正された後、画像合成処理部 333 に出力される。

[0174] なお、本実施形態における予め設定された補正パラメータによる補正を行う代わりに、内視鏡使用時に、別途用意されるアジャスト用基準チャートによって補正を行なっても良い。例えば基準チャートを内視鏡 302 の先端部 306a に所望の位置に配置するようにし、基準チャートに対する 2 つの画像のズレを画像補正処理部 332 にて読み取り、そのズレ補正をするようにしても良い。

[0175] これにより、内視鏡システムにおいて、広い波長領域において、単純な多層膜（積層膜）により幅広い入射角度に対応する良好な特性の 2 つの画像を得られ、この 2 つの画像を合成して被写界深度が大きい画像を取得できるという効果を奏する。

[0176] なお、上述の偏波分離素子は、複数の構成を同時に満足してもよい。このようにすることが、良好な偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系、及び光学機器を得る上で好ましい。

[0177] 以上、本発明の種々の実施形態について説明したが、本発明は、これらの実施形態のみに限られるものではなく、その趣旨を逸脱しない範囲で、これら実施形態の構成を適宜組合せて構成した実施形態も本発明の範疇となるものである。

産業上の利用可能性

[0178] 以上のように、本発明は、構造複屈折層を必要とせず、単純な多層膜（積

層膜)により幅広い入射角度に対応する偏波分離素子、偏波分離素子設計方法、光学系及び光学機器に有用である。

符号の説明

- [0179] 1 0 0 プリズム素子
 1 0 1 プリズム部
 1 0 1 c $\lambda/4$ 板
 1 0 1 b 反射ミラー
 1 0 2 a、1 0 2 b 撮像素子
 1 0 1 a、1 0 1 d プリズム
 1 0 1 e 偏波分離素子
 2 0 1 内視鏡
 2 0 2 挿入部
 2 0 3 対物光学系
 2 0 4 光路分割部
 2 0 5 撮像素子
 2 0 5 a 撮像面
 2 0 6 フレア絞り（遮蔽部）
 2 0 7 負レンズ群
 2 0 8 正レンズ群
 2 0 9 b 第2面（偏光分離面）
 2 1 0 a 第1面（偏光分離面）
 2 1 0 b 第2面（偏向面）
 2 1 1 ミラー
 2 1 2 $\lambda/4$ 板
 3 0 1 内視鏡システム
 3 0 2 内視鏡
 3 0 3 光源装置
 3 0 4 プロセッサ装置

- 3 0 5 画像表示装置
- 3 0 6 挿入部
- 3 1 6 対物光学系
- 3 1 7 撮像素子
- 3 1 8 a 第1プリズム
- 3 1 8 b 第2プリズム
- 3 1 8 c ミラー
- 3 1 8 d $\lambda/4$ 板
- 3 1 8 e 偏光分離膜
- 3 1 9 偏光ビームスプリッタ
- 3 1 9 a 撮像ユニット
- 3 3 0 画像処理部（画像プロセッサ）
- 3 3 2 画像補正処理部
- 3 3 3 画像合成処理部

請求の範囲

[請求項1]

1 対の透光性基板の間に形成され、波長 A_1 (nm) から波長 A_2 (nm) の波長区間全域において、P 偏光の透過率と S 偏光の透過率が少なくとも B % 以上異なる偏波分離素子であって、

ここで、

設計波長 λ (nm) において、

$$A_1 = \lambda \times 0.86、$$

$$A_2 = \lambda \times 1.7、$$

$$B (\%) = 22.5、$$

であり、

前記偏波分離素子は、第 1 の屈折率を有する第 1 の誘電体と、前記第 1 の屈折率よりも低い第 2 の屈折率を有する第 2 の誘電体を交互に積層した誘電体交互積層構造を有し、

前記誘電体交互積層構造は、P 偏光の透過率の透過率高低差と、S 偏光の透過率の透過率高低差が、それぞれ少なくとも 15 % 以内の分光特性である広帯域偏波分離膜構成を、少なくとも前記波長 A_1 (nm) から前記波長 A_2 (nm) の波長区間全域のうちの $1/4$ の波長区間範囲において有し、

さらに、前記誘電体交互積層構造は、前記波長区間全域の波長範囲に含まれ、前記波長範囲よりも狭い第 1 の波長範囲において、P 偏光の透過率と S 偏光の透過率が少なくとも 30 % 以上異なる分光特性を、少なくとも前記波長 A_1 (nm) から前記波長 A_2 (nm) の波長区間全域のうちの $1/8$ の波長区間範囲において有する第 1 の狭帯域偏波分離膜構成と、

さらに、前記誘電体交互積層構造は、前記波長区間全域の波長範囲に含まれ、前記波長範囲よりも狭く、前記第 1 の波長範囲とは重複しない第 2 の波長範囲において、P 偏光の透過率と S 偏光の透過率が少なくとも 30 % 以上異なる分光特性を、少なくとも前記波長 A_1 (n

m) から前記波長 λ_2 (nm) の前記波長区間全域のうちの $1/8$ の波長区間範囲において有する第2の狭帯域偏波分離膜構成と、を少なくとも有することを特徴とする偏波分離素子。

[請求項2]

前記偏波分離素子において、前記広帯域偏波分離膜構成は、第1の広帯域偏波分離膜構成と第2の広帯域偏波分離膜構成の2つ以下であり、前記透光性基板より順に、前記第1の誘電体、前記第2の誘電体、前記第1の誘電体、前記第2の誘電体の構成をしており、前記第1の誘電体の膜厚と前記第2の誘電体の膜厚は、以下の式(1)を満足することを特徴とする請求項1に記載の偏波分離素子。

$$\begin{aligned} \text{前記第1の誘電体の膜厚} & (0.24 \pm a_1) \times d \\ \text{前記第2の誘電体の膜厚} & (0.8 \pm a_2) \times e \\ \text{前記第1の誘電体の膜厚} & (0.45 \pm a_3) \times f \\ \text{前記第2の誘電体の膜厚} & (3.3 \pm a_4) \times g \end{aligned} \quad (1)$$

ここで、

係数 $a_1 = 0.15$ 、

係数 $a_2 = 0.2$ 、

係数 $a_3 = 0.2$ 、

係数 $a_4 = 0.6$ 、

係数 d は、前記第1の広帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の広帯域偏波分離膜構成 = $1.2 \sim 1.5$ 、

係数 e は、前記第1の広帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の広帯域偏波分離膜構成 = $0.9 \sim 1.2$ 、

係数 f は、前記第1の広帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の広帯域偏波分離膜構成 = $0.4 \sim 0.8$ 、

係数 g は、前記第1の広帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の広帯域偏波分離膜構成 = $0.6 \sim 0.95$ 、

また、前記第2の広帯域偏波分離膜構成以降の前記広帯域偏波分離膜構成において、 $d = e = f = g$ とならず、

計算値は光学膜厚（QWOT）である。

[請求項3]

前記第1の狭帯域偏波分離膜構成と前記第2の狭帯域偏波分離膜構成は、それぞれ、

前記透光性基板側から順に、

前記第1の誘電体と、

前記第2の誘電体と、

前記第1の誘電体と、

前記第2の誘電体と、

前記第1の誘電体と、

または、

前記透光性基板側から順に、

前記第2の誘電体と、

前記第1の誘電体と、

前記第2の誘電体と、

前記第1の誘電体と、

前記第2の誘電体と、

が積層されている構成を有しており、

前記第1の誘電体の膜厚と前記第2の誘電体の膜厚は、以下の式（2-1）または（2-2）を満足することを特徴とする請求項1に記載の偏波分離素子。

前記第1の誘電体の膜厚 $(1.975 \pm b_1) \times h$ 、

前記第2の誘電体の膜厚 $(1.975 \pm b_2) \times i$ 、

前記第1の誘電体の膜厚 $(1.825 \pm b_3) \times j$ 、

前記第2の誘電体の膜厚 $(1.675 \pm b_4) \times k$ 、

前記第1の誘電体の膜厚 $(1.675 \pm b_5) \times l$ (2-

1)

ここで、

係数 $b_1 = 0.4$ 、

係数 $b_2 = 0.4$ 、

係数 $b_3 = 0.3$ 、

係数 $b_4 = 0.3$ 、

係数 $b_5 = 0.3$ 、

及び、

前記第2の誘電体の膜厚 $(1.975 \pm b_1) \times h$ 、

前記第1の誘電体の膜厚 $(1.975 \pm b_2) \times i$ 、

前記第2の誘電体の膜厚 $(1.825 \pm b_3) \times j$ 、

前記第1の誘電体の膜厚 $(1.675 \pm b_4) \times k$ 、

前記第2の誘電体の膜厚 $(1.675 \pm b_5) \times l$ (2 -

2)

ここで、

係数 $b_1 = 0.4$ 、

係数 $b_2 = 0.4$ 、

係数 $b_3 = 0.3$ 、

係数 $b_4 = 0.3$ 、

係数 $b_5 = 0.3$ 、

のいずれか一方であり、

係数 h は、前記第1の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.37 ± 0.05 、

係数 i は、前記第1の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.46 ± 0.11 、

係数 j は、前記第1の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.46 ± 0.2 、

係数 k は、前記第1の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.42 ± 0.16 、

係数 l は、前記第1の狭帯域偏波分離膜構成 = 1、前記第2の狭帯域偏波分離膜構成 = 0.28 ± 0.1 、

計算値は光学膜厚（QWOT）であり、

前記第2の広帯域偏波分離膜構成以降の前記狭帯域偏波分離膜構成において、 $h = i = j = k = l$ とはならない。

[請求項4] 前記第1の狭帯域偏波分離膜構成と、前記第2の狭帯域偏波分離膜構成と、は異なる第3の狭帯域偏波分離膜構成を有することを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の偏波分離素子。

[請求項5] 前記誘電体交互積層構造の両端に配置された1対の前記透光性基板に接する偏波分離膜構成のうち、それぞれ前記透光性基板側から4層の平均屈折率が、前記透光性基板の屈折率に対して、 ± 0.2 の範囲に入っていることを特徴とする請求項1に記載の偏波分離素子。

[請求項6] 前記広帯域偏波分離膜構成は、
使用する入射角度範囲の最大値において、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が10%以上である波長範囲を、少なくとも前記波長 A_1 （nm）から前記波長 A_2 （nm）の波長区間全域のうちの $1/2$ の波長区間範囲で有し、

さらに使用する入射角度範囲において、少なくとも前記波長 A_1 （nm）から前記波長 A_2 （nm）の波長区間全域のうちの $1/4$ の波長区間範囲内において、P偏光の透過率高低差及びS偏光の透過率高低差が15%以内である分光特性を有し、

少なくとも何れかの前記狭帯域偏波分離膜構成が、使用する前記入射角度範囲において、P偏光の透過率>S偏光の透過率の関係を満たし、

かつ、P偏光の透過率とS偏光の透過率の差が30%以上となる分光特性を示す波長範囲として、少なくとも前記波長 A_1 （nm）から前記波長 A_2 （nm）の前記波長区間全域のうちの $1/8$ の波長区間範囲において有することを特徴とする請求項1又は2に記載の偏波分離素子。

[請求項7] 前記透光性基板と接する層、前記広帯域偏波分離膜構成と何れかの

前記狭帯域偏波分離膜構成の間の層、少なくとも前記第1の狭帯域偏波分離膜構成と前記第2の狭帯域偏波分離膜構成同士との間の層に関して、マッチングを取ることを特徴とする請求項1から3の何れか1項に記載の偏波分離素子。

[請求項8] 前記透光性基板は、無アルカリガラス、ホウケイ酸ガラス、石英ガラス、水晶、結晶材料、半導体基板、合成樹脂から選択することを特徴とする請求項1から5の何れか1項に記載の偏波分離素子。

[請求項9] 前記第1の誘電体の材料と前記第2の誘電体の材料は、 TiO 、 TiO_2 、 Y_2O_3 、 Ta_2O_5 、 ZrO 、 ZrO_2 、 Si 、 SiO_2 、 HfO_2 、 Ge 、 Nb_2O_5 、 Nb_2O_6 、 CeO_2 、 CeF_3 、 ZnS 、 ZnO 、 Fe_2O_3 、 MgF_2 、 AlF_3 、 CaF_2 、 LiF 、 Na_3AlF_6 、 $Na_5Al_3F_{14}$ 、 Al_2O_3 、 MgO 、 LaF 、 PbF_2 、 NdF_3 、又はこれらの混合材料の中から、少なくとも2種類以上を選択することを特徴とする請求項1から6の何れか1項に記載の偏波分離素子。

[請求項10] 前記第1の誘電体の材料と前記第2の誘電体の材料との、2種類以上の誘電体が積層する方法は、真空蒸着やスパッタリング、イオンプレーティングの物理膜厚気相成長法、抵抗加熱蒸着、電子ビーム加熱蒸着、高周波加熱蒸着、レーザービーム加熱蒸着、イオン化スパッタ、イオンビームスパッタ、プラズマスパッタ、イオンアシスト、ラジカルアシストスパッタの何れかを採用することを特徴とする請求項1から7の何れか1項に記載の偏波分離素子。

[請求項11] 1対の前記透光性基板の間に、前記第1の誘電体の材料と前記第2の誘電体の材料を含め、2種類以上の誘電体が積層する前記誘電体交互積層構造を有し、

前記偏波分離素子は、最大で35～60度の入射角度で偏波分離特性を示すことを特徴とする請求項1から8の何れか1項に記載の偏波分離素子。

[請求項12] 1対の前記透光性基板の間に、前記第1の誘電体の材料と前記第2の誘電体の材料を含む2種類以上の誘電体が積層する前記誘電体交互積層構造を有し、

1対の前記透光性基板のどちらか一方の面と前記誘電体交互積層構造の間に、接着剤を含む接着層を有することを特徴とする請求項1から9の何れか1項に記載の偏波分離素子。

[請求項13] 1対の透光性基板の間に構成される、所定の波長範囲でP偏光とS偏光を分離する偏波分離素子を設計する方法であり、

前記所定の波長範囲に含まれる第1の波長範囲でP偏光の透過率とS偏光の透過率が所定値以上異なる分光特性を有する広帯域偏波分離膜構成を設計する広帯域偏波分離膜構成設計工程と、

前記第1の波長範囲に含まれ、前記第1の波長範囲よりも狭い第2の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が前記所定値以上異なる分光特性を有する第1の狭帯域偏波分離膜構成を設計する第1の狭帯域偏波分離膜構成設計工程と、

前記第1の波長範囲に含まれ、前記第1の波長範囲よりも狭く、前記第2の波長範囲とは重複しない、第3の波長範囲において、P偏光の透過率とS偏光の透過率が前記所定値以上異なる分光特性を有する第2の狭帯域偏波分離膜構成を設計する第2の狭帯域偏波分離膜構成設計工程と、

を少なくとも有することを特徴とする偏波分離素子設計方法。

[請求項14] 請求項1から13の何れか1項に記載の偏波分離素子を有することを特徴とする光学系。

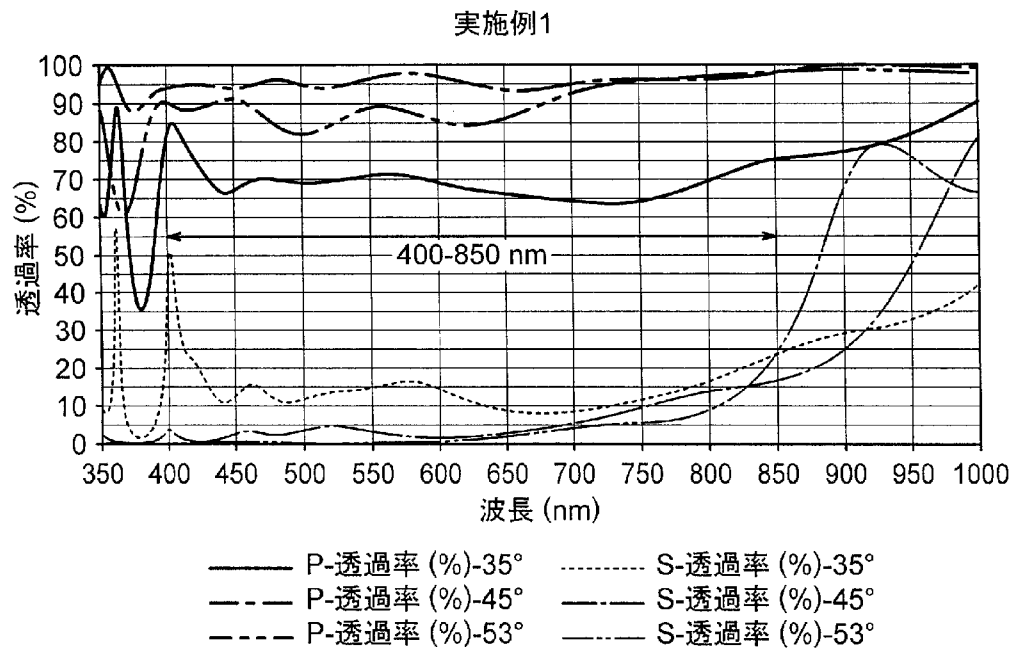
[請求項15] 請求項14に記載の光学系を有することを特徴とする光学機器。

[図1]

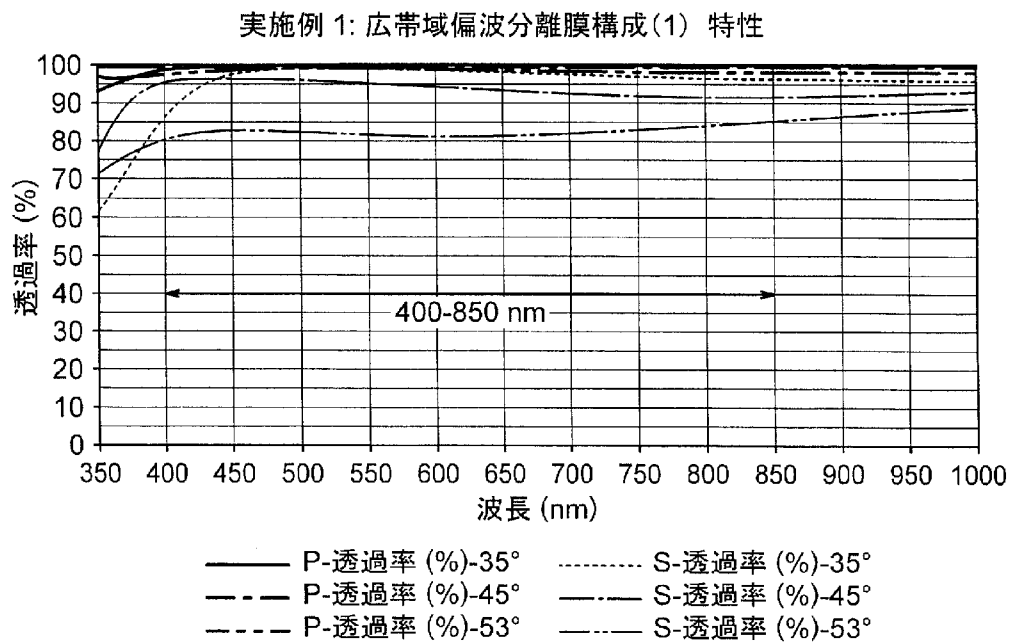
実施例 1

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~53				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.65					
1	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.01	1	0.25	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	0	1	0.8	
3	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	-0.05	1	0.4	
4	SiO ₂	1.47	3.3	-0.3	1	3	
5	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.025	1	2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.025	1	2	
7	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.025	1	1.85	
8	SiO ₂	1.47	1.675	0.025	1	1.7	
9	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.025	1	1.7	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
11	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	
12	SiO ₂	1.47	2.15	-0.15	1	2	
13	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
15	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.1	0.36	0.75	
16	SiO ₂	1.47	1.975	0.2	0.46	1	
17	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.3	0.47	1	
18	SiO ₂	1.47	1.675	0.1	0.42	0.75	
19	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.1	0.28	0.5	
	基板	1.65					

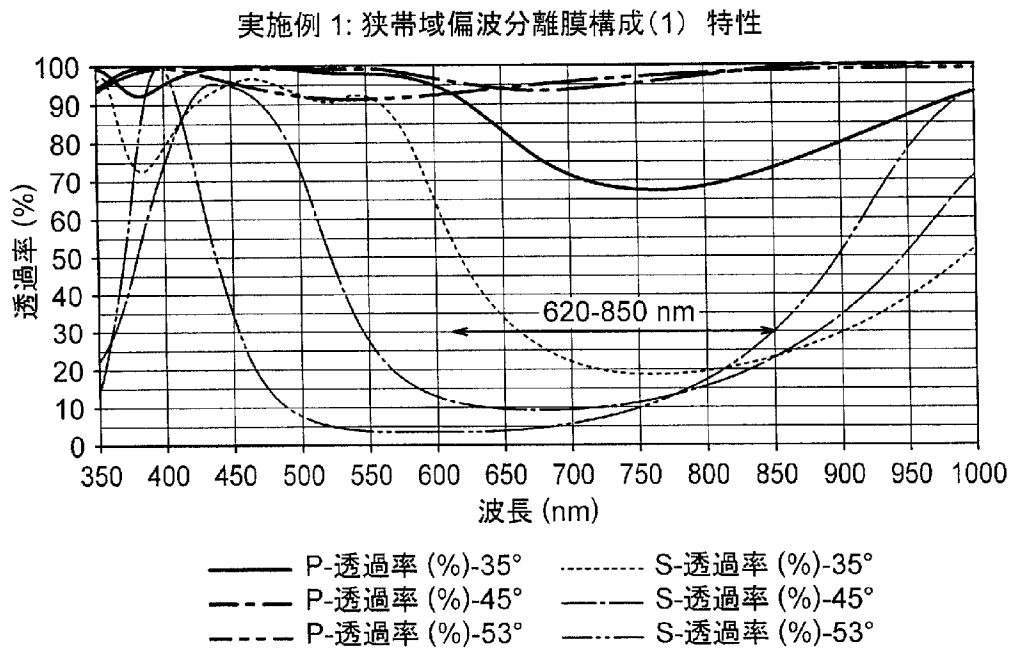
[図2]



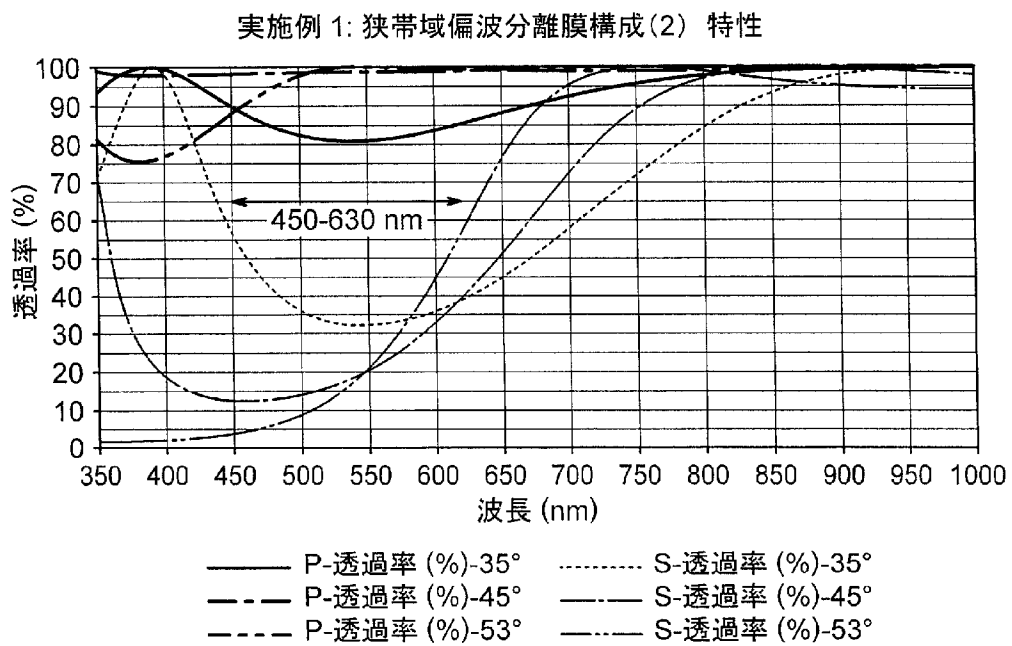
[図3]



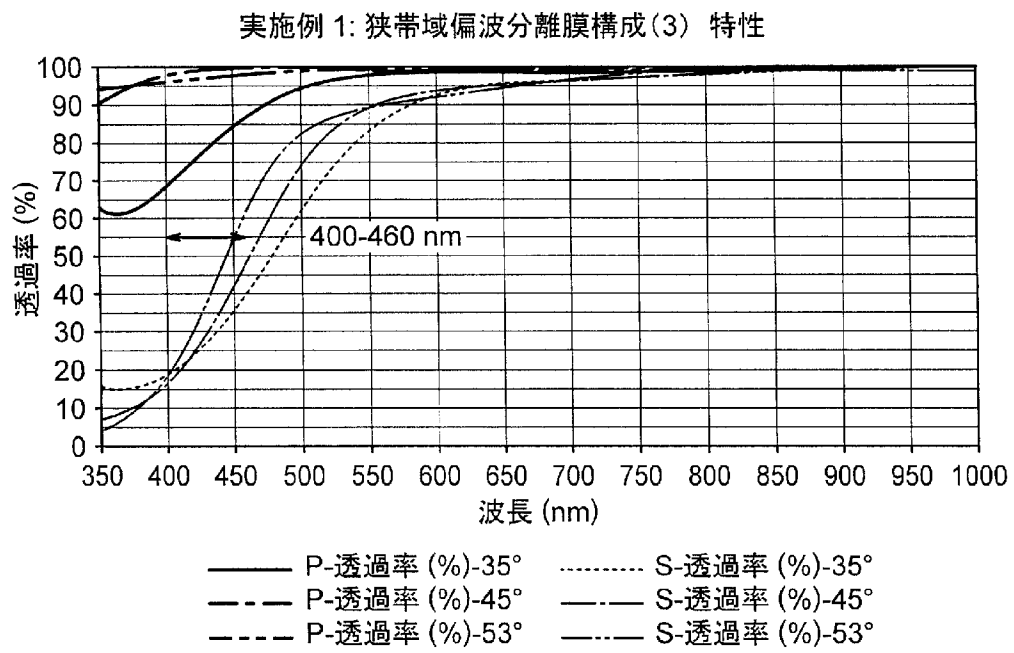
[図4]



[図5]



[図6]

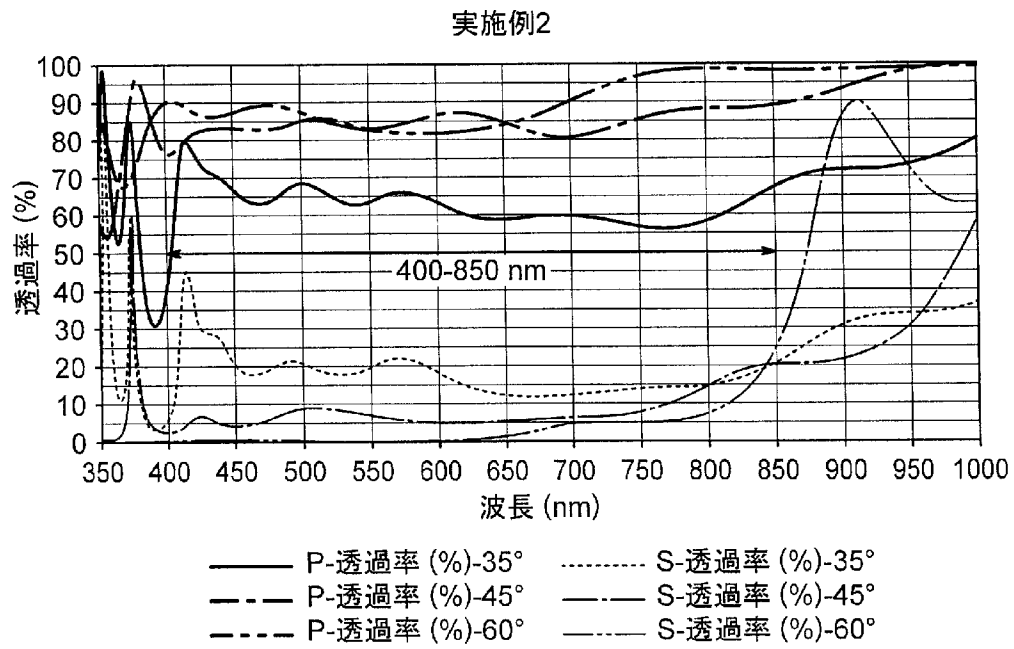


[図7]

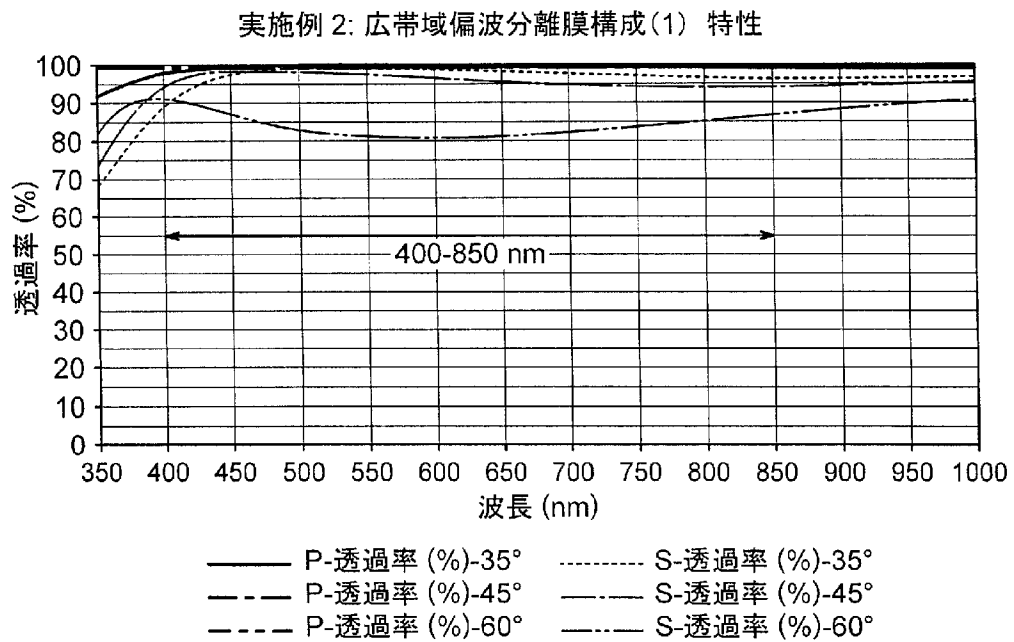
実施例 2

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~60				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.52					
1	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.01	1	0.25	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	0	1	0.8	
3	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	-0.05	1	0.4	
4	SiO ₂	1.47	3.3	-0.3	1	3	
5	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.025	1	2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.025	1	2	
7	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.025	1	1.85	
8	SiO ₂	1.47	1.675	0.025	1	1.7	
9	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.025	1	1.7	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
11	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	
12	SiO ₂	1.47	2.15	-0.15	1	2	
13	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
15	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.1	0.36	0.75	
16	SiO ₂	1.47	1.975	0.2	0.46	1	
17	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.3	0.47	1	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
18	SiO ₂	1.47	1.675	0.1	0.42	0.75	
19	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.1	0.28	0.5	
	基板	1.52					

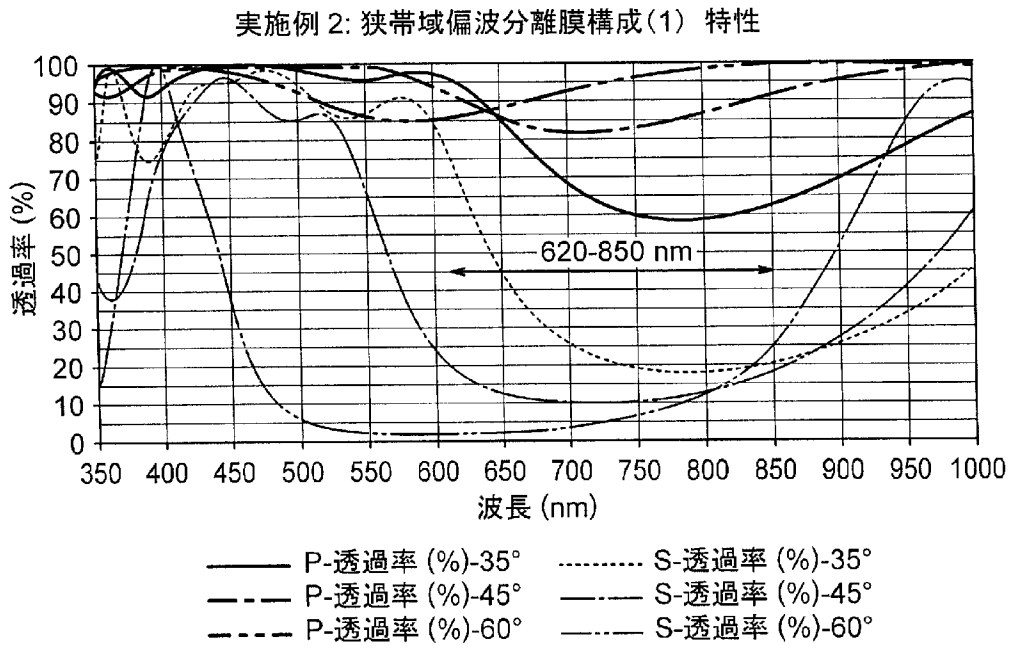
[図8]



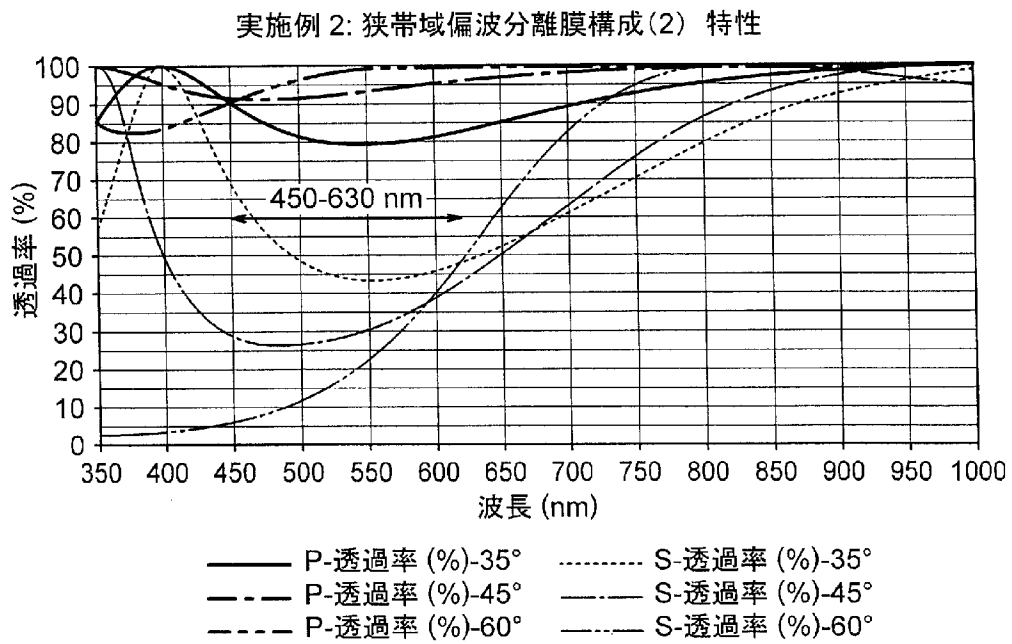
[図9]



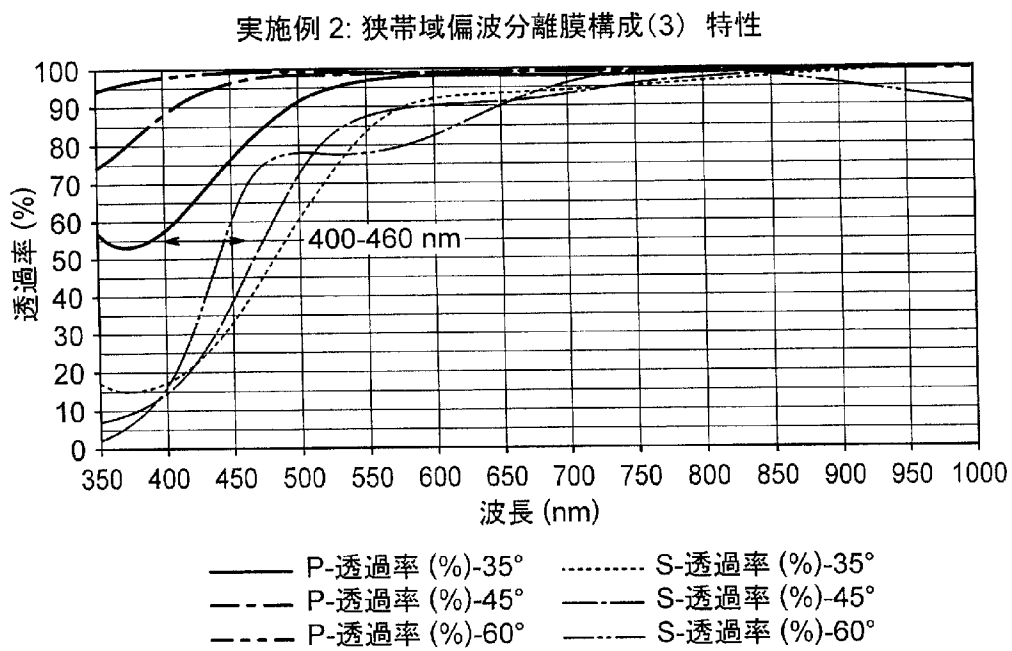
[図10]



[図11]



[図12]

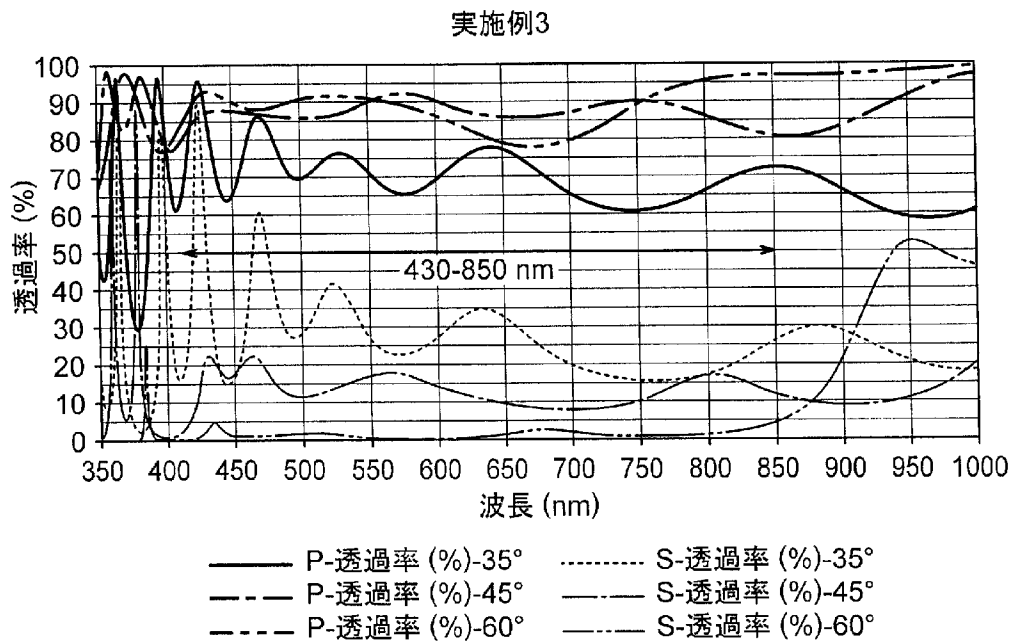


[図13]

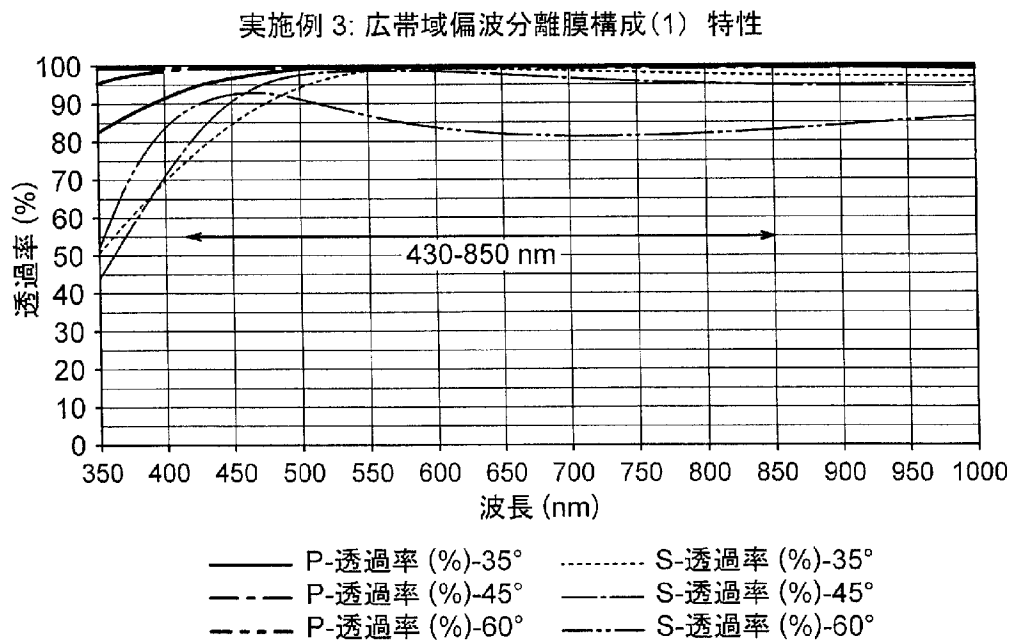
実施例 3

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~60				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.52					
1	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.06	1	0.3	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	0.16	1	0.96	
3	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	0.03	1	0.48	
4	SiO ₂	1.47	3.3	0.3	1	3.6	
5	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.225	1	2.2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.225	1	2.2	
7	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.21	1	2.035	
8	SiO ₂	1.47	1.675	0.195	1	1.87	
9	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.195	1	1.87	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
11	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	
12	SiO ₂	1.47	2.15	-0.15	1	2	
13	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
15	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	-0.4	0.38	0.6	
16	SiO ₂	1.47	1.975	-0.2	0.45	0.8	
17	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	-0.1	0.46	0.8	
18	SiO ₂	1.47	1.675	-0.3	0.44	0.6	
19	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	-0.25	0.26	0.4	
	基板	1.52					

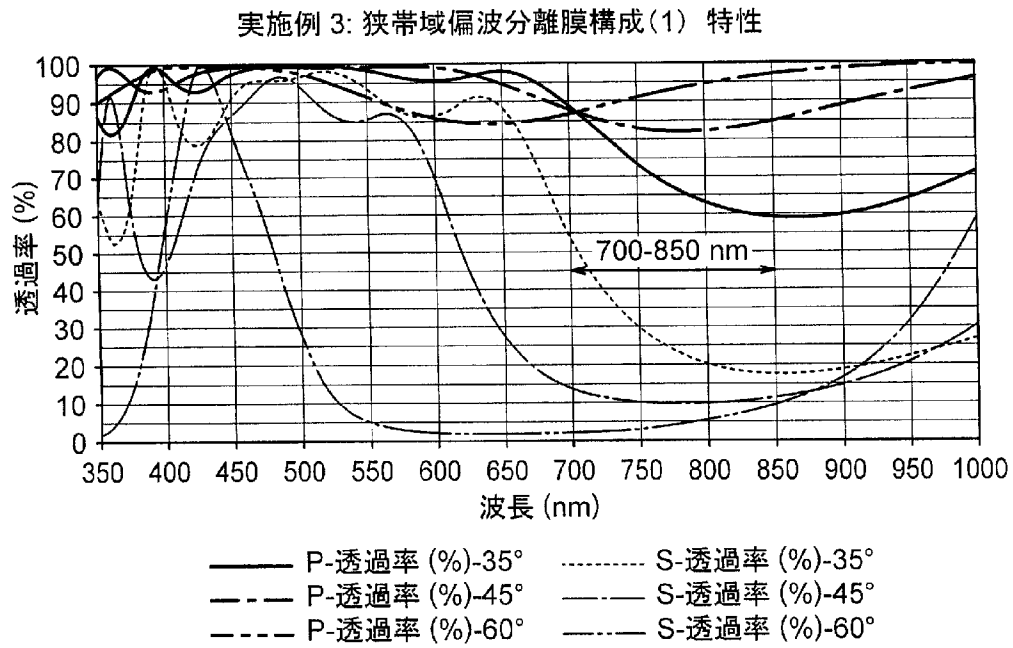
[図14]



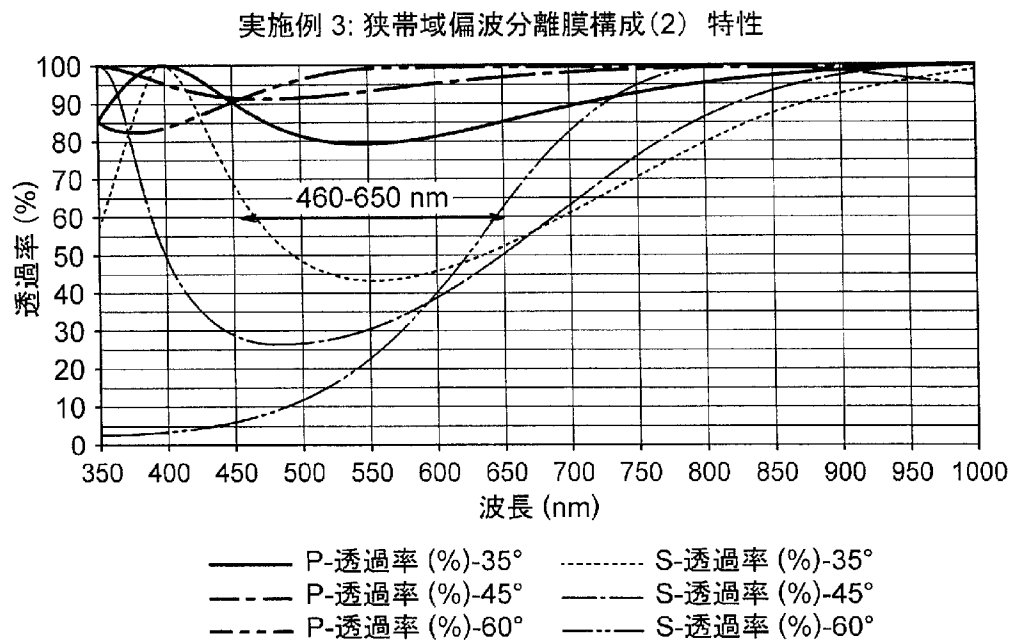
[図15]



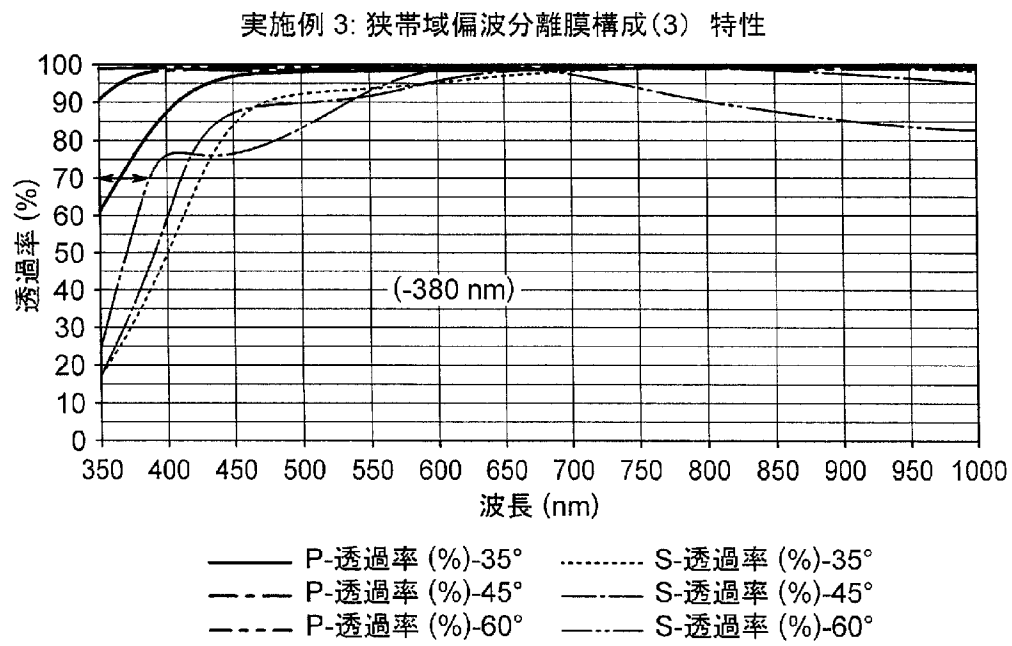
[図16]



[図17]



[図18]

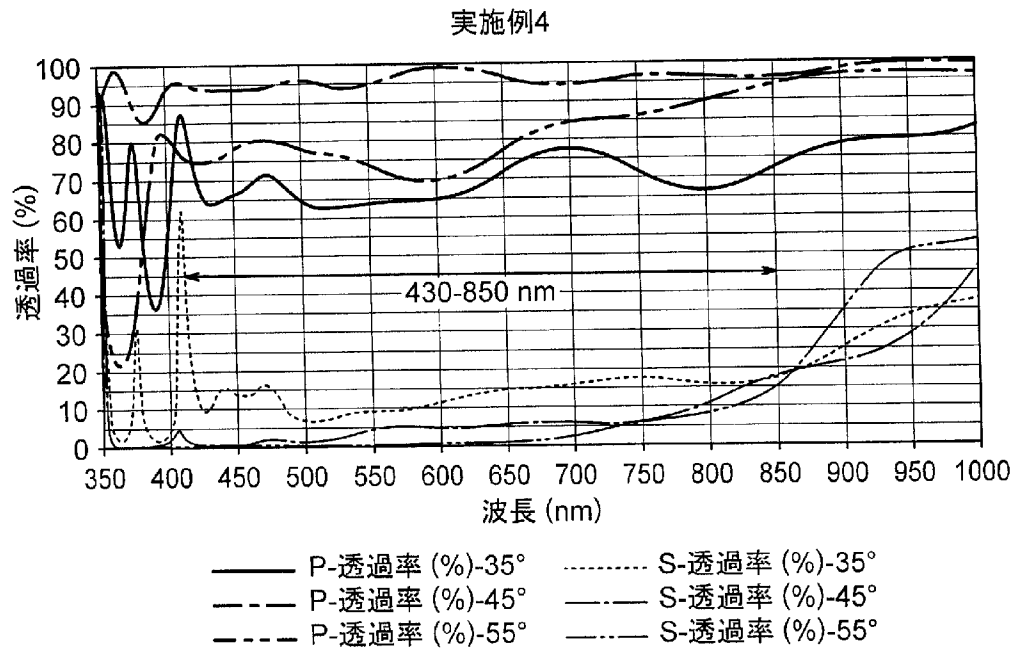


[図19]

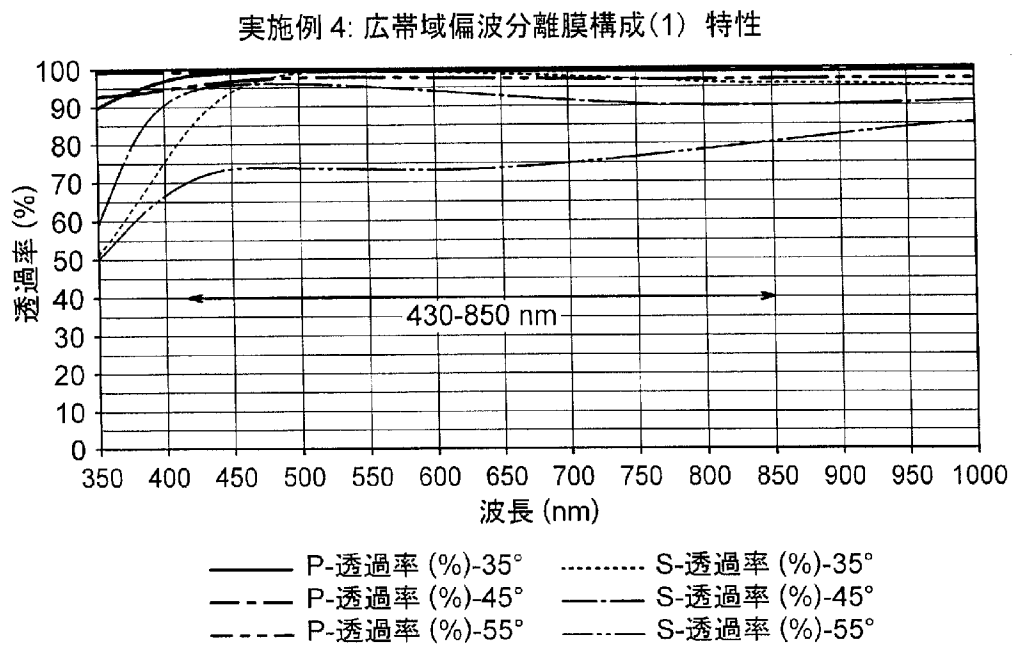
実施例 4

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~55				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.65					
1	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.06	1	0.3	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	0	1	0.8	
3	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	0.03	1	0.48	
4	SiO ₂	1.47	3.3	-0.2	1	3.1	
5	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.225	1	2.2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.225	1	2.2	
7	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.175	1	2	
8	SiO ₂	1.47	1.675	-0.025	1	1.65	
9	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	-0.025	1	1.65	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.025	1	1.7	
11	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0.1	1	0.9	
12	SiO ₂	1.47	2.15	-0.05	1	2.1	
13	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	-0.1	1	0.7	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.025	1	1.7	
15	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.3	0.40	0.9	
16	SiO ₂	1.47	1.975	0.4	0.46	1.1	
17	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.3	0.47	1	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
18	SiO ₂	1.47	1.675	0.1	0.43	0.76	
19	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.2	0.32	0.6	
	基板	1.65					

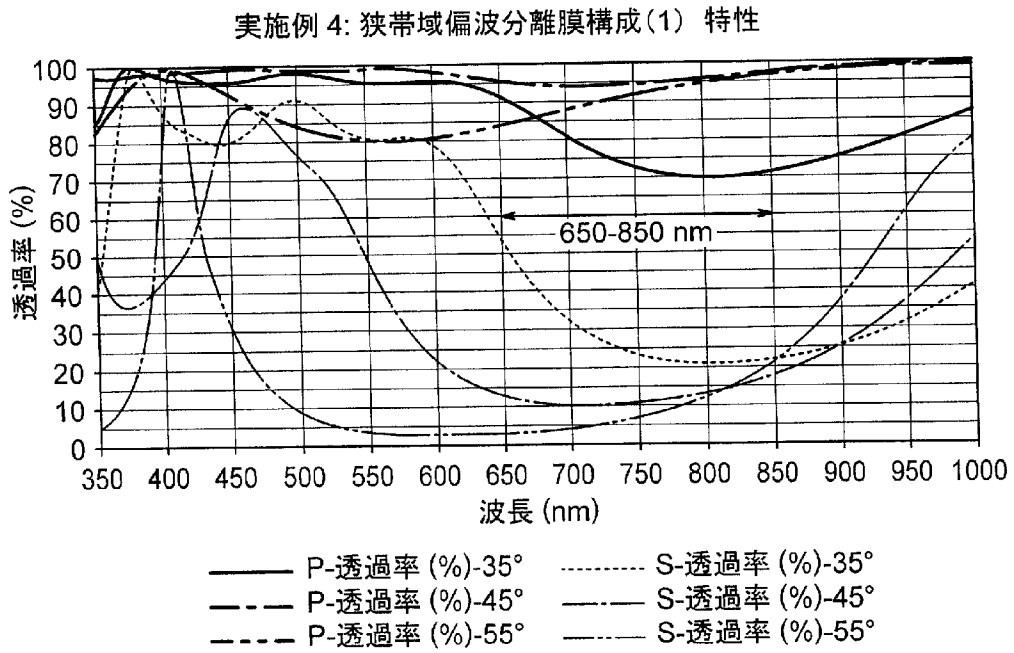
[図20]



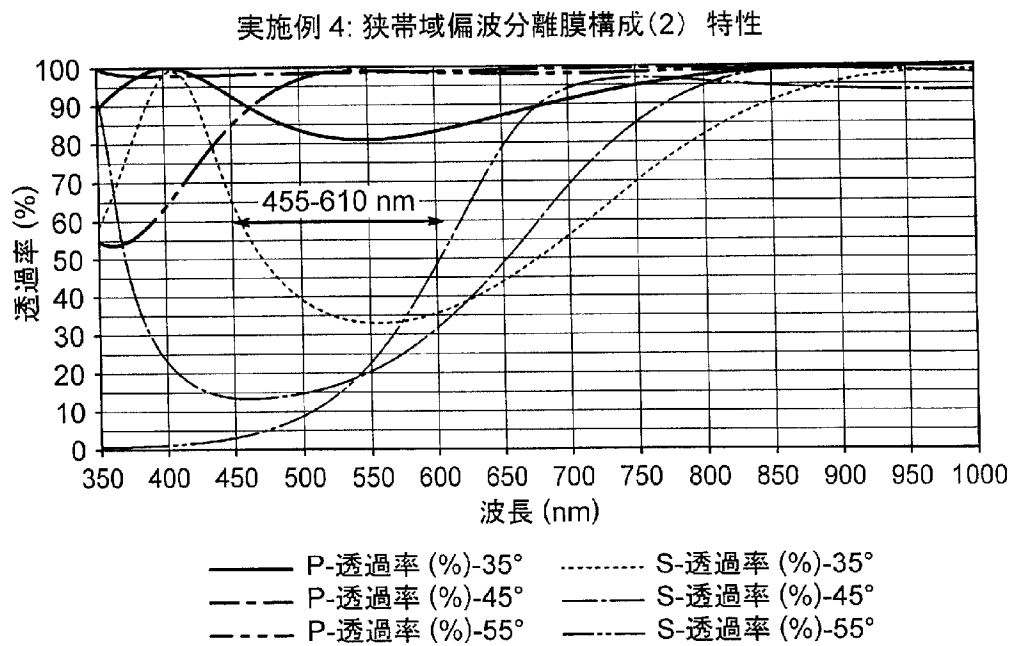
[図21]



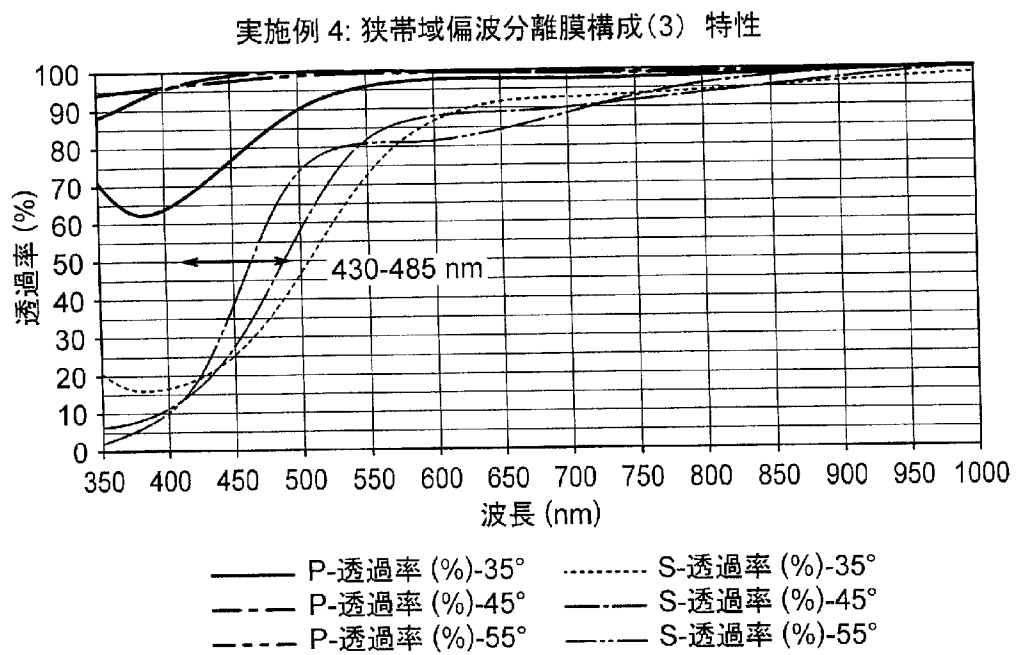
[図22]



[図23]



[図24]

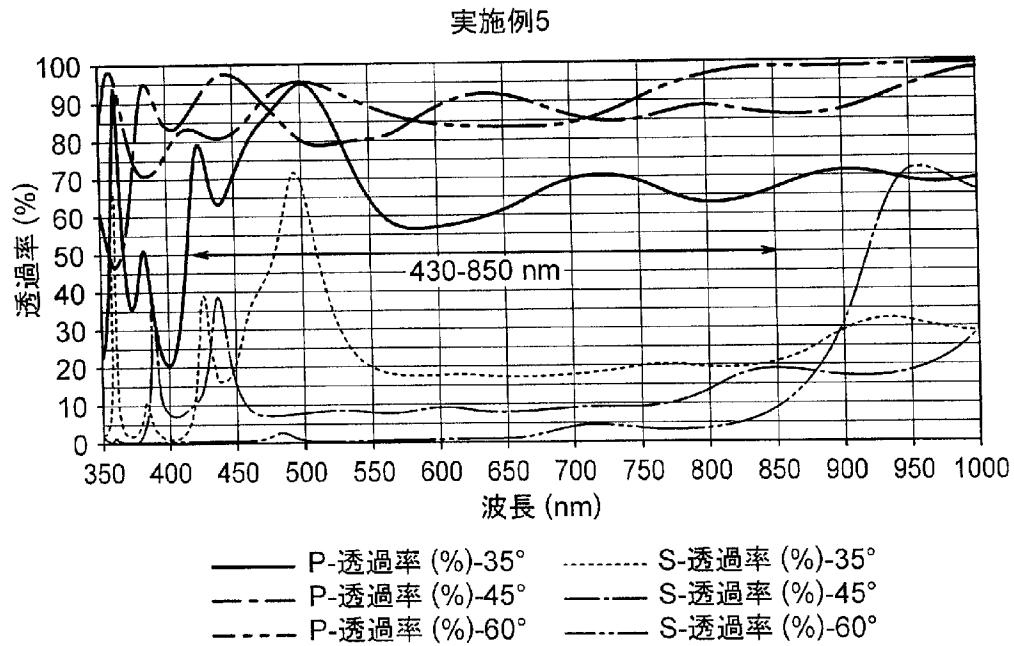


[図25]

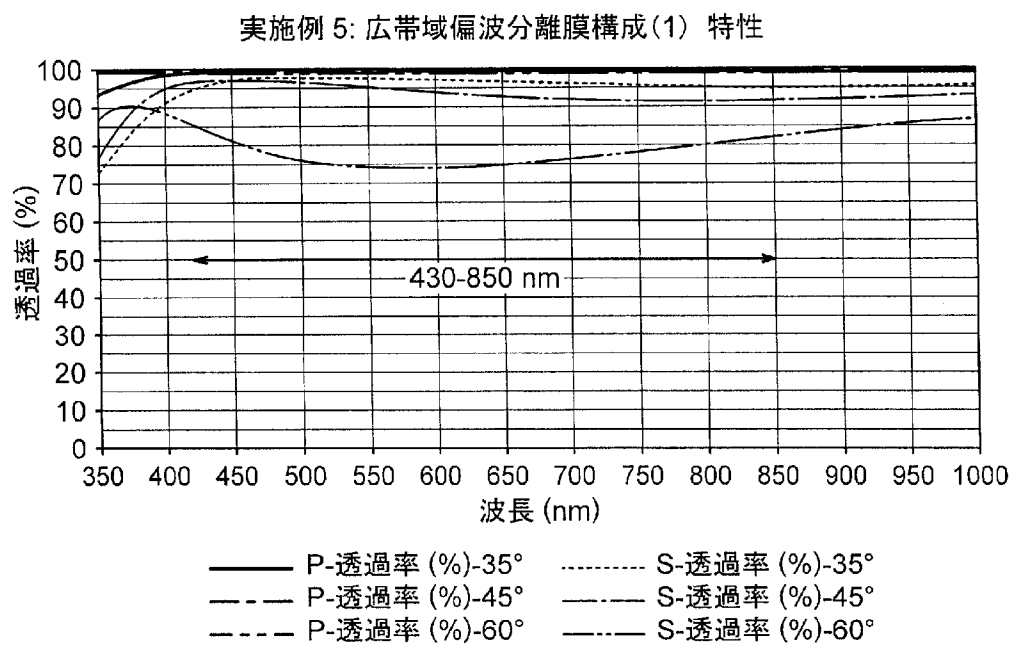
実施例 5

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~60				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.52					
1	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.035	1	0.275	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	-0.16	1	0.64	
3	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	0.03	1	0.48	
4	SiO ₂	1.47	3.3	-0.2	1	3.1	
5	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.025	1	2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.225	1	2.2	
7	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	-0.345	1	1.48	
8	SiO ₂	1.47	1.675	-0.145	1	1.53	
9	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	-0.025	1	1.65	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.025	1	1.7	
11	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	-0.08	1	0.72	
12	SiO ₂	1.47	2.15	0.25	1	2.4	
13	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0.16	1	0.96	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.025	1	1.7	
15	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.1	0.36	0.75	
16	SiO ₂	1.47	1.975	0.3	0.44	1	
17	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	-0.1	0.46	0.8	
18	SiO ₂	1.47	1.675	0.1	0.43	0.76	
19	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	-0.2	0.27	0.4	
	基板	1.52					

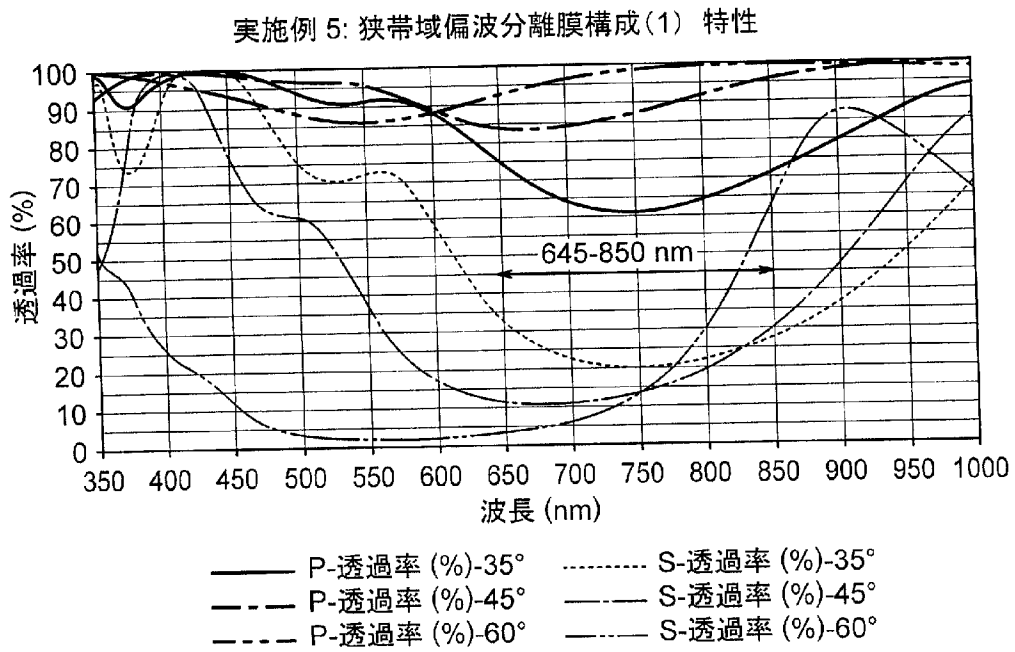
[図26]



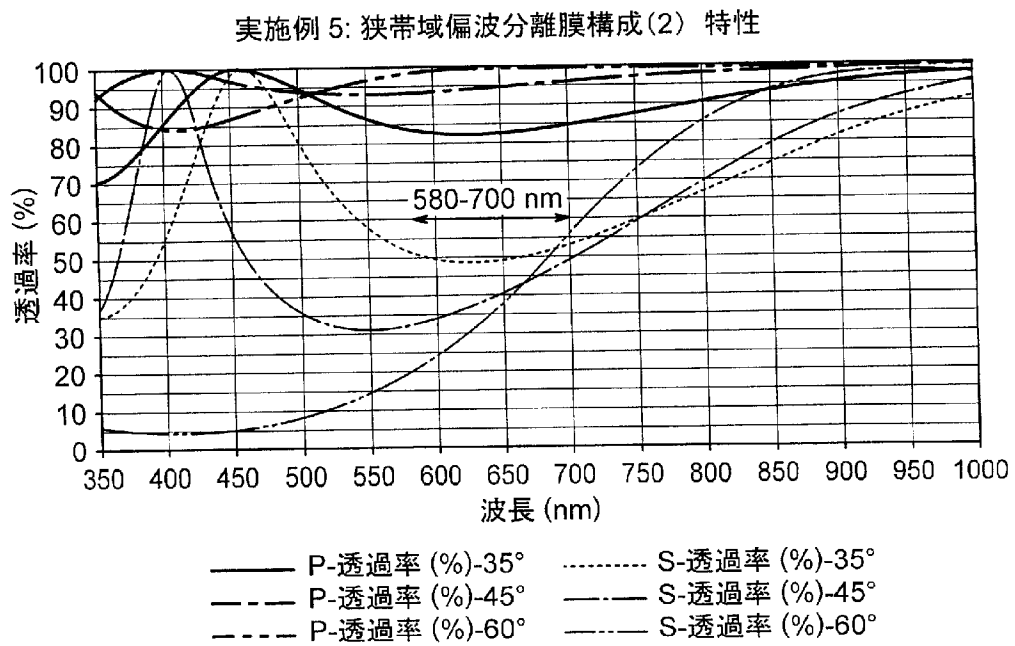
[図27]



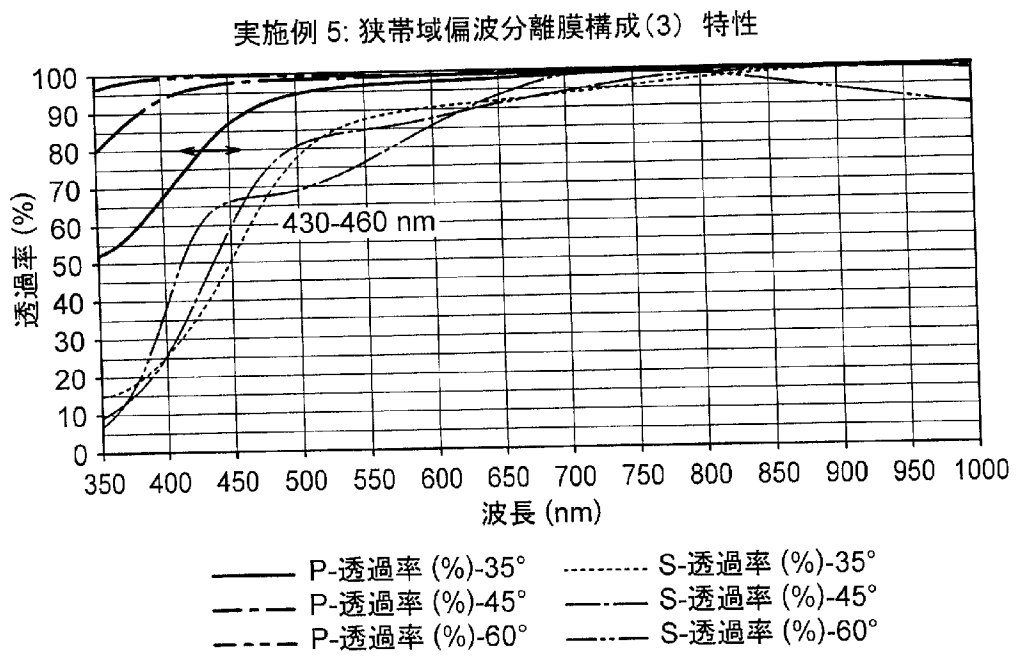
[図28]



[図29]



[図30]

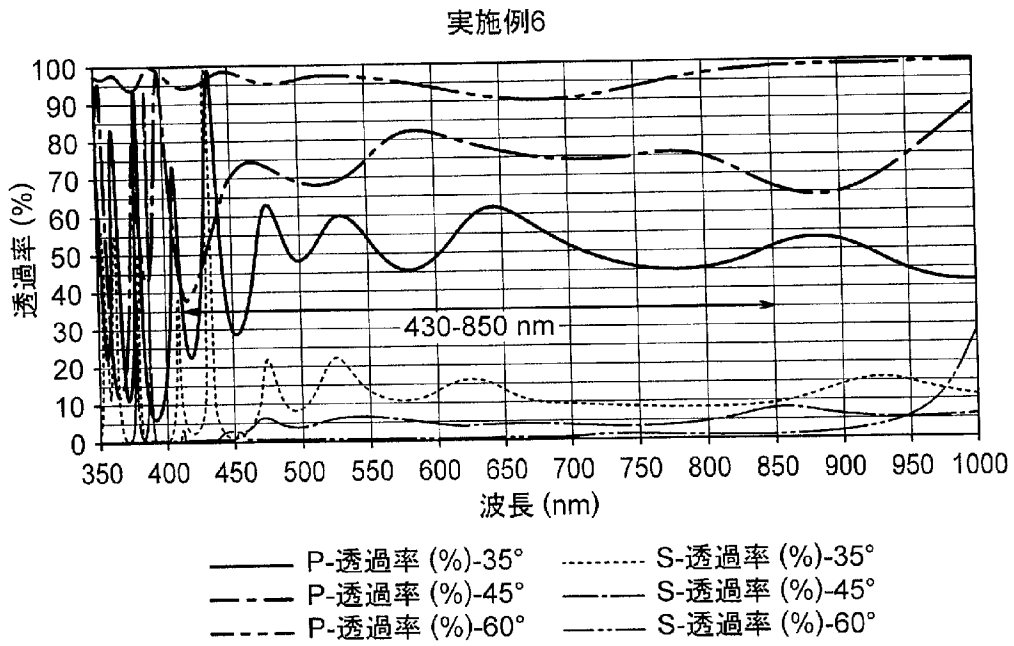


[図31]

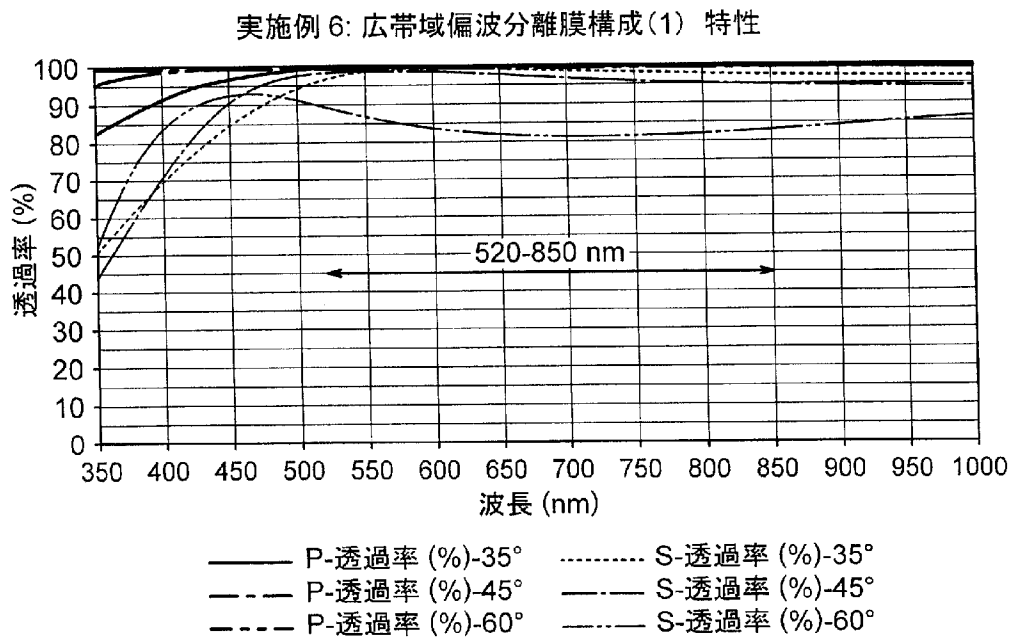
実施例 6

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~60				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.52					
1	Ti ₂ O ₂	2.54	0.24	0.06	1	0.3	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	0.16	1	0.96	
3	Ti ₂ O ₂	2.54	0.45	0.03	1	0.48	
4	SiO ₂	1.47	3.3	0.3	1	3.6	
5	Ti ₂ O ₂	2.54	1.975	0.225	1	2.2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.225	1	2.2	
7	Ti ₂ O ₂	2.54	1.825	0.21	1	2.035	
8	SiO ₂	1.47	1.675	0.195	1	1.87	
9	Ti ₂ O ₂	2.54	1.675	0.195	1	1.87	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
11	Ti ₂ O ₂	2.54	0.8	0	1	0.8	
12	SiO ₂	1.47	2.15	-0.15	1	2	
13	Ti ₂ O ₂	2.54	0.8	0	1	0.8	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
15	Ti ₂ O ₂	2.54	1.975	-0.15	0.37	0.675	
16	SiO ₂	1.47	1.975	0	0.46	0.9	
17	Ti ₂ O ₂	2.54	1.825	0.1	0.47	0.9	
18	SiO ₂	1.47	1.675	-0.3	0.49	0.675	
19	Ti ₂ O ₂	2.54	1.675	-0.3	0.33	0.45	
	基板	1.52					

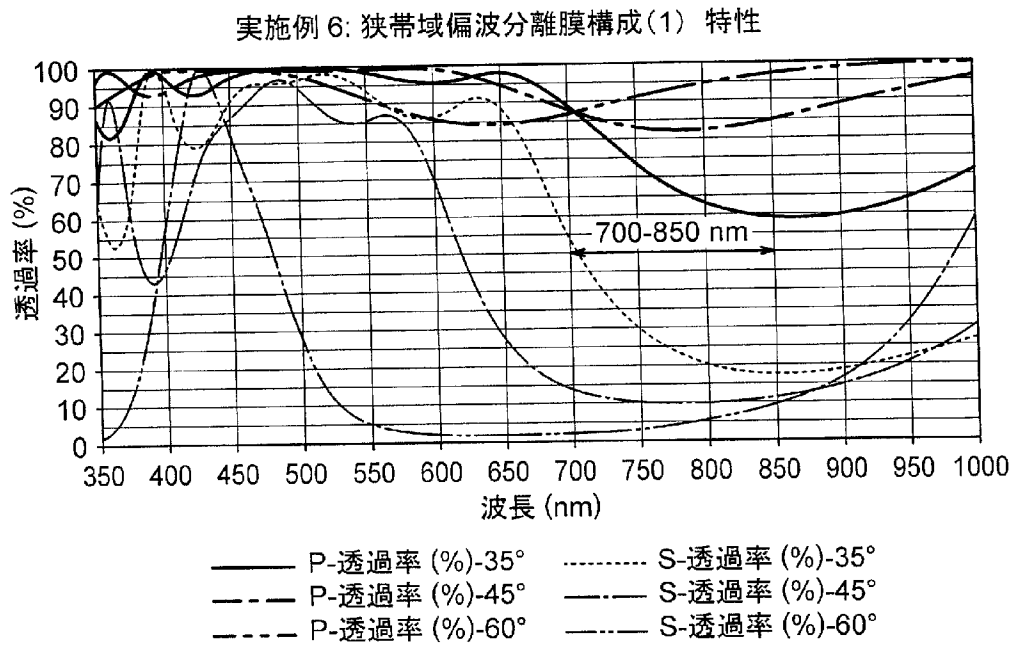
[図32]



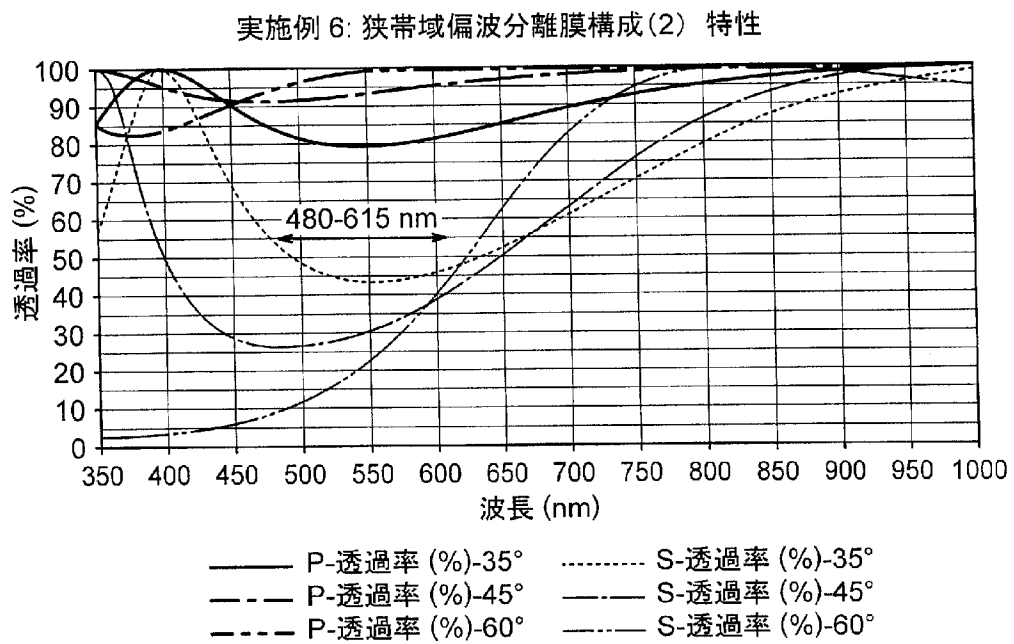
[図33]



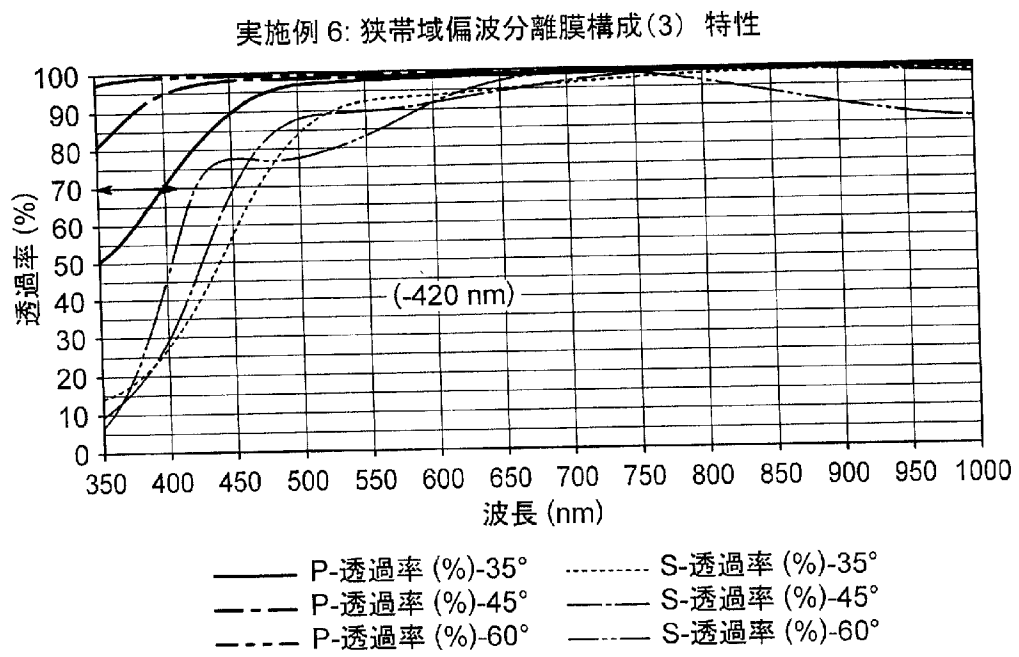
[図34]



[図35]



[図36]

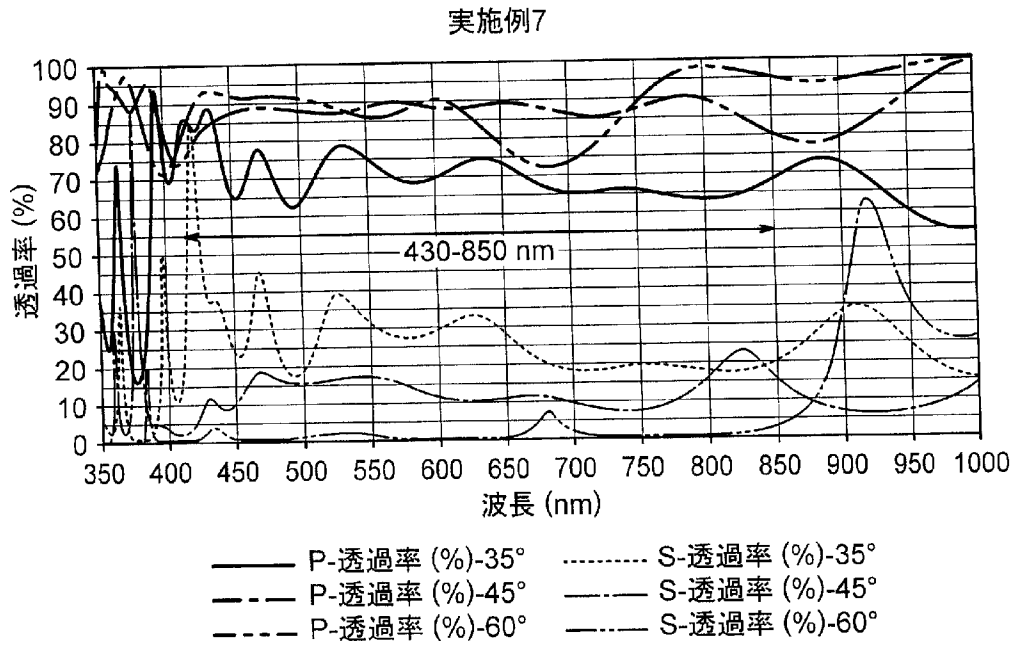


[図37]

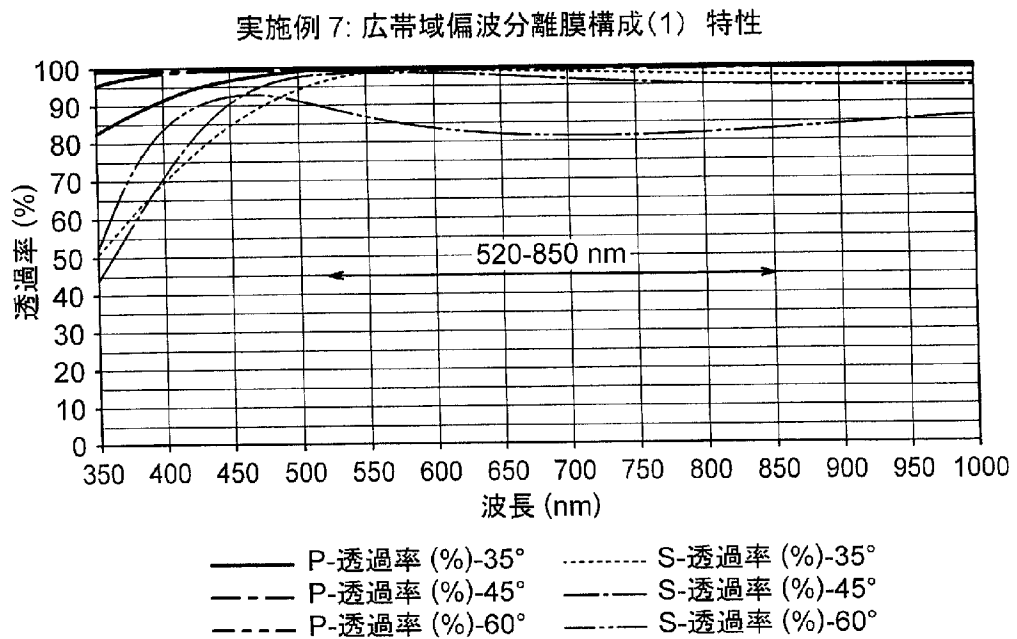
実施例 7

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~60				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.52					
1	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.06	1	0.3	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	0.16	1	0.96	
3	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	0.03	1	0.48	
4	SiO ₂	1.47	3.3	0.3	1	3.6	
5	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.225	1	2.2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.225	1	2.2	
7	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.21	1	2.035	
8	SiO ₂	1.47	1.675	0.195	1	1.87	
9	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.195	1	1.87	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
11	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	
12	SiO ₂	1.47	2.15	-0.15	1	2	
13	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
15	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	-0.3	0.36	0.6	
16	SiO ₂	1.47	1.975	-0.3	0.48	0.8	
17	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0	0.44	0.8	広帯域偏 波分離膜 構成(2)
18	SiO ₂	1.47	1.675	-0.2	0.41	0.6	
19	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	-0.2	0.27	0.4	
20	SiO ₂	1.47	3.30	0.5	0.95	3.6	
21	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	0.2	0.74	0.48	広帯域偏 波分離膜 構成(2)
22	SiO ₂	1.47	0.80	0.2	0.96	0.96	
23	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0	1.25	0.3	
	基板	1.52					

[図38]

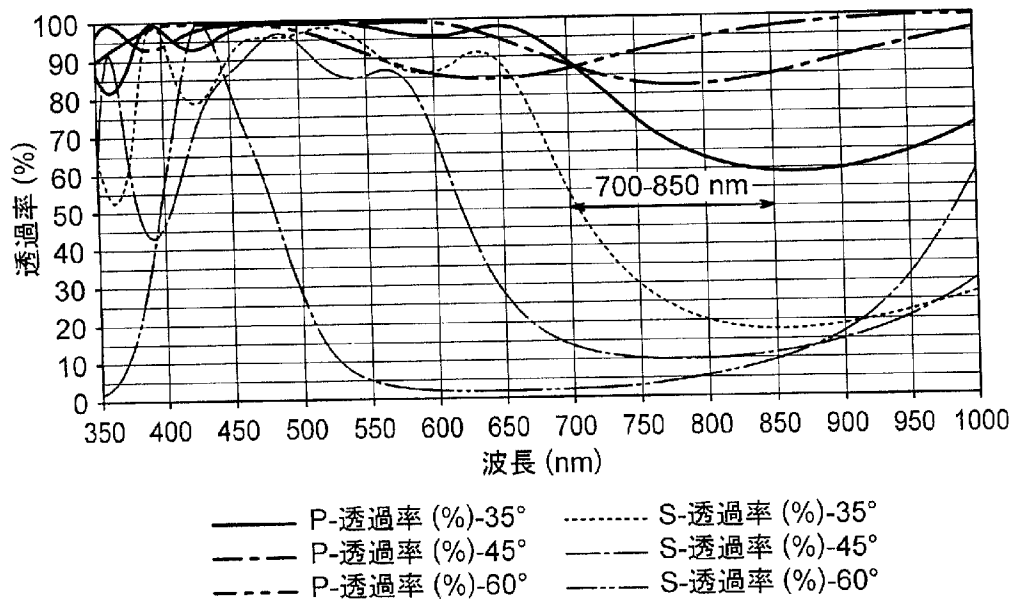


[図39]



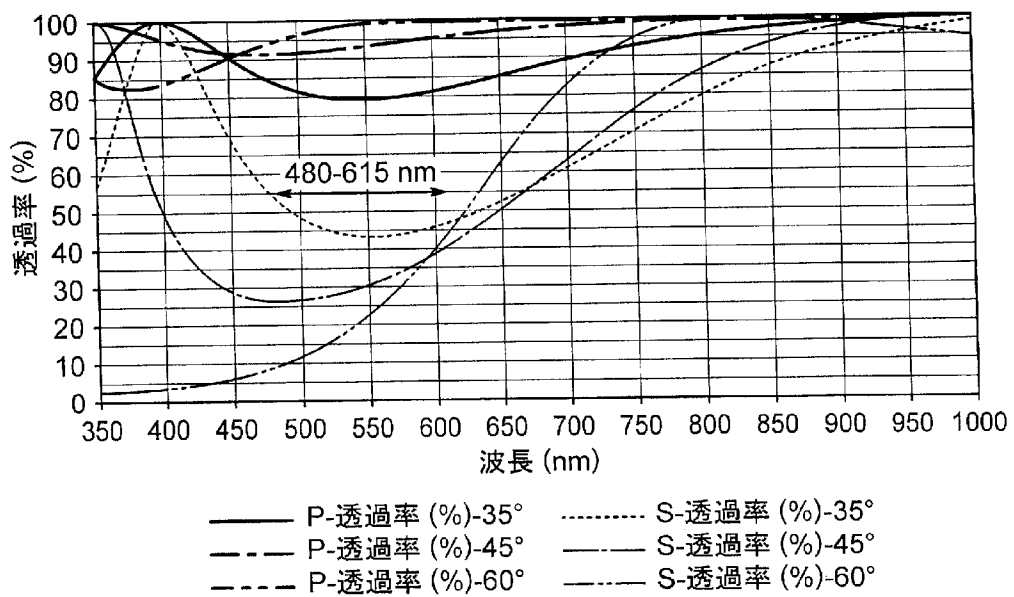
[図40]

実施例 7: 狭帯域偏波分離膜構成(1) 特性

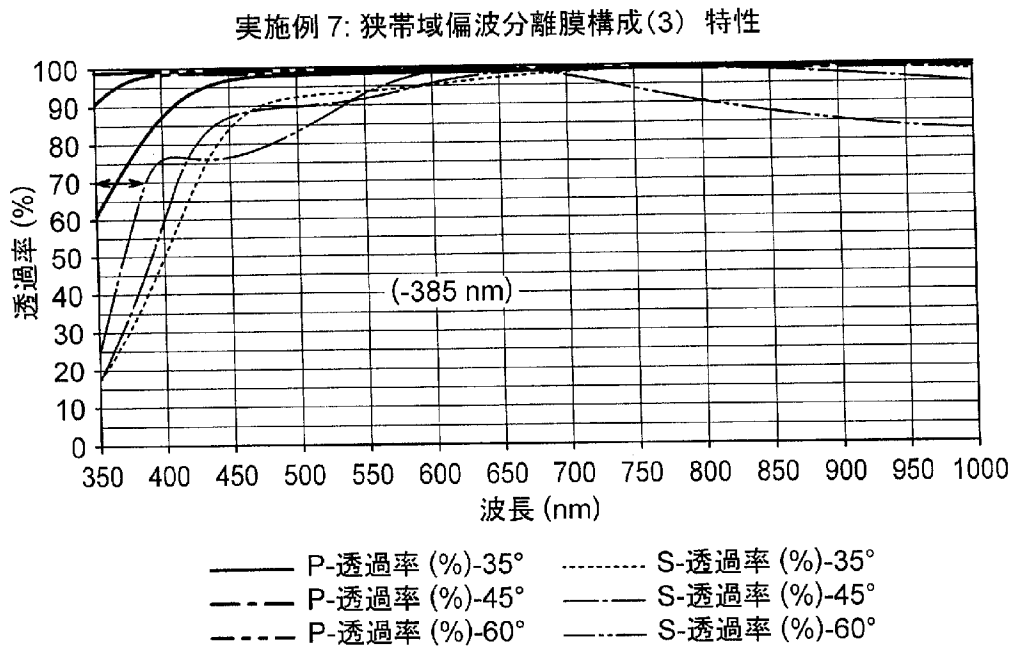


[図41]

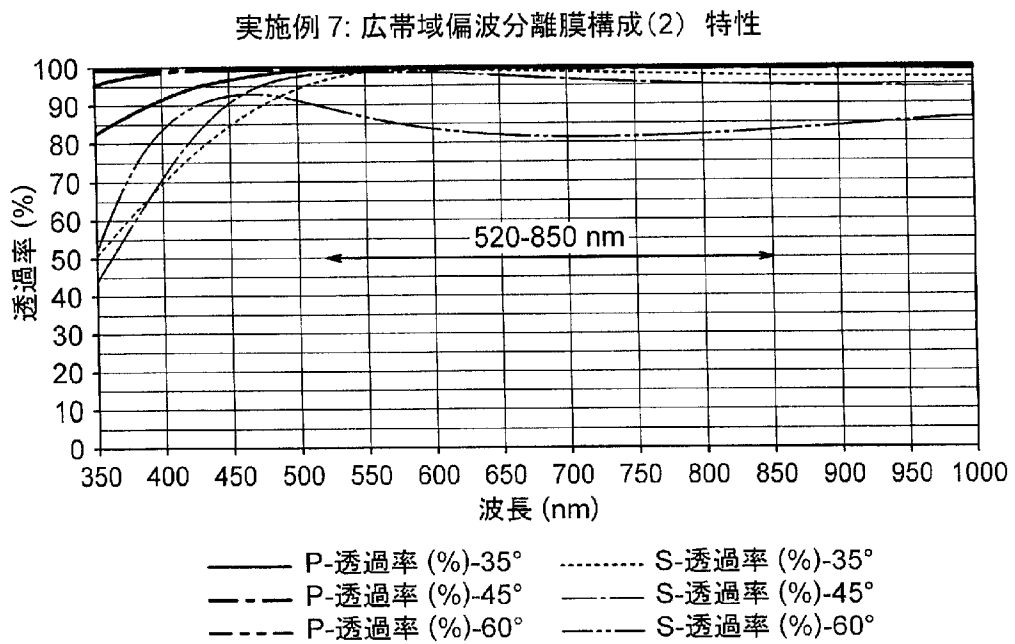
実施例 7: 狭帯域偏波分離膜構成(2) 特性



[図42]



[図43]

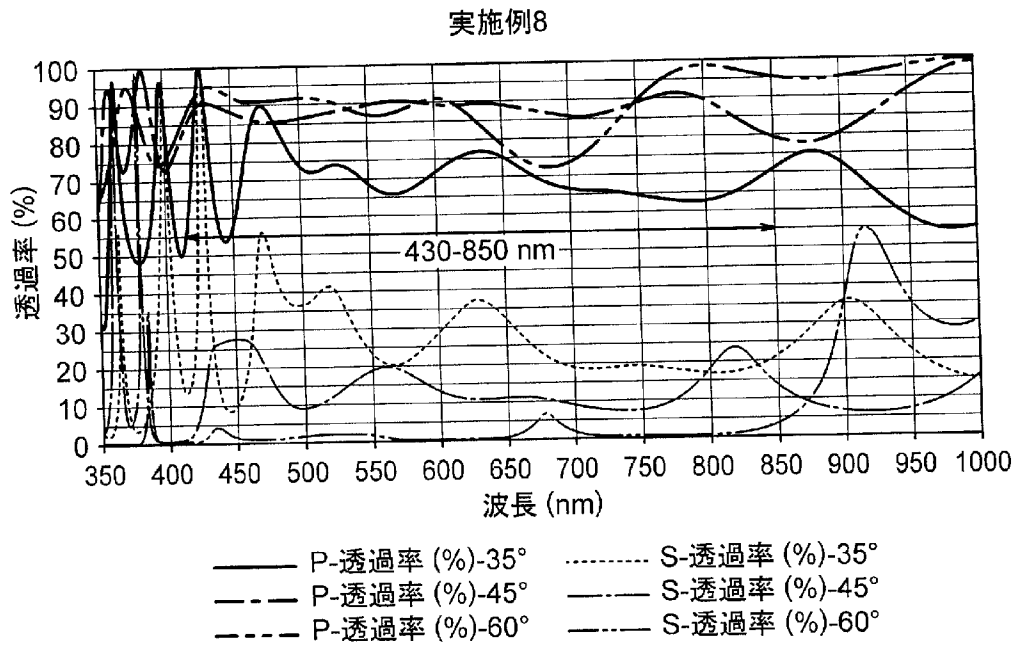


[図44]

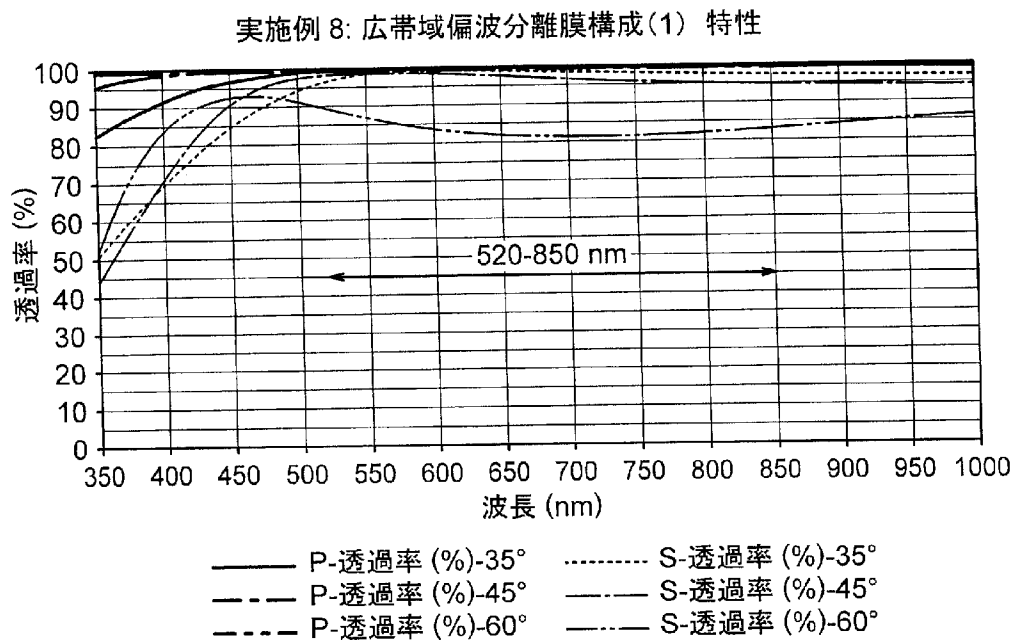
実施例 8

参照波長(nm):			500				
入射角度(°):			35~60				
層数	成膜物質	屈折率ni	基礎 光学膜厚 (QWOT)	加減係数	積算係数	計算 光学膜厚 (QWOT)	
	基板	1.52					
1	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.06	1	0.3	広帯域偏 波分離膜 構成(1)
2	SiO ₂	1.47	0.8	0.16	1	0.96	
3	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	0.03	1	0.48	
4	SiO ₂	1.47	3.3	0.3	1	3.6	
5	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	0.225	1	2.2	狭帯域偏 波分離膜 構成(1)
6	SiO ₂	1.47	1.975	0.225	1	2.2	
7	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0.21	1	2.035	
8	SiO ₂	1.47	1.675	0.195	1	1.87	
9	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	0.195	1	1.87	狭帯域偏 波分離膜 構成(2)
10	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
11	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	
12	SiO ₂	1.47	2.15	-0.15	1	2	
13	Ta ₂ O ₅	2.24	0.8	0	1	0.8	狭帯域偏 波分離膜 構成(3)
14	SiO ₂	1.47	1.675	0.075	1	1.75	
15	Ta ₂ O ₅	2.24	1.975	-0.3	0.36	0.6	
16	SiO ₂	1.47	1.975	-0.3	0.48	0.8	
17	Ta ₂ O ₅	2.24	1.825	0	0.44	0.8	広帯域偏 波分離膜 構成(2)
18	SiO ₂	1.47	1.675	-0.2	0.41	0.6	
19	Ta ₂ O ₅	2.24	1.675	-0.2	0.27	0.4	
20	SiO ₂	1.47	3.30	0.3	0.83	3	
21	Ta ₂ O ₅	2.24	0.45	0	0.67	0.3	広帯域偏 波分離膜 構成(2)
22	SiO ₂	1.47	0.80	0.2	1.00	1	
23	Ta ₂ O ₅	2.24	0.24	0.05	1.38	0.4	
	基板	1.52					

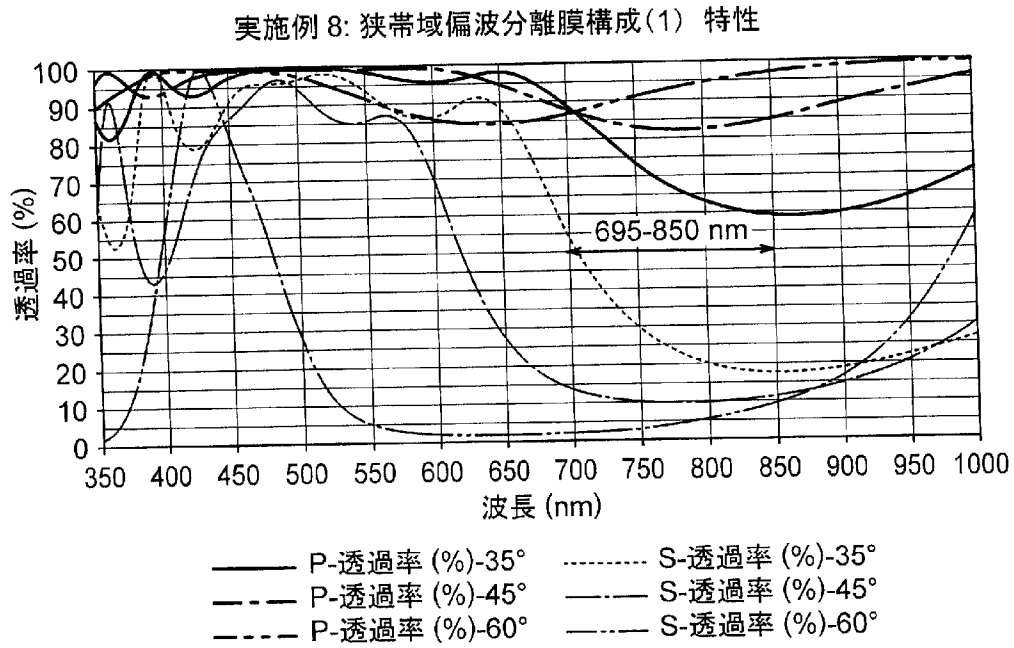
[図45]



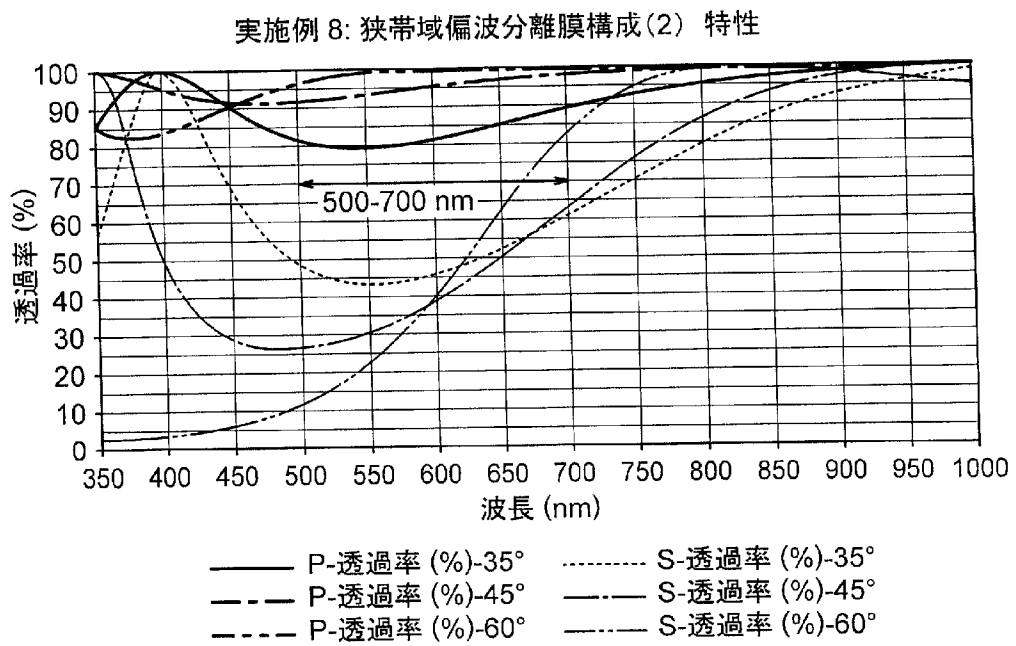
[図46]



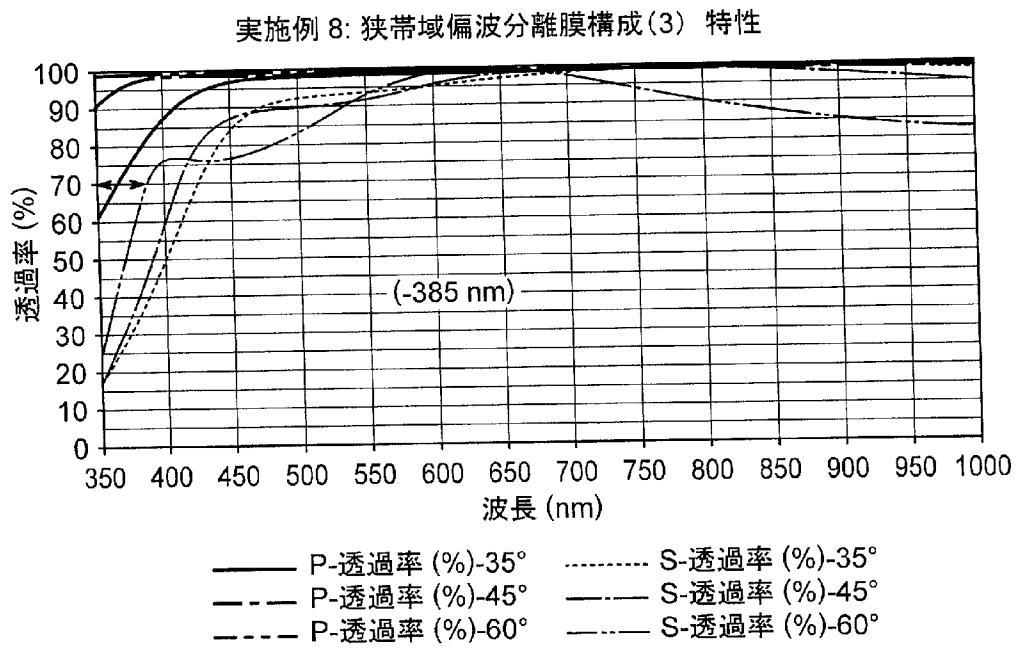
[図47]



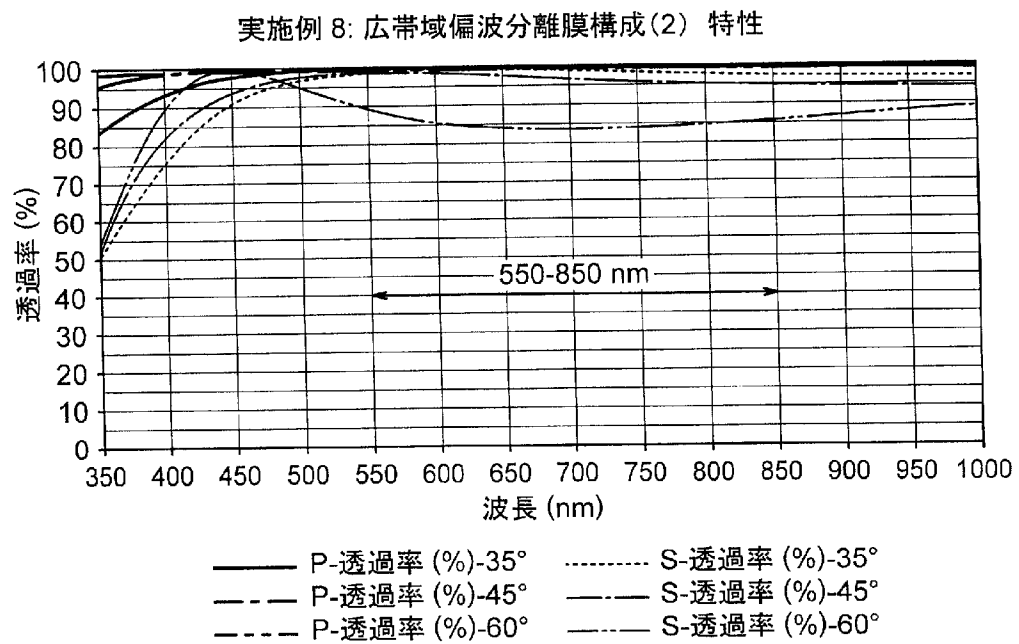
[図48]



[図49]



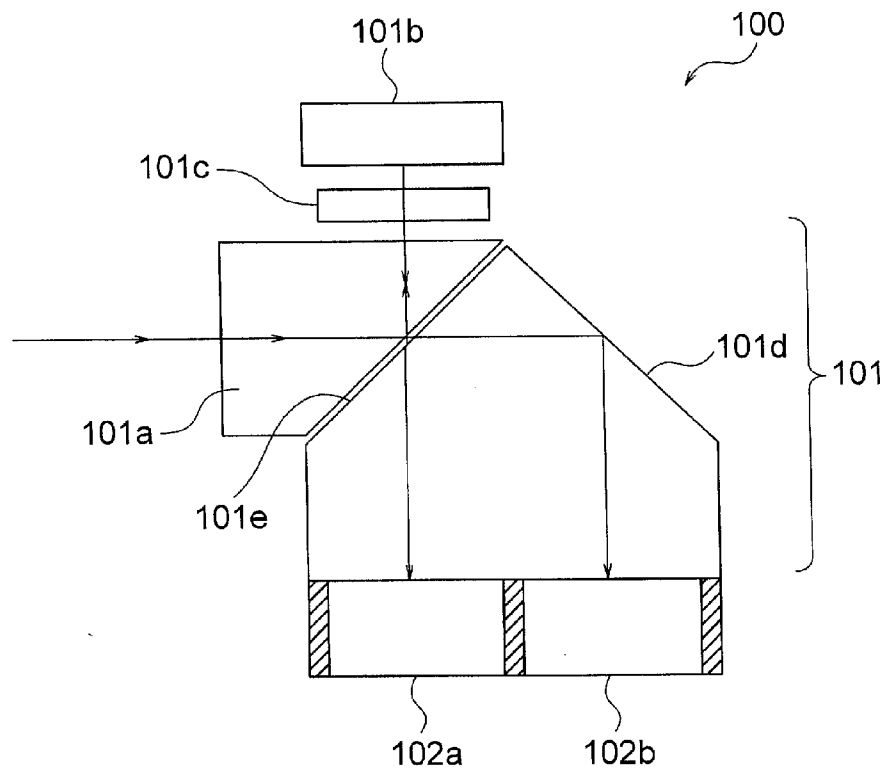
[図50]



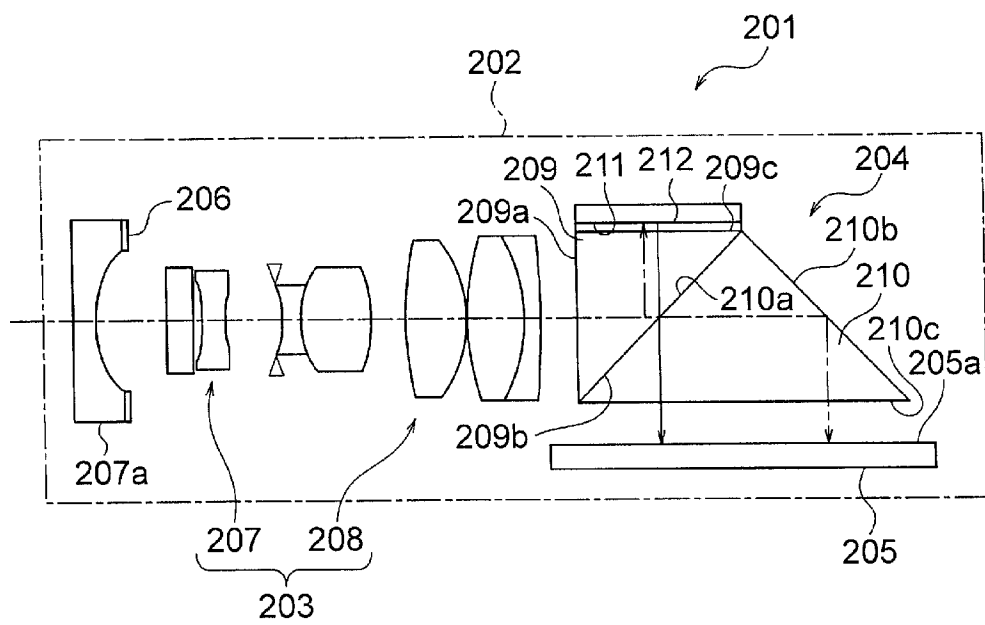
[図51]

	基板側 4 層の 平均屈折率	基板屈折率	屈折率差
実施例 1	1.58	1.65	-0.07
	1.83	1.65	0.18
実施例 2	1.58	1.52	0.06
	1.83	1.52	0.31
実施例 3	1.58	1.52	0.06
	1.83	1.52	0.31
実施例 4	1.60	1.65	-0.05
	1.83	1.65	0.18
実施例 5	1.60	1.52	0.08
	1.81	1.52	0.29
実施例 6	1.63	1.52	0.11
	1.96	1.52	0.44
実施例 7	1.58	1.52	0.06
	1.58	1.52	0.06
実施例 8	1.58	1.52	0.06
	1.59	1.52	0.07

[図52]

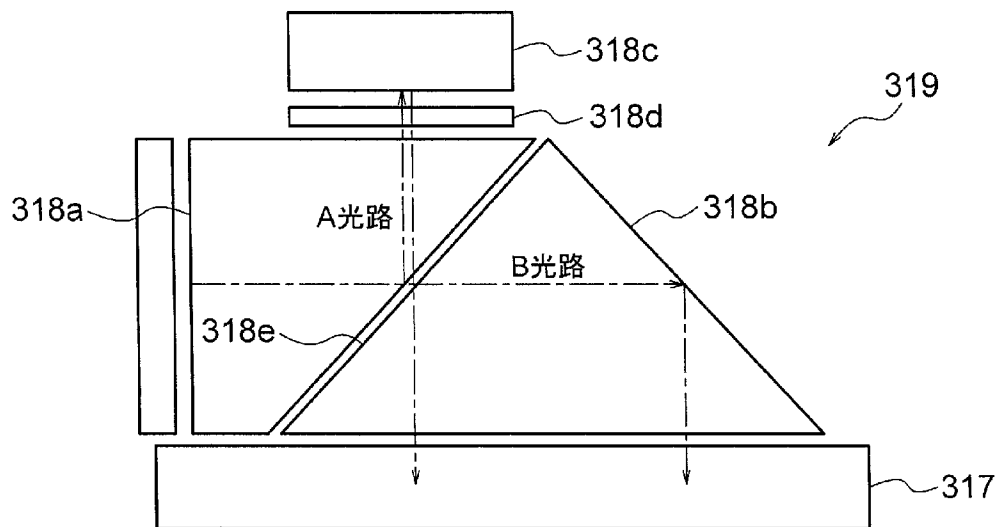


[図53]



[illegible]

[図55]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/037919

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02B5/30 (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)

Int.Cl. G02B5/30

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

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2019

Registered utility model specifications of Japan 1996-2019

Published registered utility model applications of Japan 1994-2019

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	JP 2001-51121 A (ASAHI TECHNO GLASS CORPORATION) 23 February 2001, claims, paragraphs [0001], [0023]-[0031], fig. 1-3 (Family: none)	1-15
X	JP 2008-181074 A (RICOH CO., LTD.) 07 August 2008, claims, paragraph [0003], fig. 2, 4, 7, etc. & US 2008/0158673 A1, claims, paragraph [0005], fig. 2, 4, 7, etc. & EP 1939655 A2 & CN 101290366 A & TW 200844481 A	1-15



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

04.01.2019

Date of mailing of the international search report

15.01.2019

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/037919

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-349972 A (ASAHI KASEI CORPORATION) 28 December 2006, entire text, all drawings (Family: none)	1-15
A	JP 2005-107317 A (MINOLTA CO., LTD.) 21 April 2005, entire text, all drawings & US 2005/0068622 A1	1-15

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G02B5/30 (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. G02B5/30

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	1971-2019年
日本国実用新案登録公報	1996-2019年
日本国登録実用新案公報	1994-2019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	JP 2001-51121 A (旭テクノグラス株式会社) 2001.02.23, 特許請求の範囲、段落 [0001] [0023] ~ [0031]、図1~3 (ファミリーなし)	1-15
X	JP 2008-181074 A (株式会社リコー) 2008.08.07, 特許請求の範囲、段落 [0003]、図2、4、7等 & US 2008/0158673 A1, 特許請求の範囲、段落 [0005]、図2、4、7等 & EP 1939655 A2 & CN 101290366 A & TW 200844481 A	1-15

☒ 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

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

04.01.2019

国際調査報告の発送日

15.01.2019

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)

藤岡 善行

20

9225

電話番号 03-3581-1101 内線 3271

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
A	JP 2006-349972 A (旭化成株式会社) 2006. 12. 28, 全文、全図 (ファミリーなし)	1 - 15
A	JP 2005-107317 A (ミノルタ株式会社) 2005. 04. 21, 全文、全図 & US 2005/0068622 A1	1 - 15