

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-133402

(P2006-133402A)

(43) 公開日 平成18年5月25日(2006.5.25)

(51) Int.C1.

G02B 5/30 (2006.01)  
G03B 21/00 (2006.01)

F 1

G02B 5/30  
G03B 21/00

テーマコード(参考)

2H049  
E 2K103

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 35 頁)

(21) 出願番号  
(22) 出願日特願2004-320988 (P2004-320988)  
平成16年11月4日 (2004.11.4)

(71) 出願人 000001007  
キヤノン株式会社  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(74) 代理人 100086818  
弁理士 高梨 幸雄

(72) 発明者 桃木和彦  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
ヤノン株式会社内

(72) 発明者 大高圭史  
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ  
ヤノン株式会社内

F ターム(参考) 2H049 BA05 BA42 BA45 BA47 BB03  
BB42 BB62 BC22  
2K103 AA01 AA05 AA14 AB10 BC15  
CA26 CA75 CA76

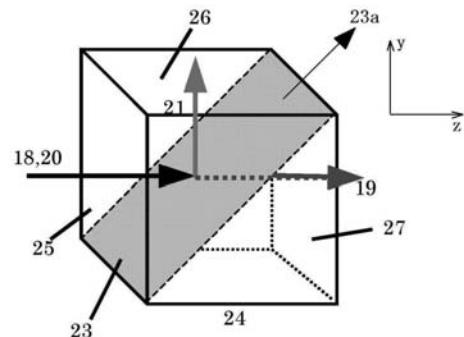
(54) 【発明の名称】偏光分離素子及びそれを有する光学系

## (57) 【要約】

【課題】液晶プロジェクタなどに最適な、可視光全域と言ふ広い波長範囲と、小さいF No.で使用可能な広い角度特性をもつ偏光分離素子を得ること。

【解決手段】屈折率が均質な層と、2層以上の構造複屈折を有する層とを積層した偏光分離層、2つの光学部材の間に設けた偏光分離素子であって、前記2つの光学部材は、一方の光学部材の入射面から入射し、前記偏光分離層に入射する光線のうち前記偏光分離層を透過した透過光が他方の光学部材の射出面から射出し、前記偏光分離層で反射した反射光が前記一方の光学部材の前記入射面と異なる透過面より、前記入射光の入射方向とは異なる角度で射出する構成よりなること。

【選択図】図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

屈折率が均質な層と、2層以上の構造複屈折を有する層とを積層した偏光分離層を、2つの光学部材の間に設けた偏光分離素子であって、前記2つの光学部材は、一方の光学部材の入射面から入射し、前記偏光分離層に入射する光線のうち前記偏光分離層を透過した透過光が他方の光学部材の射出面から射出し、前記偏光分離層で反射した反射光が前記一方の光学部材の前記入射面と異なる透過面より、前記入射光の入射方向とは異なる角度で射出する構成よりなることを特徴とする偏光分離素子。

## 【請求項 2】

屈折率が均質な層と、2層以上の構造複屈折を有する層とを積層した偏光分離層を、2つの光学部材の間に設けた偏光分離素子であって、前記2つの光学部材は、一方の光学部材の入射面から入射し、前記偏光分離層に入射する光線のうち、前記偏光分離層を透過した透過光が他方の光学部材の前記入射面とはほぼ平行な射出面から射出し、前記偏光分離層で反射した反射光が前記一方の光学部材の前記入射面とは異なる透過面より前記入射光の入射方向とは異なる角度で射出する構成より成り、前記偏光分離層は、前記一方の光学部材の入射面及び射出面と平行でない角度で設定されていることを特徴とする偏光分離素子。

## 【請求項 3】

前記構造複屈折を有する層は、1次元格子からなり、前記偏光分離層に入射する光のうち該1次元格子と平行な方向の偏光成分の光を主として透過し、これと直交する方向の偏光成分の光を主として反射することを特徴とする請求項1又は2の偏光分離素子。

## 【請求項 4】

前記構造複屈折を有する層は少なくとも2つの媒質からなる1次元格子よりなり、該1次元格子は使用する波長よりも短い周期構造を有することを特徴とする請求項1, 2又は3の偏光分離素子。

## 【請求項 5】

前記入射面に垂直に入射する光線が前記偏光分離層へ入射する際の入射平面と、前記1次元格子の方向が略平行であることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項の偏光分離素子。

## 【請求項 6】

前記構造複屈折を有する層は、2つの媒質を交互に1次元方向に配列した1次元格子より成り、該2つの媒質のうち1つは誘電体、他の1つは空気であることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項の偏光分離素子。

## 【請求項 7】

前記誘電体の屈折率を $n_1$ とするとき

$$1.5 < n_1$$

の条件を満足することを特徴とする請求項6の偏光分離素子。

## 【請求項 8】

前記誘電体は酸化チタンであることを特徴とする請求項6の偏光分離素子。

## 【請求項 9】

前記屈折率が均質な層の媒質の屈折率と、前記構造複屈折を含む層の格子と平行な方向の偏光に対する有効屈折率が略等しいことを特徴とする請求項1から8のいずれか1項の偏光分離素子。

## 【請求項 10】

前記構造複屈折を有する層は、2つの媒質を交互に1次元方向に配列した1次元格子より成り、該2つの媒質のうち1つは誘電体より成り、該誘電体の格子ピッチに占める誘電体媒質の割合を $f$ とするとき

$$0.15 < f < 0.8$$

の条件を満たすことを特徴とする請求項1から9のいずれか1項の偏光分離素子。

## 【請求項 11】

10

20

30

40

50

前記 2 つの光学部材のうち、少なくとも一方は光弾性定数の絶対値が  $0.1 \times 10^{-8}$   $\text{cm}^2/\text{N}$  より小さい材料より成ることを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項の偏光分離素子。

【請求項 1 2】

請求項 1 から 11 のいずれか 1 項の偏光分離素子を含む光学系であって、該偏光分離素子の偏光分離面には、光線が前記屈折率が均質な層の媒質の屈折率と、前記構造複屈折を有する層の格子と平行な方向の偏光に対する有効屈折率で決定されるブリュースター角を含む角度範囲で入射することを特徴とする光学系。

【請求項 1 3】

請求項 1 から 11 のいずれか 1 項の偏光分離素子を含む光学系であって、該偏光分離素子の偏光分離面には、光線の一部が前記屈折率が均質な層の媒質の屈折率と、前記構造複屈折を有する層の格子と直角方向の偏光に対する有効屈折率で決定される臨界角より大きな角度で、入射することを特徴とする光学系。

【請求項 1 4】

請求項 1 から 11 のいずれか 1 項の偏光分離素子を含む光学系であって、前記屈折率が均質な層の厚さと屈折率を各々  $d_a$ 、 $n_a$ 、前記構造複屈折を有する層の厚さを  $d_b$ 、最も短波長側の使用波長を  $\lambda_s$ 、前記入射面に垂直な光線の偏光分離層への入射角  $\theta$  とするとき、

$$(n_a d_a \cdot \cos \theta) / \lambda_s < 0.5$$

$$0.2 < d_b / \lambda_s < 1.0$$

の条件を満たすことを特徴とする光学系。

【請求項 1 5】

請求項 1 2 から 14 のいずれか 1 項の光学系と、光源部からの光束を画像信号に基づいて変調する変調手段と、該変調手段により変調された光束を所定面上に投写する投射光学系とを有することを特徴とする投写型画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は偏光分離素子及びそれを有する光学系に関し、複数の波長、あるいは帯域光で、かつ、比較的広い入射角度範囲で良好なる偏光分離特性を有する、例えば、撮影光学系、投写型表示装置（プロジェクタ）、画像処理装置、半導体製造装置、等の各種光学機器に好適なものである。

【背景技術】

【0002】

従来より、入射光を P 偏光と S 偏光に分離する偏光分離素子として誘電体多層膜を用いたものが知られている。

【0003】

図 2 1 は、偏光分離の説明図である。図 2 1 において、多層膜 17 に入射してきた P 偏光（18）は、ブリュースター角において透過し、透過光 19 となる。一方 S 偏光（20）は多層膜 17 での反射による干渉によって反射光 21 となる。

【0004】

多層膜 17 は異なる屈折率の誘電体層を積層した構成よりなる。高い屈折率  $n_H$  を持つ層を H 層、それより低い屈折率  $n_L$  を持つ層を L 層とする。

【0005】

一般的に屈折率  $n_1$ 、 $n_2$  を持つ 2 つの媒質の間のブリュースター角  $\theta_B$  は式（a 1）で与えられる。このブリュースター角度  $\theta_B$  で入射した光線のうち P 偏光成分は全て透過する。

【0006】

$$\tan \theta_B = n_2 / n_1 \cdots \quad (a 1)$$

偏光分離素子を構成するためには、この媒質の屈折率  $n_1$ 、 $n_2$  と角度  $\theta_B$  の関係がプリ

10

20

30

40

50

ズム媒質および、H層、L層の界面で同時に成り立つ必要がある。そのため、プリズム媒質の屈折率  $n_p$  と、薄膜を形成する2つの誘電体媒質の屈折率  $n_H$  と  $n_L$  との間には、下記の関係式が成り立つ必要がある。

【0007】

【数1】

$$n_p = \sqrt{\frac{n_H^2 n_L^2}{\sin^2 \theta_B (n_H^2 + n_L^2)}} \quad \cdots (a2)$$

10

【0008】

s偏光に関しては、高屈折率媒質の屈折率  $n_H$  と、低屈折率媒質の屈折率  $n_L$  の屈折率差  $n_H - n_L$  から生じる界面での反射を用いて、多層膜干渉による反射膜を構成する。

【0009】

各層の膜厚を最適化させ、20～40層の膜を積層することで可視光全域に対する反射膜を実現し、S偏光を得るようにしている。

【0010】

s偏光は、膜の層数を増やすことで広い角度特性、波長特性を設計することが可能である。しかしながらp偏光の透過率は、媒質間の屈折率と入射角度だけに依存するため、膜の層数の影響を受けない。また逆に層数を増やせば増やすほどブリュースター角からのズレに伴うp偏光の反射率が増加し、透過率の波長特性、角度特性は悪化する。

20

【0011】

誘電体多層膜のかわりに複屈折性をもつ接着材をプリズムに挟んだ構成の偏光分離素子が知られている（特許文献1）。

【0012】

特許文献1は、複屈折性の材料の常光線と異常光線の屈折率差を利用したもので、屈折率差は小さいものの、約60°と言う大きな入射角で使用することで、選択的に一方の偏光を全反射させることにより偏光分離を実現している。

【0013】

全反射が起こるためには、光線の入射角が臨界角  $c$  以上で有ることが必要である。臨界角  $c$  は媒質の屈折率を  $n_1, n_2$  ( $n_2 < n_1$ ) とすると次式であたえられる。

30

【0014】

$$\sin c = n_2 / n_1 \cdots (a3)$$

構造複屈折を用いた偏光分離素子は、図20に示すように多層膜をエッティングして、1次元格子状にした構造が知られている（特許文献2）。

【0015】

媒質  $TiO_2$  と空気等から成る1次元格子状のH層15と、媒質  $SiO_2$  と空気等から成る1次元格子状のL層16を交互に積層させてそれを1次元格子となるようにエッティングして製造している。誘電体の1次元格子の周期は波長より短い構造（sub-wavelength structure）として構造複屈折を形成している。

40

【0016】

このような構造の一次元格子（SWS格子）に関しては屈折率を有効屈折率で取り扱うことができる。図12（A）のような格子において、格子と平行な方向の偏光をTE、格子と直交する方向の偏光をTMとするとき、格子部RPの屈折率を  $n_1$ 、格子部RPと格子部RPとの間の媒質の屈折率を  $n_2$  とするとき一般的に  $n_1, n_2$  の媒質が  $a : b$  の比で繰り返す一次元格子でそれぞれの偏光の有効屈折率  $n_{TE}, n_{TM}$  は式（a4），（a5）で表されることが知られている。

【0017】

## 【数2】

$$TE : n_{TE} = \sqrt{\frac{a n_1^2 + b n_2^2}{a + b}} \quad \dots (a4)$$

$$TM : n_{TM} = \sqrt{\frac{a + b}{a/n_1^2 + b/n_2^2}} \quad \dots (a5)$$

## 【0018】

このとき、 $a : b$  の比率によらず  $n_{TE} > n_{TM}$  である。 10

## 【0019】

1次元格子において  $n_1$  を誘電体 RP、 $n_2$  を空気としたとき、媒質のピッチに対する比率であるフィルタリングファクター  $f$  は式 (a6) で示される。この図12(A)の例ではフィルタリングファクタを約 0.5 程度になるようにエッチングしたものである。

## 【0020】

$$f = a / (a + b) \quad \dots (a6)$$

図12(B)は屈折率  $n_1$  を  $TiO_2$ 、屈折率  $n_2$  を空気とした一次元格子の  $TiO_2$  のフィルタリングファクタ  $f$  に対する有効屈折率の変化を表したグラフである。同様に図12(C)は屈折率  $n_1$  を  $SiO_2$  としたときの有効屈折率のグラフである。

## 【0021】

このグラフより、TE方向では、H層とL層の屈折率差が大きく、TM方向ではH層とL層の屈折率差が小さくなっていることがわかる。適切なプリズム媒質をとると TM方向でブリュースター角の条件が成り立ち p 偏光を透過させることができる。各層の厚さはブリュースター角の条件とは独立であることから、H層、L層の膜厚を最適化することで、誘電体多層膜を形成することができる。 20

## 【0022】

それにより s 偏光を反射させ、偏光分離素子としての機能が得られる。これは、誘電体薄膜だけで構成した偏光分離素子よりも、p 偏光において、ブリュースター角の条件を満たす媒質の選択自由度が上がる。そのため、同時に s 偏光における反射率を高くとることが可能である。 30

## 【0023】

これによって、可視光全域をカバーする偏光分離素子が 20 層程度で構成できる。

## 【0024】

特許文献2で開示されているSWS構造を用いた偏光分離素子は、使用波長より小さい格子ピッチの層と、空隙層あるいは透電体層とを積層した形状を提案している。直交する2つの偏光のいずれかの方向に対して 1/4 波長の層厚となる構成として片方の偏光だけを選択的に反射させることで偏光分離素子を構成している。入射角度は偏光分離素子に垂直であるが、高い偏光分離を実現している。

## 【特許文献1】特許第2958377号

## 【特許文献2】特開平11-95027号公報 40

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0025】

誘電体多層膜を用いた偏光分離素子では、p 偏光の透過にブリュースター角の条件を用いるために、プリズム硝材や、薄膜の媒質の屈折率に (a2) 式の制約を受けるとともに、角度特性を広くとる事が難しい。これは層数を増やしても改善されない。

## 【0026】

複屈折性をもつ高分子材質をプリズムに挟んだ偏光分離素子では、高分子材料の常光線と異常光線の屈折率差が大きくないために全反射させるためには入射角度を約 60° 以上に大きく取らなければならず、使用できる光学系の用途が限られていると言う問題点があ 50

る。

【0027】

また、複屈折素子として高分子材料などを用いることから、耐熱性、耐光性の観点で劣る。

【0028】

SWS構造を用いた矩形一次元格子の積層型の偏光分離素子では、構成が複雑であり製造が難しいことと、p偏光の透過にブリュースター角の条件を用いているために、誘電体多層膜と同様広い角度特性が得られない。

【0029】

特に図20に示す一次元格子の構造から明らかなように入射角が大きくなるにつれ、偏光TEと偏光TMの屈折率差 $n_{TE} - n_{TM}$ がなくなるために、ブリュースター角を越えた入射角での反射率の増加が誘電体薄膜を用いたときより大きく、角度特性を広げることが阻害され、十分な性能を持つ素子が得られない。

【0030】

また、構造複屈折を用いた偏光分離素子は、一方の偏光に対しては高い反射率は得られているが、他方の偏光の透過光に関して各層での屈折率差があるために界面での反射があり十分な透過率が得られない。積層数を増やすことで反射光に関しては、波長特性、角度特性を広くする事は可能であるが、透過光に関しては、狭い波長範囲でしか光学性能が得られない。

【0031】

この概念を拡張して、入射角を約45度として、層の厚さを入射角度を考慮し反射膜として干渉が成り立つように構成しなおしたときには、一方の偏光の反射膜としての性能は達成可能であるが、他方の透過光となる偏光に関しては、界面での反射率が更に増加するため十分な性能が得られない。

【0032】

液晶プロジェクタの光学系などに使用する偏光分離素子は、可視光全域と言う広い波長範囲と、明るさを得るために小さいFNo( Fナンバー)、すなわち広い角度特性が必要となる。

【0033】

本発明は、液晶プロジェクタなどに最適な、可視光全域と言う広い波長範囲と、小さいFNo.で使用可能な広い角度特性をもつ偏光分離素子を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0034】

請求項1の発明の偏光分離素子は、屈折率が均質な層と、2層以上の構造複屈折を有する層とを積層した偏光分離層を、2つの光学部材の間に設けた偏光分離素子であって、前記2つの光学部材は、一方の光学部材の入射面から入射し、前記偏光分離層に入射する光線のうち前記偏光分離層を透過した透過光が他方の光学部材の射出面から射出し、前記偏光分離層で反射した反射光が前記一方の光学部材の前記入射面と異なる透過面より、前記入射光の入射方向とは異なる角度で射出する構成によりなることを特徴としている。

【0035】

請求項2の発明の偏光分離素子は、屈折率が均質な層と、2層以上の構造複屈折を有する層とを積層した偏光分離層を、2つの光学部材の間に設けた偏光分離素子であって、前記2つの光学部材は、一方の光学部材の入射面から入射し、前記偏光分離層に入射する光線のうち、前記偏光分離層を透過した透過光が他方の光学部材の前記入射面とはほぼ平行な射出面から射出し、前記偏光分離層で反射した反射光が前記一方の光学部材の前記入射面とは異なる透過面より前記入射光の入射方向とは異なる角度で射出する構成により成り、前記偏光分離層は、前記一方の光学部材の入射面及び射出面と平行でない角度で設定されていることを特徴としている。

【0036】

請求項3の発明は請求項1又は2の発明において、前記構造複屈折を有する層は、1次

10

20

30

40

50

元格子からなり、前記偏光分離層に入射する光のうち該1次元格子と平行な方向の偏光成分の光を主として透過し、これと直交する方向の偏光成分の光を主として反射することを特徴としている。

【0037】

請求項4の発明は請求項1, 2又は3の発明において、前記構造複屈折を有する層は少なくとも2つの媒質からなる1次元格子よりなり、該1次元格子は使用する波長よりも短い周期構造を有することを特徴としている。

【0038】

請求項5の請求項1~4のいずれか1項の発明において、前記入射面に垂直に入射する光線が前記偏光分離層へ入射する際の入射平面と、前記1次元格子の方向が略平行であることを特徴としている。

【0039】

請求項6の発明は請求項1~5のいずれか1項の発明において、前記構造複屈折を有する層は、2つの媒質を交互に1次元方向に配列した1次元格子より成り、該2つの媒質のうち1つは誘電体、他の1つは空気であることを特徴としている。

【0040】

請求項7の発明は請求項6の発明において、前記誘電体の屈折率を $n_1$ とするとき

$$1.5 < n_1$$

の条件を満足することを特徴としている。

【0041】

請求項8の発明は請求項6の発明において、前記誘電体は酸化チタン( $TiO_2$ )であることを特徴としている。

【0042】

請求項9の発明は請求項1~8のいずれか1項の発明において、前記屈折率が均質な層の媒質の屈折率と、前記構造複屈折を含む層の格子と平行な方向の偏光に対する有効屈折率が略等しいことを特徴としている。

【0043】

請求項10の発明は請求項1~9の発明において、前記構造複屈折を有する層は、2つの媒質を交互に1次元方向に配列した1次元格子より成り、該2つの媒質のうち1つは誘電体より成り、該誘電体の格子ピッチに占める誘電体媒質の割合(フィリングファクタ)を $f$ とするとき

$$0.15 < f < 0.8$$

の条件を満たすことを特徴としている。

【0044】

請求項11の発明は請求項1~10のいずれか1項の発明において、前記2つの光学部材のうち、少なくとも一方は光弾性定数の絶対値が $0.1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2/\text{N}$ より小さい材料より成ることを特徴としている。

【0045】

請求項12の発明の光学系は、請求項1から11のいずれか1項の偏光分離素子を含む光学系であって、該偏光分離素子の偏光分離面には、光線が前記屈折率が均質な層の媒質の屈折率と、前記構造複屈折を有する層の格子と平行な方向の偏光に対する有効屈折率で決定されるブリュースター角を含む角度範囲で射することを特徴としている。

【0046】

請求項13の発明の光学系は、請求項1から11のいずれか1項の偏光分離素子を含む光学系であって、該偏光分離素子の偏光分離面には、光線の一部が前記屈折率が均質な層の媒質の屈折率と、前記構造複屈折を有する層の格子と直角方向の偏光に対する有効屈折率で決定される臨界角より大きな角度で、入射することを特徴としている。

【0047】

請求項14の発明の光学系は請求項1から11のいずれか1項の偏光分離素子を含む光学系であって、前記屈折率が均質な層の厚さと屈折率を各々 $d_a$ ,  $n_a$ 、前記構造複屈折

10

20

30

40

50

を有する層の厚さを  $d_b$  、最も短波長側の使用波長を  $\lambda_s$  、前記入射面に垂直な光線の偏光分離層への入射角  $\theta$  とするとき、

$$\begin{aligned} (n_a d_a \cdot \cos \theta) / \lambda_s &< 0.5 \\ 0.2 < d_b / \lambda_s &< 1.0 \end{aligned}$$

の条件を満たすことを特徴としている。

【0048】

請求項15の発明の投射型画像表示装置は、請求項12から14のいずれか1項の光学系と、光源部からの光束を画像信号に基づいて変調する変調手段と、該変調手段により変調された光束を所定面上に投写する投射光学系とを有することを特徴としている。

10

【発明の効果】

【0049】

本発明によれば、液晶プロジェクタなどに最適な、可視光全域と言う広い波長範囲と、小さいFNo.で使用可能な広い角度特性をもつ偏光分離素子を得ることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0050】

本実施例の偏光分離素子及びそれを有する光学系の特徴は次のとおりである。尚、参考のために図1～図3の実施例1の各部材の符番を付して説明する。

【0051】

ここで図1は本発明の偏光分離素子の実施例1の構成図である。表1に実施例1の構成の設計値を示す。

20

【0052】

図3(A), (B)は実施例1の偏光分離素子の要部概略図である。

【0053】

屈折率が均質な層101, 103, 105と、2層以上の構造複屈折を有する層102, 104とを積層した偏光分離層23を、2つの光学部材22, 24の間に設けている。2つの光学部材22, 24は、一方の光学部材22の入射面25から入射し、偏光分離層23に入射する光線のうち偏光分離層23を透過した透過光19が他方の光学部材24の射出面27から射出し、偏光分離層23で反射した反射光21が一方の光学部材22の入射面25と異なる透過面26より、入射光18, 20の入射方向とは異なる角度で射出する構成となる。

30

【0054】

ここで入射面25と射出面27は略平行である。又偏光分離層23は一方の光学部材22の入射面25及び射出面27と平行でない角度で設定されている。

【0055】

光学部材22の入射面25に垂直に入射する光線が偏光分離層23へ入射する際の入射平面28と、1次元格子の方向23aが略平行である。

【0056】

2つの光学部材22, 24のうち、少なくとも一方は光弾性定数の絶対値が  $0.1 \times 10^{-8} \text{ cm}^2 / \text{N}$  より小さい材料より成る。

40

【0057】

構造複屈折を有する層102, 104は、1次元格子からなり、偏光分離層23に入射する光のうち該1次元格子と平行な方向の偏光成分の光(TE偏光)(P偏光)19を主として透過し、これと直交する方向の偏光成分の光(TM偏光)(S偏光)21を主として反射する。

【0058】

構造複屈折を有する層102, 104は少なくとも2つの媒質からなる1次元格子よりなり、該1次元格子は使用する波長よりも短い周期構造を有する。

【0059】

構造複屈折を有する層102, 104は、2つの媒質を交互に1次元方向に配列した1次元格子より成り、該2つの媒質のうち1つは誘電体、他の1つは空気である。

50

## 【0060】

この誘電体の格子ピッチに占める誘電体媒質の割合(フィリングファクタ)をfとするとき

$$0.15 < f < 0.8 \quad \cdots (3)$$

の条件を満たしている。

## 【0061】

誘電体の屈折率をn<sub>1</sub>とするとき

$$1.5 < n_1$$

の条件を満足している。

## 【0062】

10

誘電体は酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)又は酸化亜鉛(ZrO<sub>2</sub>)である。

## 【0063】

屈折率が均質な層101, 103, 105の媒質の屈折率と、構造複屈折を含む層102, 104の格子と平行な方向の偏光(TE)に対する有効屈折率が略等しい。

## 【0064】

具体的な構成は表15に示すとおりである。屈折率が均質な層の媒質の屈折率nは  
 $n = 2.0279$

又、偏光TEの有効屈折率n<sub>TE</sub>は

$$n_{TE} = 1.931$$

である。

20

## 【0065】

本実施例の偏光分離素子を光学系に用いるときの特徴は次のとおりである。

## 【0066】

偏光分離素子の偏光分離面23には、光線が屈折率が均質な層101, 103, 105の媒質の屈折率と、構造複屈折を有する層102, 104の格子と平行な方向の偏光(TE)に対する有効屈折率n<sub>TE</sub>で決定されるブリュースター角を含む角度範囲で入射する。

## 【0067】

屈折率が均質な層101, 103, 105の媒質の屈折率と、構造複屈折を有する層102, 104の格子と直角方向の偏光(TM)に対する有効屈折率n<sub>TM</sub>で決定される臨界角より大きな角度で、入射する。

30

## 【0068】

屈折率が均質な層101, 103, 105の厚さと屈折率を各々d<sub>a</sub>, n<sub>a</sub>、構造複屈折を有する層102, 104の厚さをd<sub>b</sub>、最も短波長側の使用波長を<sub>s</sub>、入射面25に垂直な光線18, 20の偏光分離層23への入射角<sub>s</sub>とするとき、

$$(n_a d_a \cdot \cos s) / s < 0.5 \quad \cdots (1)$$

$$0.2 < d_b / s < 1.0 \quad \cdots (2)$$

の条件を満たす。

40

## 【0069】

本発明の投写型画像表示装置では、前述した光学系と、光源部からの光束を画像信号に基づいて変調する変調手段と、該変調手段とにより変調された光束を所定面上に投写する投射光学系とを有している。

## 【0070】

次に各実施例の公正の特徴について順次説明する。

## 【実施例1】

## 【0071】

図1は本発明の偏光分離素子の実施例1の構成概略図である。表1に実施例1の構成の設計値を示す。図1において、プリズム(光学部材22)の入射面(25)に対して、偏光分離層(23)は45°傾いている。

## 【0072】

50

入射面(25)に垂直に入射する光線(18)(20)が偏光分離層(23)に入射する際の入射平面28と偏光分離層の1次元格子の方向23aは図2のように平行な配置となっている。偏光分離層23で、S偏光21を反射させ、入射側のプリズム22にある入射面(25)とは別の射出面(26)から射出させる。

【0073】

また、P偏光19は偏光分離層23を透過させ、射出側のプリズム(光学部材)(24)の射出面(27)から射出させる構成となっている。

【0074】

図3(A)、図3(B)に示すように格子の断面構造は均質媒質の均質層からなるH層(101,103,105)と、空気とTiO<sub>2</sub>が交互に繰り返す一次元格子構造の一次元格子層からなるL層(102,104)を交互に積層して構成されている。22,24は図1の入射側プリズムと射出側プリズムに相当している。実施例1では全体で5層と言う比較的簡易な構成で偏光分離を実現している。

【0075】

それぞれの層をH層、L層としているのは、反射させるS偏光に対してのそれぞれの有効屈折率の高低を表している。均質層のH層101,103,105の厚さは73~75nmであり、条件式(1)を満たしている。

【0076】

条件式(1)は、S偏光の反射を完全に達成するためのものである。一般的に高屈折率の媒質から低屈折率の媒質に入射するときに入射角度が臨界角以上では、一切透過せずに全反射することが知られている。しかし、この時に、境界面近傍の極めて微小な領域において、エバネセント光がしみ出している。このエバネセント光の到達領域に次の媒質があると光が透過してしまう。この現象が全反射減衰(attenuated total reflection: ATR)である。

【0077】

このATRの光同士の干渉を利用して広い角度範囲、波長範囲で高い反射率を得るために条件式が(1)である。条件式(1)の上限になると、すなわち、入射角度を考慮した膜厚が波長の1/2以上になると、ATRでの反射光同士が干渉てしまい、反射率を下げてしまう。この干渉による反射率の低下は、膜厚を変化させて行ったとき1/2波長ごとに起こる。広い使用波長範囲でこの干渉が起こらない様にするための条件式が(1)である。

【0078】

一方、一次元格子のからなるL層の厚さは318nmであり、条件式(2)を満たしている。条件式(2)はATRによる反射を有効に活用するためのものである。

【0079】

(2)の下限を超えて膜厚が薄くなると、臨界角以上の入射角度領域ではATRによる透過が大きくなり、十分な反射が得られない。

【0080】

一方、上限値の設定について、ATRの観点からは、膜厚が厚ければ厚いほど好ましい。しかしながら、膜厚を増しても、反射率は全反射に漸近してしまうため、膜厚を増やしただけの効果は得られない。この一次元格子の形状では、膜厚を増すほど製造の難易度は上がる。そのため、(2)の上限程度に設定することが好ましい。

【0081】

また、使用角度の範囲に臨界角以下の通常反射を含むが、そこでの干渉においては(2)の上限以下に設定することで、最適な結果が得ている。

【0082】

実施例1では表1の設計値1の通り、プリズム22,24の硝材に屈折率が約1.603と比較的低い材料を使用した。均質層であるH層101,103,105の誘電体はZrO<sub>2</sub>であり屈折率2.038とプリズム22,24の材料より高い材料を用いている。一次元格子を構成するL層102,104の誘電体には屈折率がさらに高く約2.282のTiO<sub>2</sub>を使用

10

20

30

40

50

し、一次元格子のフィリングファクタ  $f$  を条件式(3)の範囲に設定することにより効率よく複屈折を生じさせている。

【0083】

構造性複屈折は、前述の式(a4)、(a5)で与えられる。ここで、格子と平行な方向の偏光成分(P偏光)TEの屈折率を $n_{TE}$ 、格子と直交する方向の偏光成分(S偏光)TMの屈折率 $n_{TM}$ に相当する。一方の媒質をTiO<sub>2</sub>、他方を空気として、フィリングファクタ  $f$  (ピッチに対するTiO<sub>2</sub>の割合)  $f$  を変化させたときのそれぞれの偏光の有効屈折率を表すグラフが図12(B)の様になる。

【0084】

フィリングファクタ  $f = 0.2$  のとき、P偏光(TE方向)の有効屈折率 $n_{TE}$ は1.3986となる。式(a2)に $n_H = 3.038$ 、 $n_1(n_{TE}) = 1.3986$ 、 $n_P = 1.603$ を代入すると、ブリュースター角は $\theta_B =$ 約46°となる。よって、45°の入射角を中心とした光束に対してほぼ透過の条件を満たす構成となっている。

【0085】

もう一方のS偏光(TM方向)に関しては有効屈折率 $n_{TM}$ は1.097である。

【0086】

式(a3)に $n_1 = 1.603$ 、 $n_2(n_{TM}) = 1.097$ を代入すると、臨界角 $\theta_c =$ 約43°となる。これより高い入射角側では全反射のATRによる反射が起こっている。低入射角側でも、通常の誘電体界面での反射ではあるが、入射角が臨界角に近いために各界面では高い反射率が得られている。

【0087】

このように、均質層(H層)と1次元格子構造のL層との有効屈折率がP偏光に関しては近い値となり、S偏光に関しては大きな屈折率差を生じさせることで、それぞれの偏光の光線の透過、反射を効率よく達成している。

【0088】

図13(A), (B), (C)がこの設計値の厳密結合波解析計算(Rigorous coupled-wave analysis: RCWA)による性能のシミュレーション結果である。

【0089】

P偏光では、低い入射角側で、短波長側が、高い入射角側で、長波長側の透過率が落ちているが、実使用時の角度特性、波長特性のウエートを考慮するとほとんど問題ないレベルである。

【0090】

S偏光に関しては35°~55°と言うかなり広い入射角範囲で透過する光線がほとんど無く、完全な反射率を達成している。

【0091】

条件式(3)はフィリングファクタ  $f$  の範囲を規定しているものであるが、主に、構造複屈折を効率よく発生させるための条件である。前述の図12(B)のグラフの様に、偏光TEと偏光TMの有効屈折率 $n_{TE}$ ,  $n_{TM}$ に大きな差があることで、大きな複屈折が生じている。媒質のフィリングファクタ  $f$  に対しての屈折率差は $f = 0$ 、 $f = 1$ では0になっており、 $f = 0.5$ 付近で最大である。このことから条件式(3)の範囲でフィリングファクタ  $f$  を選択することが効率よく有効屈折率を利用することになる。

【0092】

表2に実施例2の膜構成の設計値を示す。実施例1と同様に、図1において、プリズム22の入射面(25)に対して、偏光分離層(23)は45°傾いている。入射面(25)に垂直に入射する光線(18)(20)が偏光分離層(23)に入射する際の入射平面と偏光分離層23の1次元格子の方向23aは図2のように平行な配置となっている。

【0093】

偏光分離層23で、S偏光21を反射させ、入射側プリズム22の入射面(25)とは別の射出面(26)から射出させる。また、P偏光19は透過させ、射出側プリズム(24)にある射出面(27)から射出させる構成となっている。

10

20

30

40

50

## 【0094】

図4(A)、図4(B)に示すように格子の断面構造は断面構造は空気とTiO<sub>2</sub>が交互に繰り返す一次元格子構造のL層(201,203,205)とZrO<sub>2</sub>の均質層からなるH層(202,204)との積層構造となっている。

## 【0095】

全体で5層と言う比較的簡易な構成で偏光分離を実現している。

## 【0096】

表9のとおりに条件式(1)、(2)を満たす構成となっている。図14(A)、(B)、(C)がこの設計値のRCWA計算による性能のシミュレーション結果である。低い入射角側の短波長側でわずかにP偏光の透過率が劣化しているが全角度範囲、全波長範囲においてP偏光の透過率、S偏光の反射率ともに良好な性能を示している。

10

## 【0097】

同様に、表3に実施例3の設計値、図5(A)、図5(B)に断面形状を示す。表10のとおりに条件式(1)、(2)を満たす構成となっている。

## 【0098】

図15(A)、(B)、(C)にRCWA計算による性能のシミュレーション結果を示す。H、L、H、Lの4層構造をとっており、P偏光の透過率は向上しているが、S偏光の反射率が多少減少している。表4に実施例4の設計値、図6(A)、図6(B)に断面形状を示す。表11のとおりに条件式(1)、(2)を満たす構成となっている。

20

## 【0099】

図16(A)、(B)、(C)にRCWA計算による性能のシミュレーション結果を示す。LHLの3層構造であるが、L層のf=0.2とすることで低屈折率化することで、S偏光の反射率を増加させている。同時にP偏光の透過に関して悪影響を及ぼすが、面数が少ないため透過率の劣化は高入射角側のみとなっている。

## 【0100】

表5に実施例5の設計値、図7(A)、図7(B)に断面形状を示す。表12のとおりに条件式(1)、(2)を満たす構成となっている。

## 【0101】

図17(A)、(B)、(C)にRCWA計算による性能のシミュレーション結果を示す。H、L、H、L、H、L、Hの7層構造であるが、L層のf=0.35とすることで高屈折率化し、P偏光の透過率を向上させている。一方、S偏光の反射率が低下するが、層数を7層と増やすことで全入射角度範囲で反射率を向上させている。

30

## 【0102】

表6に実施例6の設計値、図8(A)、図8(B)に断面形状を示す。

## 【0103】

表13のとおりに条件式(1)、(2)を満たす構成となっている。

## 【0104】

図18(A)、(B)、(C)にRCWA計算による性能のシミュレーション結果を示す。H、L、H、L、Hの5層構造であるが、L層、H層とともに誘電体の媒質としてZrO<sub>2</sub>を用いている。P偏光の透過率の入射角度特性が多少劣化しているが、全体として良好な性能を示しており、同じ媒質で構成する利点がある。

40

## 【0105】

表7に実施例7の設計値、図9(A)、図9(B)に断面形状を示す。表14のとおりに条件式(2)、(3)を満たす構成となっている。

## 【0106】

図19(A)、(B)、(C)にRCWA計算による性能のシミュレーション結果を示す。L、H、Lの3層構造であるが、L層、H層とともに誘電体媒質としてTiO<sub>2</sub>を用いている。P偏光の高入射角側での透過率が多少劣化しているが、全体として良好な性能を示しており、同じ媒質で構成する利点がある。

## 【0107】

50

図10(A)は本発明の実施例8の偏光分離素子プリズムの構成図である。ひし形に傾いたプリズム22, 24に、実施例1～実施例7の偏光分離層23をはさみこんだものである。図左側からの入射光18, 20はプリズム面25と垂直に入射し、偏光分離層23に45°よりも大きな角度で入射する。全反射させることに関しては入射角度が大きいほど有利であるが、プリズムをこのようにひし形に約10°くらい傾けることで入射角度は5°変化させることができる。

【0108】

図10(B)は本発明の実施例9の偏光分離素子の構成図である。実施例1～実施例7の偏光分離素子をプリズム22, 24とほぼ同等の平板の媒質ではさみこんだものを更に三角プリズム22a, 24aではさみ込んだ物である。

10

【0109】

微細加工を必要とする偏光分離素子を平板ガラスではさみ込みユニットとすることで、角度、寸法、面精度等の形状的な性能を必要とするプリズムを分離することで、生産性を高めている。

【0110】

図11には、本発明の実施例10の偏光分離素子を用いた反射型の画像投射装置の概略図である。

【0111】

図中、1は高圧水銀ランプなどからなる光源、2は光源1から光を所定の方向に放射するためのリフレクター、3は均一な照明強度を有する照明領域を形成するためのインテグレーターであり、フライアイレンズ3a、3bから構成されている。4は無偏光な光を所定の偏光方向に揃える偏光変換素子である。

20

【0112】

5は照明光を集光するコンデンサーレンズ、6はミラー、7は照明光をテレセントリックな光にするフィールドレンズ、8は緑の波長領域光Gを透過するダイクロイックミラー、9a1、9b1、9c1はそれぞれ実施例1～7の偏光分離素子であり、S偏光を反射してP偏光を透過させる特性をもっている。

【0113】

9a、9b、9cはそれぞれ偏光分離素子9a1、9b1、9c1を有する偏光分離プリズム、10a、10bはそれぞれ所定波長領域の光の偏光方向を90°変換(回転)する色選択性位相差板、11r、11g、11bはそれぞれ入射した照明光を反射するとともに画像信号に応じて変調して画像光を形成する反射型の液晶表示素子、12r、12g、12bはそれぞれ1/4位相差板、14は投射レンズ系である。

30

【0114】

以上の構成のように実施例1～7の偏光分離素子を配置することにより、入射角度特性、波長特性に優れているため、光学系全体で得られるコントラストが極めて高い反射型液晶プロジェクタを実現している。

【0115】

【表1】

表1 実施例1 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f(フィリングファクタ 条件式(3))	
1	ZrO <sub>2</sub>	0.073	1.00	H
2	TiO <sub>2</sub>	0.318	0.20	L
3	ZrO <sub>2</sub>	0.075	1.00	H
4	TiO <sub>2</sub>	0.318	0.20	L
5	ZrO <sub>2</sub>	0.073	1.00	L

プリズム媒質 n<sub>p</sub> = 1.603

表2 実施例2 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f(フィリングファクタ 条件式(3))	
1	TiO <sub>2</sub>	0.277	0.25	L
2	ZrO <sub>2</sub>	0.075	1.00	H
3	TiO <sub>2</sub>	0.263	0.25	L
4	ZrO <sub>2</sub>	0.075	1.00	H
5	TiO <sub>2</sub>	0.277	0.25	L

プリズム媒質 n<sub>p</sub> = 1.603

表3 実施例3 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f(フィリングファクタ 条件式(3))	
1	ZrO <sub>2</sub>	0.073	1.00	H
2	TiO <sub>2</sub>	0.26	0.25	L
3	ZrO <sub>2</sub>	0.075	1.00	H
4	TiO <sub>2</sub>	0.262	0.25	L

プリズム媒質 n<sub>p</sub> = 1.603

表4 実施例4 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f(フィリングファクタ 条件式(3))	
1	TiO <sub>2</sub>	0.258	0.20	L
2	ZrO <sub>2</sub>	0.074	1.00	H
3	TiO <sub>2</sub>	0.258	0.20	L

プリズム媒質 n<sub>p</sub> = 1.603

【0116】

10

20

30

40

【表2】

表5 実施例5 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f(フーリエ変換 条件式(3))	
1	ZrO <sub>2</sub>	0.084	1.00	H
2	TiO <sub>2</sub>	0.203	0.35	L
3	ZrO <sub>2</sub>	0.079	1.00	H
4	TiO <sub>2</sub>	0.2	0.35	L
5	ZrO <sub>2</sub>	0.079	1.00	H
6	TiO <sub>2</sub>	0.203	0.35	L
7	ZrO <sub>2</sub>	0.084	1.00	H

プリズム媒質 n<sub>p</sub> = 1.603

表6 実施例6 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f(フーリエ変換 条件式(3))	
1	ZrO <sub>2</sub>	0.073	1.00	H
2	ZrO <sub>2</sub>	0.245	0.30	L
3	ZrO <sub>2</sub>	0.076	1.00	H
4	ZrO <sub>2</sub>	0.245	0.30	L
5	ZrO <sub>2</sub>	0.073	1.00	H

プリズム媒質 n<sub>p</sub> = 1.603

表7 実施例7 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f(フーリエ変換 条件式(3))	
1	TiO <sub>2</sub>	0.335	0.20	L
2	TiO <sub>2</sub>	0.062	1.00	H
3	TiO <sub>2</sub>	0.335	0.20	L

プリズム媒質 n<sub>p</sub> = 1.603

10

20

30

40

【0117】

【表3】

表8 実施例1の条件式の値

層番号	(1)	(2)
1	0.263	-
2	-	0.795
3	0.270	-
4	-	0.795
5	0.263	-

10

$$\theta = 45^\circ, \lambda_s = 400\text{nm}$$

表9 実施例2の条件式の値

層番号	(1)	(2)
1	-	0.693
2	0.270	-
3	-	0.658
4	0.270	-
5	-	0.693

20

$$\theta = 45^\circ, \lambda_s = 400\text{nm}$$

表10 実施例3の条件式の値

層番号	(1)	(2)
1	0.263	-
2	-	0.650
3	0.270	-
4	-	0.655

30

$$\theta = 45^\circ, \lambda_s = 400\text{nm}$$

表11 実施例4の条件式の値

層番号	(1)	(2)
1	-	0.645
2	0.267	-
3	-	0.645

40

【0118】

【表4】

表12 実施例5の条件式の値

層番号	(1)	(2)
1	0.303	–
2	–	0.508
3	0.285	–
4	–	0.500
5	0.285	–
6	–	0.508
7	0.303	–

$$\theta = 45^\circ, \lambda_s = 400\text{nm}$$

10

表13 実施例6の条件式の値

層番号	(1)	(2)
1	0.263	–
2	–	0.613
3	0.274	–
4	–	0.613
5	0.263	–

20

$$\theta = 45^\circ, \lambda_s = 400\text{nm}$$

30

表14 実施例7の条件式の値

層番号	(1)	(2)
1	–	0.838
2	0.223	–
3	–	0.838

$$\theta = 45^\circ, \lambda_s = 400\text{nm}$$

40

【0119】

【表5】

表15 実施例 ピッチ 0.120nm

層番号	媒質	膜厚[nm]	f
1	TiO <sub>2</sub>	0.175	0.60
2	ZrO <sub>2</sub>	0.112	1.00
3	TiO <sub>2</sub>	0.152	0.60
4	ZrO <sub>2</sub>	0.093	1.00
5	TiO <sub>2</sub>	0.193	0.60
6	ZrO <sub>2</sub>	0.080	1.00
7	TiO <sub>2</sub>	0.129	0.60
8	ZrO <sub>2</sub>	0.073	1.00
9	TiO <sub>2</sub>	0.120	0.60
10	ZrO <sub>2</sub>	0.064	1.00
11	TiO <sub>2</sub>	0.109	0.60
12	ZrO <sub>2</sub>	0.064	1.00
13	TiO <sub>2</sub>	0.115	0.60

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

【0 1 2 0】

【図1】本発明の実施例1に対応する偏光分離素子の構成図

【図2】本発明の実施例1に対応する偏光分離素子の模式図

【図3】本発明の実施例1に対応する偏光分離素子の格子形状の構成図

【図4】本発明の実施例2に対応する偏光分離素子の格子形状の構成図

【図5】本発明の実施例3に対応する偏光分離素子の格子形状の構成図

【図6】本発明の実施例4に対応する偏光分離素子の格子形状の構成図

【図7】本発明の実施例5に対応する偏光分離素子の格子形状の構成図

【図8】本発明の実施例6に対応する偏光分離素子の格子形状の構成図

【図9】本発明の実施例7に対応する偏光分離素子の格子形状の構成図

【図10】(A)本発明の実施例8に対応する偏光分離素子の構成図 (B)本発明の実施例9に対応する偏光分離素子の構成図

【図11】本発明の実施例10に対応する偏光分離素子を反射型液晶プロジェクタ光学系に組み込んだ構成図

【図12(A)】一次元型SWS格子の有効屈折率のモデルを説明する図

【図12(B)】一次元型SWS格子にTiO<sub>2</sub>を用いたときの構造複屈折を表すグラフ【図12(C)】一次元型SWS格子にSiO<sub>2</sub>を用いたときの構造複屈折を表すグラフ

【図13】本発明の実施例1に対応する偏光分離素子のRCWA計算による可視光領域での偏光分離特性を表すグラフ

【図14】本発明の実施例2に対応する偏光分離素子のRCWA計算による可視光領域での偏光分離特性を表すグラフ

【図15】本発明の実施例3に対応する偏光分離素子のRCWA計算による可視光領域での偏光分離特性を表すグラフ

【図16】本発明の実施例4に対応する偏光分離素子のRCWA計算による可視光領域での偏光分離特性を表すグラフ

【図17】本発明の実施例5に対応する偏光分離素子のRCWA計算による可視光領域で

の偏光分離特性を表すグラフ

【図18】本発明の実施例6に対応する偏光分離素子のR C W A計算による可視光領域での偏光分離特性を表すグラフ

【図19】本発明の実施例7に対応する偏光分離素子のR C W A計算による可視光領域での偏光分離特性を表すグラフ

【図20】従来例の多層膜エッティング型の偏光分離素子の模式図

【図21】従来例の多層膜偏光分離素子の模式図

【符号の説明】

【0121】

1：高圧水銀ランプなどからなる光源

2：リフレクター

3：インテグレーター

3a, 3b：フライアイレンズ

4：偏光変換素子

5：コンデンサーレンズ

6：ミラー

7：フィールドレンズ

8：ダイクロイックミラー

9a1, 9b1, 9c1：偏光分離膜

9a, 9b, 9c：偏光分離膜

9a1, 9b1, 9c1：偏光ビームスプリッター

10a, 10b：色選択性位相差板

11r, 11g, 11b：反射型液晶表示素子

12r, 12g, 12b：1/4位相差板

14：投射レンズ系

15：H層(TiO<sub>2</sub>)

16：L層(SiO<sub>2</sub>)

17：多層膜

18：P偏光入射光

19：P偏光透過光

20：S偏光入射光

21：S偏光反射光

22：入射側プリズム

23：偏光分離素子

24：射出側プリズム

25：入射面

26：S偏光反射光の射出面

27：P偏光透過光の射出面

28：入射平面

101～105：実施例1の入射側から1番目～5番目の各層

201～205：実施例2の入射側から1番目～5番目の各層

301～304：実施例3の入射側から1番目～4番目の各層

401～403：実施例4の入射側から1番目～3番目の各層

501～507：実施例5の入射側から1番目～7番目の各層

601～605：実施例6の入射側から1番目～5番目の各層

701～703：実施例7の入射側から1番目～3番目の各層

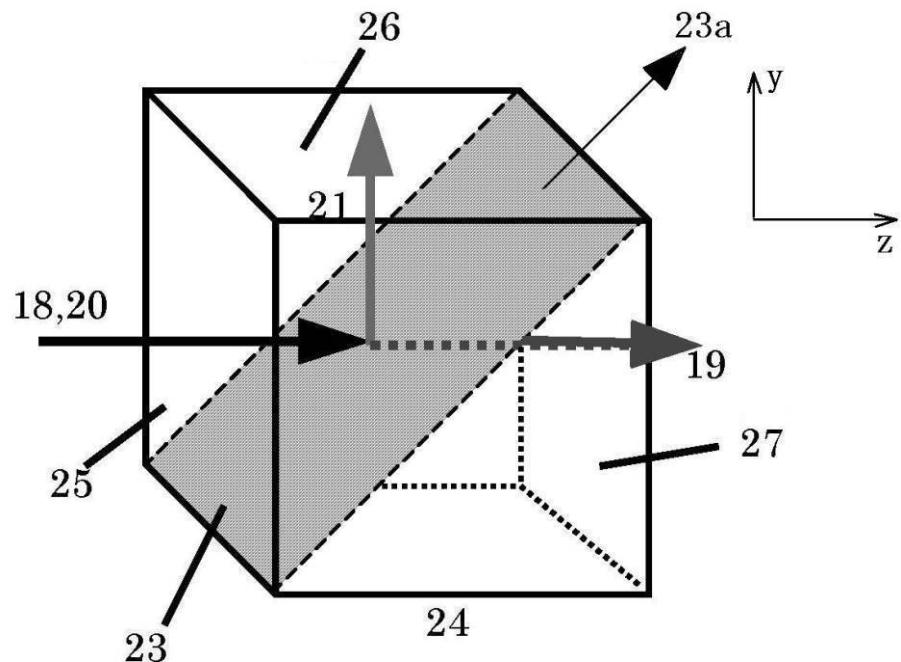
10

20

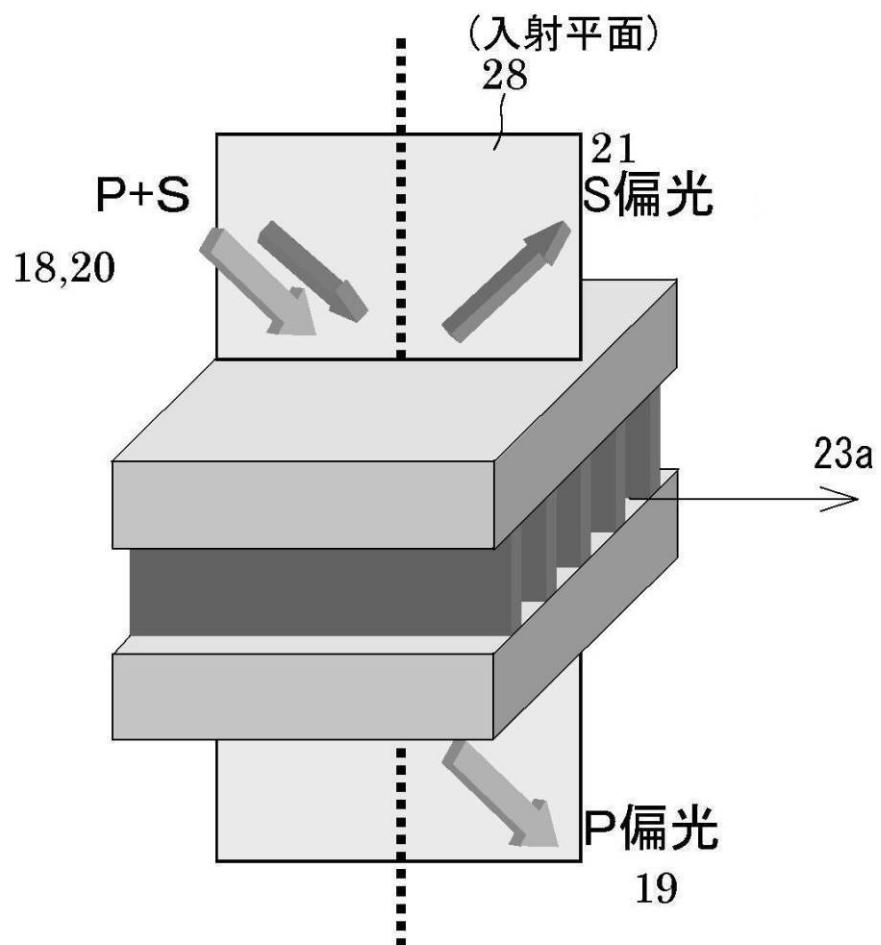
30

40

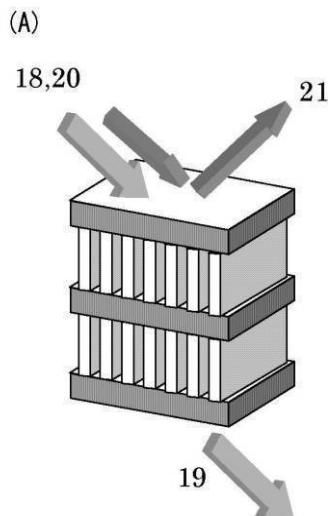
【図1】



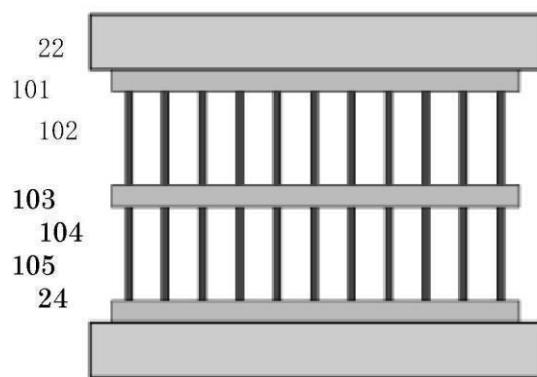
【図2】



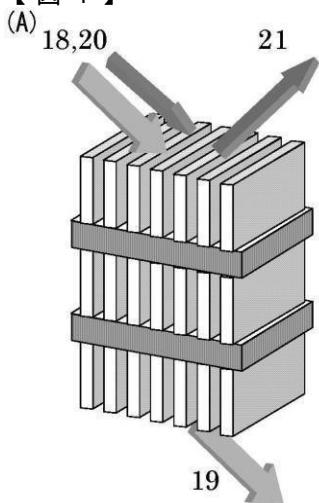
【図3】



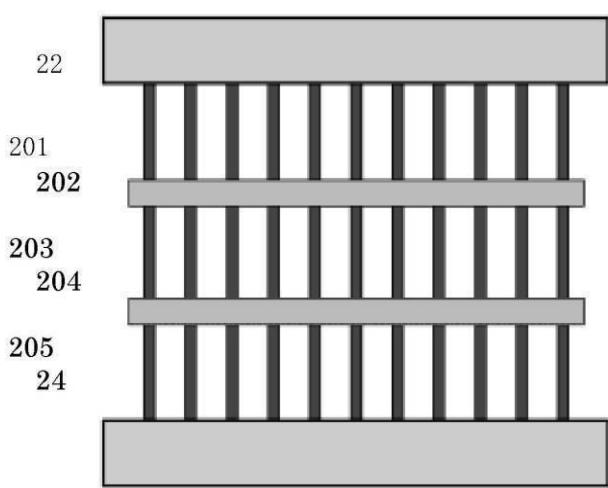
(B)



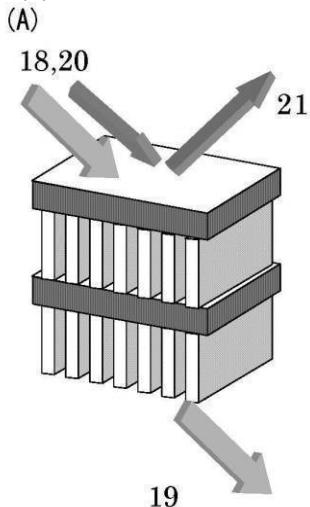
【図4】



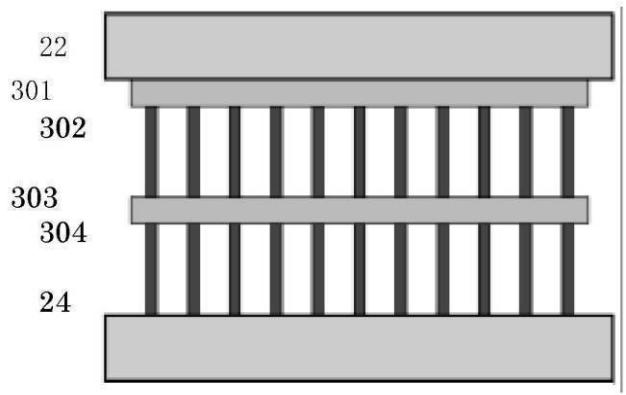
(B)



【図5】



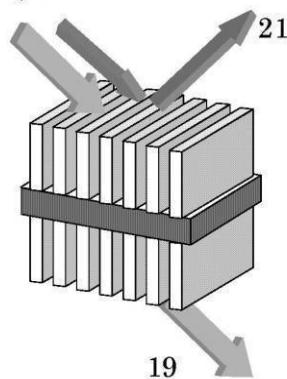
(B)



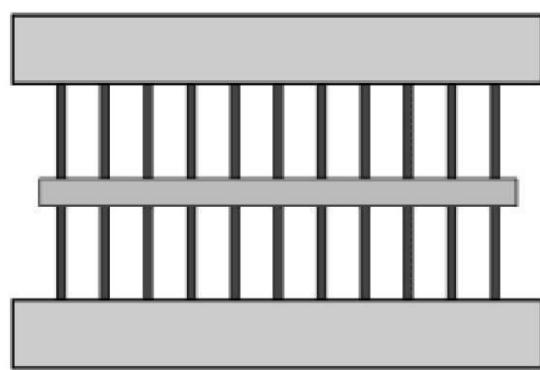
【図6】

(A)

18,20



(B)

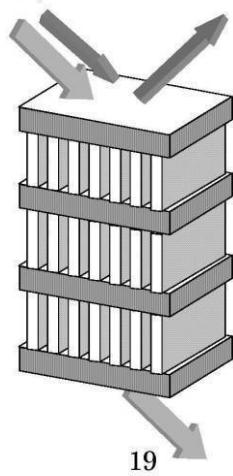
22  
401  
402  
403  
24

【図7】

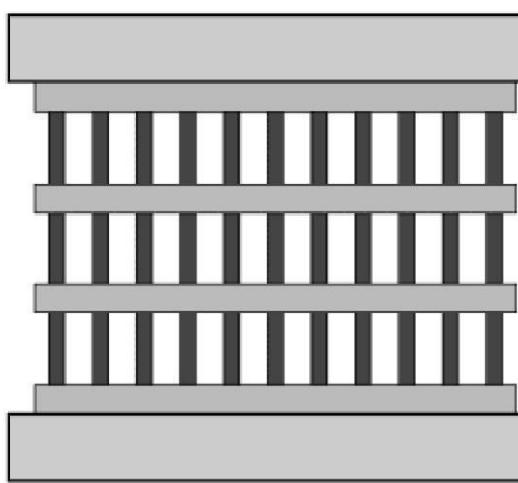
(A)

18,20

21



(B)

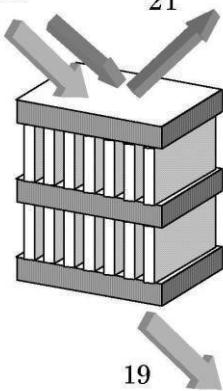
22  
501  
502  
503  
504  
505  
506  
507  
24

【図8】

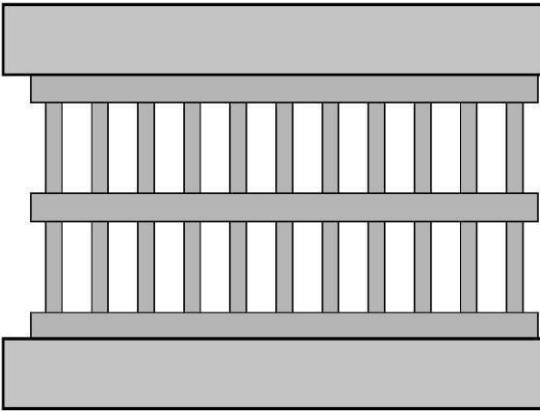
(A)

18,20

21

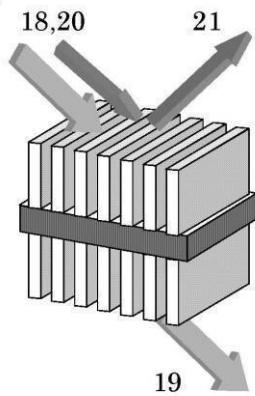


(B)

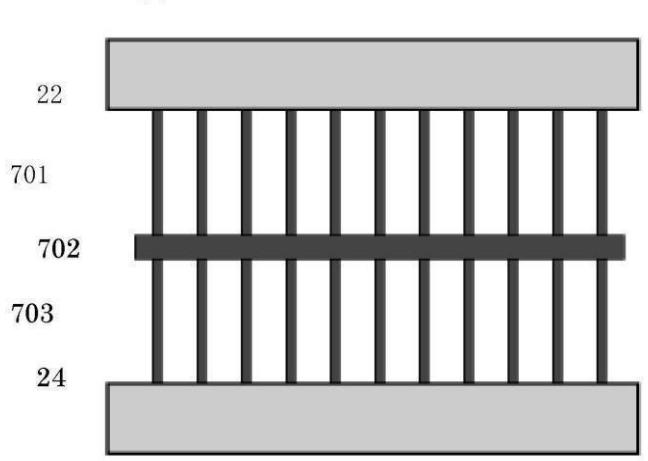
22  
601  
602  
603  
604  
605  
24

【図9】

(A)

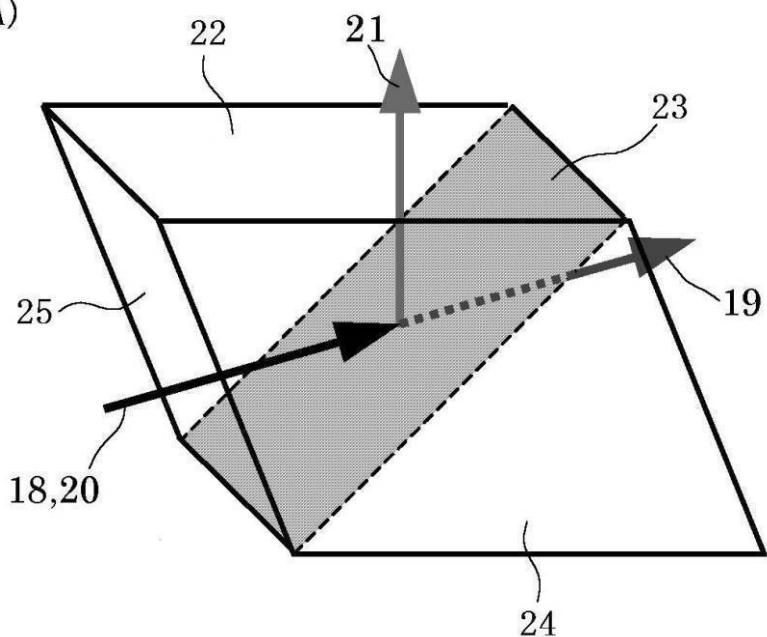


(B)

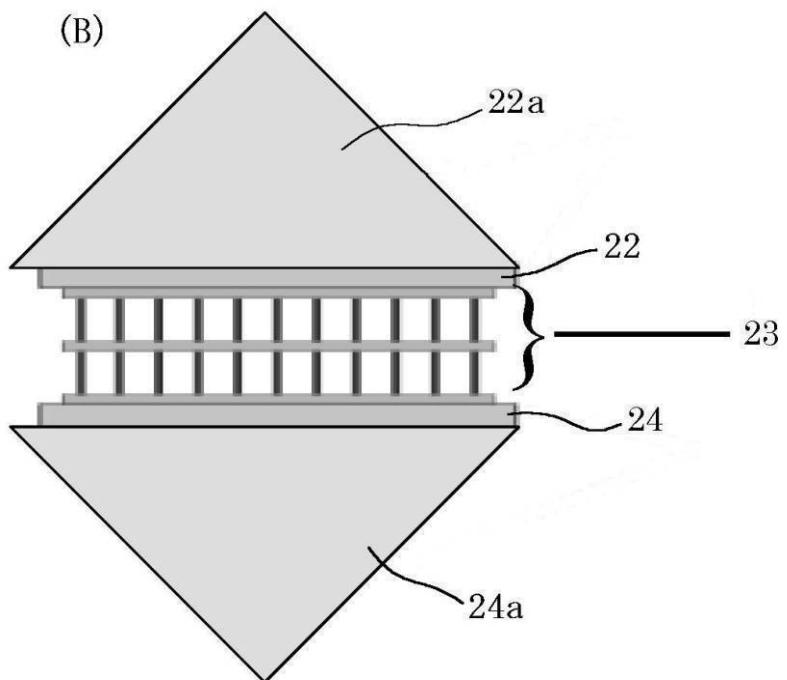


【図 10】

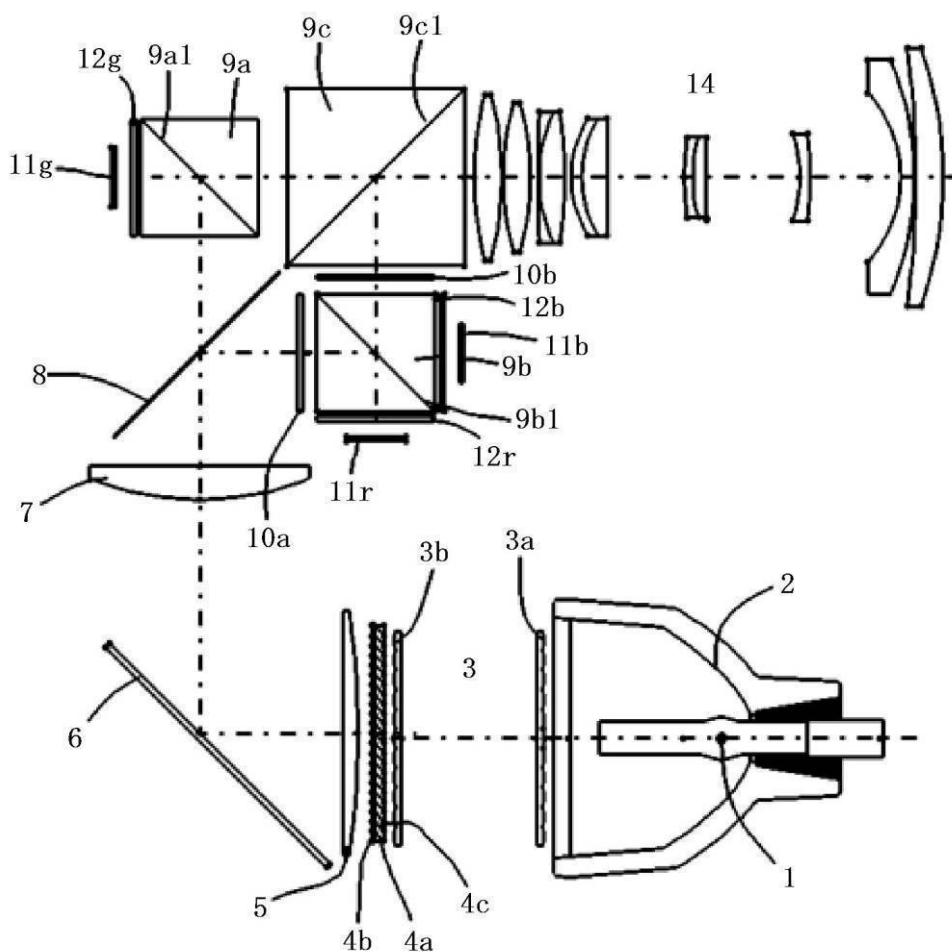
(A)



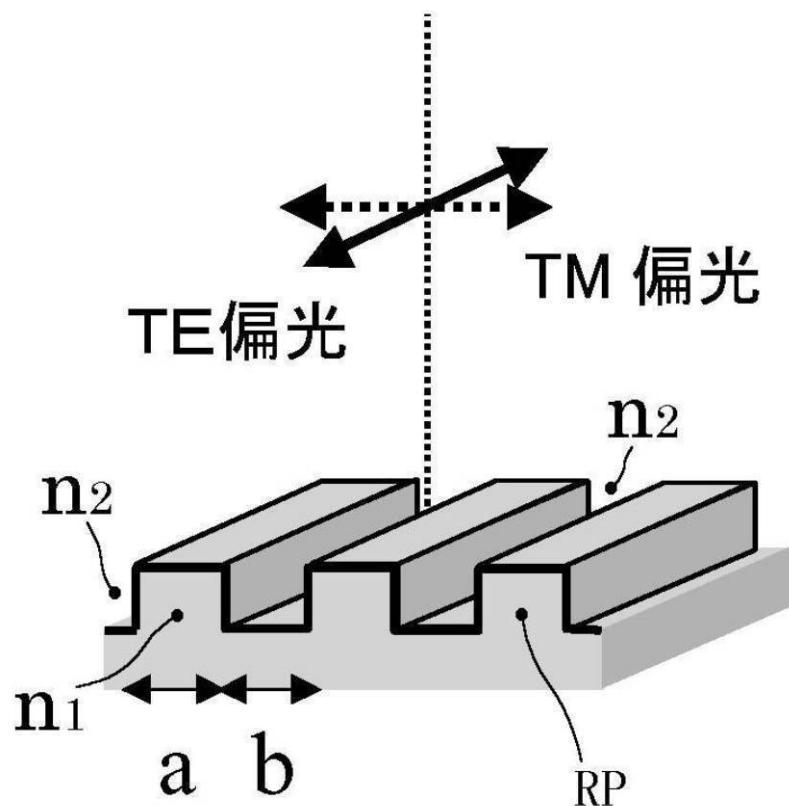
(B)



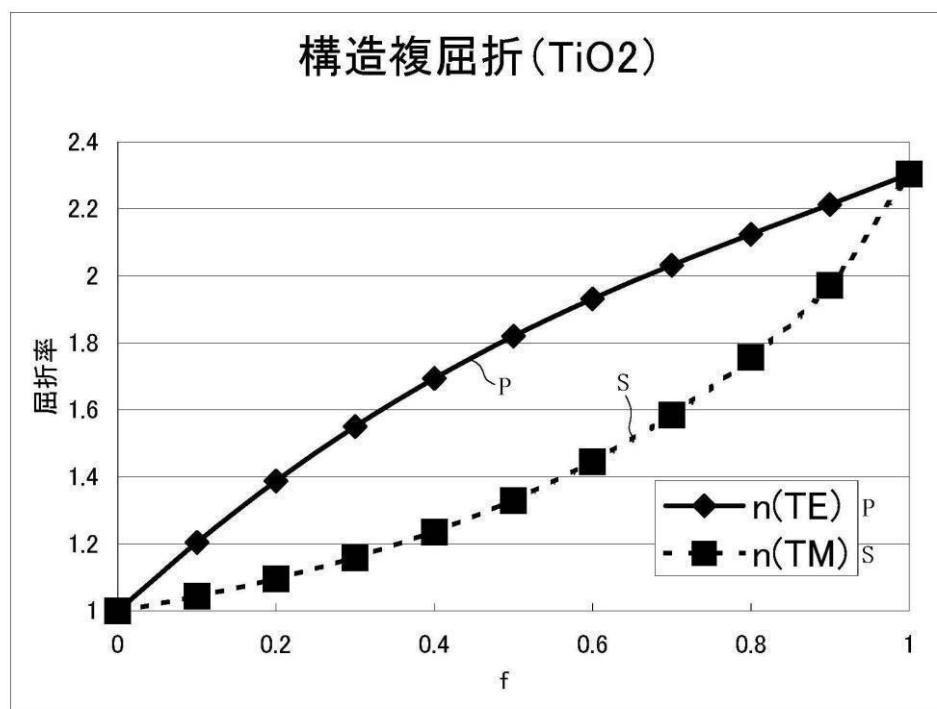
【図11】



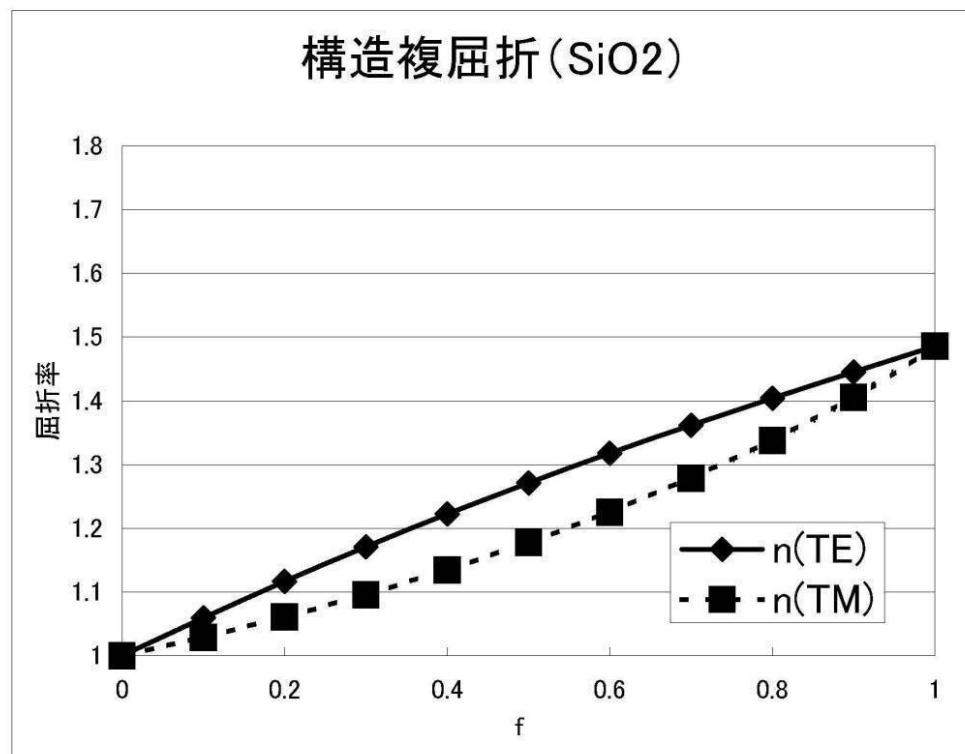
【図 1 2 ( A )】



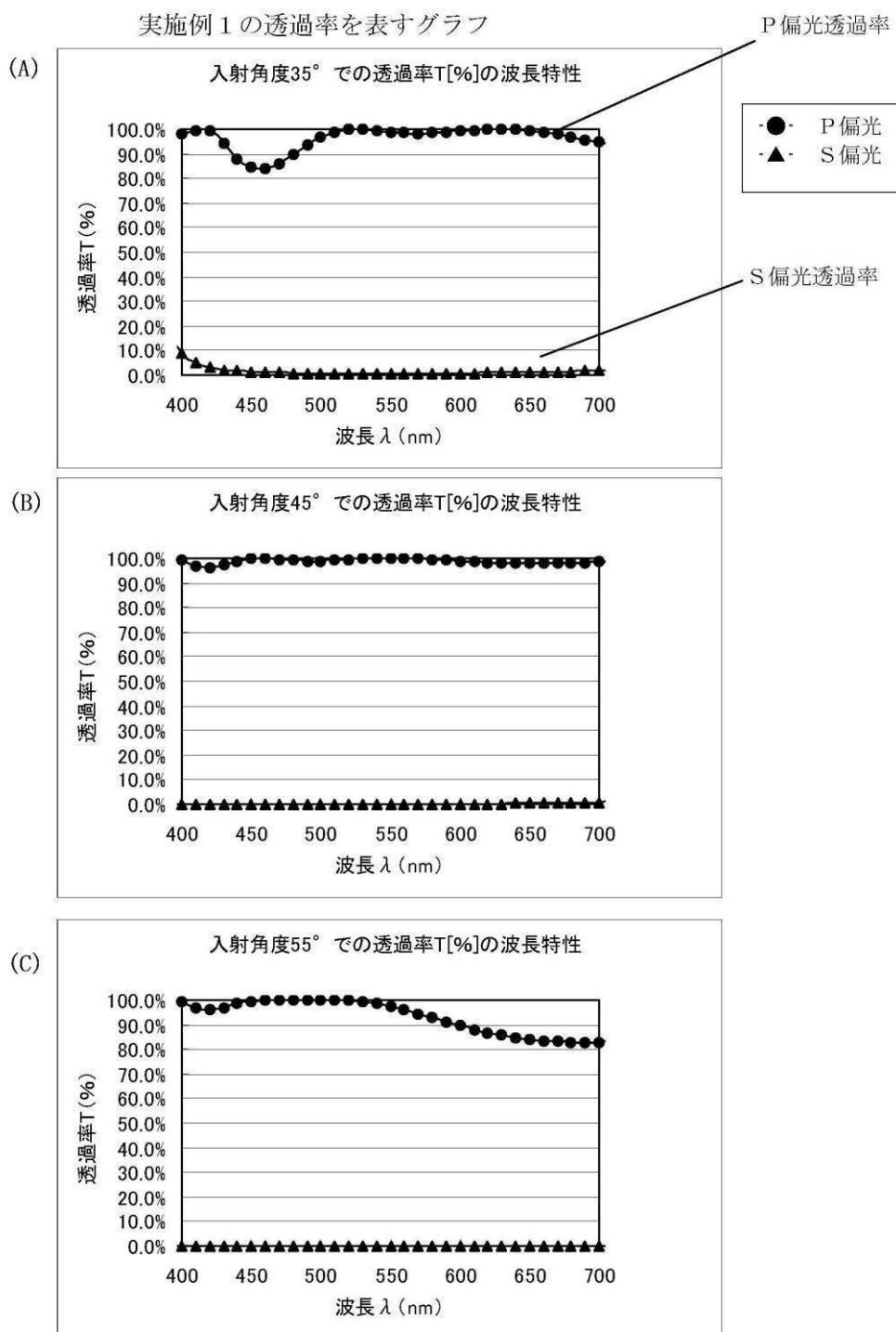
【図 1 2 ( B )】



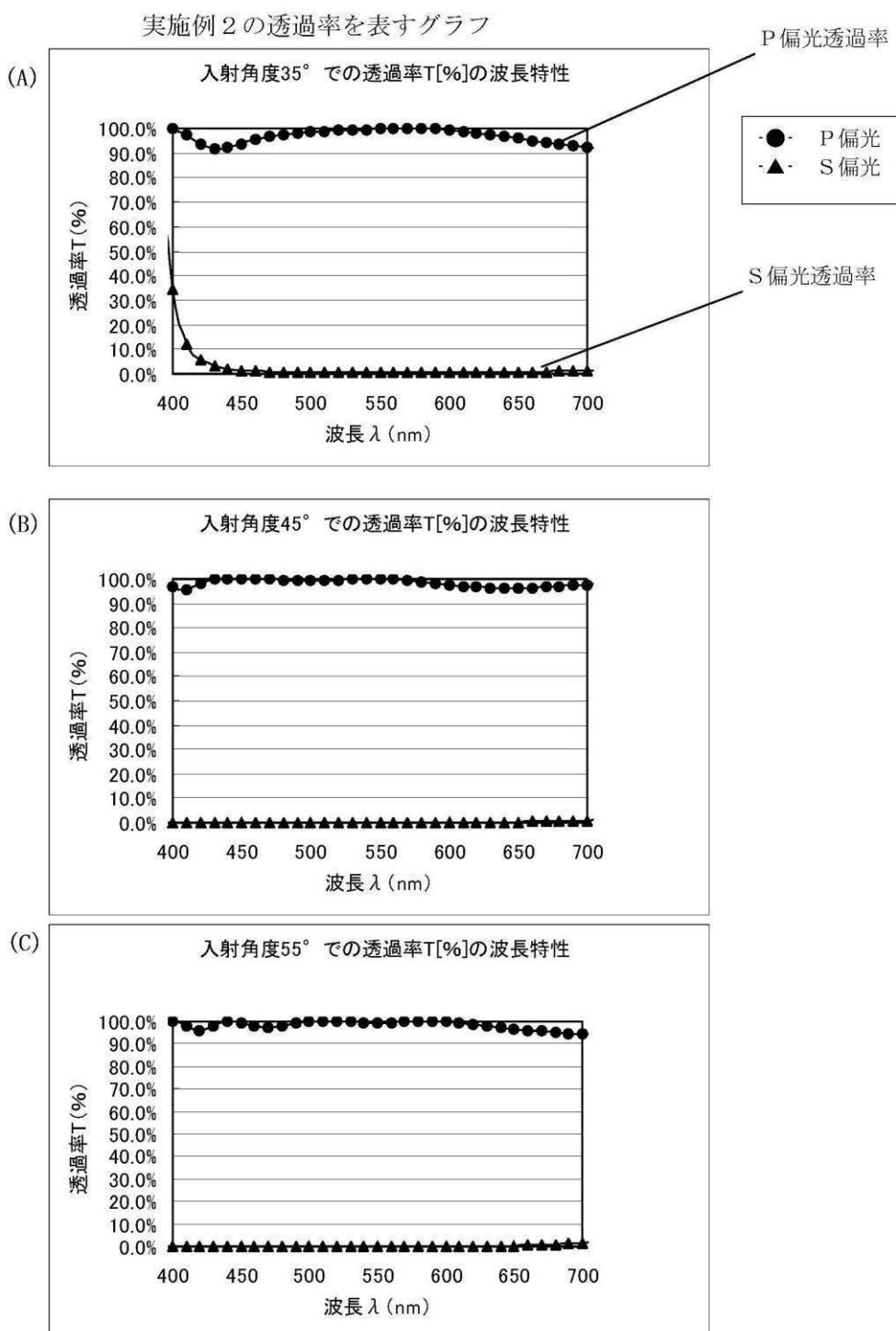
【図12(C)】



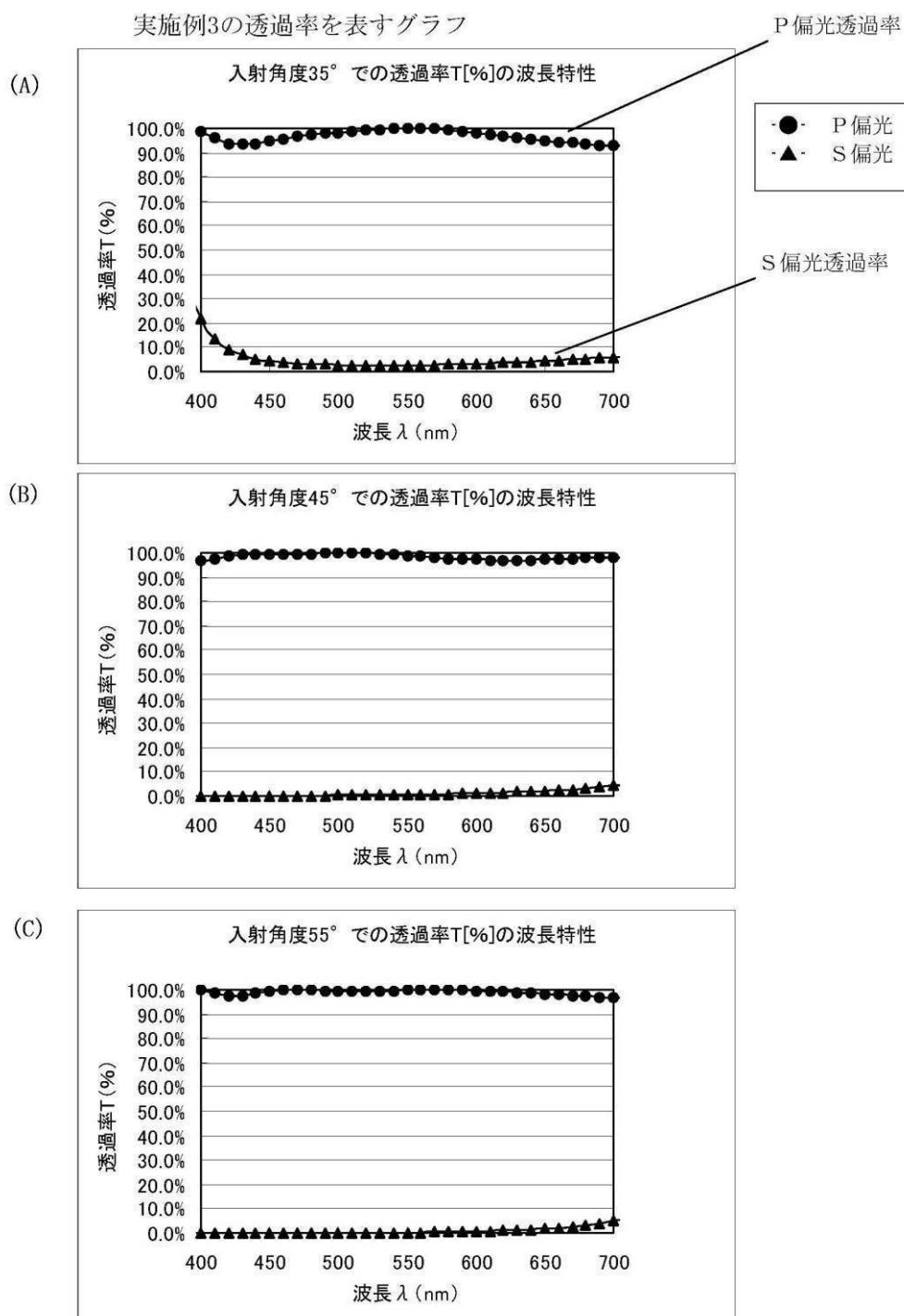
【図13】



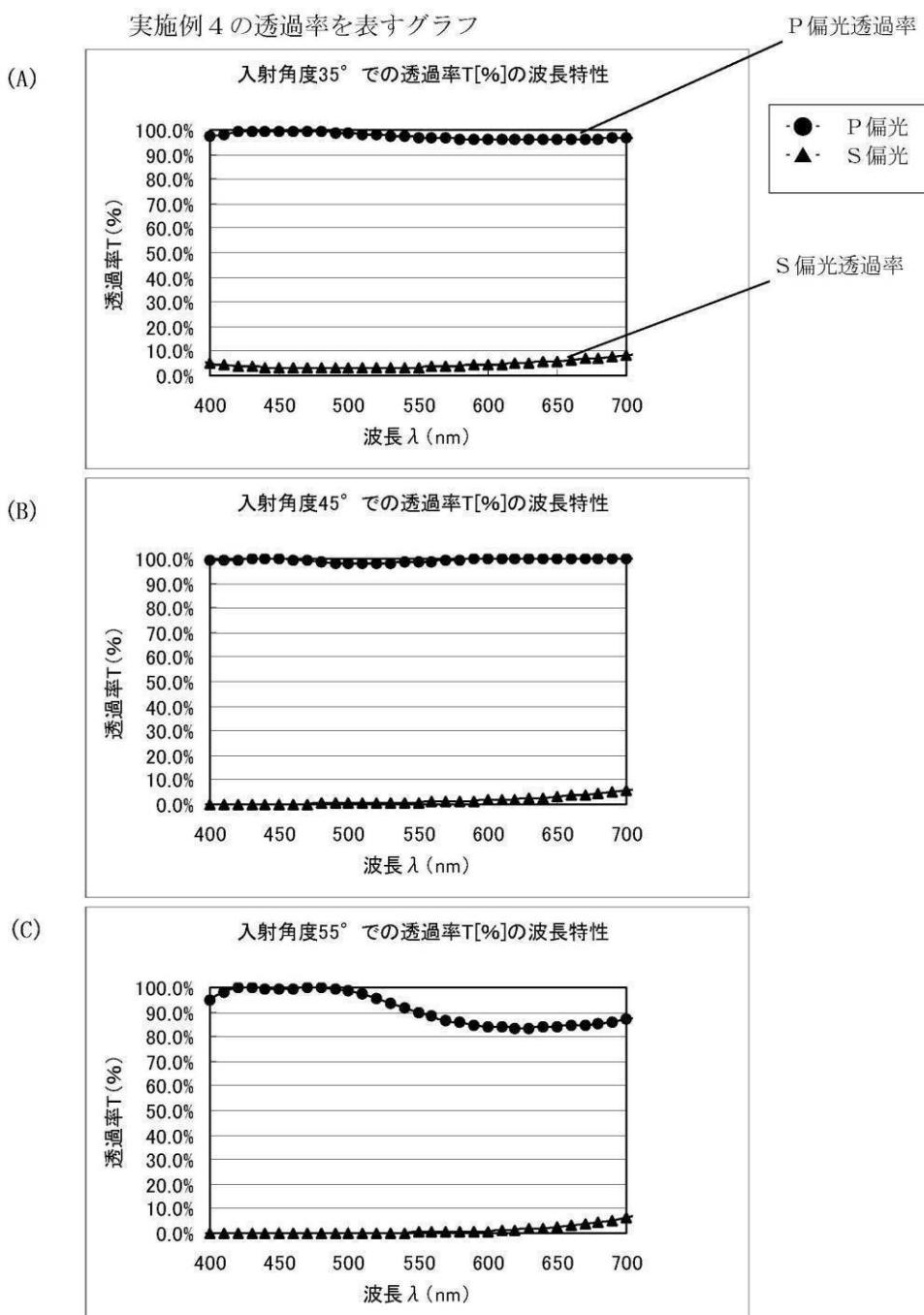
【図14】



【図15】

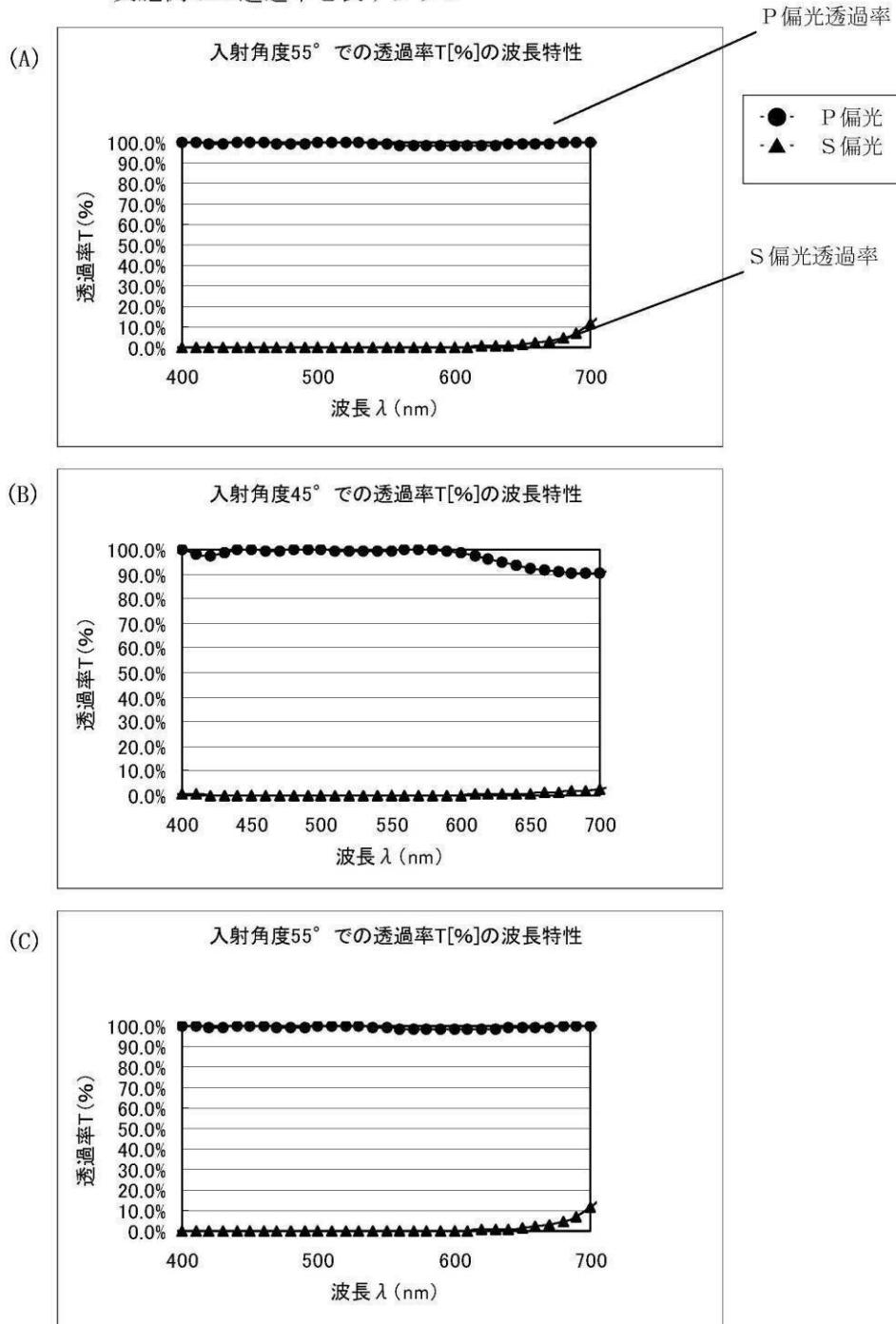


【図16】

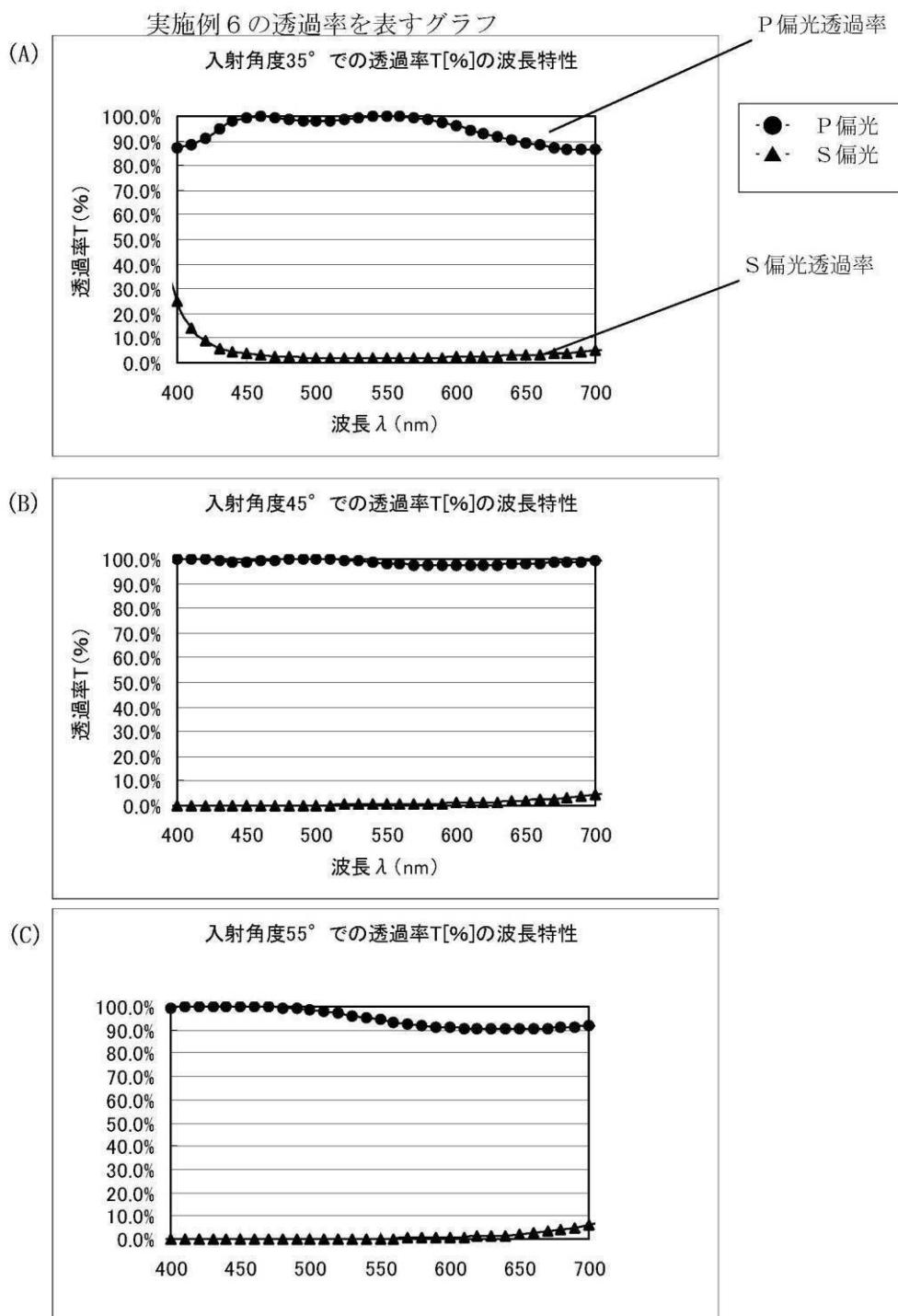


【図17】

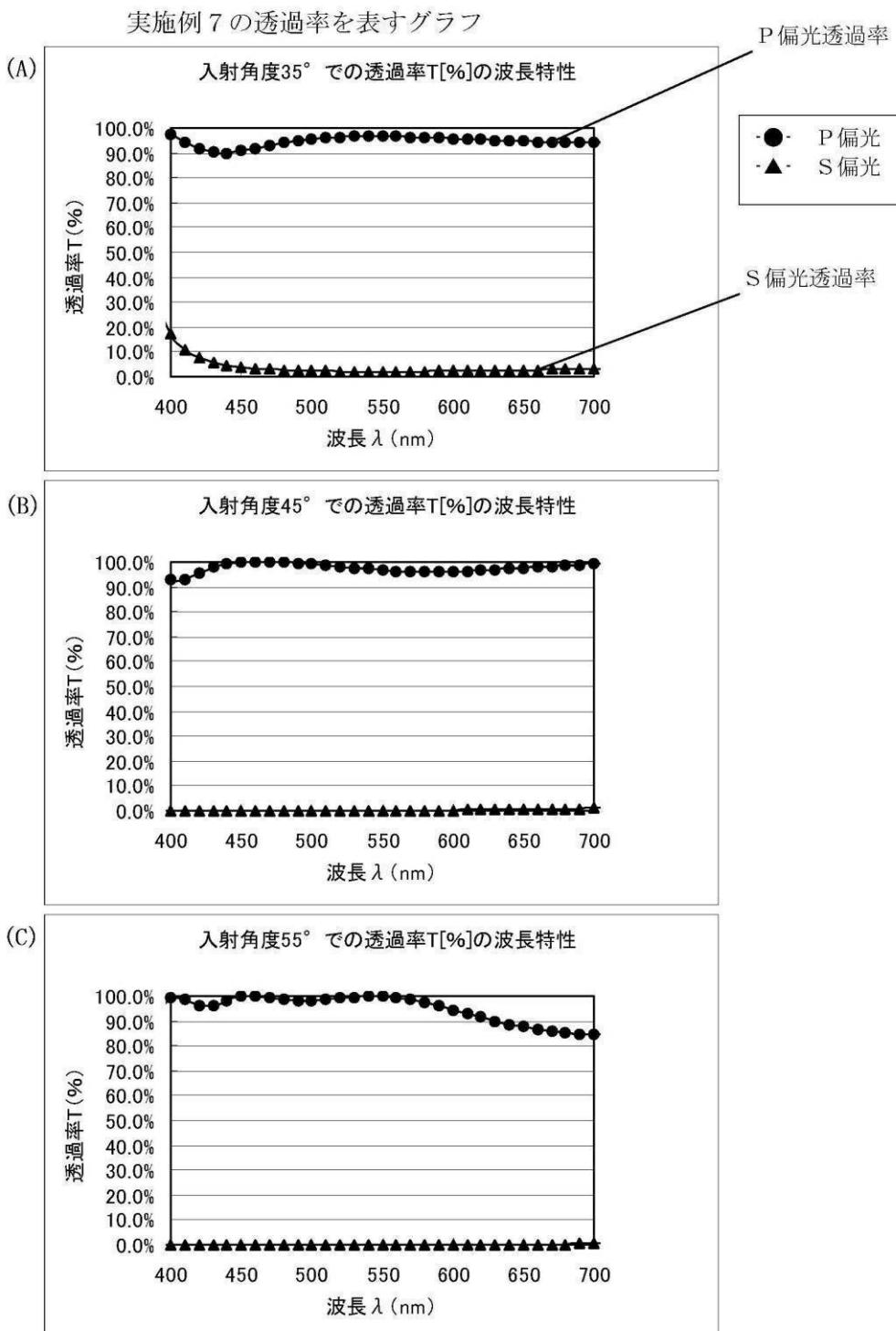
## 実施例5の透過率を表すグラフ



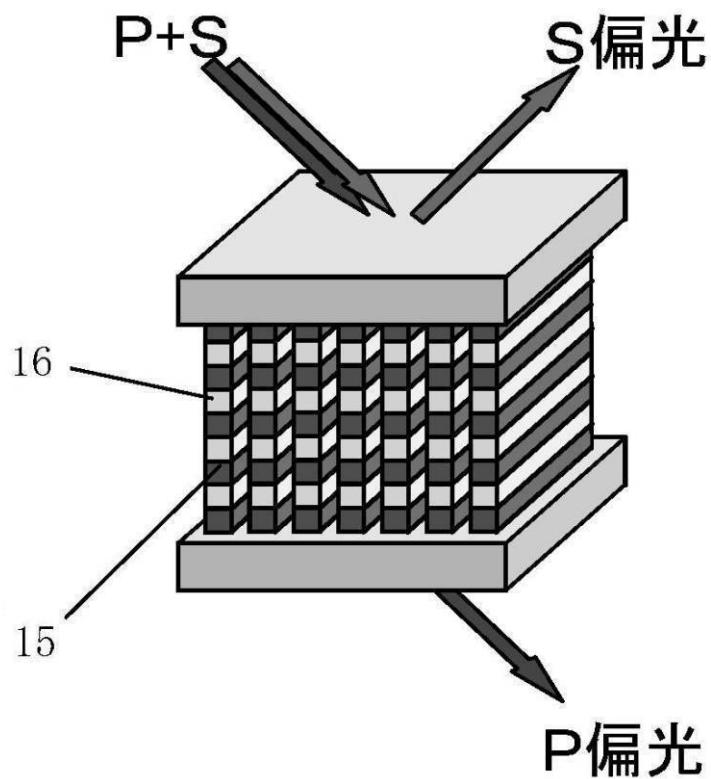
【図18】



【図19】



【図20】



【図21】

