

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5930600号
(P5930600)

(45) 発行日 平成28年6月8日(2016.6.8)

(24) 登録日 平成28年5月13日(2016.5.13)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 5/30 (2006.01)
G03B 21/14 (2006.01)G02B 5/30
G03B 21/14

Z

請求項の数 8 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2011-85951 (P2011-85951)
 (22) 出願日 平成23年4月8日 (2011.4.8)
 (65) 公開番号 特開2012-220702 (P2012-220702A)
 (43) 公開日 平成24年11月12日 (2012.11.12)
 審査請求日 平成26年3月31日 (2014.3.31)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100110412
 弁理士 藤元 亮輔
 (74) 代理人 100104628
 弁理士 水本 敦也
 (74) 代理人 100121614
 弁理士 平山 優也
 (72) 発明者 山本 理絵
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 審査官 加藤 昌伸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】偏光分離素子および画像投射装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光をその偏光方向に応じて反射または透過する偏光分離素子であって、
 光入射側から順に、
 透光性を有するベース部材と、
 誘電体により形成され、第1の方向に前記入射光の波長よりも小さい第1の格子周期を
 有する第1の一次元格子構造と、

金属により形成され、前記第1の方向に対して垂直な第2の方向に前記入射光の波長よ
 りも小さい第2の格子周期を有する第2の一次元格子構造とを有し、

前記ベース部材と前記第1の一次元格子構造とは隣接し、

10

前記第1の一次元格子構造と前記第2の一次元格子構造とは隣接し、

偏光方向が前記第1の方向に対して垂直な第1の偏光光に対する前記第1の一次元格子
 構造の有効屈折率をn_{TE}とし、前記ベース部材の屈折率をn_pとするとき、

0.9 < n_{TE} / n_p < 1.1

を満足し、

偏光方向が前記第2の方向に対して垂直な第2の偏光光に対する前記第1の一次元格子
 構造の有効屈折率をn_{TM}とし、前記ベース部材の屈折率をn_pとするとき、

n_p > n_{TM}

を満足することを特徴とする偏光分離素子。

【請求項 2】

20

前記第1および第2の格子周期が、150 nmより短いことを特徴とする請求項1に記載の偏光分離素子。

【請求項3】

前記第1の一次元格子構造の格子厚をd [nm]とし、偏光方向が前記第1の方向に平行な第2の偏光に対する前記第1の一次元格子構造の有効屈折率をn_{TM}とし、前記ベース部材の屈折率をn_pとし、前記入射光の中心波長をλ [nm]とし、前記入射光に含まれる光線が前記ベース部材と前記第1の一次元格子構造の界面の法線に対してなす角度をθ [°]とするとき、

$$0.2 < (n_{TM} \times \cos \theta) d / \lambda < 0.3$$

を満足することを特徴とする請求項1または2に記載の偏光分離素子。

10

【請求項4】

前記第2の一次元格子構造において、前記第2の格子周期が120 nm以下であり、格子厚が100 nm以下であることを特徴とする請求項1から3のいずれか一項に記載の偏光分離素子。

【請求項5】

前記第2の一次元格子構造において、前記第2の格子周期をλ [nm]とし、前記第2の方向での格子幅をw [nm]とし、フィリングファクタFFをw/λと定義し、前記入射光の中心波長をλ [nm]とするとき、

$$A(\lambda/λ)^2 + B(\lambda/λ) + 0.73 < FF < A(\lambda/λ)^2 + B(\lambda/λ) + 0.90$$

ただし、A = 3.5

$$B = -2.1$$

を満足することを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の偏光分離素子。

20

【請求項6】

光源からの光をその偏光方向に応じて反射または透過する請求項1から5のいずれか1項に記載の偏光分離素子と、

該偏光分離素子からの光を変調する光変調素子と、

該光変調素子から前記偏光分離素子を介して導かれた光を被投射面に投射する投射光学系とを有することを特徴とする画像投射装置。

【請求項7】

光源からの光を複数の色光に分離する色分離光学系と、

30

前記複数の色光をそれぞれ変調する複数の光変調素子と、

該複数の光変調素子からの前記複数の色光を被投射面に投射する投射光学系とを有し、

前記色分離光学系に、請求項1から5のいずれか1項に記載の偏光分離素子が含まれていることを特徴とする画像投射装置。

【請求項8】

前記ベース部材における光入射面の法線および該ベース部材と前記第1の一次元格子構造との界面の法線を含む面を入射平面とするとき、該入射平面の法線が前記第1の方向に平行であることを特徴とする請求項6又は7に記載の画像投射装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

40

【0001】

本発明は、入射光をその偏光方向に応じて反射または透過する偏光分離素子に関し、特に入射光の波長よりも小さい格子周期を有するワイヤーグリッド(一次元格子構造)と誘電体膜の多層膜層により構成される偏光分離素子に関する。

【背景技術】

【0002】

金属により入射光の波長(使用波長ともいう)よりも小さな格子周期で形成された一次元格子構造であるワイヤーグリッドは、偏光方向が異なる光を分離する作用を有する。微細加工技術の進歩により、基板上に形成された可視波長オーダーの微細な格子周期を有するワイヤーグリッドが特許文献1にて開示されている。また、基板により発生する非点吸

50

差を抑えたり格子の扱い易さを向上させたりすることを目的として、一次元格子構造を透明基板やプリズムに挟み込んだワイヤーグリッド偏光分離素子が特許文献2にて開示されている。

【0003】

一方、誘電体により使用波長よりも小さな格子周期で形成された一次元格子構造である誘電体グリッドは、格子の長手方向（格子周期の方向に直交する方向）と幅方向（格子周期の方向）とで異なる有効屈折率を持つ。特許文献3には、この特性を利用して、誘電体グリッドを、格子周期の方向が互いに直交するように積層して2つのプリズムの間に挟み込んだ偏光分離素子が開示されている。

【先行技術文献】

10

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特表2003-502708号公報

【特許文献2】特表2003-519818号公報

【特許文献3】特開2005-321562号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

ワイヤーグリッドは、格子の長手方向に平行に電界が振動する偏光（以下、第1の偏光という）を反射し、第1の偏光に垂直に電界が振動する偏光（以下、第2の偏光という）を透過する。ただし、実際には、反射されるべき第1の偏光の一部が透過されたり吸収されたりするとともに、透過されるべき第2の偏光の一部が反射されたり吸収されたりする。従来のワイヤーグリッドでは、十分に偏光を分離するために（つまりは第1の偏光の透過を抑えるために）格子厚を大きくしているが、これにより、透過すべき第2の偏光の吸収が多くなり、透過率が低下するという問題がある。

20

また、透明基板やプリズムの間に挟み込んで用いられるワイヤーグリッド偏光分離素子では、透過すべき第2の偏光の特性が劣化しやすく、入射側を空気や真空とした場合に比べて反射率が大きくなるという問題がある。

【0006】

一方、特許文献3にて開示された誘電体グリッドを用いた偏光分離素子では、s偏光の反射に全反射を利用するため、入射角度が小さい領域では急激に反射率が低下するという問題がある。

30

【0007】

本発明は、ワイヤーグリッドを用いた偏光分離素子であって、広い入射角度範囲において良好な透過率および反射率が得られるようにした偏光分離素子およびこれを用いた画像投射装置を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明の一側面としての偏光分離素子は、入射光をその偏光方向によって反射または透過する。該偏光分離素子は、光入射側から順に、透光性を有するベース部材と、誘電体により形成され、第1の方向に入射光の波長よりも小さい第1の格子周期を有する第1の一次元格子構造と、金属により形成され、第1の方向に対して垂直な第2の方向に入射光の波長よりも小さい第2の格子周期を有する第2の一次元格子構造とを有する。ベース部材と第1の一次元格子構造は隣接し、第1の一次元格子構造と第2の一次元格子構造は隣接する。偏光方向が第1の方向に対して垂直な第1の偏光光に対する第1の一次元格子構造の有効屈折率をn_{T_F}とし、ベース部材の屈折率をn_pとするとき、条件0.9 < n_{T_F} / n_p < 1.1を満足し、偏光方向が第2の方向に対して垂直な第2の偏光光に対する第1の一次元格子構造の有効屈折率をn_{T_M}とし、ベース部材の屈折率をn_pとするとき、条件n_p > n_{T_M}を満足することを特徴とする。

40

【0009】

50

なお、上記偏光分離素子を用いた画像投射装置も、本発明の他の一側面を構成する。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、広い入射角度範囲において良好な透過率および反射率が得られるワイヤーグリッド偏光分離素子を実現することができる。そして、このワイヤーグリッド偏光分離素子を用いることにより、良好なコントラストと明るさを有する画像を投射可能な画像投射装置を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の代表的な実施例である偏光分離素子の構成を示す図。 10

【図2】図1の偏光分離素子の偏光分離部のうちワイヤーグリッドの構成を示す図。

【図3】本発明の実施例1である偏光分離素子の構成を示す図。

【図4】実施例1の偏光分離素子の偏光分離部の構成を示す図。

【図5】実施例1における偏光分離部のワイヤーグリッドの構成を示す図。

【図6】入射媒質の屈折率によるs偏光の反射率の波長特性を示す図。

【図7】本発明の実施例2である偏光分離素子の構成を示す図。

【図8】実施例2の偏光分離素子の偏光分離部の構成を示す図。

【図9】実施例1の偏光分離素子のp偏光とs偏光の反射率と透過率の波長特性を示す図。 20

【図10】実施例1の偏光分離素子のp偏光とs偏光の反射率と透過率の入射角度特性を示す図。

【図11】実施例2の偏光分離素子のp偏光とs偏光の反射率と透過率の波長特性を示す図。

【図12】本発明の実施例3である偏光分離素子の構成を示す図。

【図13】実施例3の偏光分離素子の偏光分離部の構成を示す図。

【図14】実施例3の偏光分離素子のp偏光とs偏光の反射率と透過率の波長特性を示す図。

【図15】本発明の実施例4である偏光分離素子のp偏光とs偏光の反射率と透過率の波長特性を示す図。

【図16】本発明の実施例5である液晶プロジェクタの構成を示す図。 30

【図17】本発明の実施例6である液晶プロジェクタの構成を示す図。

【図18】比較例1の偏光分離素子のp偏光とs偏光の反射率と透過率の波長特性を示す図。

【図19】比較例2の偏光分離素子のp偏光とs偏光の反射率と透過率の波長特性を示す図。

【図20】実施例の変形例を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。まず具体的な実施例の説明に先立って、本発明の代表的な実施例としての偏光分離素子の構成について、図1および図2を用いて説明する。 40

【0013】

偏光分離素子10は、2つの透光性を有するベース部材であるプリズム1，2と、これらプリズム1，2の間に配置された偏光分離部3とによって構成されている。

【0014】

ここで、図1に示すように、プリズム1における光入射面の法線N1および該プリズム1と偏光分離部3（後述する誘電体グリッド）との界面の法線N2を含む面を入射平面（図示せず）とする。また、この入射平面内で電界が振動する光をp偏光（第1の偏光）といい、入射平面に直交する方向（入射平面の法線方向）にて電界が振動する光をs偏光（第2の偏光）という。

【0015】

p 偏光と s 偏光とを含む、つまりは無偏光光である入射光は、光入射側（および光反射射出側）のベース部材であるプリズム1を透過して偏光分離部3に入射する。偏光分離部3は、その偏光分離作用によって、入射光のうちs偏光を反射し、p偏光を透過する。偏光分離部3で反射されたs偏光はプリズム1を透過して偏光分離素子10から射出し、偏光分離部3を透過したp偏光は光透過射出側のベース部材であるプリズム2を透過して偏光分離素子10から射出する。入射光の波長（使用波長）は、400（又は430）nm～700nmの可視波長域の全部または一部である。

【0016】

以下の説明において、光の電界の振動方向を、偏光方向という。また、偏光分離部3の詳しい構成については後述する。

10

【0017】

なお、本実施例では、偏光分離部3を間に挟むプリズム1，2を含めて偏光分離素子10と称するが、偏光分離素子としては必ずしも光透過射出側のプリズム2は必要ではない。例えば、図20(a)に示すように、光入射側のプリズム1と偏光分離部3とにより偏光分離素子10を構成してもよい。また、ベース部材としては必ずしもプリズムでなくともよく、図20(b)に示すように、2枚の透光性を有するベース部材としての平板1，2の間に偏光分離部3を配置して偏光分離素子10を構成してもよい。

【0018】

図2には、本実施例の偏光分離素子10における偏光分離部3のうちワイヤーグリッド3aの概略構成を示す。ワイヤーグリッド3aは、金属により形成された格子部（以下、金属格子部という）4と、該金属格子部4の間に挟まれた格子間部5とが交互に配列されて構成された一次元格子構造を有する。ワイヤーグリッド3aの偏光特性を決定するパラメータは、格子厚さd、金属格子部4の幅wおよび格子周期と格子幅wとの比w/dで表されるフィリングファクタFFである。ワイヤーグリッド3a（金属格子部4）は、入射光の波長（使用波長）よりも十分に小さい格子周期を持つ。

20

【0019】

図3には、図1に示した偏光分離素子10のより詳しい構成を示す。また、図4には、図3に示した偏光分離素子10の偏光分離部3の構成を示す。なお、図3および図4では、偏光分離部3の構造を分かりやすくするために、ワイヤーグリッド3aや後述する誘電体グリッド3b，3cの構造を誇張して示しており、プリズム1，2と偏光分離部3との実際の寸法関係はこの図とは異なる。

30

【0020】

プリズム1，2の間に挟まれた偏光分離部3は、図2に示したワイヤーグリッド3aと、該ワイヤーグリッド3aの格子厚方向の片側（光入射側）又は両側（光入射側および光透過射出側）に配置された誘電体グリッド3b（3c）とが積層されて構成されている。つまり、偏光分離素子10は、光入射側から光透過射出側に順に、少なくともプリズム1と誘電体グリッド（第1の一次元格子構造）3bとワイヤーグリッド（第2の一次元格子構造）3aとを有しており、必要に応じて誘電体グリッド3cとプリズム2も有している。

40

【0021】

誘電体グリッド3b（3c）は、誘電体により形成された格子部（以下、誘電体格子部という）と、該誘電体格子部の間に挟まれた格子間部とが交互に配列されて構成された一次元格子構造を有する。誘電体グリッド3b（3c）の誘電体格子部の長手方向（図4中に実線矢印で示す）D2は、ワイヤーグリッド3aの金属格子部4の長手方向（図4中に点線矢印で示す）D1に対して直交する。言い換えれば、誘電体格子部はその幅方向に相当する第1の方向D1に第1の格子周期を有し、金属格子部4はその幅方向に相当する、第1の方向D1に対して直交する第2の方向D2に第2の格子周期を有する。

【0022】

なお、誘電体グリッド3bにおける誘電体格子部の格子周期（第1の格子周期）とワイ

50

ヤーグリッド 3 a における金属格子部 4 の格子周期（第 2 の格子周期）は互いに同じであつてもよいし異なっていてもよい。また、2 つの誘電体グリッド 3 b , 3 c を有する場合に、これら誘電体格子部 3 b , 3 c の格子周期も互いに同じであつてもよいし異なっていてもよい。

【 0 0 2 3 】

また、本実施例にいう「直交する」とは、完全に直交する場合に限らず、許容範囲内で完全な直交からずれている場合も含む。また、「平行である」についても、完全に平行である場合に限らず、許容範囲内で完全な平行からずれている場合も含む。

【 0 0 2 4 】

ワイヤーグリッド 3 a の金属格子部 4 は、アルミニウム、銀、金、ニッケル、クロム、銅、プラチナ、タンクステン等の金属により形成されている。また、誘電体グリッド 3 b , 3 c における誘電体格子部は、MgF₂、SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、ZrO₂、Ta₂O₅、Nb₂O₃ 等の誘電体により形成されている。10

【 0 0 2 5 】

ワイヤーグリッド 3 a は、金属格子部 4 の長手方向（第 1 の方向 D 1 ）が、図 3 の紙面に相当する入射平面に直交する方向、つまりは入射平面の法線方向に平行となるように配置される。言い換えれば、ワイヤーグリッド 3 a は、金属格子部 4 の格子周期方向である第 2 の方向 D 2 が入射平面に対して平行となるように配置されている。ワイヤーグリッド 3 a をこのように配置することで、ワイヤーグリッド 3 a に入射した p 偏光を透過して s 偏光を反射する作用を持たせることができる。以下に説明する全ての実施例および比較例において、ワイヤーグリッド 3 a の金属格子部 4 の長手方向は、入射平面に対して直交する（入射平面の法線方向に平行となる）方向である。20

【 0 0 2 6 】

偏光方向が誘電体グリッド 3 b （誘電体格子部）の長手方向である第 2 の方向に対して平行、つまりは第 1 の方向に直交する、さらに言えば入射平面に対して平行な第 1 の偏光としての p 偏光に対する誘電体グリッド 3 b の有効屈折率を n_{TE} とする。また、偏光方向が誘電体グリッド 3 b の長手方向である第 2 の方向に対して直交する、つまりは第 1 の方向に対して平行な、さらに言えば入射平面に対して直交する第 2 の偏光としての s 偏光に対する有効屈折率を n_{TM} とする。この場合、有効屈折率 n_{TE} , n_{TM} は、誘電体格子部の屈折率 n₁ と格子間部の屈折率 n₂ と誘電体格子部の幅 w と格子周期 L との比 w / L によって定義されるフィリングファクタ F F とから、次式（1）, (2) のように求めることができる。30

$$n_{TE} = FF \times n_1^2 + (1 - FF) \times n_2^2 \quad \}^{1/2} \quad (1)$$

$$1/n_{TM} = \{ FF \times 1/n_1^2 + (1 - FF) \times 1/n_2^2 \}^{-1/2} \quad (2)$$

ここで、プリズム 1 と誘電体グリッド 3 b の界面における p 偏光の反射を抑えるために、誘電体グリッド 3 b の p 偏光に対する屈折率 n_{TE} とプリズム 1 の屈折率 n_p は以下の条件（3）を満足することが望ましい。

$$0.9 < n_{TE} / n_p < 1.1 \quad (3)$$

条件（3）を満足することにより、プリズム 1 と誘電体グリッド 3 b との間での p 偏光に対する屈折率差を小さくすることができるため、プリズム 1 と誘電体グリッド 3 b の界面での p 偏光の反射を抑えることができる。n_{TE} / n_p の値が条件（3）の上限を超えて下限を下回ったりすると、プリズム 1 と誘電体グリッド 3 b との間の屈折率差が大きくなり過ぎ、これらの界面での反射が大きくなるので、p 偏光に対する良好な特性を得ることが困難となる。40

【 0 0 2 7 】

図 5 に示すように入射側の媒質（入射媒質）を透過した光線がワイヤーグリッドに 45° の入射角度で入射する場合において、s 偏光の反射率の波長特性を入射媒質の屈折率ごとに比較した結果を図 6 に示す。

【 0 0 2 8 】

ここでは、ワイヤーグリッドの金属格子部はアルミニウムにより形成され、格子厚は 6 50

0 nm、格子周期は100nm、格子幅は54nmである。また、射出側の媒質（射出媒質）の屈折率は1.52である。入射媒質の屈折率は、1.0から1.6まで変化させた。

【0029】

図6から分かるように、ワイヤーグリッドのs偏光に対する反射率Rsは、入射媒質の屈折率が小さいほど大きくなり、波長特性も良好である。

【0030】

誘電体グリッドでは、 $n_{TE} > n_{TM}$ であるため、s偏光に対する良好な特性を得るために、誘電体グリッドの長手方向とワイヤーグリッドの長手方向が直交する方がよい。

【0031】

また、プリズム1の屈折率 n_p と誘電体グリッド3bのs偏光に対する有効屈折率 n_{T_M} が以下の条件(4)を満足することが望ましい。これにより、ワイヤーグリッド3aがプリズム1に隣接している場合に比べてs偏光に対する反射率特性を向上させることができる。

$$n_p > n_{T_M} \quad (4)$$

さらに、誘電体グリッド3bの格子厚d[nm]およびs偏光に対する有効屈折率 n_{T_M} と、入射光の中心波長[nm]と、入射光に含まれる光線がプリズム1と誘電体グリッド3bの界面の法線となす角度[°]とが以下の条件(5)を満足することが望ましい。これにより、s偏光に対する反射率をより効果的に向上させることができる。

$$0.2 < (n_{T_M} \times \cos \theta) d / < 0.3 \quad (5)$$

$(n_{T_M} \times \cos \theta) d /$ の値が条件(5)の上限を超えるように格子厚dが大きくなると、格子幅に対する格子厚の比が大きくなるため、誘電体グリッド3bの強度が低くなりすぎ、製造も困難となる。また、 $(n_{T_M} \times \cos \theta) d /$ の値が条件(5)の下限を下回るように格子厚dが小さいと、反射率や透過率の変化が小さくなり、十分な性能を得ることができない。このため、s偏光を効率的に反射させるために、条件(5)を満足することが好ましい。

【0032】

偏光分離部3が、ワイヤーグリッド3aと誘電体グリッド3bのみにより構成される場合には、構成が単純であるため、設計が容易であり、製造も簡単である。ただし、偏光分離部3をワイヤーグリッド3aとこれを挟む2つの誘電体グリッド3b, 3cにより構成してもよい。特に、誘電体グリッド3b, 3cが同じ構成を有すると、光がプリズム1から入射する場合とプリズム2から入射する場合とでp偏光およびs偏光に対する光学特性が等しくなる。このため、偏光分離素子10を使用する光学系の構成上の限定が少なくなり、偏光分離素子10を幅広い構成の光学系にて使用することが可能となる。

【0033】

また、ワイヤーグリッドにおいて、格子厚が一定であれば、格子周期が大きくなるほどs偏光に対する透過率が増加し、偏光分離特性が劣化する。さらに、格子周期が120nmを超えると、500nm程度までの短波長側でp偏光に対する反射率特性が急激に劣化する。特に、格子周期が150nmを超えると、入射角度によっては回折が生じるため、良好な偏光分離特性が得られなくなる。

【0034】

したがって、ワイヤーグリッドの格子周期は、150nm以下であることが望ましく、さらに短波長側で良好な偏光分離特性を得るために、格子周期は120nm以下であることがより望ましい。

【0035】

また、格子厚が大きくなると、透過すべきp偏光が吸収もしくは反射されて十分な透過率特性が得られにくくなる。また、格子幅に対する格子厚の比が増大することにより、ワイヤーグリッドの強度が低下するとともに、製造も難しくなる。したがって、ワイヤーグリッドの格子厚は、100nm以下であることが望ましい。

【0036】

10

20

30

40

50

さらに、プリズム1の光入射面と、該プリズム1と偏光分離部3の界面とがなす角度が45°程度である場合、ワイヤーグリッドのフィリングファクタFFが以下の条件(6)を満足することが望ましい。

$$A(\quad/\quad)^2 + B(\quad/\quad) + 0.73 < FF < A(\quad/\quad)^2 + B(\quad/\quad) + 0.90 \quad (6)$$

ただし、 $A = 3.5$

$B = -2.1$

[nm]はワイヤーグリッドの格子周期(第2の格子周期)であり、w[nm]はワイヤーグリッドの格子幅であり、フィリングファクタFFはw/である。[nm]は入射光の中心波長である。

10

【0037】

良好な偏光分離特性を確保するためには、s偏光に対する透過率が十分に低いことが必要であるが、s偏光に対する透過率は、ワイヤーグリッドの格子厚に大きく依存する。このため、良好な偏光分離特性を確保するためのワイヤーグリッドの格子厚は、偏光分離素子に求められる仕様からほぼ決定される。

【0038】

一方、最適な入射角度のp偏光に対する反射率を低く抑えるためには、プリズムの屈折率に合わせて、ワイヤーグリッドの格子厚とフィリングファクタFFとを最適化する必要がある。発明者は、ワイヤーグリッドのフィリングファクタFFが条件(6)を満足するときに、s偏光に対する透過率が十分抑えられる格子厚によってp偏光に対する特性を最適化できる(反射率を十分に低くできる)ことを発見した。

20

【0039】

フィリングファクタFFが条件(6)の下限を下回ると、p偏光に対する反射率を抑えるために格子厚をより小さくすることが必要となり、これにより、s偏光に対する透過率を十分に低く抑えることが困難となる。また、フィリングファクタFFが条件(6)の上限を超えると、p偏光に対する反射率を抑えるために格子厚をより大きくすることが必要となる。これにより、s偏光に対する十分に低い透過率が得られるものの、p偏光の吸収損失が大きくなり、p偏光に対する十分に高い透過率が得られなくなる。したがって、p偏光に対する良好な特性とs偏光に対する良好な特性の双方を得るためにには、条件(6)を満足することが望ましい。

30

【0040】

以下、具体的な実施例について説明する。

【実施例1】

【0041】

図7には、本発明の実施例1である偏光分離素子10の構成を示している。図8には、本実施例の偏光分離素子10における偏光分離部3の構成を示している。本実施例の偏光分離素子10は、光入射側から光透過射出側に順に、プリズム1と、誘電体グリッド3bと、ワイヤーグリッド3aと、プリズム2とから構成されている。

【0042】

プリズム1,2の屈折率はn=1.6である。誘電体グリッド3b(誘電体格子部)は、屈折率がn=2.32の誘電体により形成されている。ワイヤーグリッド3a(金属格子部4)は、アルミニウムにより形成されている。誘電体グリッド3bのフィリングファクタは0.335であり、格子厚は165.8nmである。また、ワイヤーグリッド3aのフィリングファクタFFは0.55であり、格子厚は60nmである。誘電体グリッド3bおよびワイヤーグリッド3aの格子周期は、いずれも=100nmである。

40

【0043】

プリズム1の光入射面に垂直に入射した光に対する波長ごとの偏光分離部3での反射率と透過率を図9(a), (b)にそれぞれ示す。図9(a), (b)において、実線および左側の第1軸がp偏光に対する反射率Rpと透過率Tpを示し、破線および右側の第2軸がs偏光に対する反射率Rsと透過率Tsを示す。図9(a), (b)から分かるよう

50

に、本実施例は、400(又は430)nm～700nmの波長帯域において、 $R_s > 96\%$ 、 $T_s < 0.09\%$ 、 $R_p < 0.13\%$ と優れた特性を示す。

【0044】

図10(a), (b)にはそれぞれ、プリズム1と偏光分離部3の界面の法線に対して入射光線がなす角度(入射角度)を40°から50°まで変化させたときの偏光分離部3のp偏光に対する反射率 R_p および透過率 T_p を示している。また、図10(c), (d)にはそれぞれ、上記入射角度を40°から50°まで変化させたときの偏光分離部3のs偏光に対する反射率 R_s および透過率 T_s を示している。本実施例では、s偏光の反射に全反射を用いていないため、誘電体グリッドのみによって構成された特許文献3にて開示された偏光分離素子に比べて角度依存性が少ない、すなわち広い入射角度範囲において良好な特性が得られる。10

(比較例1)

ここで、実施例1に対する比較例(比較例1)について説明する。本比較例の偏光分離素子は、実施例1と同様に2つのプリズムを有する一方、これらの間に挟まれた偏光分離部がワイヤーグリッドのみにより構成されている。本比較例において、プリズムの屈折率やワイヤーグリッドのパラメータは実施例1と同じである。

【0045】

図18(a), (b)には、本比較例におけるプリズムの光入射面に垂直に入射した光に対する波長ごとの偏光分離部での反射率と透過率を示す。実施例1にて図9(a), (b)に示した反射率および透過率の特性との比較から、比較例1では、 T_p は同程度であるのに対し、 R_s は10%程度低くなっていることが分かる。また、 T_s は0.19～0.45%と、誘電体グリッドが設けられている実施例1に比べて3倍以上となっており、偏光分離特性が大きく劣化していることが分かる。20

【0046】

以上のことから、偏光分離部をワイヤーグリッドのみで構成した場合には、実施例1のように、s偏光に対する高い反射率 R_s と低い透過率 T_s を有する偏光分離素子の実現は困難となる。

【実施例2】

【0047】

次に、本発明の実施例2である偏光分離素子について説明する。本実施例の偏光分離素子は、図7および図8に示した実施例1の偏光分離素子と同様に、光入射側から光透過射出側に順に、プリズム1と、誘電体グリッド3bと、ワイヤーグリッド3aと、プリズム2とから構成されている。30

【0048】

プリズム1, 2の屈折率と、誘電体グリッド3bの屈折率、フィリングファクタおよび格子厚は実施例1と同じである。ただし、誘電体グリッド3bおよびワイヤーグリッド3aの格子周期はともに $= 120\text{ nm}$ であり、ワイヤーグリッド3aのフィリングファクタFFは0.54である。また、ワイヤーグリッド3aの格子厚は70nmである。

【0049】

プリズム1の光入射面に垂直に入射した光に対する波長ごとの偏光分離部3での反射率と透過率を図11(a), (b)にそれぞれ示す。図11(a), (b)において、実線および第1軸がp偏光に対する反射率 R_p と透過率 T_p を示し、破線および第2軸がs偏光に対する反射率 R_s と透過率 T_s を示す。図11(a), (b)から分かるように、本実施例は、400(又は430)nm～700nmの波長帯域において、 $R_s > 96\%$ 、 $T_s < 0.08\%$ 、 $R_p < 0.3\%$ (430～700nm)と優れた特性を示す。40

【0050】

なお、本実施例は、実施例1と比較すると、短波長側でp偏光に対する反射率と透過率が若干悪くなっているが、実施例1に比べて格子周期が大きいため、製造が容易であるというメリットがある。

(比較例2)

10

20

30

40

50

ここで、実施例 2 に対する比較例（比較例 2）について説明する。本比較例の偏光分離素子は、実施例 2 と同様に、2つのプリズムと、これらの間に挟まれた誘電体グリッドとワイヤーグリッドにより構成された偏光分離部とから構成されている。本比較例において、プリズムの屈折率や誘電体グリッドの屈折率、フィーリングファクタおよび格子厚は、実施例 1, 2 と同じである。ただし、誘電体グリッドおよびワイヤーグリッドの格子周期はともに 150 nm であり、ワイヤーグリッドのフィーリングファクタ FF が 0.54 である。また、ワイヤーグリッドの格子厚は 80 nm である。

【0051】

図 19 (a), (b) には、比較例 2 におけるプリズムの光入射面に垂直に入射した光に対する波長ごとの偏光分離部での反射率と透過率を示す。ただし、420 nm より短い波長帯域では回折が生じるため、430 nm ~ 700 nm の波長帯域での反射率と透過率を示す。本比較例のように格子周期が大きくなり過ぎると、短波長側では使用波長に対して十分に小さい格子周期ではなくなるため、偏光分離部が回折格子として機能してしまい、本来の偏光分離機能が得られなくなる。

10

【0052】

また、格子周期が大きくなり過ぎると、s 偏光に対する透過率が大きくなる傾向があるため、s 偏光に対する透過率を十分に小さくするためには、本比較例のように、ワイヤーグリッドの格子厚を大きくすることが必要となる。さらに、回折が生じない波長帯域でも、p 偏光に対する特性の劣化が大きく、460 nm 以下の波長帯域では、 $R_p > 4.5\%$ 、 $T_p < 65\%$ と良好な特性が得られない。

20

【0053】

以上より、周期が大きい場合には、本実施例のような可視光帯域全域で十分な p 偏光特性を持った偏光分離素子の実現は困難である。

【0054】

以上のことから、偏光分離部の格子周期が 150 nm 以上であると、可視光の波長帯域の全域で p 偏光に対する良好な特性を持つ偏光分離素子の実現は困難となる。

【実施例 3】

【0055】

図 12 には、本発明の実施例 3 である偏光分離素子 10 の構成を示している。また、図 13 には、本実施例の偏光分離素子における偏光分離部 3 の構成を示している。本実施例の偏光分離素子 10 は、光入射側から光透過射出側に順に、プリズム 1 と、誘電体グリッド 3 b と、ワイヤーグリッド 3 a と、誘電体グリッド 3 c と、プリズム 2 とから構成されている。誘電体グリッド 3 b, 3 c の構成は互いに同じである。

30

【0056】

プリズム 1, 2 の屈折率は $n = 1.52$ であり、誘電体グリッド 3 b, 3 c (誘電体格子部) は、屈折率 $n = 2.32$ の誘電体により形成されている。また、ワイヤーグリッド 3 a (金属格子部 4) はアルミニウムにより形成されている。誘電体グリッド 3 b, 3 c のフィーリングファクタは 0.30 で、格子厚は 169 nm である。ワイヤーグリッド 3 a のフィーリングファクタ FF は 0.535 であり、格子厚は 60 nm である。誘電体グリッド 3 b, 3 c およびワイヤーグリッド 3 a の格子周期はいずれも $= 100 \text{ nm}$ である。

40

【0057】

プリズム 1 の光入射面に垂直に入射した光に対する波長ごとの偏光分離部 3 での反射率と透過率を図 14 (a), (b) にそれぞれ示す。図 14 (a), (b) において、実線および第 1 軸が p 偏光に対する反射率 R_p と透過率 T_p を示し、破線および第 2 軸が s 偏光に対する反射率 R_s と透過率 T_s を示す。図 14 (a), (b) から分かるように、本実施例は、400 (又は 430) nm ~ 700 nm の波長帯域において、 $R_s > 95\%$ 、 $T_s < 0.03\%$ 、 $R_p < 0.5\%$ と優れた特性を示す。

【0058】

本実施例では、プリズム 1 から光が入射する場合とプリズム 2 から光が入射する場合のいずれにおいても s 偏光および p 偏光に対する特性が等しいため、前述したように、幅広

50

い構成の光学系において偏光分離素子として使用することができる。

【実施例 4】

【0059】

次に、本発明の実施例 4 である偏光分離素子について説明する。本実施例の偏光分離素子は、図 7 および図 8 に示した実施例 1 (および実施例 2) の偏光分離素子と同様に、光入射側から光透過射出側に順に、プリズム 1 と、誘電体グリッド 3 b と、ワイヤーグリッド 3 a と、プリズム 2 とから構成されている。

【0060】

プリズム 1 , 2 の屈折率は、 $n = 1.8$ であり、誘電体グリッド 3 b (誘電体格子部) は、屈折率が $n = 2.32$ の誘電体により形成されている。また、ワイヤーグリッド 3 a (金属格子部 4) はアルミニウムにより形成されている。誘電体グリッド 3 b のフィリングファクタは 0.51 であり、格子厚は 148.6 nm である。ワイヤーグリッド 3 a のフィリングファクタ F F は 0.58 であり、格子厚は 60 nm である。誘電体グリッド 3 b およびワイヤーグリッド 3 a の格子周期はいずれも、 $\lambda = 100 \text{ nm}$ である。

【0061】

プリズム 1 の光入射面に垂直に入射した光に対する波長ごとの偏光分離部 3 での反射率と透過率を図 15 (a) , (b) にそれぞれ示す。図 15 (a) , (b) において、実線および第 1 軸が p 偏光に対する反射率 R p と透過率 T p を示し、破線および第 2 軸が s 偏光に対する反射率 R s と透過率 T s を示す。本実施例では、プリズム 1 , 2 の屈折率が 1 . 8 と高いため、通常であれば入射媒質が空気や真空である場合に比べて偏光分離特性が劣化しやすい。しかし、図 15 (a) , (b) から分かるように、本実施例は、400 (又は 430) nm ~ 700 nm の波長帯域において、 $R_s > 95\%$ 、 $T_s < 0.09\%$ 、 $R_p < 0.15\%$ (430 ~ 700 nm) と優れた特性を示す。

【実施例 5】

【0062】

図 16 には、本発明の実施例 5 として、実施例 1 ~ 実施例 4 のうちいずれかにて説明した偏光分離素子を用いた液晶プロジェクタ (画像投射装置) の構成を示す。液晶プロジェクタ 100 は、光源ランプ 21 と、偏光変換素子 20 と、偏光ビームスプリッタ 10 と、光変調素子である反射型液晶パネル 25 と、投射レンズ (投射光学系) 30 とを有する。偏光ビームスプリッタ 10 が、実施例 1 ~ 4 のいずれかにて説明された偏光分離素子 10 に相当する。

【0063】

光源ランプ 21 から発せられた白色光は、偏光変換素子 20 を含む照明光学系を通り、平行光束 11 となって偏光変換素子 20 に入射する。偏光変換素子 20 は、光源ランプ 21 から入射した無偏光光を、 s 偏光に変換する。偏光変換素子 20 からの s 偏光は、偏光ビームスプリッタ 10 にて反射され、反射型液晶パネル 25 に入射する。反射型液晶パネル 25 にて反射および変調された画像光 (p 偏光) 13 は、偏光ビームスプリッタ 10 を介して (透過して) 投射レンズ 30 に導かれ、該投射レンズ 30 によってスクリーン等の被投射面に投射される。

【0064】

本実施例では、偏光ビームスプリッタ 10 として実施例 1 ~ 4 のいずれかにて説明した偏光分離素子 10 を用いることにより、明るく、高コントラストな投射画像を表示することができる。

【実施例 6】

【0065】

図 17 には、本発明の実施例 6 として、実施例 1 ~ 実施例 4 のうちいずれかにて説明した偏光分離素子を用いた液晶プロジェクタ (画像投射装置) の構成を示す。液晶プロジェクタ 200 は、光源ランプ 21 と、偏光変換素子 20 と、ダイクロイックミラー 22 と、波長選択性位相差板 23 と、偏光ビームスプリッタ 10 a , 10 c とを有する。偏光ビームスプリッタ 10 a , 10 c のうち少なくとも一方が、実施例 1 ~ 4 のいずれかにて説明

10

20

30

40

50

された偏光分離素子 10 に相当する。

【0066】

また、液晶プロジェクタ 200 は、光変調素子である反射型液晶パネル 25g, 25b, 25r と、位相差板 24b, 24g, 24r と、色合成プリズム 26 と、投射レンズ（投射光学系）30 とを有する。

【0067】

光源ランプ 21 から発せられた白色光（緑色光 11g、青色光 11b および赤色光 11r を含む）は、偏光変換素子 20 を含む照明光学系を通り、平行光束となって偏光変換素子 20 に入射する。

【0068】

偏光変換素子 20 は、光源ランプ 21 から入射した無偏光光を、s 偏光（緑偏光 12g, 青偏光 12b および赤偏光 12r）に変換する。次に、ダイクロイックミラー 22 に入射した緑偏光 12g, 青偏光 12b および赤偏光 12r のうち緑偏光 12g はダイクロイックミラー 22 により反射され、青偏光 12b および赤偏光 12r はダイクロイックミラー 22 を透過する。緑偏光 12g は、偏光ビームスプリッタ 10a にて反射され、位相差板 24g を通過して緑用反射型液晶パネル 25g に入射する。一方、青偏光 12b および赤偏光 12r は波長選択性位相差板 23 に入射し、赤偏光 12r のみが該波長選択性位相差板 23 によって偏光方向を 90° 変換される。これにより、青偏光 12b は s 偏光のまま、赤偏光 12r は p 偏光として偏光ビームスプリッタ 10c に入射する。

【0069】

そして、青偏光 12b は偏光ビームスプリッタ 10c により反射され、位相差板 24b を通過して青用反射型液晶パネル 25b に入射する。また、赤偏光 12r は、偏光ビームスプリッタ 10c を透過し、位相差板 24r を通過して赤用反射型液晶パネル 25r に入射する。ダイクロイックミラー 22 から偏光ビームスプリッタ 10a, 10c までの光学系が、光源からの光を複数の色光に分離する色分離光学系に相当する。

【0070】

各反射型液晶パネルは、入射した光を画像信号に応じて反射されるとともに変調されて、画像光（緑画像光 13g, 青画像光 13b および赤画像光 13r）となる。緑用反射型液晶パネル 25g により変調された緑画像光 13g は、位相差板 24g を再び通過し、偏光ビームスプリッタ 10a を透過して色合成プリズム 26 に入射する。また、青用反射型液晶パネル 25b により変調された青画像光 13b は、位相差板 24b を再び通過し、偏光ビームスプリッタ 10c を透過して色合成プリズム 26 に入射する。赤用反射型液晶パネル 25r により変調された赤画像光 13r は、位相差板 24r を再び通過し、偏光ビームスプリッタ 10c で反射されて色合成プリズム 26 に入射する。

【0071】

緑画像光 13g は色合成プリズム 26 内のダイクロイック膜によって反射され、青画像光 13b および赤画像光 13r はダイクロイック膜を透過する。これにより、緑画像光 13g、青画像光 13b および赤画像光 13r は合成されて投射レンズ 30 に入射し、投射レンズ 30 によって不図示のスクリーン等の被投射面に投射される。偏光ビームスプリッタ 10c および色合成プリズム 26 により色合成光学系が構成される。

【0072】

本実施例では、色分離光学系と色合成光学系とが一体の色分離合成光学系として形成されているが、例えば透過型液晶パネルを用いる場合のように色分離光学系と色合成光学系とがそれぞれ別々に構成されていてもよい。また、光変調素子として、デジタルマイクロミラーデバイス（DMD）等の液晶パネル以外のものを用いてもよい。

【0073】

本実施例では、偏光ビームスプリッタ 10a, 10c のうち少なくとも一方に実施例 1 ~ 4 のいずれかにて説明した偏光分離素子 10 を用いている（特に、偏光ビームスプリッタ 10c として実施例 3 の偏光分離素子を用いることが好ましい）。これにより、明るく高コントラストな投射画像を表示することができる。

10

20

30

40

50

【0074】

また、本実施例では、 p 偏光に対する反射率および s 偏光に対する透過率が小さく、これらの波長依存性も少ないため、緑偏光と青偏光および赤偏光とに対して、共通の偏光分離素子を用いても高コントラストを維持することができる。したがって、青偏光と赤偏光の光路を共通化することができ、青、緑、赤の光路のすべてを分離した光学系に比べて、コントラストを低下させることなく、低コストおよび小型の装置を実現できる。

【0075】

なお、本実施例および前述した実施例5では、偏光変換素子20を用いて光源ランプ21からの無偏光光を s 偏光に変換する場合について説明したが、 p 偏光に変換してもよい。また、本実施例では、ダイクロイックミラー22によって、白色光のうち緑色光を分離する場合について説明したが、他の色光を分離してもよい。10

【0076】

表1には、実施例1～4と条件(1)、(4)、(5)、(6)との関係をまとめて示す。条件(4)については、 n_p と n_{TM} の値を示しており、これらから $n_p > n_{TM}$ であることが分かる。

【0077】

また、条件(5)については、中心波長 = 550 nm を用いており、入射角度が 35° および 55° の場合について値を示している。

【0078】

さらに、条件(6)についても、中心波長 = 550 nm を用いており、表中のFFは、ワイヤーグリッド3aのフィリングファクタを示す。表1に条件(6)の上限と下限を示すことにより、FFがこれら上限と下限の範囲に含まれていることを示す。20

【0079】

以上説明した各実施例は代表的な例にすぎず、本発明の実施に際しては、各実施例に対して種々の変形や変更が可能である。

【0080】

【表1】

	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4
(3)式 n_{TE}/n_p	0.982	0.982	1.001	0.999
(4)式 n_p	1.60	1.60	1.52	1.80
n_{TM}	1.173	1.173	1.150	1.308
(5)式 ($\theta = 35^\circ$)	0.290	0.290	0.290	0.289
(5)式 ($\theta = 55^\circ$)	0.203	0.203	0.203	0.203
(6)式 FF上限	0.464	0.438	0.464	0.464
(6)式 FF下限	0.634	0.608	0.634	0.634
FF	0.550	0.540	0.535	0.580

【産業上の利用可能性】

30

【0081】

s 偏光および p 偏光に対して良好な偏光分離特性が得られる偏光分離素子およびこれを用いた液晶プロジェクタ等の画像投射装置を提供できる。

【符号の説明】

【0082】

1, 2 プリズム

3 偏光分離部

3 a ワイヤーグリッド

3 b, 3 c 誘電体グリッド

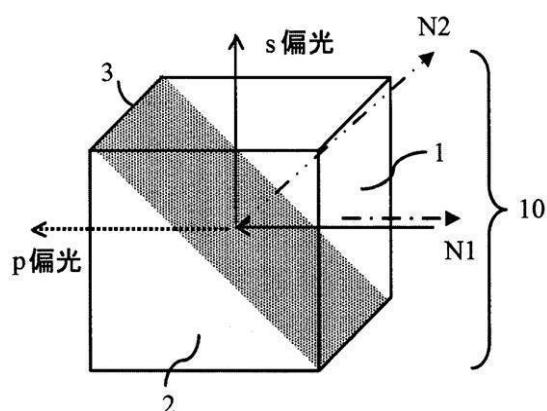
4 金属格子部

40

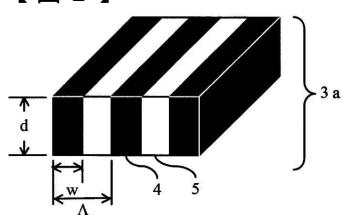
50

10 偏光分離素子

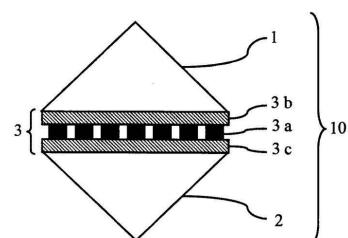
【図1】



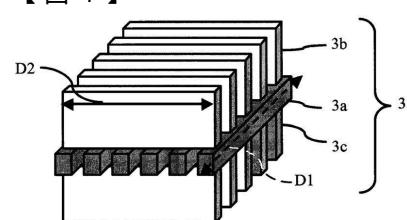
【図2】



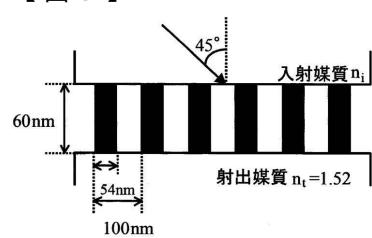
【図3】



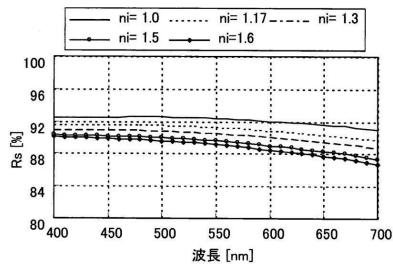
【図4】



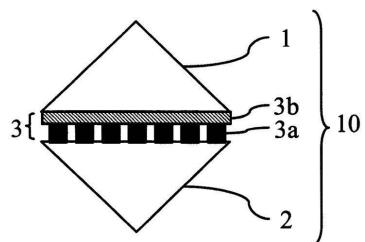
【図5】



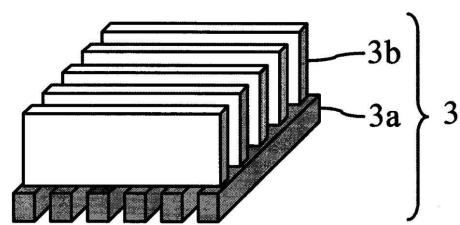
【図6】



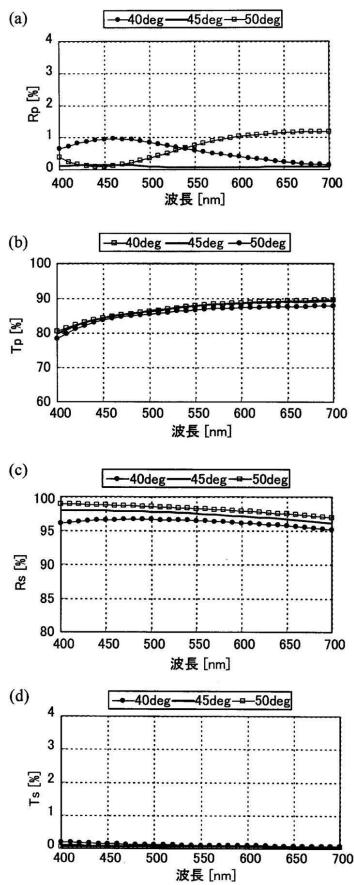
【図7】



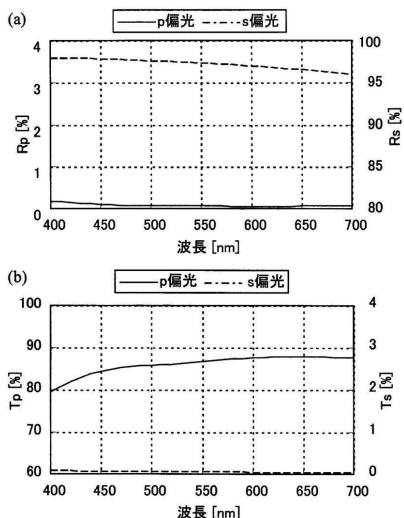
【図8】



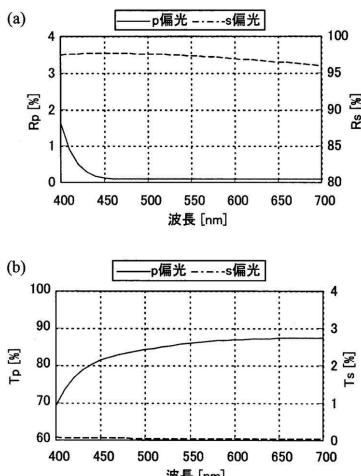
【図10】



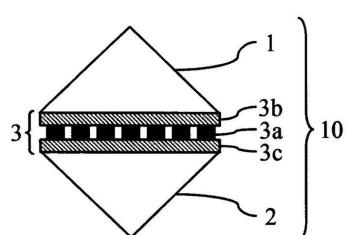
【図9】



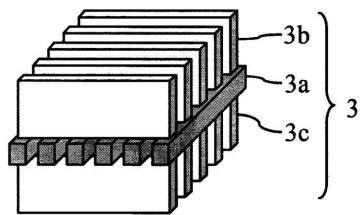
【図11】



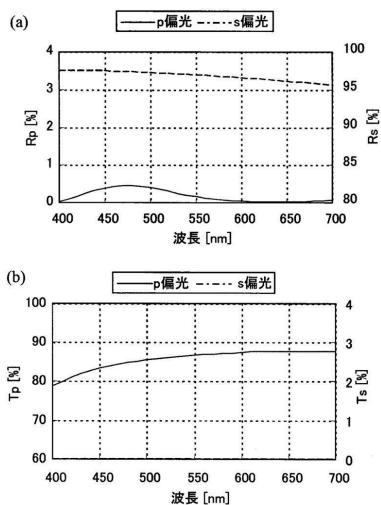
【図12】



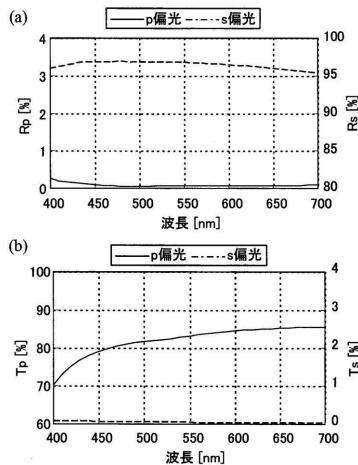
【図13】



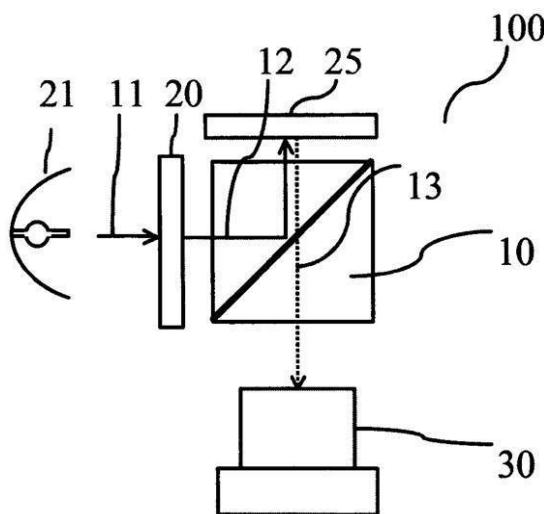
【図14】



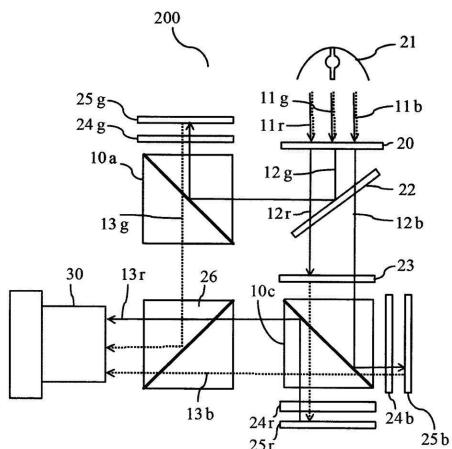
【図15】



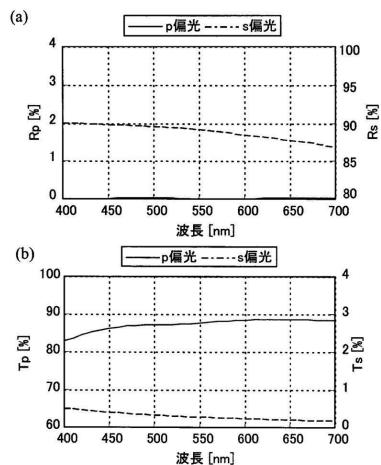
【図16】



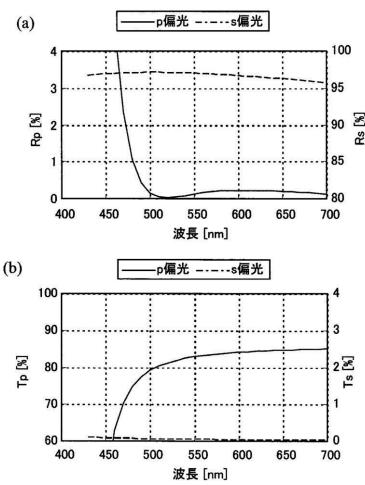
【図17】



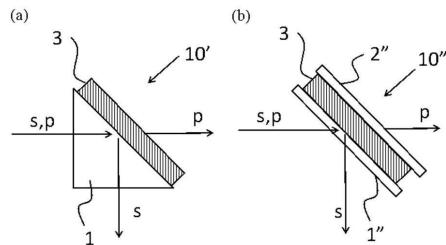
【図18】



【図19】



【図20】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-128408(JP,A)
特開2006-337860(JP,A)
特開2001-154152(JP,A)
特開2007-102246(JP,A)
特開2006-133403(JP,A)
特開2008-304618(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 02 B 5 / 30