

(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2012-247706

(P2012-247706A)

(43) 公開日 平成24年12月13日(2012.12.13)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO2B 5/30 (2006.01)	GO2B 5/30	2H149
GO2F 1/1335 (2006.01)	GO2F 1/1335 510	2H191
GO2F 1/13363 (2006.01)	GO2F 1/13363	2K103
GO3B 21/14 (2006.01)	GO3B 21/14 Z	
GO3B 21/00 (2006.01)	GO3B 21/00 E	
審査請求 未請求 請求項の数 14 O L (全 47 頁)		

(21) 出願番号 特願2011-120967 (P2011-120967)
(22) 出願日 平成23年5月30日 (2011.5.30)

(71) 出願人 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号
(74) 代理人 110000637
特許業務法人樹之下知的財産事務所
(72) 発明者 小林 衆方
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
(72) 発明者 宮原 充
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
(72) 発明者 櫻井 誠
東京都日野市日野421-8 エプソントヨコム株式会社内

最終頁に続く

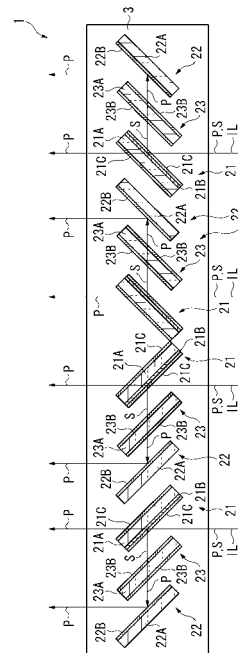
(54) 【発明の名称】 偏光変換素子、偏光変換ユニット及び投写型映像装置

(57) 【要約】

【課題】設計位相差を見直し、所定の波長帯域における偏光変換効率を確実に規定値以上にすることを可能とした偏光変換素子の提供。

【解決手段】複屈折性と旋光性を有する無機結晶材料から形成し、かつ、入射したS偏光Sがその偏波面を維持したまま出射側表面から出射する透光性基板21Aと、透光性基板21Aの入射側表面に、入射光をP偏光PとS偏光Sとに分離してP偏光Pを透過させ、S偏光Sを反射する偏光分離部21Bとを有する偏光分離素子21と、透光性基板21Aと略平行かつ間に空気層を介して配置され偏光分離部21Bで反射されたS偏光Sを偏光分離部21Bを透過したP偏光Pの光路と略平行な方向に反射させ反射素子22と、反射素子22と透光性基板21Aとの間に配置され偏光分離部21Bで反射したS偏光Sの偏波面をP偏光Pとして出射する1/2波長板23とを備えた。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光に対して所定角度をなすように配置された透光性基板と、

この透光性基板の入射側表面に、入射光を互いに直交する第 1 の直線偏光と第 2 の直線偏光とに分離して、前記第 1 の直線偏光を透過させ、第 2 の直線偏光を反射する偏光分離部と、

前記透光性基板と略平行かつ間に空気層を介して配置され、この偏光分離部で反射された前記第 2 の直線偏光を、前記偏光分離部を透過した前記第 1 の直線偏光の光路と略平行な方向に反射する反射素子と、

この反射素子と前記透光性基板との間に配置され前記偏光分離部で反射した前記第 2 の直線偏光の偏波面を第 1 の直線偏光として出射する 1 / 2 波長板と、を有し、

前記透光性基板は、複屈折性と旋光性を有する無機結晶材料からなり、かつ、入射した前記第 1 の直線偏光がその偏波面を維持したまま出射側表面から出射する

ことを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 2】

請求項 1 に記載された偏光変換素子において、

前記透光性基板が配置される所定角度は略 45deg あるいは 135deg であることを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 3】

請求項 2 に記載された偏光変換素子において、

前記無機結晶材料が水晶であることを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 4】

請求項 3 に記載された偏光変換素子において、

前記入射光の光軸に垂直な平面に前記透光性基板の結晶光学軸を投影した投影光学軸と、前記第 1 の直線偏光の偏波面とのなす角を方位角 θ としたとき、 $\theta = 0$ (deg) であることを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 5】

請求項 4 に記載された偏光変換素子において、

前記透光性基板の結晶光学軸と前記入射光の光軸とのなす角を交差角 x とし、

前記透光性基板の結晶光学軸と前記入射光の光軸との交点に、前記結晶光学軸と前記入射光の光軸とを含む平面に垂直な方向にたてた軸を中心軸とし、

前記結晶光学軸と前記入射光の光軸とを含む平面に垂直な方向から見て、前記中心軸の反時計周りの方向を正 (プラス) としたとき、

前記交差角 x は、

$$-90 \text{ (deg)} \leq x \leq +90 \text{ (deg)}$$

を満足することを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 6】

請求項 5 に記載された偏光変換素子において、

前記 1 / 2 波長板は、その主平面が前記透光性基板の主平面と平行になるように配置され、かつ、前記偏光分離部を反射して前記 1 / 2 波長板に入射した前記第 2 の直線偏光を、前記第 1 の直線偏光として出射するように構成された位相差素子であり、

当該位相差素子は、下記の条件 (A)、条件 (B)、条件 (C) のいずれかの条件を満足する

条件 (A)

前記 1 / 2 波長板は単板であり、

設計波長 λ 、前記 1 / 2 波長板の板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式 (1) (2) (3) (4) を満足し、

$$\lambda \leq -0.1293 \times Z^2 + 22.402 \times Z - 325.73 \quad \dots (1)$$

$$\lambda \geq 0.1199 \times Z^2 - 20.762 \times Z + 1348.6 \quad \dots (2)$$

$$t_o \leq 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \quad \dots (3)$$

$$t_o \leq 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \quad \dots (4)$$

$$t_o \geq -2.05 \times Z^2 - 0.0029 \times Z + 0.136 \quad \dots (4)$$

条件 (B)

前記 1 / 2 波長板は 2 枚の前記無機結晶材料を積層してなり、
設計波長 λ 、前記 1 / 2 波長板の板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、
設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式 (5) (6) (7) (8) (9) を満足し、

$$\lambda \leq -10.75 \times Z^2 + 1933.9 \times Z - 86330 \quad \dots (5)$$

$$\lambda \geq 6.25 \times Z^2 - 1126.6 \times Z + 51216 \quad \dots (6)$$

$$t_o \leq -0.0281 \times Z^2 + 5.0512 \times Z - 225.61 \quad \dots (7)$$

$$t_o \geq 0.0173 \times Z^2 - 3.1146 \times Z + 141.39 \quad \dots (8)$$

前記 1 / 2 波長板中を進む光線の進行方向における 2 枚の前記無機結晶材料のうち第 1 の
無機結晶材料の位相差を Γ_1 、第 2 の無機結晶材料の位相差を Γ_2 としたときに下式を満
足し、

$$|\Gamma_1 - \Gamma_2| = 180 \text{ (deg)} \quad \dots (9)$$

条件 (C)

前記 1 / 2 波長板は 2 枚の前記無機結晶材料を積層してなり、
設計波長 λ 、前記 1 / 2 波長板の板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、
設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式 (10) (11) (12) (13) を満足する、

$$\lambda \leq -2E-07 \times Z^6 + 0.0001 \times Z^5 - 0.024 \times Z^4 + 2.7749 \times Z^3 - 178.61 \times Z^2 + 6067.8 \times Z - 84312 \quad \dots (10)$$

$$\lambda \geq -4E-05 \times Z^3 + 0.0757 \times Z^2 - 10.073 \times Z + 696.9 \quad \dots (11)$$

$$t_o \leq -2E-08 \times Z^4 + 6E-06 \times Z^3 - 0.0008 \times Z^2 + 0.0495 \times Z - 0.9844 \quad \dots (12)$$

$$t_o \geq 5E-07 \times Z^3 - 0.0001 \times Z^2 + 0.0065 \times Z - 0.0924 \quad \dots (13)$$

ことを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 7】

請求項 6 に記載された偏光変換素子において、

条件 (A) のとき、

前記 1 / 2 波長板の法線から見た光学軸方位を θ_0 とし、前記 1 / 2 波長板中を進む光
線に対する光学軸方位を θ_1 とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を θ_2 とし
、前記 1 / 2 波長板の屈折率を n_c 、前記 1 / 2 波長板と隣接する層の屈折率を n_a とし
、入射角を α とすると、光学軸方位 θ_0 は、

$$\theta_0 = a \tan (\tan \theta_1 \times \cos \theta_2) \quad (A1)$$

$$n_a \sin \alpha = n_c \sin \theta_2 \quad (A2)$$

を満足することを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 8】

請求項 6 に記載された偏光変換素子において、

条件 (B) 又は条件 (C) のとき、

前記 1 / 2 波長板の法線から見た前記第 1 の無機結晶材料の光学軸方位を θ_{01} とし、
前記第 1 の無機結晶材料の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_{11} とし、この光線と結
晶光学軸の法線とのなす角度を θ_{21} とし、前記第 1 の無機結晶材料の屈折率を n_{c1} 、
前記第 1 の無機結晶材料と隣接する層の屈折率を n_a とし、入射角を α とすると、式 (A
11)、(A21) を満足し、

$$\theta_{01} = a \tan (\tan \theta_{11} \times \cos \theta_{21}) \quad (A11)$$

$$n_a \sin \alpha = n_{c1} \sin \theta_{21} \quad (A21)$$

前記 1 / 2 波長板の法線から見た前記第 2 の無機結晶材料の光学軸方位を θ_{02} とし、
前記第 2 の無機結晶材料の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_{12} とし、この光線と結
晶光学軸の法線とのなす角度を θ_{22} とし、前記第 2 の無機結晶材料の屈折率を n_{c2} 、
前記第 2 の無機結晶材料と隣接する前記第 1 の無機結晶材料の屈折率を n_{c1} とすると、
式 (A12)、(A22) を満足する

$$\theta_{02} = a \tan (\tan \theta_{12} \times \cos \theta_{22}) \quad (A12)$$

$$n_{c1} \sin \theta_{21} = n_{c2} \sin \theta_{22} \quad (A22)$$

ことを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 9】

請求項 1 から請求項 8 のいずれかに記載された偏光変換素子において、

前記反射素子は、水晶板と、この水晶板の表面に設けられたミラー部とを有することを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 10】

請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載された偏光変換素子と、この偏光変換素子を保持する保持部材と、を備え、

前記保持部材は、前記透光性基板の両端部、前記反射素子の両端部及び前記 1 / 2 波長板の両端部をそれぞれ保持する一对の保持板と、

当該一对の保持板の両端部をそれぞれ連結する一对の連結板と、を有することを特徴とする偏光変換ユニット。

【請求項 11】

請求項 10 に記載された偏光変換ユニットにおいて、

前記一对の保持板と前記一对の連結板とは一体に形成され、

前記一对の保持板の互いに対向する部分には前記透光性基板、前記反射素子及び前記 1 / 2 波長板をそれぞれ案内するガイド溝が設けられ、

前記ガイド溝は前記一对の保持板の一側面にそれぞれ開口されていることを特徴とする偏光変換ユニット。

【請求項 12】

請求項 10 に記載された偏光変換ユニットにおいて、

前記一对の保持板と前記一对の連結板とは別体に形成され、

前記一对の連結板は前記一对の保持板を互いに向き合う方向に付勢する係合片を有することを特徴とする偏光変換ユニット。

【請求項 13】

光源と、

前記光源からの光を前記第 1 の直線偏光に変換して出射する偏光変換素子と、

前記偏光変換素子からの出射光を、投写しようとする画像情報に応じて変調する光変調手段と、

前記光変調手段により変調された光を投写する投写光学系と、
を有し、

前記偏光変換素子が請求項 1 から請求項 9 のいずれかに記載の偏光変換素子であることを特徴とする投写型映像装置。

【請求項 14】

請求項 13 に記載された投射型映像装置において、

前記光変調手段は液晶パネルであることを特徴とする投写型映像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、偏光変換素子、この偏光変換素子を備えた偏光変換ユニット及び投写型映像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

液晶プロジェクター等の投影型映像装置は、光源装置から射出された光を画像情報に応じて変調し、この変調された光学像をスクリーンの上に拡大投射するものである。この液晶プロジェクターでは、光の利用効率を向上させるため、光源装置から射出されたランダムな偏光（互いに偏光面が直交する P 偏光と S 偏光や偏光面の方向がさまざまな直線偏光、円偏光、楕円偏光、等の偏光が混在した光）を有する光（以下、ランダム光と称す）を複数の中間光束に分割し、この分割された中間光束を 1 種類の直線偏光光に変換し統一し

て出射するために偏光変換素子が用いられている。

【0003】

偏光変換素子は、偏光分離膜と反射膜とを透明部材の内部に交互に配置して偏光ビームスプリッターアレイを成形し、この偏光ビームスプリッターアレイの表面に位相差板を設けた構造である。位相差板は、透明部材の光射出面側で偏光分離膜に対応した位置に所定間隔毎に複数配置されている（特許文献1）。

従来、位相差板としては、有機系材料、例えばポリカーボネートフィルム製の1/2波長板が用いられることがあり、この1/2波長板と偏光ビームスプリッターアレイとは有機系接着剤により接着されている。

この偏光変換素子の製造方法としては、両主面に偏光分離膜と反射膜とがそれぞれ形成された無色透明なガラス等の第1の透光性基板と、両主面に何も形成されていない第2の透光性基板とを交互に幾重にも積層して、或いは一方の面に偏光分離膜が形成された第1の透光性基板と、一方の面に反射膜が形成された第2の透光性基板とを交互に幾重にも積層して積層体を作り、積層面に平行な面に対して、例えば45degの角度で切断して得られた偏光ビームスプリッターアレイの光の出射面に1/2波長板が接着剤により貼り付けられている。

このように製造された偏光変換素子は、平面矩形状のフレームに組み込まれた状態で、液晶プロジェクターの光学エンジン内に搭載されている（特許文献2）。

【0004】

白色の光源ランプの高出力化、短アーク長化が進行し、偏光ビームスプリッターアレイ及び当該偏光ビームスプリッターアレイに接着されている1/2波長板に対する熱負荷も増大してきており、1/2波長板を構成する材料として水晶を用いて構成することが考えられている。ここで、1/2波長板を偏光ビームスプリッターアレイの光の出射面に接着させて配置する場合に用いる場合において、接着剤として、耐熱・耐光性能に優れた紫外線硬化性樹脂又は無機系材料の接着剤を用い、冷却ファンによる強制空冷を不要とする液晶プロジェクターがある（特許文献3）。

【0005】

さらに、平行な2面を有する透光性板材、反射膜、平行な2面を有する透光性板材、1/2波長板及び偏光分離膜がこの順序に繰り返し積層された積層体が、その積層面に対し所定の角度で切断されることで偏光分離膜と位相差板と反射膜とが切断面に対して同一の方向に傾斜した状態で配置され、互いに平行な光入射面と光出射面とを形成する偏光変換素子がある（特許文献4）。そして、特許文献4と同様構造の偏光変換素子において、1/2波長板として、切断角度がYカット（基板の主面の法線と結晶光学軸とのなす角度が90deg）で厚みが22.7～37.1μmの水晶板を傾斜して配置したものがある（特許文献5）。さらに、1/2波長板として、板厚を21.2μm～50.0μm、13.5μm～31.9μmに設定し、光学軸の第1、第2光学軸方位角が16.3deg、59.6degとなる状態で第1、第2水晶板を積層して構成された2枚の波長板が提案されている（特許文献6）。この特許文献6の従来例では、三色波長帯（波長が400nm～700nm）での平均の偏光変換効率（三色偏光変換効率と称す）を0.8以上にすることができる。

【0006】

近年、光学部品としての長寿命化の要求が増してきたことに伴って、接着剤の劣化の問題が生じてきた。

この問題を解決するために、ガラスや水晶等の2枚の透光性基板を接合する手段として、表面にシロキサン（Si-O）結合を含み、結晶化度が45%以下であるSi骨格と、該Si骨格に結合する有機基からなる脱離基とを含む接合膜とプラズマ重合により成膜し、当該接合膜にエネルギーを付与することにより前記接合膜の表面付近に存在する前記脱離基が前記Si骨格から脱離することにより、接合膜の表面の前記領域に発現した接着性によって、前記2枚の透光性基板を接合する接合方法が提案されている（特許文献7）。

。

10

20

30

40

50

この接合方法を採用することにより、接合手段は無機化され、接合膜の劣化の問題が解決されるとともに当該接合方法を用いて接合される光学部品の長寿命化を図ることが可能となる。

そして、従来、光入射面と、この光入射面にほぼ平行な光出射面とを有し、これらの光入射面と光出射面とに沿って複数の透光性部材、偏光分離膜、反射膜、位相板及びプラズマ重合膜が配置され、複数の透光性部材のうち一部の透光性部材の傾斜面には偏光分離膜と反射膜とのいずれか一つが設けられ、透光性部材の傾斜面の表面、偏光分離膜の表面及び反射膜の表面の少なくともいずれか一つの面にプラズマ重合膜が設けられた偏光変換素子が提案されている（特許文献 8）。この特許文献 8 の従来例では、プラズマ重合膜により、隣接する透光性部材と反射膜との間、隣接する透光性部材と位相板との間、隣接する位相板と偏光分離膜との間の少なくともいずれかが分子接合されており、プラズマ重合膜は、その主材料がポリオルガノシロキサンとされている。

【0007】

しかしながら、特許文献 8 の従来例では、プラズマ重合膜による接合膜の膜厚は数十 nm という極めて薄い膜で構成されており、この接合膜を透光性基板の表面にプラズマ重合法を用いて形成する過程で透光性基板の表面に塵やゴミ等の付着物が付着してしまうと、接合膜の膜厚よりも付着物の高さの方が遥かに高いため、付着物が付着している領域を中心として所定の領域において透光性基板同士を接合することができず、気泡などがその領域に混入してしまい、光学特性上や接合信頼性、製品寿命に大きな悪影響を与えるという課題がある。

そこで、プラズマ重合膜を用いない従来例として、特許文献 9 のものがある。この特許文献 9 では、光学ブロックは、基板上に刻設されている溝に対して板状の P B S（偏光分離素子）、ミラー及び 1 / 2 波長板、等の光学部品が装着されて構成されている。P B S はガラス板に例えば TiO_2 （高屈折率材料）と SiO_2 （低屈折率材料）とを交互に繰り返し積層してなる誘電体多層膜、等を表面蒸着することによって形成され、光の入射方向に対して所定の角度で前記基板に圧入装着されている。ミラーは長方形のガラス板に例えばアルミや誘電体多層膜等を表面蒸着することによって入射した光を反射することができるようになっている。そして、P B S で反射した S 波を出射側に反射する角度で前記基板に装着されている。1 / 2 波長板は、長方形のガラス板に例えばポリカーボネート、ポリビニールアルコール、ポリエチレンテレフタレートフィルムを一軸延伸した 1 / 2 位相差フィルムを貼り付けて形成されている。そして、ミラーで反射された S 波（S 偏光）が入射する位置に装着され、P 波（P 偏光）に変換して出射する。このように、P B S、ミラー、1 / 2 波長板等によって光学ブロックを構成することにより、入射した P 波（P 偏光）と S 波（S 偏光）を含むランダム偏光の光を偏光して P 波（P 偏光）のみに統一して出射することができるとともに、入射側、出射側の面積をほぼ同一にすることができるようになる。

【0008】

水晶は複屈折性を有するだけでなく旋光性も有しており、この旋光性は、水晶製波長板の位相差特性に影響を及ぼすという問題があることがよく知られている。

この問題に対して、旋光性を有する光学結晶材料からなる 2 つの波長板を互いに各々の結晶光学軸を所定の角度で交差するように配置して積層し、ポアンカレ球を用いて偏光の軌跡を解析し、両波長板の複屈折位相差、光学軸方位角度、旋光能、及び回転軸と中性軸のなす角との関係を近似式により求めた所定の関係式を満足するように構成することにより、旋光能による影響を低減し、広帯域において特性を良くすることを試みた 1 / 4 波長板が提案されている（特許文献 10）。

さらに、水晶等の無機材料からなる 1 枚の波長板に関し、複屈折性及び旋光性を有し、短波長で高出力の青紫色レーザーに対して十分な耐光性、信頼性を発揮する水晶等の無機材料の結晶板で形成され、かつ楕円率を最適に即ち 0.9 以上の高い値に又は実質的に 1 に近付けることが可能な優れた光学特性の 1 / 4 波長板が提案されている（特許文献 11）。

10

20

30

40

50

【0009】

さらに、水晶基板からなる1/2波長板を45deg傾斜して配置し、入射面側にワイヤグリッド偏光子を配置して偏光ビームスプリッターとして機能させ、前記1/2波長板の主面に平行に、主面に反射ミラーが形成されたガラス基板とを交互に順に配置することによって構成された偏光変換素子（特許文献12）や、複屈折を有する透明なポリカーボネートの板あるいは方解石からなる無機材料基板上に、直線状金属細線が、互いに平行に、同じ間隔をおいて配置され、基板面内で屈折率が最も低くなる方向と、金属細線の長手方向が直交し、複屈折を有する基板が1/2波長板であり、該基板面内で屈折率が最も低くなる方向と、金属細線の長手方向が45degの傾きで交差しているワイヤグリッド型偏光子（特許文献13）がある。

10

また、プレート状のPBS板とプレート状の反射板との間に1/2波長板を配置した構造が提案されている（特許文献14）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】特開2000-298212号公報

【特許文献2】特許第3610764号公報

【特許文献3】特開2009-103863号公報

【特許文献4】特許第4080265号公報

【特許文献5】特開2009-128568号公報

20

【特許文献6】特開2009-244520号公報

【特許文献7】特許第4337935号公報

【特許文献8】特開2010-60770号公報

【特許文献9】再公表WO98/23993号公報

【特許文献10】特開2005-158121号公報

【特許文献11】特開2010-134414号公報

【特許文献12】特開2004-029168号公報

【特許文献13】特許第4527986号公報

【特許文献14】特開平04-131816号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

ところで、特許文献9で示される従来例では、前記PBSはガラス板にTiO₂（高屈折率材料）とSiO₂（低屈折率材料）とを交互に繰り返し積層してなる誘電体多層膜、等をガラス基板の表面に蒸着して偏光分離膜を形成しているため、熱膨張係数の違いに起因した熱歪みによる前記ガラス基板と前記偏光分離膜との界面での剥離の恐れがあるだけでなく、ガラス板での放熱も限界があり、耐熱性や長寿命化の高い要請を十分に満足することができない。

そこで、放熱効果を考慮して、特許文献12に開示されているようにガラス板に代えて水晶板の表面に前記PBSを形成することによって、偏光変換素子の耐熱性や長寿命化を図ることが可能となる。

40

しかしながら、前述の通り水晶は複屈折性だけでなく旋光性も有しているので、単に、ガラス板を水晶板に置き換え、入射する直線偏光の偏光面との関係から位相差（180deg）を発生するように結晶光学軸の方位を決定するだけでは、旋光性の問題を解決するまでには至らず、前記入射する直線偏光に旋光能に起因した光学的な作用が生じてしまうという問題が生じてしまう。

そこで、本願発明者らは、旋光能が位相差に与える影響に着目した特許文献10や特許文献11で示される如き従来例で試みられている旋光能補償に係る技術思想を適用することによって、入射するP偏光の偏光面を90deg回転させてS偏光に変換して出射させるように光学作用を生じせしめることを可能とする偏光変換素子の実現を試みることを検

50

討した。

【0012】

即ち、先ず、前述した特許文献5や特許文献6に開示されているプリズムアレイ（偏光ビームスプリッターアレイ）の積層界面に挟み込むように、45degに傾斜して配置した水晶製1/2波長板の光学設計に特許文献10や特許文献11において提案された技術思想を適用することを図51に基づいて考える。

この場合、水晶製1/2波長板を挟持する透光性基材は一般的なガラス材であり、ガラス材の屈折率 $n_1 = 1.53$ と、水晶の屈折率 $n_2 = 1.54$ との関係から、プリズムアレイの中を透過する光の光路（光軸）は、光が水晶製1/2波長板へ入射するときのガラスと水晶製1/2波長板との界面、及び光が水晶製1/2波長板から出射するときの水晶製1/2波長板とガラスとの界面でほとんど屈折は起こらずに、即ち、光路（光軸）はほとんど変化することなく光が偏光変換素子を透過することとなる。

図51において、水晶製1/2波長板WPの主面（入、出射面）の法線PLから見た光学軸方位を θ_0 とし、水晶製1/2波長板WPの中を進む光線R1に対する光学軸方位を θ_1 とし、水晶製1/2波長板WPの主面の法線PLと前記光線R1とのなす角度を θ_2 とすると、これらの角度には次の関係がなりたつ。

$$\theta_0 = \arctan(\tan \theta_1 \times \cos \theta_2) \quad (A1)$$

このとき、 $\theta_1 = 45 \text{ deg}$ 、 $\theta_2 = 45 \text{ deg}$ であるから、 θ_0 は、
 $\theta_0 = \arctan(\tan(45 \text{ deg}) \times \cos(45 \text{ deg}))$
 $= \arctan(1/2^{1/2})$
 $= 35.3 \text{ deg}$

と、算出される。

ところが、特許文献12で提案されているような水晶製1/2波長板を45deg傾斜して配置し、入射面側にワイヤーグリッド偏光子や誘電体多層膜、等からなる偏光分離部を配置して偏光ビームスプリッターとして機能させ、1/2波長板と平行となるように反射部を45degに傾斜して配置し、これらを交互に順に配置することによって構成された偏光変換素子においては、水晶製1/2波長板を挟み込むガラスはなく、水晶製1/2波長板が接しているものは空気である。つまり、空気の屈折率 $n_0 = 1.00$ と、水晶の屈折率 $n_2 = 1.54$ との関係から、偏光変換素子を透過する光の光路（光軸）は、光が水晶製1/2波長板へ入射するときの空気と水晶製1/2波長板との界面、及び光が水晶製1/2波長板から出射するときの水晶製1/2波長板と空気との界面で屈折が生じるので、光路（光軸）が変化することとなる。

$$\theta_0 = \arctan(\tan \theta_1 \times \cos \theta_2) \quad (A1)$$

このとき、 $\theta_1 = 45 \text{ deg}$ 、 $\theta_2 = 27.2 \text{ deg}$ であるから、 θ_0 は、
 $\theta_0 = \arctan(\tan(45 \text{ deg}) \times \cos(27.2 \text{ deg}))$
 $= \arctan(1 \times 0.88941)$
 $= 41.65 \text{ deg}$

そこで、水晶製1/2波長板を45degに傾斜させ、空気と接することにより当該水晶製1/2波長板の入出射面との界面で入射光の光軸に屈折が生じる場合の水晶製1/2波長板の光学設計を検討した結果、以下の仕様となった。

設計波長	520	nm
設計位相差	460.11	deg
光学軸方位	41.65	deg
切断角度	90	deg

なお、切断角度は、水晶製1/2波長板の主面の法線と結晶光学軸とのなす角度で定義されている。設計位相差は、水晶製1/2波長板の主面の法線に平行な方向から設計波長 λ の光が入射したときの位相差を設計位相差として定義されている。光学軸方位角（ θ_0 ）は水晶製1/2波長板の主面（入、出射面）の法線から見たときに入射する光の直線偏光の偏波面（偏光面）と結晶光学軸とのなす角度で定義されている。

この場合の水晶製1/2波長板の波長と偏光変換効率との関係が図52のグラフに設計値

として示されている。

水晶製 1 / 2 波長板の内部の光路の距離を t_1 としたとき、前記光路を通して、水晶製 1 / 2 波長板を透過する光の位相差 Γ は、以下に示す関係式に算出される。

$$\Gamma_1 = 2\pi / \lambda \times (n_e - n_o) \times t_1$$

この式において、 $\Gamma_1 = 180 \text{ deg}$ となるように光路の長さ t_1 が求まり、水晶製 1 / 2 波長板の主面の法線方向の厚み t_o が求められ、前記法線方向の設計波長 λ における位相差 Γ_o が算出される。

$$\Gamma_o = 2\pi / \lambda \times (n_e - n_o) \times t_o$$

$$\cos(\theta_2) = t_o / t_1$$

$$t_o = t_1 \times \cos(\theta_2)$$

$$\Gamma_o = 2\pi / \lambda \times (n_e - n_o) \times t_1 \times \cos(\theta_2)$$

となり、この Γ_o を設計位相差と定義し、ここでは、 $\Gamma_o = 160.11 \text{ (deg)}$ である。

ところで、水晶製 1 / 2 波長板は、水晶原石を整形（ランバート加工）して得た水晶ランバートを設計値となる所定の切断角度でワイヤーソー等を用いて切断して得られたウェーハから個片に分離して製造される。

しかしながら、この製造工程において、ウェーハが水晶ランバートから誤った切断角度で切断されたり、許容範囲を超えた切断角度で切断されたりした場合、前述の設計板厚 t_o の厚みで加工されてしまうと、表 1 に示される通り、設計位相差 Γ_o にズレが生じ、即ち、 $\Gamma_o \neq 160.11 \text{ deg}$ となって、水晶製 1 / 2 波長板はすべて不良品となってしまいうという問題があった。

【0013】

【表 1】

	設計値	角度ズレ
設計波長 (nm)	520	520
設計位相差 (deg)	160.11	175.50
光学軸方位 (deg)	41.65	41.65
切断角度 (deg)	90	80

【0014】

切断角度が設計値 90 deg から 80 deg にずれて切断されてしまった場合、その角度ズレを配慮せずに、前記設計板厚 t_o のままで加工してしまうと、設計位相差 Γ_o は、 160.11 deg から 175.50 deg に位相差が大きくずれてしまう。

これは、 $\Gamma_o = 2\pi / \lambda \times (n_e - n_o) \times t_o$ の式において、異常光屈折率 n_e と常光屈折率 n_o が、切断角度に依存しており、切断角度に応じてこれらの値が変化するためである。

従って、 45 deg に傾斜して配置された水晶製 1 / 2 波長板の内部の光路の距離 t_1 を透過した光の位相差 Γ は、 180 deg から大きくずれてしまうことになる。

その結果、偏光変換効率は、図 52 に示されるように大きく変化し、 550 nm 以下の波長帯で偏光変換効率が大きく低下し劣化してしまうという問題があった。

なお、特許文献 14 においても、前述の如き課題認識はなされていない。

【0015】

そこで、本発明の目的は、水晶等の複屈折性と旋光性を有する結晶材料において、切断角度が設計値からずれて切断されてしまった場合でも、角度ズレに応じて、板厚を調整し、最適な設計板厚に修正することにより、設計位相差を見直し、所定の波長帯域における偏光変換効率を確実に規定値以上にするを可能とした 1 / 2 波長板を供えた偏光変換素子、偏光変換ユニット及び投射型映像装置を実現することにある。

【課題を解決するための手段】

【0016】

〔適用例 1〕

本適用例に係る偏光変換素子は、入射光に対して所定角度をなすように配置された透光性基板と、この透光性基板の入射側表面に、入射光を互いに直交する第 1 の直線偏光と第 2 の直線偏光とに分離して、前記第 1 の直線偏光を透過させ、第 2 の直線偏光を反射する偏光分離部と、前記透光性基板と略平行かつ間に空気層を介して配置され、この偏光分離部で反射された前記第 2 の直線偏光を、前記偏光分離部を透過した前記第 1 の直線偏光の光路と略平行な方向に反射する反射素子と、この反射素子と前記透光性基板との間に配置され前記偏光分離部で反射した前記第 2 の直線偏光の偏波面を第 1 の直線偏光として出射する $1/2$ 波長板と、を有し、前記透光性基板は、複屈折性と旋光性を有する無機結晶材料からなり、かつ、入射した前記第 1 の直線偏光がその偏波面を維持したまま出射側表面から出射することを特徴とする。

10

この構成の本適用例では、偏光分離部が透光性基板に設けられて構成された偏光分離素子と、反射素子と、 $1/2$ 波長板とからアレイを構成しているので、これらの間に設けられたガラス等の透明部材が不要とされ、かつ、偏光分離素子と反射素子との間に $1/2$ 波長板を配置しているので、 $1/2$ 波長板がアレイから突出することがなくなり、構造がコンパクトになる。

しかも、透光性基板として熱伝導率がガラスより高い結晶材料を用いているため、従来に比べて放熱効果が高く、耐熱性や長寿命化を図ることができる。

そして、透光性基板の無機結晶材料は複屈折性と旋光性を有するので、光軸方向に伝搬する直線偏光の振動面が光の進行につれてねじれてしまい、偏光状態が変化して偏光変換効率が低下するという課題があるが、本適用例では、偏光分離部を透過し透光性基板に入射した第 1 の直線偏光は、この第 1 の直線偏光の偏波面を維持したまま透光性基板の出射側表面から出射するので、偏光状態の変化をなくすることができる。

20

【0017】

〔適用例 2〕

本適用例に係る偏光変換素子は、前記透光性基板が配置される所定角度は略 45 deg あるいは 135 deg であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、偏光分離部によって第 2 の直線偏光を入射光に対して略直角に反射素子に向けて反射させることができるので、反射素子で反射される光線を透光性基板で出射された第 2 の直線偏光の光路と略平行な方向に反射させることができる。

30

【0018】

〔適用例 3〕

本適用例に係る偏光変換素子は、前記無機結晶材料が水晶であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、結晶材料としてサファイヤ等の結晶材料に比べて安価に入手できる水晶を用いることで、偏光変換素子を安価に提供することができる。

【0019】

〔適用例 4〕

本適用例に係る偏光変換素子は、前記入射光の光軸に垂直な平面に前記透光性基板の結晶光学軸を投影した投影光学軸と、前記第 1 の直線偏光の偏波面とのなす角を方位角 θ としたとき、 $\theta = 0 \text{ (deg)}$ であることを特徴とする。

40

この構成の本適用例では、 $\theta = 0 \text{ (deg)}$ であるため、直線複屈折性による位相差 Γ の生じない ($\Gamma = 0$) という条件で、偏光変換効率が高い透光性基板を容易に設定することができる。

【0020】

〔適用例 5〕

本適用例に係る偏光変換素子は、前記透光性基板の結晶光学軸と前記入射光の光軸とのなす角を交差角 x とし、前記透光性基板の結晶光学軸と前記入射光の光軸との交点に、前記結晶光学軸と前記入射光の光軸とを含む平面に垂直な方向にたてた軸を中心軸とし、前記結晶光学軸と前記入射光の光軸とを含む平面に垂直な方向から見て、前記中心軸の反時計周りの方向を正 (プラス) としたとき、前記交差角 x は、 $-90 \text{ (deg)} \leq x \leq +9$

50

0 (deg) を満足することを特徴とする。

この構成の本適用例では、交差角 x を、 $-90 \text{ (deg)} \leq x \leq +90 \text{ (deg)}$ を満足するように設定することで、偏光分離部を透過し透光性基板に入射した第 1 の直線偏光を確実に第 1 の直線偏光の偏波面を維持したまま透光性基板の出射側表面から出射させることができる。

【0021】

[適用例 6]

本適用例に係る偏光変換素子は、前記 1 / 2 波長板は、その主平面が前記透光性基板の主平面と平行になるように配置され、かつ、前記偏光分離部を反射して前記 1 / 2 波長板に入射した前記第 2 の直線偏光を、前記第 1 の直線偏光として出射するように構成された位相差素子であり、当該位相差素子は、下記の条件 (A)、条件 (B)、条件 (C) のいずれかの条件を満足する

条件 (A)

前記 1 / 2 波長板は単板であり、

設計波長 λ 、前記 1 / 2 波長板の板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式(1)(2)(3)(4)を満足し、

$$\lambda \leq -0.1293 \times Z^2 + 22.402 \times Z - 325.73 \quad \dots (1)$$

$$\lambda \geq 0.1199 \times Z^2 - 20.762 \times Z + 1348.6 \quad \dots (2)$$

$$t_o \leq 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \quad \dots (3)$$

$$t_o \geq 2-05 \times Z^2 - 0.0029 \times Z + 0.136 \quad \dots (4)$$

条件 (B)

前記 1 / 2 波長板は 2 枚の前記無機結晶材料を積層してなり、

設計波長 λ 、前記 1 / 2 波長板の板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式(5)(6)(7)(8)(9)を満足し、

$$\lambda \leq -10.75 \times Z^2 + 1933.9 \times Z - 86330 \quad \dots (5)$$

$$\lambda \geq 6.25 \times Z^2 - 1126.6 \times Z + 51216 \quad \dots (6)$$

$$t_o \leq -0.0281 \times Z^2 + 5.0512 \times Z - 225.61 \quad \dots (7)$$

$$t_o \geq 0.0173 \times Z^2 - 3.1146 \times Z + 141.39 \quad \dots (8)$$

前記 1 / 2 波長板中を進む光線の進行方向における 2 枚の前記無機結晶材料のうち第 1 の無機結晶材料の位相差を Γ_1 、第 2 の無機結晶材料の位相差を Γ_2 としたときに下式を満足し、

$$|\Gamma_1 - \Gamma_2| = 180 \text{ (deg)} \quad \dots (9)$$

条件 (C)

前記 1 / 2 波長板は 2 枚の前記無機結晶材料を積層してなり、

設計波長 λ 、前記 1 / 2 波長板の板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式(10)(11)(12)(13)を満足する、

$$\lambda \leq -2E-07 \times Z^6 + 0.0001 \times Z^5 - 0.024 \times Z^4 + 2.7749 \times Z^3 - 178.61 \times Z^2 + 6067.8 \times Z - 84312 \quad \dots (10)$$

$$\lambda \geq -4E-05 \times Z^3 + 0.0757 \times Z^2 - 10.073 \times Z + 696.9 \quad \dots (11)$$

$$t_o \leq -2E-08 \times Z^4 + 6E-06 \times Z^3 - 0.0008 \times Z^2 + 0.0495 \times Z - 0.9844 \quad \dots (12)$$

$$t_o \geq 5E-07 \times Z^3 - 0.0001 \times Z^2 + 0.0065 \times Z - 0.0924 \quad \dots (13)$$

ことを特徴とする。

この構成の本適用例では、偏光分離部を反射し 1 / 2 波長板に入射した第 2 の直線偏光は、この第 2 の直線偏光の偏波面と直交する第 1 の直線偏光として 1 / 2 波長板の出射側表面から出射するので、偏光変換効率が高いものとなる。

【0022】

[適用例 7]

本適用例に係る偏光変換素子は、条件 (A) のとき、前記 1 / 2 波長板の法線から見た光学軸方位を θ_0 とし、前記 1 / 2 波長板中を進む光線に対する光学軸方位を θ_1 とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を θ_2 とし、前記 1 / 2 波長板の屈折率を n_c

、前記 1 / 2 波長板と隣接する層の屈折率を n_a とし、入射角を α とすると、光学軸方位 θ_0 は、 $\theta_0 = a \tan (\tan \theta_1 \times \cos \theta_2)$ (A 1)、 $n_a \sin \alpha = n_c \sin \theta_2$ (A 2) を満足することの特徴とする。

この構成の本適用例では、1 / 2 波長板が 1 枚の無機結晶材料からなる場合において、変換効率の良好な偏光変換素子を簡易に提供することができる。

【0023】

[適用例 8]

本適用例に係る偏光変換素子は、条件 (B) 又は条件 (C) のとき、前記 1 / 2 波長板の法線から見た前記第 1 の無機結晶材料の光学軸方位を θ_{01} とし、前記第 1 の無機結晶材料の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_{11} とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を θ_{21} とし、前記第 1 の無機結晶材料の屈折率を n_{c1} 、前記第 1 の無機結晶材料と隣接する層の屈折率を n_a とし、入射角を α とすると、式 (A 1 1)、(A 2 1) を満足し、 $\theta_{01} = a \tan (\tan \theta_{11} \times \cos \theta_{21})$ (A 1 1)、 $n_a \sin \alpha = n_{c1} \sin \theta_{21}$ (A 2 1)、前記 1 / 2 波長板の法線から見た前記第 2 の無機結晶材料の光学軸方位を θ_{02} とし、前記第 2 の無機結晶材料の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_{12} とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を θ_{22} とし、前記第 2 の無機結晶材料の屈折率を n_{c2} 、前記第 2 の無機結晶材料と隣接する前記第 1 の無機結晶材料の屈折率を n_{c1} とすると、式 (A 1 2)、(A 2 2) を満足する、 $\theta_{02} = a \tan (\tan \theta_{12} \times \cos \theta_{22})$ (A 1 2)、 $n_{c1} \sin \theta_{21} = n_{c2} \sin \theta_{22}$ (A 2 2) ことを特徴とする。

この構成の本適用例では、1 / 2 波長板が 2 枚の無機結晶材料からなる場合において、変換効率の良好な偏光変換素子を簡易に提供することができる。

【0024】

[適用例 9]

本適用例に係る偏光変換素子は、前記反射素子は水晶板と、この水晶板の表面に設けられたミラー部とを有することを特徴とする。

この構成の本適用例では、ミラー部が設けられる板材がガラスではなく水晶であるため、透光性基板とともに反射素子でも、放熱効果が高くなり、耐熱性や長寿命化を一層図ることができる。

【0025】

[適用例 10]

本適用例に係る偏光変換ユニットは、前述の構成の偏光変換素子と、この偏光変換素子を保持する保持部材と、を備え、前記保持部材は、前記透光性基板の両端部、前記反射素子の両端部及び前記 1 / 2 波長板の両端部とをそれぞれ保持する一对の保持板と、当該一对の保持板の両端部をそれぞれ連結する一对の連結板と、を有することを特徴とする。

この構成の本適用例では、透光性基板及び偏光分離部を備えて構成される偏光分離素子、反射素子及び前記 1 / 2 波長板を保持部材にコンパクトに収納できるので、取り扱いが便利となる。

【0026】

[適用例 11]

本適用例に係る偏光変換ユニットは、前記一对の保持板と前記一对の連結板とは一体に形成され、前記一对の保持板の互いに対向する部分には前記透光性基板、前記反射素子及び前記 1 / 2 波長板をそれぞれ案内するガイド溝が設けられ、前記ガイド溝は前記一对の保持板の一側面にそれぞれ開口されていることを特徴とする。

この構成の本適用例では、前記偏光分離素子、前記反射素子及び前記前記 1 / 2 波長板をそれぞれガイド溝に沿って差し込むだけで偏光変換ユニットが組み立てられるので、組立作業が容易となる。

【0027】

[適用例 12]

本適用例に係る偏光変換ユニットは、前記一对の保持板と前記一对の連結板とは別体に

形成され、前記一对の連結板は前記一对の保持板を互いに向き合う方向に付勢する係合片を有することを特徴とする。

この構成の本適用例では、一对の連結板によって、一对の保持部材を互いに近接する方向に付勢して偏光分離素子、反射素子及び前記 1 / 2 波長板を確実に保持することになり、偏光分離素子、反射素子あるいは前記 1 / 2 波長板が偏光分離ユニットから脱落することを防止することができる。

【0028】

〔適用例 1 3〕

本適用例に係る投射型映像装置は、光源と、前記光源からの光を前記第 1 の直線偏光に変換して出射する偏光変換素子と、前記偏光変換素子からの出射光を、投写しようとする画像情報に応じて変調する光変調手段と、前記光変調手段により変調された光を投写する投写光学系と、を有し、前記偏光変換素子が前述の構成の偏光変換素子であることを特徴とする。

この構成の本適用例では、偏光変換素子の偏光変換効率が高いので、投影精度の高い投射型映像装置を提供することができる。

【0029】

〔適用例 1 4〕

本適用例に係る投射型映像装置は、前記光変調手段は液晶パネルであることを特徴とする。

この構成の本適用例では、前述の効果を奏することができる液晶プロジェクターを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図 1】本発明の第 1 実施形態にかかる偏光変換素子の概略図。

【図 2】（A）は偏光分離素子を構成する水晶板の端面図、（B）は水晶板の一部を示す正面図。

【図 3】水晶の波長板における光学軸方位、板厚、切断角度の関係を示すもので、（A）は端面図、（B）は斜視図。

【図 4】図 3 の原理を説明するためのポアンカレ球を示す概略図。

【図 5】屈折角度 ϕ を説明するための概略図。

【図 6】切断角度 q が 0 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 7】切断角度 q が 0 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 8】切断角度 q が 1 5 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 9】切断角度 q が 1 5 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 10】切断角度 q が 3 0 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 11】切断角度 q が 3 0 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 12】切断角度 q が 4 5 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 13】切断角度 q が 4 5 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 14】切断角度 q が 6 0 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 15】切断角度 q が 6 0 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 16】切断角度 q が 7 5 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 17】切断角度 q が 7 5 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 18】切断角度 q が 9 0 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 19】切断角度 q が 9 0 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 20】切断角度 q が 1 0 5 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 21】切断角度 q が 1 0 5 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 22】切断角度 q が 1 2 0 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 23】切断角度 q が 1 2 0 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

【図 24】切断角度 q が 1 3 5 d e g の場合の透光性基板の模式図。

【図 25】切断角度 q が 1 3 5 d e g の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。

- 【図 26】切断角度 q が 150 deg の場合の透光性基板の模式図。
- 【図 27】切断角度 q が 150 deg の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。
- 【図 28】切断角度 q が 165 deg の場合の透光性基板の模式図。
- 【図 29】切断角度 q が 165 deg の場合の 0 度方向強度（透過特性）を示すグラフ。
- 【図 30】交差角 x と許容される板厚 y_0 の最大値 y との関係を示すグラフ。
- 【図 31】（A）は交差角 x が -90 deg の状態を示す概略図、（B）は交差角 x が -45 deg の状態を示す概略図、（C）は交差角 x が 0 deg の状態を示す概略図。
- 【図 32】第 1 実施形態の $1/2$ 波長板の光学軸方位を説明するための図。
- 【図 33】（A）は切断角度 Z と設計波長 λ との関係を示すグラフであり、（B）は切断角度 Z と板厚 t_0 との関係を示すグラフである。 10
- 【図 34】第 1 実施形態の $1/2$ 波長板の偏光変換効率を示すグラフ。
- 【図 35】本発明の第 2 実施形態にかかる偏光変換素子の概略図。
- 【図 36】第 2 実施形態の透光性基板の光学軸方位を説明するための図。
- 【図 37】（A）は切断角度 Z と設計波長 λ との関係を示すグラフであり、（B）は切断角度 Z と板厚 t_0 との関係を示すグラフである。
- 【図 38】第 2 実施形態の透光性基板の偏光変換効率を示すグラフ。
- 【図 39】本発明の第 3 実施形態の透光性基板の光学軸方位を説明するための図。
- 【図 40】（A）は切断角度 Z と設計波長 λ との関係を示すグラフであり、（B）は切断角度 Z と板厚 t_0 との関係を示すグラフである。 20
- 【図 41】第 3 実施形態の透光性基板の偏光変換効率を示すグラフ。
- 【図 42】本発明の第 4 実施形態が組み込まれた液晶プロジェクターの概略構成図。
- 【図 43】第 4 実施形態にかかる偏光変換ユニットを示す斜視図。
- 【図 44】（A）は保持部材の平面図、（B）は保持部材の断面図。
- 【図 45】保持部材の一部を示す分解斜視図。
- 【図 46】本発明の第 5 実施形態にかかる偏光変換ユニットを示す斜視図。
- 【図 47】保持部材の一部を示す分解斜視図。
- 【図 48】本発明の第 6 実施形態にかかる偏光分離素子の斜視図。
- 【図 49】本発明の第 7 実施形態にかかる偏光変換素子の概略図。
- 【図 50】本発明の変形例にかかる偏光変換素子の概略図。
- 【図 51】本発明の前提となる技術であって水晶製 $1/2$ 波長板の光学軸方位を説明するための図。 30
- 【図 52】従来例の透光性基板の偏光変換効率を示すグラフ。
- 【発明を実施するための形態】
- 【0031】

本発明の実施形態を図面に基づいて説明する。ここで、各実施形態において、同一の構成要素は同一符号を付して説明を省略もしくは簡略にする。

図 1 から図 34 には第 1 実施形態が示されている。

図 1 は第 1 実施形態の概略を示す。

図 1 において、第 1 実施形態の偏光変換ユニット 1 は、偏光変換素子 2 と、この偏光変換素子 2 を保持する保持部材 3 とを備える。保持部材 3 は平面矩形状の例えば合成樹脂製の板材である。 40

偏光変換素子 2 は、板状の偏光分離素子 21 と、板状の反射素子 22 と、反射分離素子 21 と反射素子 22 との間に配置される $1/2$ 波長板 23 とを備え、これらの偏光分離素子 21、反射素子 22 及び $1/2$ 波長板 23 のそれぞれの一端部は、保持部材 3 の凹部（図示せず）に嵌合されている。

偏光分離素子 21、反射素子 22 及び $1/2$ 波長板 23 は、図 1 中、保持部材 3 の中心を挟んで左右に複数枚、例えば、2 枚ずつ配置され、このうち、中心に対して左側に配置された偏光分離素子 21、反射素子 22 及び $1/2$ 波長板 23 と右側に配置された偏光分離素子 21、反射素子 22 及び $1/2$ 波長板 23 とは、前記中心に対して対称関係に配置されている。 50

【0032】

偏光分離素子21は、その入射側主表面及び出射側主表面が入射光ILに対して所定角度、本実施形態では、45degをなすように配置された透光性基板21Aと、この透光性基板21Aの入射側表面に、入射光ILを、互いに直交する第1の直線偏光であるP偏光Pと第2の直線偏光であるS偏光Sとに分離して、P偏光Pを透過させ、S偏光Sを反射する偏光分離部21Bと、この偏光分離部21Bが配置された透光性基板21Aの入射光ILが入射する側の主面とは反対側の主面（出射側の主面）にそれぞれ設けられた反射防止部21Cとを有する。

偏光分離部21Bは、例えば、酸化ケイ素（ SiO_2 ）よりなる低屈折率層と、例えば酸化アルミナ（ Al_2O_3 ）よりなる高屈折率層とが所定の順序及び光学膜厚で形成され、光学的に面内均一とされた誘電体多層膜から構成される。

反射防止部21Cは、例えば、二酸化ケイ素と、酸化チタンとを交互に順次積層してなる誘電体多層膜、等の物質を蒸着することで形成される。

【0033】

反射素子22は、水晶板22Aと、この水晶板22Aの表面に設けられたミラー部22Bとを有する。

ミラー部22Bは、例えば、二酸化ケイ素、酸化チタン等の物質を蒸着することで形成される多層膜で構成される。

1/2波長板23は、偏光分離部21Bで反射したS偏光Sの偏波面をP偏光Pとして出射するものであり、透光性基板21Aと同じ45degをなすように配置された1枚の水晶製位相差素子としての位相差板23Aと、この位相差板23Aの両面に形成された反射防止部23Bとを備えている。この反射防止部23Bは反射防止部21Cと同じ構成である。

【0034】

透光性基板21Aの概略構成が図2に示されている。図2（A）は端面からみた透光性基板21Aの概略図であり、図2（B）は透光性基板21Aの一部を示す正面図である。

図2（A）において、透光性基板21Aは、その板厚が y_0 であり、入射光ILが入射され、出射光OLとして透過される。入射光ILは発散角 $+\alpha$ から $-\alpha$ の範囲で入射される。入射光ILに対応して出射光OLも発散角 $+\alpha$ から $-\alpha$ の範囲で出射される。

透光性基板21Aの主面に直交する法線PLと結晶光学軸POとのなす角度が切断角度 q である。

透光性基板21Aの結晶光学軸POと入射光ILの光軸とのなす角が交差角 x である。

【0035】

偏光分離素子21の透光性基板21Aは、複屈折性と旋光性を有する水晶板であるため、入射光ILに対する出射光OLの偏光変換効率が高くなるように設計する必要がある。

その設計に至った経緯について、図3及び図4に基づいて説明する。図3は、水晶の波長板における光学軸方位、板厚、切断角度の関係を示すもので、（A）は端面図、（B）は斜視図である。

一般に、水晶からなる波長板を設計するためのパラメーターとして、光学軸方位 θ 、切断角度 q で設定される旋光能、板厚 y_0 で設定される位相差 Γ がある。ここで、ポアンカレ球で定義される

図2に示される通り、本発明者らは、結晶光学軸POを設定して、直線複屈折性による位相差 Γ の生じない結晶板の構成を検討し、さらに、円複屈折性による位相差 2ρ 、所謂、旋光性による偏光の回転をも抑圧した光学素子を偏光変換素子に応用することを検討した。

入射光ILの光軸に垂直な平面に結晶板の結晶光学軸POを投影した投影光学軸と、P偏光Pの偏波面とのなす角を方位角 θ としたとき、 $\theta = 0$ （deg）となるように水晶板を配置すると、直線複屈折位相差 Γ は0となる。

方位角 θ を0（deg）に固定し、旋光能に対応する $2q$ より位相差 Γ' （板厚 y_0 に対応）へ影響度をシミュレーションと実験と繰り返し評価、検証を行った。

10

20

30

40

50

図 4 には、偏光状態を説明するためのポアンカレ球の概略構成が示されている。

図 4 において、まず、S 1 軸上であって赤道上に直線偏光 P 1 の偏光の位置を設定する。S 1 軸を 2 θ だけ赤道を回して R 1 軸とし、この R 1 軸を切断角度 2 q だけ起こして R 2 軸とし、この R 2 軸を位相差 Γ に対応した角度だけ回転させて P 1 が P 2 となる。この P 2 を所望の偏光状態になるように、光学軸方位 θ、切断角度 q、位相差 Γ を調整する。

【0036】

本実施形態では、切断角度 q を、透光性基板 2 1 A の主面に対する法線 P L と結晶光学軸 P O とのなす角度と定義する。

各切断角度により切り出された透光性基板（水晶板）毎に、入射光 I L（P 偏光）に作用する Γ' の値を評価した。

【0037】

【数 1】

$$\Gamma' = \sqrt{\Gamma^2 + (2q)^2}$$

【0038】

入射光 I L は、透光性基板 2 1 A へ入射すると、屈折して透光性基板 2 1 A の中を進行する。そして、透光性基板 2 1 A から出射するとき入射光 I L の光軸と平行な方向に屈折した出射光となって出射することとなる。ここで、図 9 に示される通り、入射光 I L が透光性基板 2 1 A へ入射したときに屈折角度 φ で屈折することになる。

本願発明者らは、入射光が透光性基板 2 1 A へ入射したときに屈折する屈折角度 φ が、実際の透光性基板 2 1 A の中を進行する光の光軸と結晶光学軸 P O とのなす角度 β を決定し、β に応じて、旋光能 2 q が変化することに着目して実験、評価を行った。

【0039】

切断角度 q と透光性基板 2 1 A の透過特性との関係を説明する。

図 6 は切断角度 q が 0 deg の場合の透光性基板の模式図であり、図 7 は、その場合の透過特性としての 0 度方向強度を示すグラフである。図 7 では、入射光 I L の入射角が 0 deg とされている。透光性基板 2 1 A は、その主面が入射角に対して 45 deg 傾けて配置されているため、透光性基板 2 1 A の主面に直交する法線は 135 deg である。一方、結晶光学軸 P O は図 6 から明らかなように、135 deg とされている。そのため、図 6 では、切断角度 q は 0 deg である。

図 7 において、発散角 α が -10 deg の場合を α - 10、発散角 α が -5 deg の場合を α - 5、発散角 α が 0 deg の場合を α 0、発散角 α が +5 deg の場合を α + 5、発散角 α が +10 deg の場合を α + 10 として表示する。図 7 に対応する他の図でも同じである。

図 7 において、α 0、α + 5、α + 10 では、0 度方向強度（透過特性）が 0.9 以上と高いが、α - 10、α - 5 では、波長によっては 0 度方向強度が 0.8 未満の場合もある。

【0040】

図 8 は、切断角度 q が -10 deg の場合の透光性基板の模式図であり、図 9 は、その場合の 0 度方向強度を示すグラフである。

図 9 では、α - 5、α 0、α + 5、α - 10 では、0 度方向強度（透過特性）が 0.9 以上と高いが、α + 10 では、波長によっては 0 度方向強度が 0.8 未満の場合もある。

図 10 は切断角度 q が 30 deg の場合の透光性基板の模式図であり、図 11 は、その場合の 0 度方向強度を示すグラフである。

図 11 では、α + 10 では、0 度方向強度（透過特性）が 0.9 以上と高いが、α - 5、α 0、α + 5、α - 10 では、波長によっては 0 度方向強度が 0.8 未満の場合もある。

。

10

20

30

40

50

【0041】

図12は切断角度 q が45degの場合の透光性基板の模式図であり、図13は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図13では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.9以上と高いものであった。

図14は切断角度 q が60degの場合の透光性基板の模式図であり、図15は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図15では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.8未満の場合があった。

図16は切断角度 q が75degの場合の透光性基板の模式図であり、図17は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図17では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.8未満の場合があった。

【0042】

図18は切断角度 q が90degの場合の透光性基板の模式図であり、図19は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図19では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.8未満の場合があった。

図20は切断角度 q が-75degの場合の透光性基板の模式図であり、図21は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図21では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.8未満の場合があった。

図22は切断角度 q が-60degの場合の透光性基板の模式図であり、図23は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図23では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.8未満の場合があった。

【0043】

図24は切断角度 q が-45degの場合の透光性基板の模式図であり、図25は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図25では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.8未満の場合があった。

図26は切断角度 q が-30degの場合の透光性基板の模式図であり、図27は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図27では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha 0$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ の全てで0度方向強度が0.8未満の場合があった。

図28は切断角度 q が-15degの場合の透光性基板の模式図であり、図29は、その場合の0度方向強度を示すグラフである。

図29では、 $\alpha - 10$ 、 $\alpha - 5$ 、 $\alpha + 5$ 、 $\alpha + 10$ で0度方向強度が0.8未満の場合があった。

【0044】

以上の関係から交差角 x と許容される板厚 y_0 の最大値 y との関係を求める。交差角 x と許容される板厚 y_0 の最大値 y との関係が図30に示されている。ここで、許容される板厚 y_0 の最大値 y は、全発散光(α が ± 10 deg)の範囲において偏光変換効率(0度方向強度)が0.8以上となる板厚である。

そして、透光性基板21Aの結晶光学軸POと入射光ILの光軸との交点に、結晶光学軸POと入射光ILの光軸とを含む平面に垂直な方向にたてた軸を中心軸とし、結晶光学軸POと入射光ILの光軸とを含む平面に垂直な方向から見て、中心軸の反時計周りの方向を正(プラス)とすると、交差角 x は、 $-90(\text{deg}) \leq x \leq +90(\text{deg})$ である。

図30において、交差角 x が

10

20

30

40

50

− 90 deg < x ≤ − 80 deg の場合（エリア Q 1）では、

透光性基板 2 1 A の板厚 y の最大値 y は、

$$y = -0.0058x^2 - 0.9672x - 38.858 \text{ (mm)} \dots\dots (1)$$

で求められる。

ここで、交差角 x が − 90 deg では、y は 0.8653 mm であり、交差角 x が − 80 deg では、y は 1.1257 mm であるから、エリア Q 1 の範囲では、

$$0.8653 \text{ mm} < y \leq 1.1257 \text{ mm} \text{ である。}$$

なお、図 3 1 (A) には、交差角 x が − 90 deg の状態が示されている。

【0045】

交差角 x が

10

− 80 deg < x ≤ − 55 deg の場合（エリア Q 2）では、

透光性基板 2 1 A の板厚 y の最大値 y は、

$$y = 2 \times 10^{-6}x^5 + 0.0008x^4 + 0.1145x^3 + 7.9738x^2 + 276.92x + 3842.1 \text{ (mm)} \dots\dots (2)$$

で求められる。

ここで、交差角 x が − 80 deg では、y は 1.1257 mm であり、交差角 x が − 55 deg では、y は 3.8506 mm であるから、エリア Q 2 の範囲では、

$$1.1257 \text{ mm} < y \leq 3.8506 \text{ mm} \text{ である。}$$

交差角 x が

20

− 55 deg < x ≤ − 35 deg の場合（エリア Q 3）では、

透光性基板 2 1 A の板厚 y の最大値 y は、

3.7 (mm) ≤ y である。つまり、板厚 y の許容される最大値 y は 3.7 mm 以上であるならば、フリーである。

なお、図 3 1 (B) には、交差角 x が − 45 deg の状態が示されている。

【0046】

交差角 x が

− 35 deg < x ≤ − 15 deg の場合（エリア Q 4）では、

透光性基板 2 1 A の板厚 y の最大値 y は、

$$y = -4 \times 10^{-5}x^4 - 0.0045x^3 - 0.1828x^2 - 3.1831x - 18.449 \dots\dots (3)$$

30

で求められる。

ここで、交差角 x が − 35 deg では、y は 3.7030 mm であり、交差角 x が − 15 deg では、y は 1.2999 mm であるから、エリア Q 4 の範囲では、

$$3.7030 \text{ mm} < y \leq 1.2999 \text{ mm} \text{ である。}$$

交差角 x が

− 15 deg < x ≤ + 5 deg の場合（エリア Q 5）では、透光性基板 2 1 A の板厚 y の最大値 y は、

$$y = 9 \times 10^{-6}x^4 + 0.0002x^3 + 0.0071x^2 + 0.1786x + 2.4607 \dots\dots (4)$$

で求められる。

40

ここで、交差角 x が − 15 deg では、y は 1.2999 mm であり、交差角 x が + 5 deg では、y は 3.5554 mm であるから、エリア Q 6 の範囲では、1.2999 mm < y ≤ 3.5554 mm である。

なお、図 3 1 (C) には、交差角 x が 0 deg の状態が示されている。

交差角 x が

+ 5 deg < x ≤ + 10 deg の場合（エリア Q 6）では、

透光性基板 2 1 A の板厚 y は

$$y = -0.5597x + 6.3541 \dots\dots (5)$$

で求められる。

ここで、交差角 x が + 5 deg では、y は 3.5554 mm であり、交差角 x が + 10

50

degでは、 y は0.7566mmであるから、エリアQ6の範囲では、 $0.7566\text{ mm} \leq y < 3.5554\text{ mm}$ である。

【0047】

交差角 x が

+10deg < $x \leq$ +30deg の場合（エリアQ7）では、

透光性基板21Aの板厚 y は

$$y = 1 \times 10^{-5} x^4 - 0.0008 x^3 - 0.0224 x^2 - 0.2833 x + 2.0276 \quad \dots\dots (6)$$

で求められる。

ここで、交差角 x が+10degでは、 y は0.7566mmであり、交差角 x が+30degでは、 y は0.7016mmであるから、エリアQ7の範囲では、 $0.7016\text{ mm} \leq y < 0.7566\text{ mm}$ である。

交差角 x が

+30deg < $x \leq$ +35deg の場合（エリアQ8）では、

透光性基板21Aの板厚 y は

$$y = 0.3878 x - 10.931 \quad \dots\dots (7)$$

で求められる。

ここで、交差角 x が+30degでは、 y は0.7016mmであり、交差角 x が+35degでは、 y は2.6404mmであるから、エリアQ8の範囲では、 $0.7016\text{ mm} \leq y < 2.6404\text{ mm}$ である。

【0048】

交差角 x が

+35deg < $x \leq$ +75deg の場合（エリアQ9）では、

透光性基板21Aの板厚 y は

$$y = 5 \times 10^{-9} x^6 - 2 \times 10^{-6} x^5 + 0.0002 x^4 - 0.0176 x^3 + 0.7441 x^2 - 16.972 x + 165.72 \quad \dots\dots (8)$$

で求められる。

ここで、+35degでは、 y は2.6404mmであり、交差角 x が+70degでは、 y は0.6906mmであり、+75degでは、 y は0.9520mmであるから、エリアQ9の範囲では $0.6906\text{ mm} \leq y \leq 2.6404\text{ mm}$ である。

交差角 x が

+75deg < $x <$ +90deg の場合（エリアQ10）では、

透光性基板21Aの板厚 y は

$$y = 9 \times 10^{-5} x^3 - 0.0215 x^2 + 1.6761 x - 42.176 \quad \dots\dots (9)$$

で求められる。

ここで、交差角 x が+75degでは、 y は0.9520mmであり、交差角 x が+85degでは、 y は0.8284mmであり、交差角 x が+90degでは、 y は0.8653mmであるから、エリアQ10の範囲では、 $0.8284\text{ mm} \leq y \leq 0.9520\text{ mm}$ である。

【0049】

次に、1/2波長板23について、詳細に説明する。

図32は1/2波長板23の位相差板23Aの光学軸方位を説明するための図である。

図32において、1/2波長板23の位相差板23Aの法線から見た光学軸方位を θ_0 とし、位相差板23Aの中を進む光線R1に対する光学軸方位を θ_1 とし、結晶光学軸POの法線PLと光線R1とのなす角度を θ_2 とすると、これらの角度には次の関係がなりたつ。

$$\theta_0 = \arctan(\tan \theta_1 \times \cos \theta_2) \quad (A1)$$

また、位相差板23Aの屈折率を n_c 、位相差板23Aと隣接する層を空気層とし、この空気の屈折率を n_a とすると、位相差板23Aでの屈折角は θ_2 であるから、スネルの方式により、次の関係がなりたつ。

10

20

30

40

50

$$n_a \sin \alpha = n_c \sin \theta_2 \quad (A2)$$

本実施形態では、位相差板 23A の無機結晶材料である水晶の屈折率 n_c は 1.54 であり、空気の屈折率 n_a は 1.00 であり、入射角 α は 45 deg であるので、式 (A2) から、 θ_2 は 27.2 deg となる。

さらに、 θ_2 は 27.2 deg であり、 θ_1 は 45 deg であるため、式 (A1) から θ_0 は、

$$\begin{aligned} \theta_0 &= \arctan (\tan (45) \times \cos (27.2)) = 41.650 \\ &= 41.7 \text{ (deg)} \end{aligned}$$

と、算出される。

【0050】

本実施形態では、位相差板 23A が単板である A タイプの場合であり、位相差板 23A への入射角度は 45 (deg) を中心とし、当該中心から ± 10 (deg) 度の範囲の角度で傾いた場合、5 (deg) ステップで入射角度を変化させたときの偏光変換効率をシミュレーションにより分析し、所定の波長帯域の偏光変換効率を当該波長帯域で平均化したとき、その平均した偏光変換効率における透過損失を平均で評価した。即ち、本実施形態に係る偏光変換素子を投射型映像装置に搭載したときの透過特性を、

M: 500~600nm 帯域では、透過損失を 10% 以内、

N: 400~700nm 帯域では、透過損失を 20% 以内

という規格に設定し、これらの 2 つの M, N の規格を満足するように設計条件を設定する。

A タイプでは、次の条件 (A) を満たすことが条件とされる。

条件 (A): 設計波長を λ 、位相差板 23A の板厚を t_o 、位相差板 23A を構成する無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 、板厚 t_o の関係が、式 (1)(2)(3)(4) を満足する。

$$\lambda \leq -0.1293 \times Z^2 + 22.402 \times Z - 325.73 \quad \dots (1)$$

$$\lambda \geq 0.1199 \times Z^2 - 20.762 \times Z + 1348.6 \quad \dots (2)$$

$$t_o \leq 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \quad \dots (3)$$

$$t_o \geq -2.05 \times Z^2 - 0.0029 \times Z + 0.136 \quad \dots (4)$$

式 (1)(2) は設計波長 λ と切断角度 Z との関係を示すものであり、このうち、式 (1) は上限の関係式であり、式 (2) は下限の関係式である。また、式 (3)(4) は切断角度 Z と板厚 t_o との関係を示すものであり、このうち、式 (3) は上限の関係式であり、式 (4) は下限の関係式である。

表 2 は偏光変換効率をシミュレーションにより分析した結果であり、切断角度 Z と設計波長 λ との関係と切断角度 Z と板厚 t_o との関係が示されている。切断角度 Z と設計波長 λ との関係が図 33 (A) にも示され、切断角度 Z と板厚 t_o との関係が図 33 (B) にも示されている。

【0051】

【表 2】

切断角度 Z (deg)		115	110	100	90	80	70	65	60
設計波長 λ (nm)	Min	NG	520	460	455	460	480	505	NG
	Max	NG	570	630	640	635	610	585	NG
板厚 t_o (mm)	Min	NG	0.041	0.029	0.024	0.023	0.023	0.024	NG
	max	NG	0.046	0.041	0.036	0.032	0.030	0.029	NG

【0052】

表 2 及び図 3 3 (A) (B) から、透過特性を満足させるための設計波長 λ と切断角度 Z の範囲は、

$$455 \leq \lambda \leq 640 \text{ (nm)}$$

$$65 \leq Z \leq 110 \text{ (deg)}$$

である。

設計波長 λ と切断角度 Z の関係が、上限の関係式である式(3)と、下限の関係式である式(4)とを満足するように設計すれば、例えば、図 3 4 に示される通り、前述の透過特性（透過損失）の規格 M , N を満足させることができる。

図 3 4 は本実施形態で設計した 1 / 2 波長板である位相差板 2 3 A の偏光変換効率が示されている。図 3 4 では、太く図示した曲線 L に複数のデータが重ねられて表示されている。

10

図 3 4 で示される通り、偏光変換効率は波長が 400 nm から 700 nm まで 0.8 以上であり、透過損出の平均は 20 % 以内であり、波長が 500 nm から 600 nm までは 0.9 以上という高い値を示し、透過損出を 10 % 以内とする規格を十分に満足させることができる。

【0053】

以上の構成の第 1 実施形態では、次の作用効果を奏することができる。

(1) 入射光に対して所定角度をなすように配置された透光性基板 2 1 A と、この透光性基板 2 1 A の入射側表面に、入射光を P 偏光 P と S 偏光 S とに分離して、P 偏光 P を透過させ、S 偏光 S を反射する偏光分離部 2 1 B とを有する偏光分離素子 2 1 と、透光性基板 2 1 A と略平行かつ間に空気層を介して配置され偏光分離部 2 1 B で反射された S 偏光 S を、偏光分離部 2 1 B を透過した P 偏光 P の光路と略平行な方向に反射させ反射素子 2 2 と、この反射素子 2 2 と透光性基板 2 1 A との間に配置され偏光分離部 2 1 B で反射した S 偏光 S の偏波面を P 偏光 P として出射する 1 / 2 波長板 2 3 とを備えて偏光変換素子 2 を構成し、透光性基板 2 1 A を、複屈折性と旋光性を有する無機結晶材料から形成し、かつ、入射した S 偏光 S がその偏波面を維持したまま出射側表面から出射する構成とした。そのため、偏光分離素子 2 1、反射素子 2 2 及び 1 / 2 波長板 2 3 からアレイを構成しているため、これらの間に設けられたガラス等の透明部材が不要とされ、かつ、偏光分離素子と反射素子との間に 1 / 2 波長板 2 3 を配置しているため、1 / 2 波長板 2 3 がアレイから突出することがなくなり、構造がコンパクトになる。しかも、透光性基板 2 1 A として熱伝導率がガラスより高い結晶材料を用いているため、従来に比べて放熱効果が高く、耐熱性や長寿命化を図ることができる。そして、透光性基板 2 1 A の結晶材料は複屈折性と旋光性を有するので、偏光分離部 2 1 B を透過し透光性基板 2 1 A に入射した S 偏光 S は、その偏波面を維持したまま出射側表面から出射するので、偏光状態の変化をなくすることができる。

20

30

【0054】

(2) 透光性基板 2 1 A を、入射光 I_L に対して略 45 deg あるいは 135 deg として配置したから、偏光分離素子 2 1 の偏光分離部 2 1 B によって S 偏光 S を入射光に対して略直角に反射素子 2 2 に向けて反射させることができるので、反射素子 2 2 で反射される光 S 偏光 S を P 偏光 P と略平行にすることができる。そのため、反射素子 2 2 の反射光と偏光分離素子 2 1 の透過光とを容易に揃えることができるので、偏光変換素子 2 を容易に組み立てることができる。

40

【0055】

(3) 透光性基板 2 1 A は水晶から形成されるので、水晶がサファイヤ等の他の結晶材料に比べて安価に入手できるから、偏光変換素子 2 を安価に提供することができる。

(4) 入射光 I_L の光軸に垂直な平面に透光性基板 2 1 A の結晶光学軸 PO を投影した投影光学軸と P 偏光 P の偏波面とのなす角を方位角 θ としたとき、 $\theta = 0 \text{ (deg)}$ としたから、複屈折性による位相差 Γ の生じない ($\Gamma = 0$) という条件で、偏光変換効率が高い透光性基板 2 1 A を容易に設定することができる。

【0056】

50

(5) 透光性基板 21A の結晶光学軸 PO と入射光 IL の光軸とのなす角を交差角 x とし、透光性基板 21A の結晶光学軸 PO と入射光 IL の光軸との交点に、結晶光学軸 PO と入射光 IL の光軸とを含む平面に垂直な方向にたてた軸を中心軸とし、結晶光学軸 PO と入射光 IL の光軸とを含む平面に垂直な方向から見て、中心軸の反時計周りの方向を正としたとき、交差角 x を、 $-90 \text{ (deg)} \leq x \leq +90 \text{ (deg)}$ を満足するように設定した。そのため、偏光分離部 21B を透過し透光性基板 21A に入射した P 偏光 P を確実にその偏波面を維持したまま透光性基板 21A の出射側表面から出射させることができる。

【0057】

(6) 交差角 x と透光性基板 21A の板厚 y_0 の最大値 y とを、複数のエリア毎に近似式から求めた。つまり、「 $-90 \text{ (deg)} \leq x \leq -80 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = -0.0058x^2 - 0.9672x - 38.858 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $-80 \text{ (deg)} < x \leq -55 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = 2 \times 10^{-6}x^5 + 0.0008x^4 + 0.1145x^3 + 7.9738x^2 + 276.92x + 3842.1 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $-35 \text{ (deg)} < x \leq -15 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = -4 \times 10^{-5}x^4 - 0.0045x^3 - 0.1828x^2 - 3.1831x - 18.449 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $-15 \text{ (deg)} < x \leq +5 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = 9 \times 10^{-6}x^4 + 0.0002x^3 + 0.0071x^2 + 0.1786x + 2.4607 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $+5 \text{ (deg)} < x \leq +10 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = -0.5597x + 6.3541 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $+10 \text{ (deg)} < x \leq +30 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = 1 \times 10^{-5}x^4 - 0.0008x^3 - 0.0224x^2 - 0.2833x + 2.0276 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $+30 \text{ (deg)} < x \leq +35 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = 0.3878x - 10.931 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $+35 \text{ (deg)} < x \leq +75 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = 5 \times 10^{-9}x^6 - 2 \times 10^{-6}x^5 + 0.0002x^4 - 0.0176x^3 + 0.7441x^2 - 16.972x + 165.72 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにし、「 $+75 \text{ (deg)} < x < +90 \text{ (deg)}$ 」の場合に、「 $y = 9 \times 10^{-5}x^3 - 0.0215x^2 + 1.6761x - 42.176 \text{ (mm)}$ 」を満足するようにした。従って、エリア毎に適正な板厚 y_0 の最大値 y を求めることができるので、高い偏光変換効率を得ることで、光学特性を良好なものにできる。

【0058】

(7) 交差角 x を、 $-55 \text{ (deg)} < x \leq -35 \text{ (deg)}$ を満足するように、特に、 -45 (deg) に近づくように設定することで、板厚 y_0 の最大値 y にかかわらず、良好な偏光変換効率を得ることができる。

(8) 偏光分離部 21B は誘電体多層膜で構成されるから、簡単に偏光分離素子 21 を製造することができる。

【0059】

(9) 1/2 波長板 23 の位相差板 23A として、複屈折性と旋光性を有する無機結晶材料を用いているため、偏光状態が変化して偏光変換効率が低下するという恐れがあるが、偏光分離部 21B を反射して 1/2 波長板 23 に入射した S 偏光 S を、P 偏光 P として出射するように、条件 (A)、つまり、設計波長 λ 、切断角度 Z 、板厚 t_0 の関係が、 $\lambda \leq -0.1293 \times Z^2 + 22.402 \times Z - 325.73 \dots (1)$ 、 $\lambda \geq 0.1199 \times Z^2 - 20.762 \times Z + 1348.6 \dots (2)$ 、 $t_0 \leq 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \dots (3)$ 及び $t_0 \geq 2.05 \times Z^2 - 0.0029 \times Z + 0.136 \dots (4)$ の関係を満足するように設定したから、偏光状態の変化をなくすことができ、光学特性を良好なものにできる。

【0060】

(10) 1つの 1/2 波長板 23 について 1枚の位相差板 23A から構成され、1/2 波長板 23 の法線から見た光学軸方位を θ_0 とし、1/2 波長板 23 の位相差板 23A の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_1 とし、この光線と結晶光学軸 PO の法線 PL とのなす角度を θ_2 とし、1/2 波長板 23 の位相差板 23A の屈折率を n_c 、位相差板 23A

と隣接する空気層の屈折率を n_a とすると、光学軸方位 θ_0 は $\theta_0 = \arctan(\tan \theta_1 \times \cos \theta_2)$ (A1)、 $n_a \sin \alpha = n_c \sin \theta_2$ (A2) の式から求められるから、1/2 波長板 23 が 1 枚の位相差板 23A からなる場合において、変換効率の良好な偏光変換素子 2 を簡易に提供することができる。

【0061】

次に、本発明の第 2 実施形態を図 35 から図 38 に基づいて説明する。

第 2 実施形態は 1/2 波長板 23 の位相差板 23A が 2 枚から構成されている点に特徴があり、他の構成は第 1 実施形態と同じである。

図 35 には本発明の第 2 実施形態にかかる偏光変換素子の概略が示されている。

図 35 において、1/2 波長板 23 は、それぞれ水晶からなる第 1 の無機結晶材料 231 と第 2 の無機結晶材料 232 とを貼り合わせてなる通称 D タイプの位相差板である。 10

第 1 の無機結晶材料 231 は、その一面に反射防止部 23B が形成される。第 1 の無機結晶材料 231 の他面には第 1 の無機結晶材料 231 の一面が対向され、この第 1 の無機結晶材料 231 の他面には反射防止部 23B が形成される。なお、図 35 では、第 1 の無機結晶材料 231 と第 1 の無機結晶材料 231 とが接着層 233 で互いに接着されている構成が示されているが、本実施形態では、第 1 の無機結晶材料 231 と第 1 の無機結晶材料 231 とを単に積層する構成としてもよい。

【0062】

本実施形態では、1/2 波長板 23 の位相差板 23A の光学軸方位が図 36 に示される。 20

図 36 に示される通り、第 1 の無機結晶材料 231 の光学軸方位 θ_{01} と第 2 の無機結晶材料 232 の光学軸方位 θ_{02} とは次の式から求められる。

つまり、位相差板 23A の法線から見た第 1 の無機結晶材料 231 の光学軸方位を θ_{01} とし、第 1 の無機結晶材料 231 の中を進む光線 R1 に対する光学軸方位を θ_{11} とし、この光線 R1 と結晶光学軸 PO₁ の法線とのなす角度を θ_{21} (図 36 での図示省略) とし、第 1 の無機結晶材料 231 の屈折率を n_{c1} 、第 1 の無機結晶材料 231 と隣接する空気層の屈折率を n_a とすると、第 1 の無機結晶材料 231 の光学軸方位 θ_{01} は

$$\theta_{01} = \arctan(\tan \theta_{11} \times \cos \theta_{21}) \quad (A11)$$

$$n_a \sin \alpha = n_{c1} \sin \theta_{21} \quad (A21)$$

の式から求められる。 30

【0063】

同様に、第 2 の無機結晶材料 232 の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_{12} とし、光線と結晶光学軸 PO₂ の法線とのなす角度を θ_{22} (図 36 での図示省略) とし、第 2 の無機結晶材料 232 の屈折率を n_{c2} 、第 2 の無機結晶材料 232 と隣接する第 1 の無機結晶材料 231 の屈折率を n_{c1} とすると、

第 2 の無機結晶材料 232 の光学軸方位 θ_{02} は

$$\theta_{02} = \arctan(\tan \theta_{12} \times \cos \theta_{22}) \quad (A12)$$

$$n_{c1} \sin \theta_{21} = n_{c2} \sin \theta_{22} \quad (A22)$$

の式から求められる。

ここで、本実施形態では、光学軸方位 θ_{12} と光学軸方位 θ_{11} との差が 90 deg である。 40

【0064】

第 1 の無機結晶材料 231 と第 2 の無機結晶材料 232 の材料である水晶の屈折率 n_{c1} 、 n_{c2} は 1.54 であり、空気の屈折率 n_a は 1.00 であり、入射角 α は 45 deg である。さらに、光学軸方位 θ_{11} は 45 deg であり、光学軸方位 θ_{12} は 135 deg (45 deg + 90 deg) であるから (例えば、特開昭 58-194004 号、特開昭 59-062807 号)、式 (A11) (A21) (A12) (A22) から、光学軸方位 θ_{01} 、 θ_{02} を求めることができる。

光学軸方位 θ_{01} は、

$$n_a \sin \alpha = n_{c1} \sin \theta_{21} \quad (A21)$$

$$\begin{aligned}
 1. \quad 0.0 \times \sin 45 \text{ deg} &= 1.54 \times \sin \theta_{21} \\
 0.7071 &= 1.54 \times \sin \theta_{21} \\
 \theta_{21} &= 27.32 \text{ deg} \\
 \theta_{01} &= a \tan (\tan \theta_{11} \times \cos \theta_{21}) \quad (\text{A11}) \\
 &= a \tan (\tan 45 \text{ deg} \times \cos 27.32 \text{ deg}) \\
 &= a \tan (0.89) \\
 &= 41.7 \text{ (deg)}
 \end{aligned}$$

光学軸方位 θ_{02} は、

$$\begin{aligned}
 n_{c1} \sin \theta_{21} &= n_{c2} \sin \theta_{22} \quad (\text{A22}) \\
 1.54 \sin 27.32 \text{ deg} &= 1.54 \sin \theta_{22} \\
 \theta_{22} &= 27.32 \text{ deg} \\
 \theta_{02} &= a \tan (\tan \theta_{12} \times \cos \theta_{22}) \quad (\text{A12}) \\
 &= a \tan (\tan 135 \text{ deg} \times \cos 27.32 \text{ deg}) \\
 &= a \tan (-0.888) \\
 &= -41.7 \text{ (deg)}
 \end{aligned}$$

10

光学軸方位 θ_{02} の -41.7 deg を図 36 の図示に合わせると θ_{02} は 138.3 deg となる。

【0065】

本実施形態では、第 1 実施形態と同様に、位相差板 23A への入射角度は 45 (deg) を中心とし、当該中心から $\pm 10 \text{ (deg)}$ 度の範囲の角度で傾いた場合、 5 (deg) ステップで入射角度を変化させたときの偏光変換効率をシミュレーションにより分析し、所定の波長帯域の偏光変換効率を当該波長帯域で平均化したとき、その平均した偏光変換効率における透過損失を平均で評価した。即ち、本実施形態に係る偏光変換素子を投射型映像装置に搭載したときの透過特性を、

20

M：500～600nm 帯域では、透過損失を 10% 以内、

N：400～700nm 帯域では、透過損失を 20% 以内

という規格に設定し、これらの 2 つの規格を満足するように設計条件を設定する。

D タイプと通称される本実施形態の位相差板では、次の条件 (B) を満たすことが条件とされる。

条件 (B)：設計波長 λ 、前記位相差板 23A の板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式 (5)(6)(7)(8)(9) を満足し、

30

$$\lambda \leq -10.75 \times Z^2 + 1933.9 \times Z - 86330 \quad \dots (5)$$

$$\lambda \geq 6.25 \times Z^2 - 1126.6 \times Z + 51216 \quad \dots (6)$$

$$t_o \leq -0.0281 \times Z^2 + 5.0512 \times Z - 225.61 \quad \dots (7)$$

$$t_o \geq 0.0173 \times Z^2 - 3.1146 \times Z + 141.39 \quad \dots (8)$$

ここで、前記板厚 t_o は、前記第 1 の無機結晶材料 231 と前記第 2 の無機結晶材料 232 とを貼り合わせてなる位相差板の板厚で定義されている。即ち、前記第 1 の無機結晶材料 231 の板厚 t_{231} と前記第 2 の無機結晶材料 232 の板厚 t_{232} との合計の板厚となっている。

40

位相差板 23A 中を進む光線の進行方向における 2 枚の無機結晶材料のうち第 1 の無機結晶材料 231 の位相差を Γ_1 、第 2 の無機結晶材料 232 の位相差を Γ_2 としたときに下式を満足する。

$$|\Gamma_1 - \Gamma_2| = 180 \text{ (deg)} \quad \dots (9)$$

式 (5)(6) は設計波長 λ と切断角度 Z との関係を示すものであり、このうち、式 (5) は上限の関係式であり、式 (6) は下限の関係式である。また、式 (7)(8) は切断角度 Z と板厚 t_o との関係を示すものであり、このうち、式 (7) は上限の関係式であり、式 (8) は下限の関係式である。

表 3 は偏光変換効率をシミュレーションにより分析した結果であり、切断角度 Z と設計波長 λ との関係と切断角度 Z と板厚 t_o との関係が示されている。切断角度 Z と設計波長

50

λ との関係が図37(A)にも示され、切断角度 Z と板厚 t_o との関係が図37(B)にも示されている。

【0066】

【表3】

切断角度 z (deg)		95	93	90	89	87	85
設計波長 λ (nm)	min	NG	500	450	455	510	NG
	max	NG	545	640	640	550	NG
板厚(合計) t_o (mm)	min	NG	1.200	1.060	1.074	1.225	NG
	max	NG	1.321	1.568	1.568	1.332	NG

10

【0067】

表3及び図37(A)(B)から、透過特性を満足させるための設計波長 λ と切断角度 Z の範囲は、

$$450 \leq \lambda \leq 640 \text{ (nm)}$$

$$87 \leq Z \leq 93 \text{ (deg)}$$

である。

20

設計波長 λ と切断角度 Z の関係が、上限の関係式である式(5)と、下限の関係式である式(6)とを満足するように設計すれば、例えば、図38に示される通り、前述の透過特性(透過損失)の規格 M 、 N を満足させることができる。

図38は本実施形態で設計した1/2波長板23の位相差板23Aの偏光変換効率が示されている。図38では、太く図示した曲線Lに複数のデータが含まれる。

図38で示される通り、偏光変換効率は波長が400nmから700nmまで0.8以上であって、透過損出の平均は20%以内であり、波長が500nmから600nmまでは0.9以上という高い値を示し、透過損出を10%以内とする規格を十分に満足させることができる。

そのため、第1の無機結晶材料231の板厚 m_1 を0.048mmとし、波長を520nmとすると、第1の無機結晶材料231の位相差は270degであり、第2の無機結晶材料232の板厚 m_2 を0.020mmとし、波長を520nmとすると、第2の無機結晶材料232の位相差は110degである。

30

【0068】

従って、第2実施形態では、第1実施形態の(1)～(8)(10)と同様の作用効果を奏する他、次の作用効果を奏することができる。

(11) 1/2波長板23の位相差板23Aとして、複屈折性と旋光性を有する無機結晶材料を用いているため、偏光状態が変化して偏光変換効率が低下するという恐れがあるが、偏光分離部21Bを反射して1/2波長板23の位相差板23Aに入射したS偏光Sを、P偏光Pとして出射するように、設計波長 λ 、位相差板23Aの板厚 t_o 、無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、条件(B)、つまり、 $\lambda \leq -10.75 \times Z^2 + 1933.9 \times Z - 86330 \dots (5)$ 、 $\lambda \geq 6.25 \times Z^2 - 1126.6 \times Z + 51216 \dots (6)$ 、 $t_o \leq -0.0281 \times Z^2 + 5.0512 \times Z - 225.61 \dots (7)$ 、 $t_o \geq 0.0173 \times Z^2 - 3.1146 \times Z + 141.39 \dots (8)$ 、第1の無機結晶材料232の位相差を Γ_1 、第2の無機結晶材料232の位相差を Γ_2 としたときに、 $|\Gamma_1 - \Gamma_2| = 180 \text{ (deg)} \dots (9)$ の関係を満足するように設定したから、偏光状態の変化をなくすことができ、光学特性を良好なものにできる。

40

【0069】

(12) 位相差板23Aを第1の無機結晶材料231と第2の無機結晶材料232との2枚から構成し、位相差板23Aの法線から見た第1の無機結晶材料231の光学軸方位を

50

θ_{01} とし、第1の無機結晶材料231の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_{11} とし、この光線と結晶光学軸 PO_1 の法線とのなす角度を θ_{21} とし、第1の無機結晶材料231の屈折率を n_{c1} 、第1の無機結晶材料231と隣接する空気層の屈折率を n_a とすると、第1の無機結晶材料231の光学軸方位 θ_{01} は $\theta_{01} = a \tan(\tan \theta_{11} \times \cos \theta_{21})$ (A11)、 $n_a \sin \alpha = n_{c1} \sin \theta_{21}$ (A21)の式から求められ、位相差板23Aの法線から見た第2の無機結晶材料232の光学軸方位を θ_{02} とし、第2の無機結晶材料232の中を進む光線に対する光学軸方位を θ_{12} とし、この光線と結晶光学軸 PO_2 の法線とのなす角度を θ_{22} とし、第2の無機結晶材料232の屈折率を n_{c2} 、第2の無機結晶材料232と隣接する第1の無機結晶材料231の屈折率を n_{c1} とすると、第2の無機結晶材料232の光学軸方位 θ_{02} は $\theta_{02} = a \tan(\tan \theta_{12} \times \cos \theta_{22})$ (A12)、 $n_{c1} \sin \theta_{21} = n_{c2} \sin \theta_{22}$ (A22)の式から求められるから、透光性基板21Aが第1の無機結晶材料231と第2の無機結晶材料232とからなる位相差板の場合において、変換効率の良好な偏光変換素子を簡易に提供することができる。

10

【0070】

次に、本発明の第3実施形態を図39、図40、図41に基づいて説明する。

図39に示される通り、第3実施形態では、1/2波長板23が第1の無機結晶材料231と第2の無機結晶材料232との2枚の位相差板からなる点では第2実施形態と同じであるが、第1の無機結晶材料231と第2の無機結晶材料232との具体的な構成が第2実施形態と異なる。

20

【0071】

本実施形態では、位相差板23Aが第1の無機結晶材料231と第2の無機結晶材料232とを貼り合わせてなる通称WB1タイプと称される広域帯の位相差板の場合であり、第1の無機結晶材料231の光学軸方位 θ_{01} と、第2の無機結晶材料232の光学軸方位 θ_{02} とは第2実施形態と同様に求められる。但し、本実施形態では、光学軸方位 θ_{11} と光学軸方位 θ_{12} との和が90degである。

第1の無機結晶材料231と第2の無機結晶材料232の材料である水晶の屈折率 n_{c1} 、 n_{c2} は1.54であり、空気の屈折率 n_a は1.00であり、光学軸方位 θ_{11} は22.5degであり、光学軸方位 θ_{12} は67.5deg (= 90deg - 22.5deg)であり、入射角 α は45degである。式(A11)(A21)(A12)(A22)から、光学軸方位 θ_{01} 、 θ_{02} を求めることができる。

30

光学軸方位 θ_{01} は、

$$n_a \sin \alpha = n_{c1} \sin \theta_{21} \quad (A21)$$

$$1.00 \times \sin 45 \text{ deg} = 1.54 \times \sin \theta_{21}$$

$$0.7071 = 1.54 \times \sin \theta_{21}$$

$$\theta_{21} = 27.32 \text{ deg}$$

$$\theta_{01} = a \tan(\tan \theta_{11} \times \cos \theta_{21}) \quad (A11)$$

$$= a \tan(\tan 45 \text{ deg} \times \cos 27.32 \text{ deg})$$

$$= a \tan(0.89)$$

$$= 41.7 \text{ (deg)}$$

40

光学軸方位 θ_{02} は、

$$n_{c1} \sin \theta_{21} = n_{c2} \sin \theta_{22} \quad (A22)$$

$$1.54 \sin 27.32 \text{ deg} = 1.54 \sin \theta_{22}$$

$$\theta_{22} = 27.32 \text{ deg}$$

$$\theta_{02} = a \tan(\tan \theta_{12} \times \cos \theta_{22}) \quad (A12)$$

$$= a \tan(\tan 67.5 \text{ deg} \times \cos 27.32 \text{ deg})$$

$$= a \tan(2.14)$$

$$= 65.0 \text{ (deg)}$$

【0072】

第3実施形態では、前記各実施形態と同様に、位相差板23Aへの入射角度は45 (d

50

e g)を中心とし、当該中心から±10(deg)度の範囲の角度で傾いた場合、5(deg)ステップで入射角度を変化させたときの偏光変換効率をシミュレーションにより分析し、所定の波長帯域の偏光変換効率を当該波長帯域で平均化したとき、その平均した偏光変換効率における透過損失を平均で評価した。即ち、本実施形態に係る偏光変換素子を投射型映像装置に搭載したときの透過特性を、

M：500～600nm帯域では、透過損失を10%以内、

N：400～700nm帯域では、透過損失を20%以内

という規格に設定し、これらの2つの規格を満足するように設計条件を設定する。

WB1タイプと通称される広帯域位相差板では、次の条件(C)を満たすことが条件とされる。

条件(C)：設計波長 λ 、前記位相差板23Aの板厚 t_o 、前記無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、式(10)(11)(12)(13)を満足する。

$$\lambda \leq -2E-07 \times Z^6 + 0.0001 \times Z^5 - 0.024 \times Z^4 + 2.7749 \times Z^3 - 178.61 \times Z^2 + 6067.8 \times Z - 84312 \quad \dots (10)$$

$$\lambda \geq -4E-05 \times Z^3 + 0.0757 \times Z^2 - 10.073 \times Z + 696.9 \quad \dots (11)$$

$$t_o \leq -2E-08 \times Z^4 + 6E-06 \times Z^3 - 0.0008 \times Z^2 + 0.0495 \times Z - 0.9844 \quad \dots (12)$$

$$t_o \geq 5E-07 \times Z^3 - 0.0001 \times Z^2 + 0.0065 \times Z - 0.0924 \quad \dots (13)$$

ここで、前記板厚 t_o は、第2実施形態と同様に、前記第1の無機結晶材料231と前記第2の無機結晶材料232とを貼り合わせてなる位相差板の板厚で定義されている。即ち、前記第1の無機結晶材料231の板厚 t_{231} と前記第2の無機結晶材料232の板厚 t_{232} との合計の板厚となっている。

式(10)(11)は設計波長 λ と切断角度 Z との関係を示すものであり、このうち、式(10)は上限の関係式であり、式(11)は下限の関係式である。また、式(12)(13)は切断角度 Z と板厚 t_o との関係を示すものであり、このうち、式(12)は上限の関係式であり、式(13)は下限の関係式である。

表4は偏光変換効率をシミュレーションにより分析した結果であり、切断角度 Z と設計波長 λ との関係と切断角度 Z と板厚 t_o との関係が示されている。切断角度 Z と設計波長 λ との関係が図40(A)にも示され、切断角度 Z と板厚 t_o との関係が図40(B)にも示されている。

【0073】

10

20

30

【表 4】

切断角度 z (deg)		130	120	110	105	100	90
設計波長 λ (nm)	min	NG	510	440	440	400	370
	max	NG	580	650	650	680	700
板厚(合計) t_o (mm)	min	NG	0.113	0.069	0.056	0.049	0.038
	max	NG	0.130	0.106	0.097	0.089	0.079

10

88	80	70	60	50	45
370	360	350	350	380	NG
700	710	710	700	450	NG
0.037	0.034	0.032	0.033	0.040	NG
0.077	0.073	0.071	0.072	0.049	NG

20

【0074】

表 4 及び図 40 (A) (B) から、透過特性を満足させるための設計波長 λ と切断角度 Z の範囲は、

$$450 \leq \lambda \leq 640 \text{ (nm)}$$

$$87 \leq Z \leq 93 \text{ (deg)}$$

である。

設計波長 λ と切断角度 Z の関係が、上限の関係式である式(10)と、下限の関係式である式(11)とを満足するように設計すれば、例えば、図 41 に示される通り、前述の透過特性（透過損失）の規格 M, N を満足させることができる。

図 41 は本実施形態で設計した 1/2 波長板の位相差板 23A の偏光変換効率が示されている。図 41 では、太く図示した曲線 L に複数のデータが含まれる。

30

図 41 で示される通り、偏光変換効率は波長が 400 nm から 700 nm まで 0.8 以上（0.9 以上）であって、透過損出の平均は 20% 以内であり、波長が 500 nm から 600 nm までは 0.9 以上（1.0 に極めて近い）という高い値を示し、透過損出を 10% 以内とする規格を十分に満足させることができる。

そのため、第 1 の無機結晶材料 231 の板厚 m_1 を 0.048 mm とし、波長を 520 nm とすると、第 1 の無機結晶材料 231 の位相差は 270 deg であり、第 2 の無機結晶材料 232 の板厚 m_2 を 0.020 mm とし、波長を 520 nm とすると、第 2 の無機結晶材料 232 の位相差は 110 deg である。

【0075】

40

従って、第 3 実施形態では、第 2 実施形態の (1) ~ (8) (10) (12) と同様の作用効果を奏する他、次の作用効果を奏することができる。

(13) 1/2 波長板 23 の位相差板 23A として、複屈折性と旋光性を有する無機結晶材料を用いているため、偏光状態が変化して偏光変換効率が低下するという恐れがあるが、偏光分離部 21B を反射して 1/2 波長板 23 の位相差板 23A に入射した S 偏光 S を、P 偏光 P として出射させるために、設計波長 λ 、位相差板 23A の板厚 t_o 、無機結晶材料の切断角度を Z としたとき、設計波長 λ 、切断角度 Z 及び板厚 t_o の関係が、条件 (C)、つまり、 $\lambda \leq -2E-07 \times Z^6 + 0.0001 \times Z^5 - 0.024 \times Z^4 + 2.7749 \times Z^3 - 178.61 \times Z^2 + 6067.8 \times Z - 84312 \dots$ (10)、 $\lambda \geq -4E-05 \times Z^3 + 0.0757 \times Z^2 - 10.073 \times Z + 696.9 \dots$ (11)、 $t_o \leq -2E-08 \times Z^4 + 6E-06 \times Z^3 - 0.0008 \times Z^2 + 0.0495 \times Z - 0.9$

50

844・・・(12)、 $t_o \geq 5E-07 \times Z^3 - 0.0001 \times Z^2 + 0.0065 \times Z - 0.0924 \dots$ (13)を満足するように設定したから、偏光状態の変化をなくすことができ、光学特性を良好なものにできる。

【0076】

次に、本発明の第4実施形態を図42から図45に基づいて説明する。

第4実施形態は偏光変換ユニット4を投影型映像装置である液晶プロジェクター100に設けた例であり、第1実施形態の変換ユニット1とは保持部材5の構造が異なる。

図42は液晶プロジェクターの概略構成を示す。

図42において、液晶プロジェクター100は、インテグレーター照明光学系110と、色分離光学系120と、リレー光学系130と、光源から射出された光を画像情報に応じて変調する光変調装置140と、光変調装置140で変調された光を拡大投射する投写光学装置150とを備える。

10

インテグレーター照明光学系110は、後述する3枚の透過型液晶パネル141R、141G、141Bの画像形成領域をほぼ均一に照明するための光学系であり、光源装置111と、第1レンズアレイ112と、偏光変換装置200と、重畳レンズ113とを備える。

【0077】

光源装置111は、光源ランプ114から射出された輻射状の光線をリフレクター115で反射して略平行光線とし、この略平行光線を外部へと射出する。

偏光変換装置200は、第2レンズアレイ210と、遮光板220と、第2実施形態にかかる偏光変換ユニット4とを備える。

20

色分離光学系120は、2枚のダイクロイックミラー121、122と、反射ミラー123とを備え、ダイクロイックミラー121、122によりインテグレーター照明光学系110から射出された複数の光を赤、緑、青の3色の色光に分離する。ダイクロイックミラー121で分離された青色光は、反射ミラー123によって反射され、フィールドレンズ142を通過して、青色用の透過型液晶パネル141Bに到達する。

ダイクロイックミラー121を透過した赤色光と緑色光のうちで、緑色光は、ダイクロイックミラー122によって反射され、フィールドレンズ142を通過して、緑色用の透過型液晶パネル141Gに到達する。

リレー光学系130は、入射側レンズ131と、リレーレンズ133と、反射ミラー132、134とを備える。色分離光学系120で分離された赤色光は、ダイクロイックミラー122を透過して、リレー光学系130を通り、さらにフィールドレンズ142を通過して、赤色光用の透過型液晶パネル141Rに到達する。

30

光変調装置140は、透過型液晶パネル141R、141G、141Bと、クロスダイクロイックプリズム143とを備える。このクロスダイクロイックプリズム143は、各色光に変調された光学像を合成してカラーの光学像を形成するものである。

【0078】

偏光変換ユニット4は、第1実施形態と同じ構造の偏光変換素子2と、この偏光変換素子2を保持する保持部材5とを備える。

保持部材5の具体的な構造が図43から図45に示されている。

40

図43は保持部材5の斜視図、図44(A)は保持部材5の平面図、図44(B)は保持部材5の断面図である。

これらの図において、保持部材5は、偏光分離素子21の両端部、反射素子22の両端部及び1/2波長板23の両端部をそれぞれ保持する一对の保持板51と、これらの一对の保持板51の両端部をそれぞれ連結する一对の連結板52とを有する構造である。これらの保持板51及び連結板52は合成樹脂から一体に平面矩形の枠状に形成されている。

一对の保持板51の互いに対向する部分には、偏光分離素子21、反射素子22及び1/2波長板23をそれぞれ案内するガイド溝51Aが複数対形成されている。これらのガイド溝51Aは、その長手方向が入射光に対して45degまたは135degとなるように形成されている。

50

【0079】

なお、図43及び図44において、ガイド溝51Aは、偏光分離素子21、1/2波長板23及び反射素子22を収納するためにそれぞれ2対が図示されているが、これは、ガイド溝51Aの構成をわかりやすくするために拡大図示したためであり、実際は、図1に示される偏光変換素子2に合わせて、4枚の偏光分離素子21を収納するために4対が設けられ、4枚の1/2波長板23を収納するために2対が設けられ、4枚の反射素子22を収納するために4対が設けられる構造である。ただし、ガイド溝51Aの数は前述のものに限定されるものではなく、実際に設けられる偏光分離素子21、1/2波長板23並びに反射素子22の数に対応する。

【0080】

図45は保持部材5の一部の分解斜視図である。図45において、ガイド溝51Aは、一端部が保持板51の一側面に開口され、他端部が偏光分離素子21の端部、反射素子22の端部及び1/2波長板23の端部が突き当たるように段差が形成されている。ガイド溝51Aは、その幅寸法が偏光分離素子21、反射素子22及び1/2波長板23の幅寸法と同じあるいはやや大きく形成され、その長さ寸法が偏光分離素子21、反射素子22及び1/2波長板23の長さ寸法と同じあるいはやや大きく形成されている。

【0081】

従って、第4実施形態では、第1実施形態の(1)～(10)までの作用効果と同様の作用効果を奏することができる他に、次の作用効果を奏することができる。

(14) 光源装置111からの光をP偏光Pに変換して出射する偏光変換素子2を有する偏光変換ユニット4と、偏光変換素子2からの出射光を画像情報に応じて変調する光変調装置140と、この光変調装置140により変調された光を投写する投写光学装置150とを備えて液晶プロジェクター100を構成したから、偏光変換素子2の偏光変換効率が高いことに伴って液晶プロジェクター100の投影精度を高いものにできる。

【0082】

(15) 光変調装置140は、透過型液晶パネル141R、141G、141Bを備えて構成されるので、この点からも、投影精度の高い液晶プロジェクター100を提供することができる。

(16) 偏光変換ユニット4は、偏光変換素子2を保持する保持部材5を備え、この保持部材5は、偏光分離素子21の両端部、反射素子22の両端部及び1/2波長板23の両端部をそれぞれ保持する一对の保持板51と、これらの一对の保持板51の両端部をそれぞれ連結する一对の連結板52とを有する構造であるため、偏光分離素子21、反射素子22及び1/2波長板23を保持部材にコンパクトに収納することができ、取り扱いが便利となる。

【0083】

(17) 一对の保持板51と一对の連結板52とが一体に形成されているので、射出成形等の適宜な手段によって、保持部材5を容易に製造することができる。

(18) 一对の保持板51の互いに対向する部分には偏光分離素子21、反射素子22及び1/2波長板23をそれぞれ案内するガイド溝51Aが形成され、これらのガイド溝は一对の保持板51の一側面にそれぞれ開口されているので、偏光分離素子21、反射素子22及び1/2波長板23をそれぞれガイド溝51Aに沿って差し込むだけで偏光変換ユニット4が組み立てられることになり、組立作業が容易となる。

【0084】

次に、本発明の第5実施形態を図46及び図47に基づいて説明する。

第5実施形態は保持部材の構造が第4実施形態とは異なるもので、他の構成は第4実施形態と同じである。

図46は第5実施形態にかかる偏光変換ユニットを示す斜視図であり、図47は保持部材の一部を示す分解斜視図である。

これらの図において、偏光変換ユニット6は第1実施形態と同じ構造の偏光変換素子2と、この偏光変換素子2を保持する保持部材7とを備える。

10

20

30

40

50

保持部材 7 は、一对の保持板 7 1 と、一对の保持板 7 1 の端部に設けられた一对の連結板 7 2 とを備え、一对の保持板 7 1 と一对の連結板 7 2 とは別体に形成されている。

【0085】

一对の保持板 7 1 は合成樹脂から形成された板状であり、その互いに対向する部分には、偏光分離素子 2 1 と反射素子 2 2 との端部をそれぞれガイドするガイド溝 7 1 A が複数対形成されている。これらのガイド溝 7 1 A は、その長手方向が入射光に対して 45deg または 135deg となるように形成されている。そして、ガイド溝 7 1 A は、平面が矩形状とされた凹部である。

第 5 実施形態では、ガイド溝 7 1 A は、合計 6 対が図示されているが、実際には、偏光変換素子 2 に合わせて、4 枚の偏光分離素子 2 1 を収納するために 4 対が設けられ、4 枚の反射素子 2 2 を収納するために 4 対が設けられる構造である。

【0086】

一对の連結板 7 2 は、長尺状の板材 7 2 1 と、この板材 7 2 1 に連結され一对の保持板 7 1 を互いに向き合う方向に付勢する係合片 7 2 2 とを有する。

これらの板材 7 2 1 と係合片 7 2 2 とは弾性を有する材料、例えば、金属、合成樹脂等から一体に形成されている。係合片 7 2 2 は板材 7 2 1 に対して折り曲げて形成されており、その中央部分に保持板 7 1 に形成された凹部 7 1 B に係合する凸状の抑え部 7 2 2 A が形成されている。凸状の抑え部 7 2 2 A と凹部 7 1 B とは保持板 7 1 の長手方向と直交する方向に延びて形成されている。

【0087】

従って、第 5 実施形態では、第 4 実施形態の (1) ~ (10) (14) ~ (16) までの作用効果と同様の作用効果を奏することができる他に次の作用効果を奏することができる。

(19) 保持部材 7 は、一对の保持板 7 1 と、一对の保持板 7 1 の端部に設けられた一对の連結板 7 2 とを備え、一对の連結板 7 2 は、長尺状の板材 7 2 1 と、この板材 7 2 1 に連結され一对の保持板 7 1 を互いに向き合う方向に付勢する係合片 7 2 2 とを有する。そのため、一对の連結板 7 2 によって、一对の保持板 7 1 を互いに近接する方向に付勢するので、偏光分離素子 2 1、反射素子 2 2 及び $1/2$ 波長板 2 3 を確実に保持部材 7 で保持することができるから、偏光分離素子 2 1、反射素子 2 2 及び $1/2$ 波長板 2 3 が保持部材 7 から誤って脱落することがない。

【0088】

(20) 係合片 7 2 2 は保持板 7 1 に形成された凹部 7 1 B に係合する抑え部 7 2 2 A を有するので、連結板 7 2 が保持板 7 1 の長手方向にずれて外れることがない。そのため、保持板 7 1 から連結板 7 2 が誤って外れることを防止できる。

(21) 保持板 7 1 に形成され偏光分離素子 2 1、反射素子 2 2 及び $1/2$ 波長板 2 3 の端部が保持されるガイド溝 7 1 A は、平面が矩形状とされた凹部であるため、保持板 7 1 の平面内での偏光分離素子 2 1、反射素子 2 2 及び $1/2$ 波長板 2 3 の移動が規制される。そのため、この点からも、偏光分離素子 2 1、反射素子 2 2 及び $1/2$ 波長板 2 3 が保持部材 7 から誤って脱落することがない。

【0089】

次に、本発明の第 6 実施形態を図 48 に基づいて説明する。

第 6 実施形態は偏光分離素子の構成が第 1 実施形態と異なるもので、他の構成は第 1 実施形態と同じである。

図 48 は第 6 実施形態にかかる偏光分離素子 2 1 の偏光分離部 2 10 B の斜視図である。図 48 において、偏光分離素子 2 1 の偏光分離部 2 10 B は誘電基板 2 1 D によって支持される多数の平行な金属ワイヤーからなる導電電極 2 1 E から形成される。導電電極 2 1 E は、そのピッチまたは周期が P であり、個別の導体の幅が W であり、その厚さが t である。入射光 IL は、垂線からの角度 R で偏光分離素子 2 1 に入射する。入射光 IL は、 S 偏光 S として反射し、回折されないで、 P 偏光 P として透過される。ここで、周期 P 、幅 W 、厚さ t は、使用する光の周波数領域、その他条件により設定される。

【0090】

従って、第6実施形態によれば、第1実施形態の(1)～(10)と同様の作用効果を奏することができる他、次の作用効果を奏することができる。

(22) 偏光分離素子21の偏光分離部210Bを金属ワイヤーグリッドで構成したから、簡単に偏光変換素子を製造することができる。

【0091】

次に、本発明の第7実施形態を図49に基づいて説明する。

第7実施形態は、1/2波長板の構成が第1実施形態と異なるもので、他の構成は第1実施形態と同じである。

図49には本発明の第7実施形態にかかる偏光変換素子の概略が示されている。

図49において、本実施形態の1/2波長板230は、その主面が透光性基板21Aの主面とは45degをなすように配置されている。

1/2波長板230は、偏光分離部21Bで反射したS偏光Sの偏波面をP偏光Pとして出射する1枚の水晶製の位相差板230Aと、この位相差板230Aの両面に設けられた反射防止部23Bとを備えている。

位相差板230Aは、その光学軸方位が90degの一般的なものである。

【0092】

従って、第7実施形態では、第1実施形態の(1)～(8)と同様の作用効果を奏することができる他、次の作用効果を奏することができる。

(23) 1/2波長板230は、その主面が透光性基板21Aの主面とは45degをなすように配置され、偏光分離部21Bで反射されたS偏光Sを法線方向から入射できるので、汎用されている1/2波長板を用いることができる。そのため、コストダウンを図ることができる。

【0093】

なお、本発明は前述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的および効果を達成できる範囲内での変形や改良が、本発明の内容に含まれるものであることはいうまでもない。

例えば、前記実施形態では、偏光分離素子21を構成する透光性基板21Aの両面に反射防止部21Cを設けたが、本発明では、必ずしも反射防止部21Cを設けることを要しない。しかし、前記各実施形態のように、反射防止部21Cを設ければ、偏光分離素子21及び反射素子22を透過する光の量が多くなる。

【0094】

さらに、第2実施形態及び第3実施形態では、1/2波長板23を構成する第1位相差板231と第2位相差板232とを積層した構成としたが、本発明では、第1位相差板231と第2位相差板232とを離隔配置し、かつ、第1位相差板231の両面と第2位相差板232の片面とに反射防止部21Cを形成するものでもよい。

また、第7実施形態では、1/2波長板230を構成する位相差板230Aを1枚としたが、本発明では、1/2波長板230を2枚からなる位相差板から構成するものでもよい。この場合、2枚の位相差板を積層し、かつ、接着するものでもよく、あるいは、図50に示される通り、2枚の位相差板2301、2302を離隔配置し、それぞれに反射防止部23Bを設けるものでもよい。

【0095】

また、偏光変換素子を液晶プロジェクターに用いたが、本発明では、液晶プロジェクター以外の投射装置に利用することができる。

さらに、反射素子22は必ずしも水晶を用いることを要せず、水晶に代えてガラスを用いてもよい。そして、偏光分離素子21では、透光性基板21Aに水晶を必ずしも用いることを要せず、水晶に代えてサファイヤ等の複屈折性と旋光性を有する結晶材料を用いてもよい。

さらに、前記実施形態では、偏光分離素子21を入射光ILに対して略45degあるいは135degとしたが、本発明では、これに限定されるものではなく、例えば、60

10

20

30

40

50

degや120degとしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【0096】

本発明は、液晶プロジェクター、その他の投写型映像装置に利用することができる。

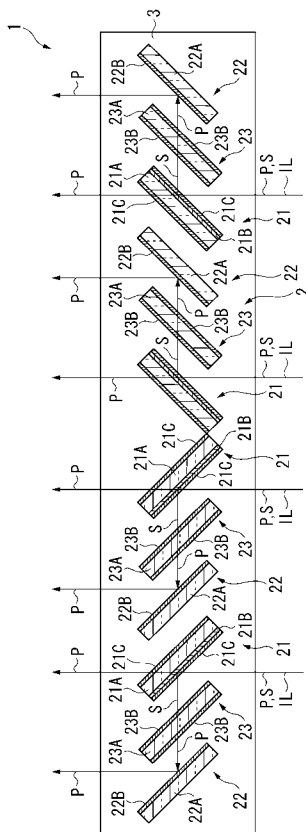
【符号の説明】

【0097】

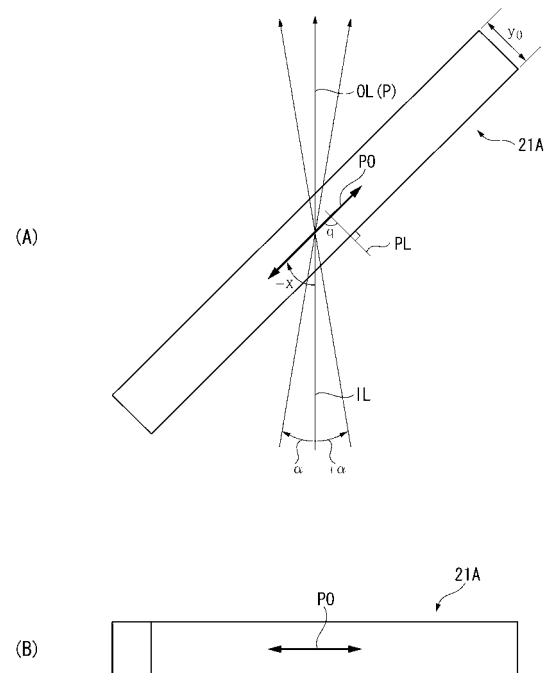
1, 4, 6…偏光変換ユニット、2…偏光変換素子、3, 5, 7…保持部材、21…偏光分離素子、21A…透光性基板、21B…偏光分離部、22…反射素子、23, 230…1/2波長板、23A, 230A…位相差板（位相差素子）、231…第1の無機結晶材料、232…第2の無機結晶材料、23B…反射防止部、51…保持板、51A…ガイド溝、52, 72…連結板、71…保持板、71A…ガイド溝、100…液晶プロジェクター（投写型映像装置）、111…光源装置、140…光変調装置（光変調手段）、141R, 141G, 141B…透過型液晶パネル、150…投写光学装置（投写光学系）、P…P偏光（第1の直線偏光）、PO, PO₁, PO₂…結晶光学軸、S…S偏光（第2の直線偏光）

10

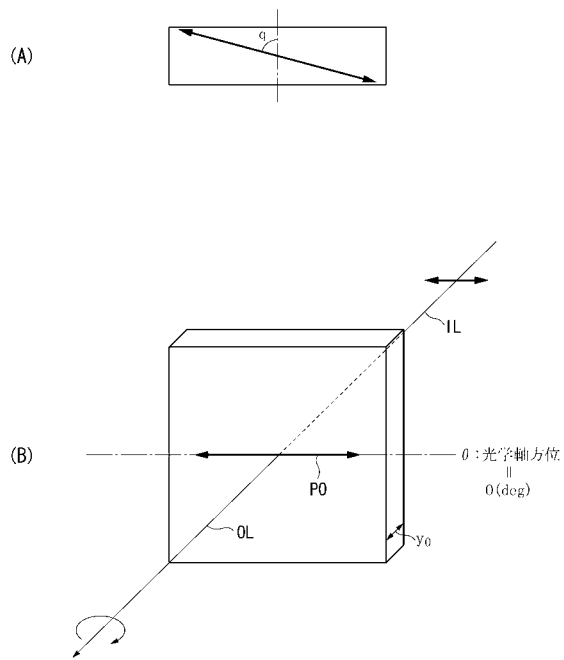
【図1】



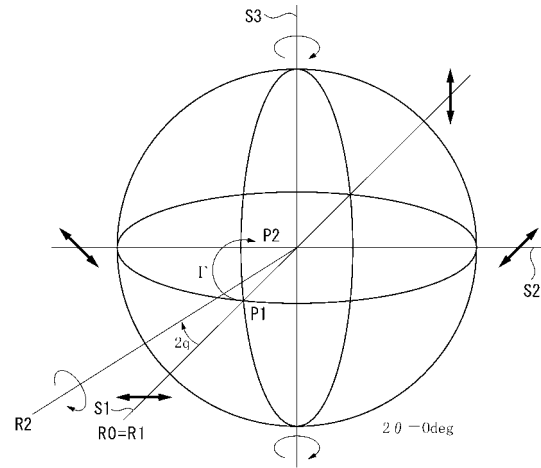
【図2】



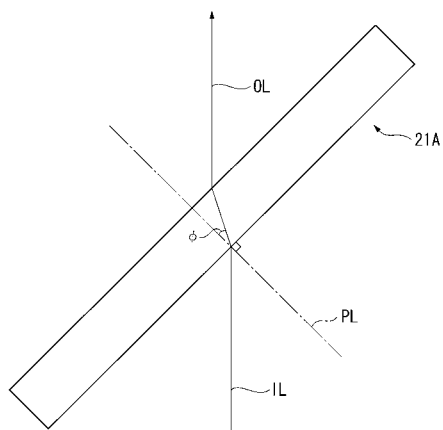
【図 3】



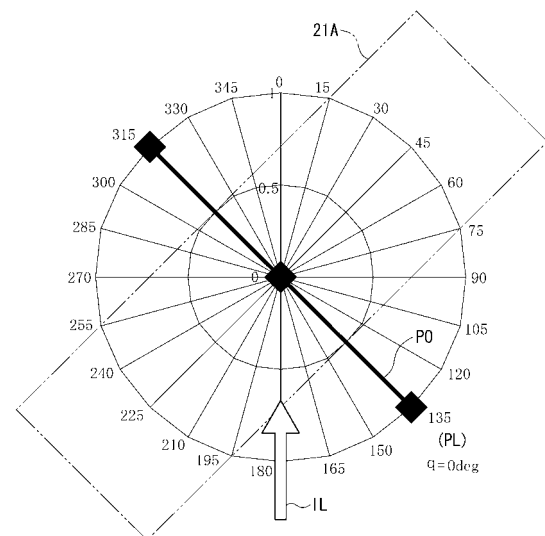
【図 4】



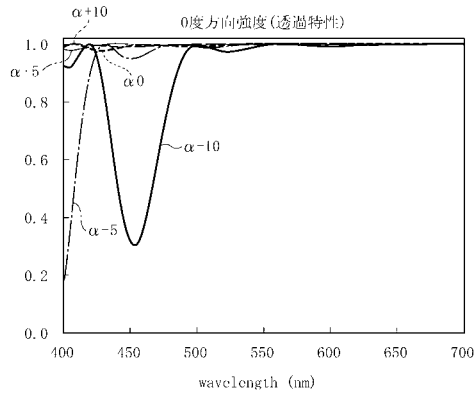
【図 5】



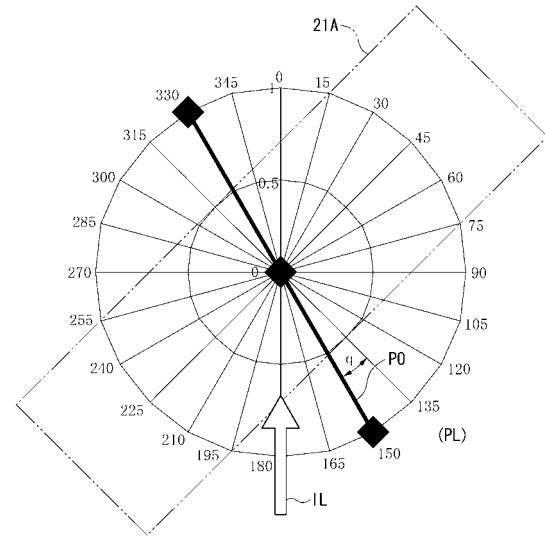
【図 6】



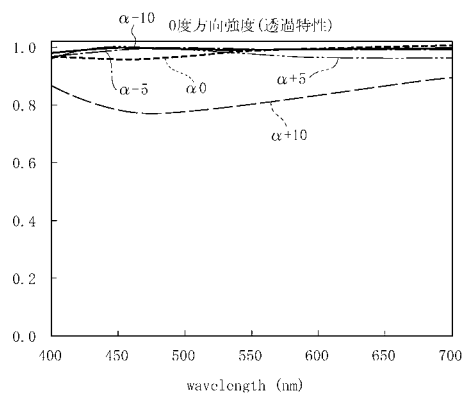
【図 7】



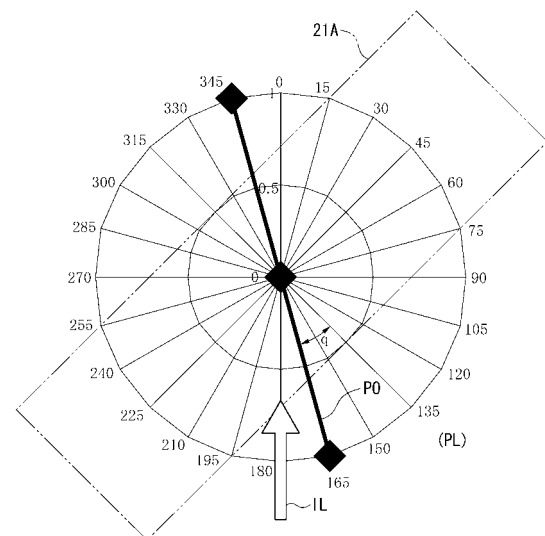
【図 8】



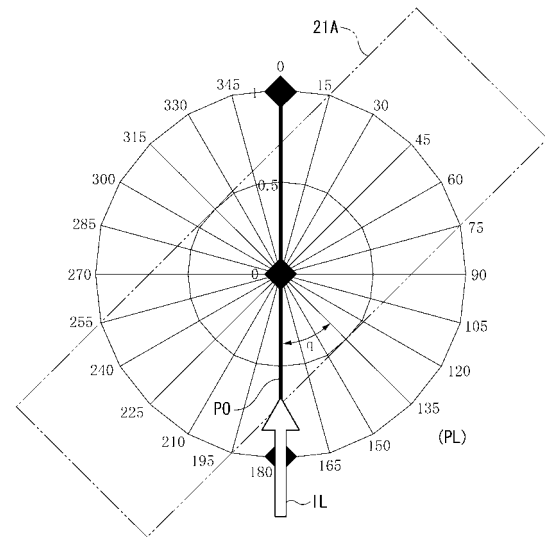
【図 9】



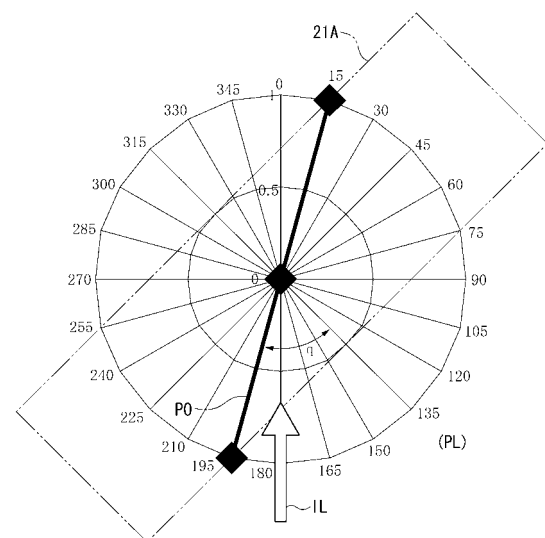
【図 10】



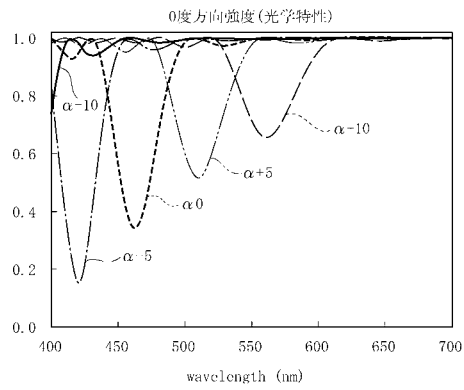
【图 1 2】



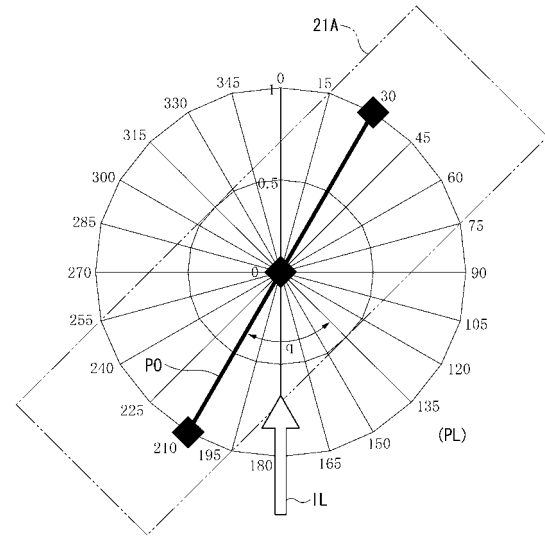
【 図 1 4 】



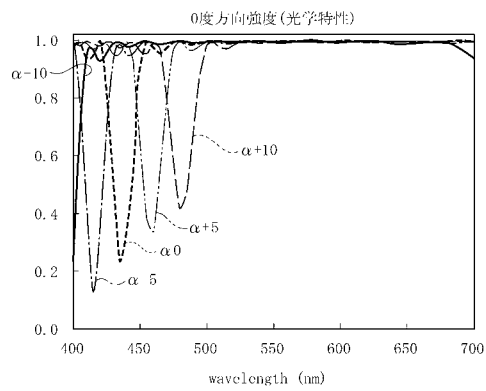
【図 15】



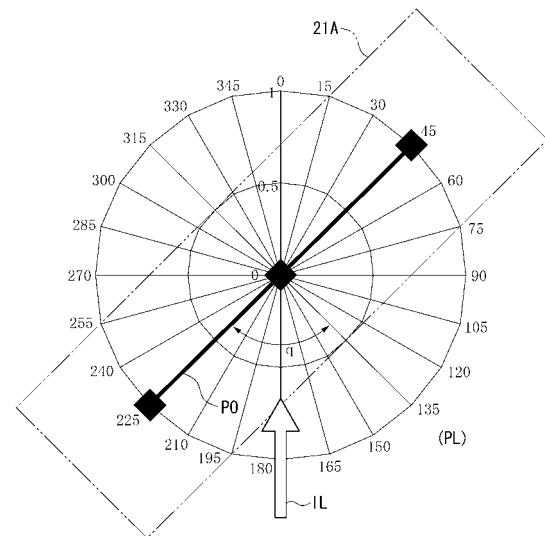
【図 16】



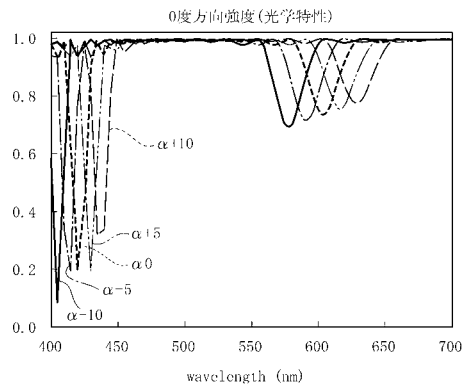
【図 17】



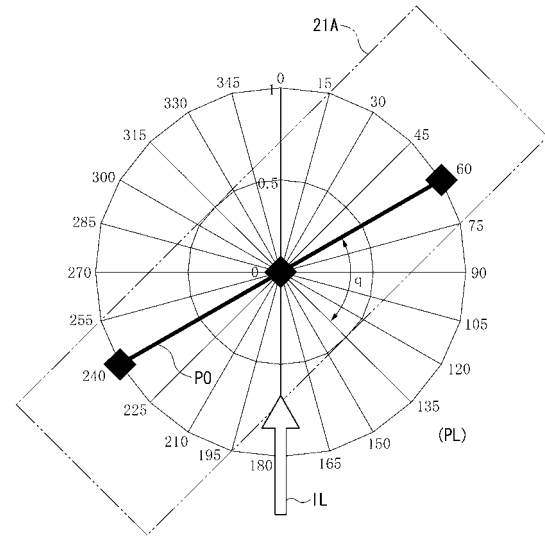
【図 18】



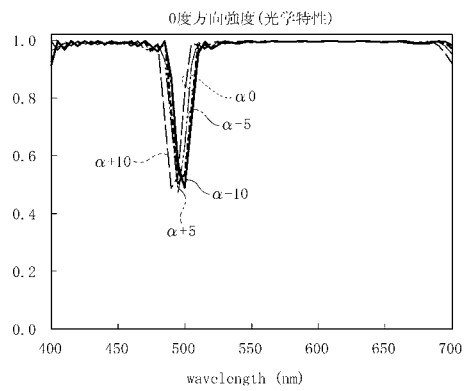
【図 19】



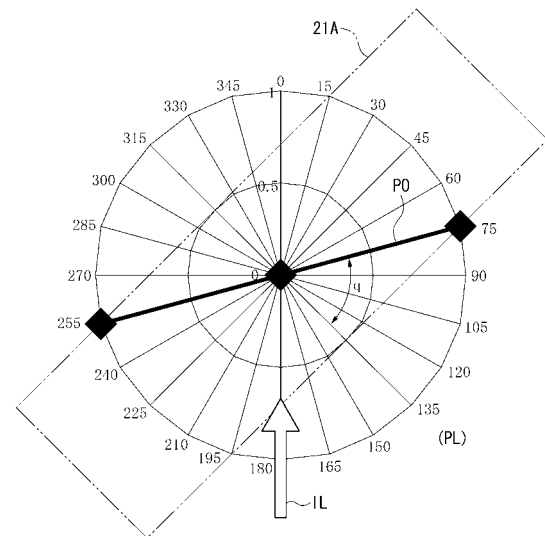
【図 20】



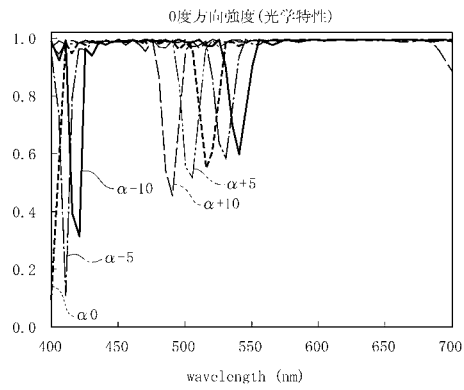
【図 21】



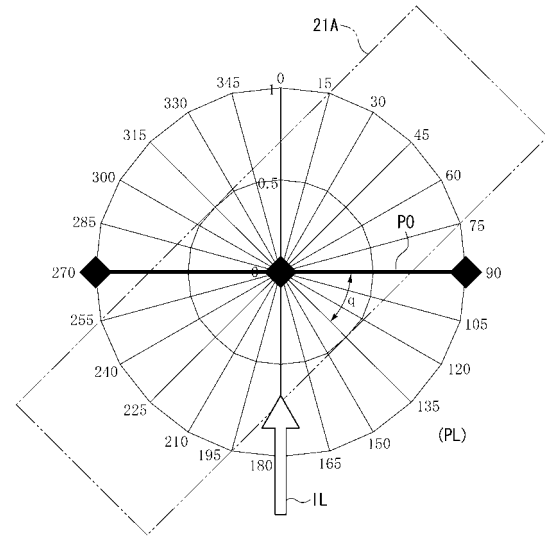
【図 22】



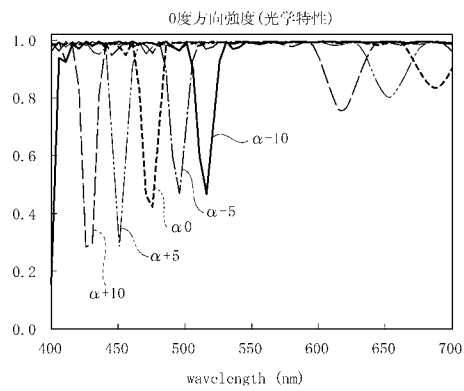
【図 2 3】



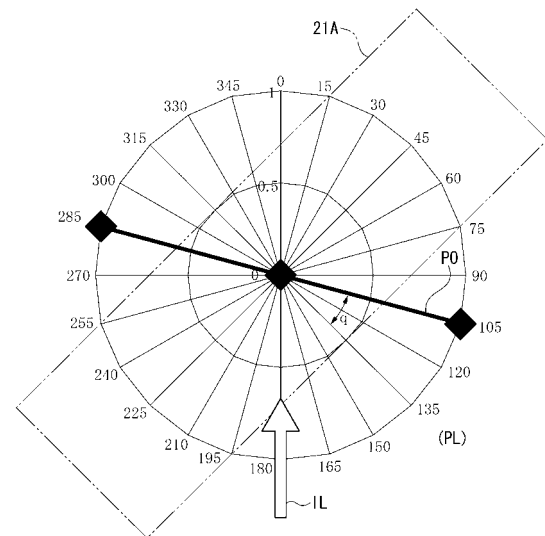
【図 2 4】



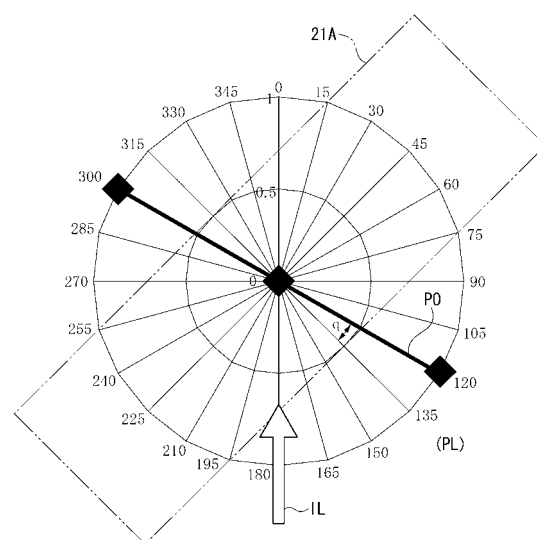
【図 2 5】



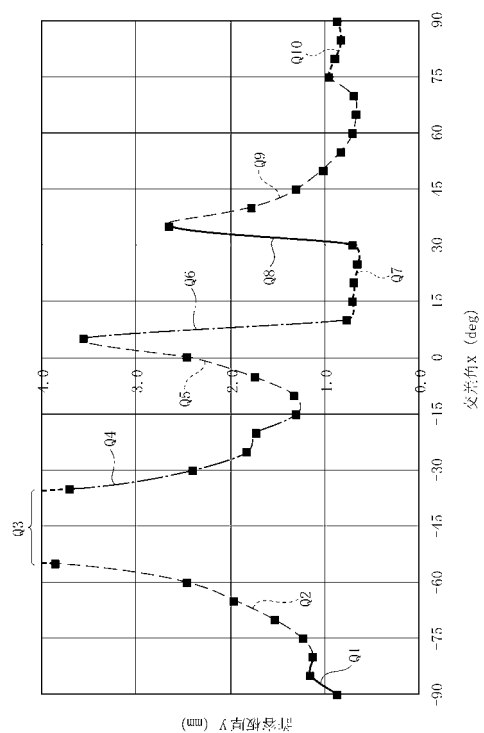
【図 2 6】



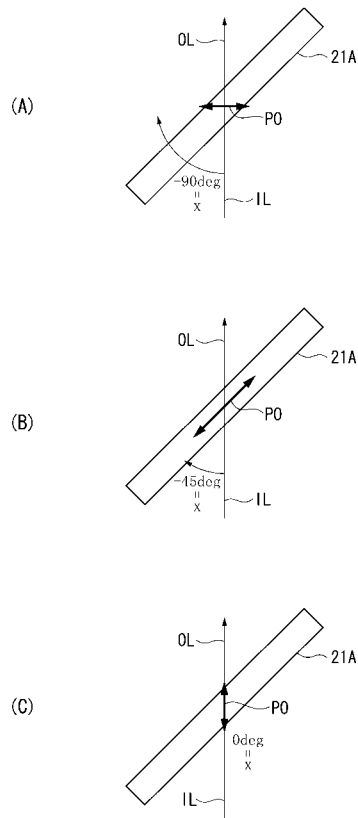
【図 28】



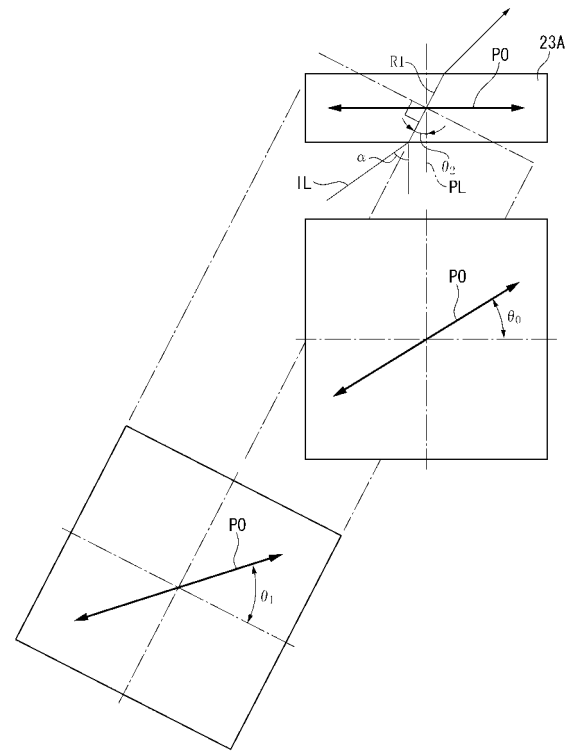
【図 30】



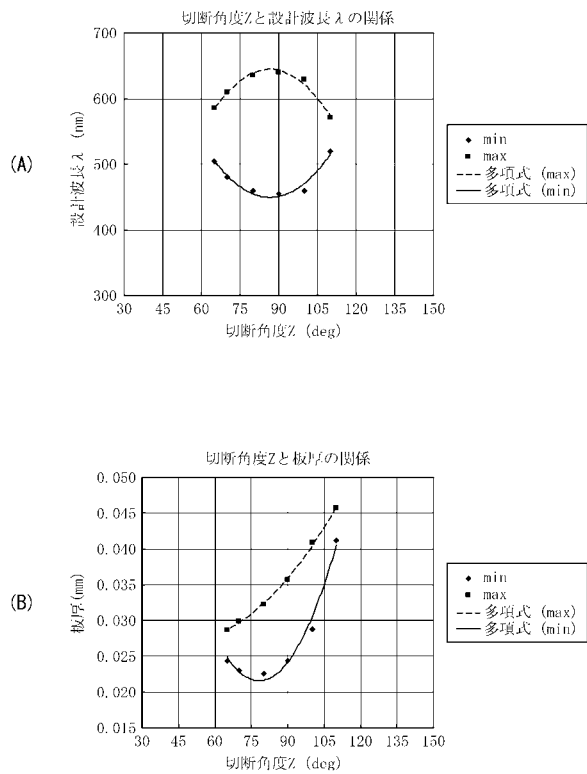
【図 3 1】



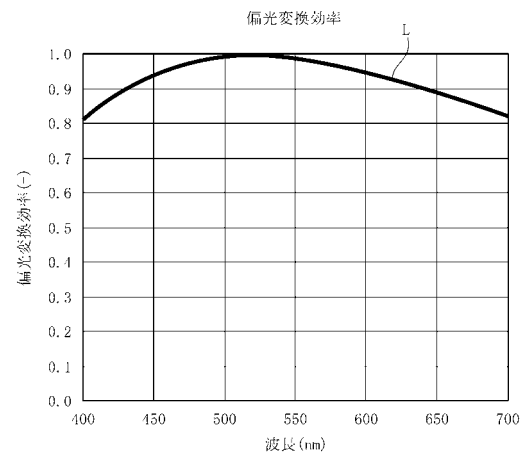
【図 3 2】



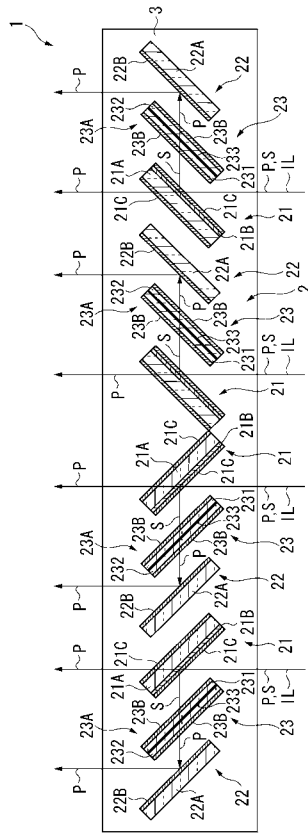
【図 3 3】



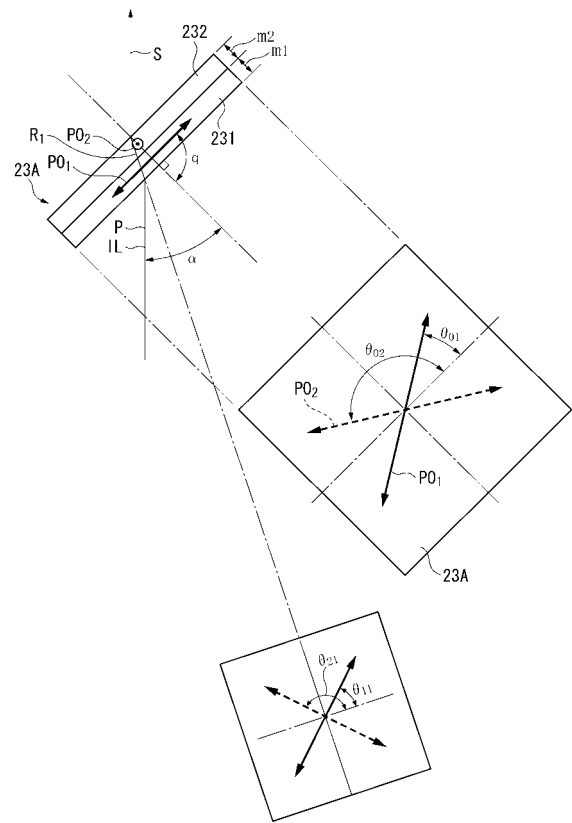
【図 3 4】



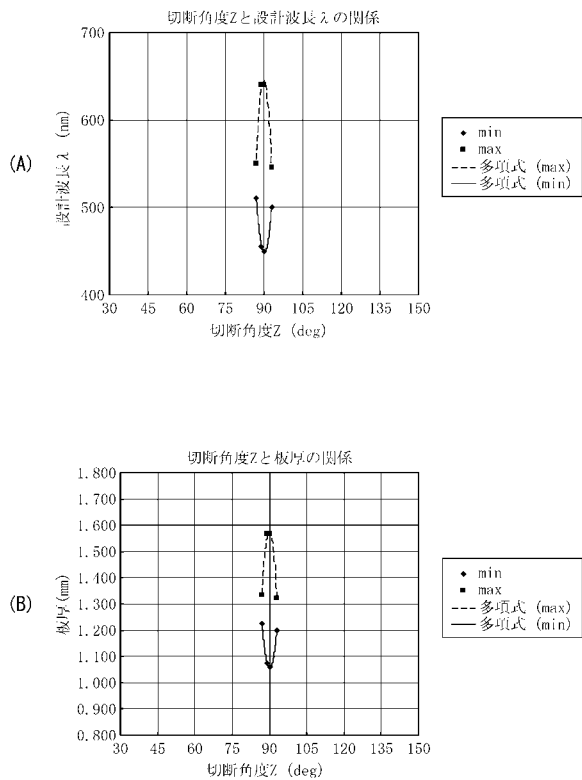
【図 3 5】



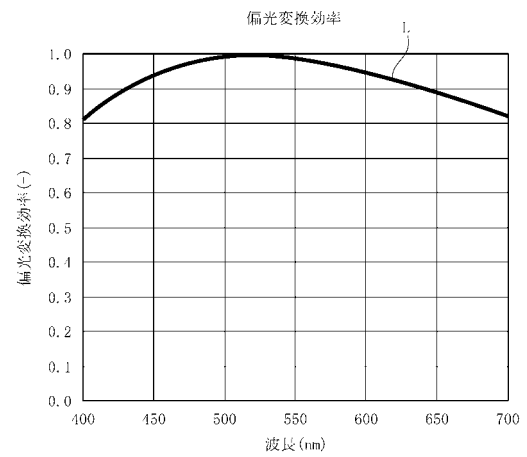
【図 3 6】



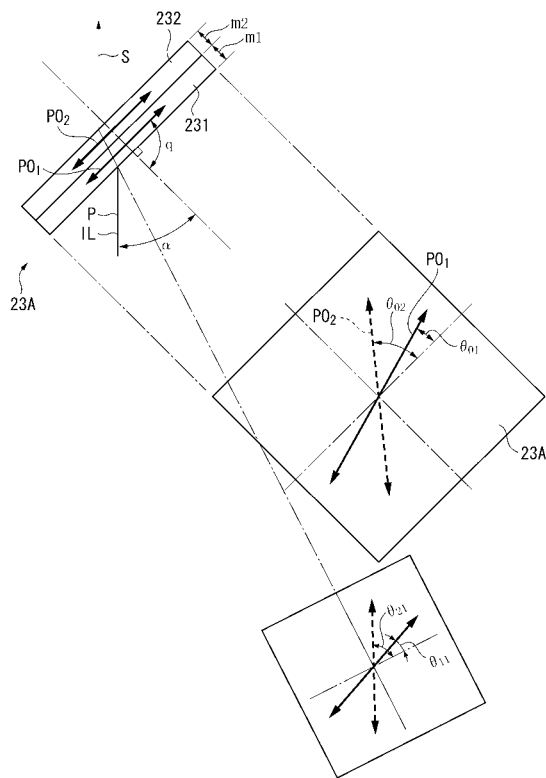
【図 3 7】



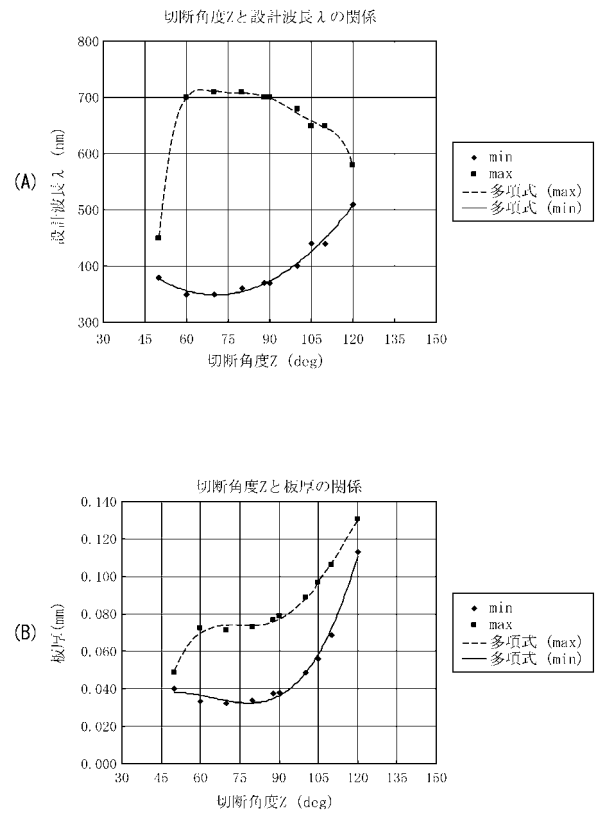
【図 3 8】



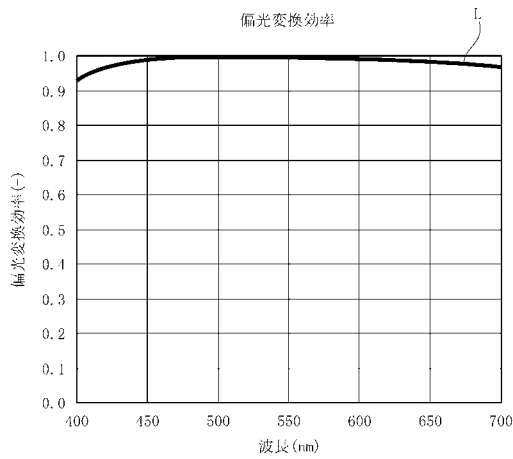
【図 39】



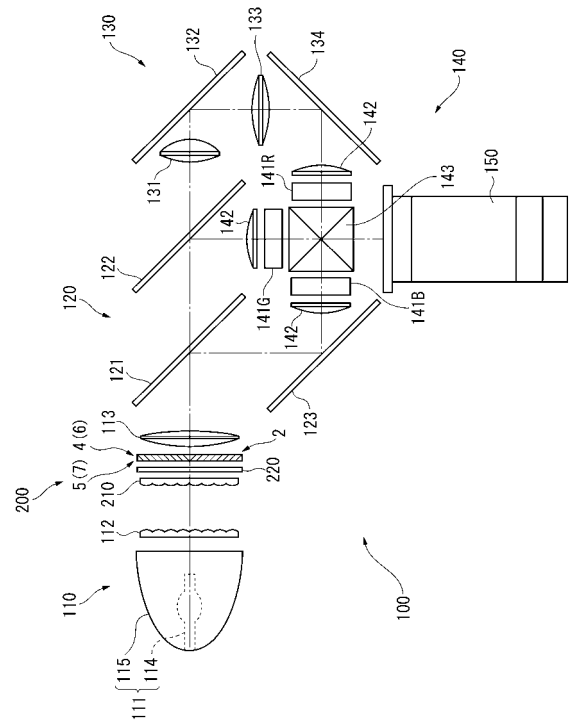
【図 40】



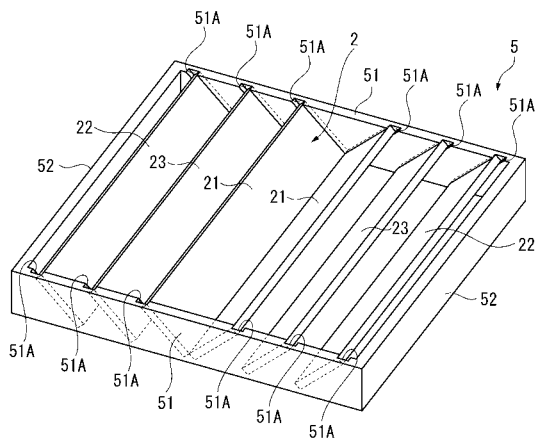
【図 41】



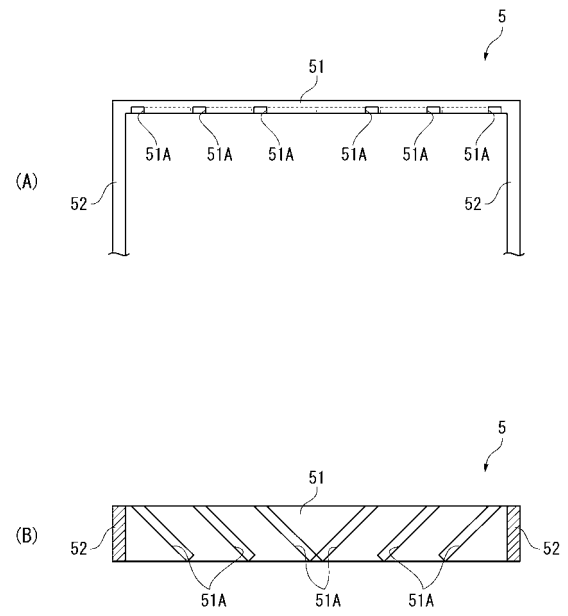
【図 42】



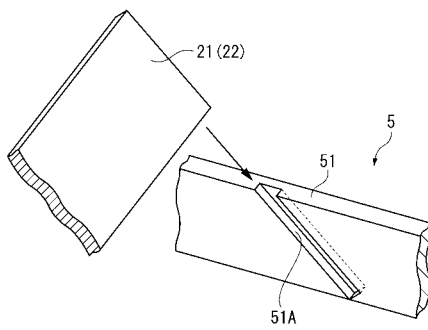
【図 4 3】



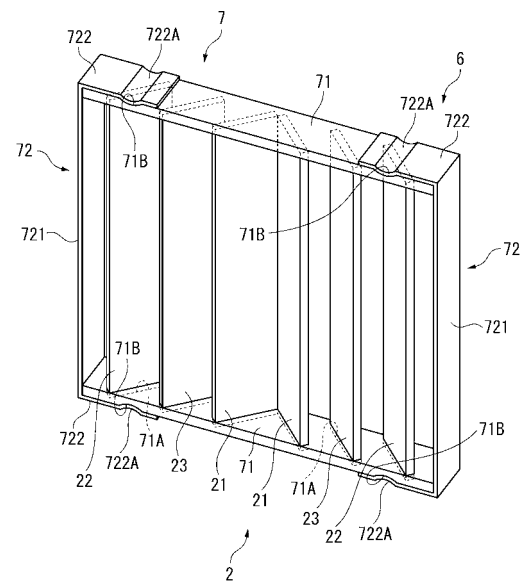
【図 4 4】



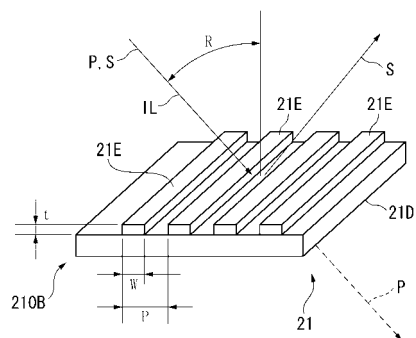
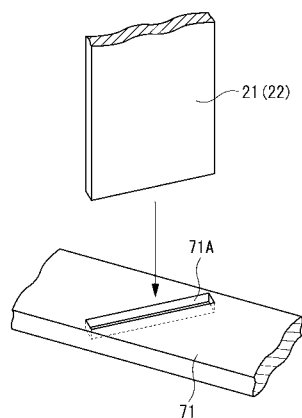
【図 4 5】



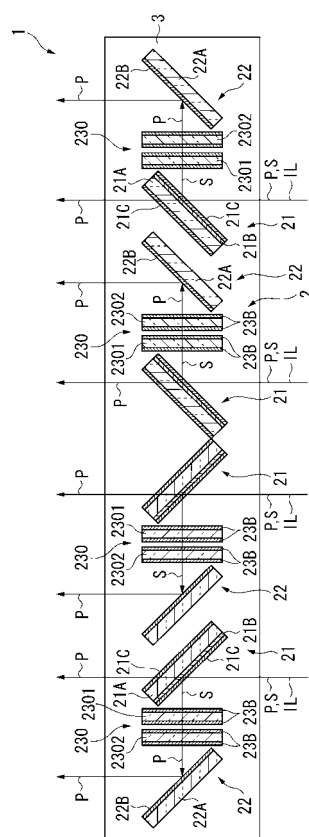
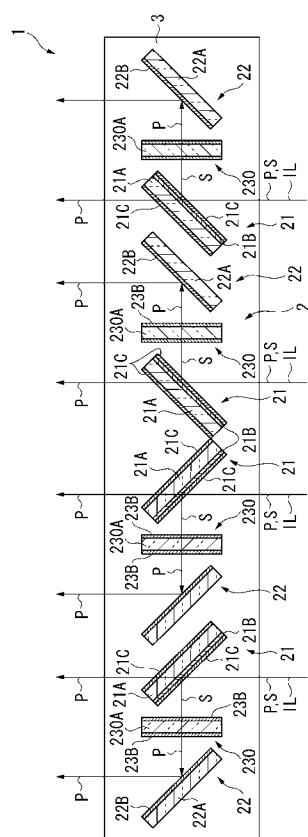
【図 4 6】



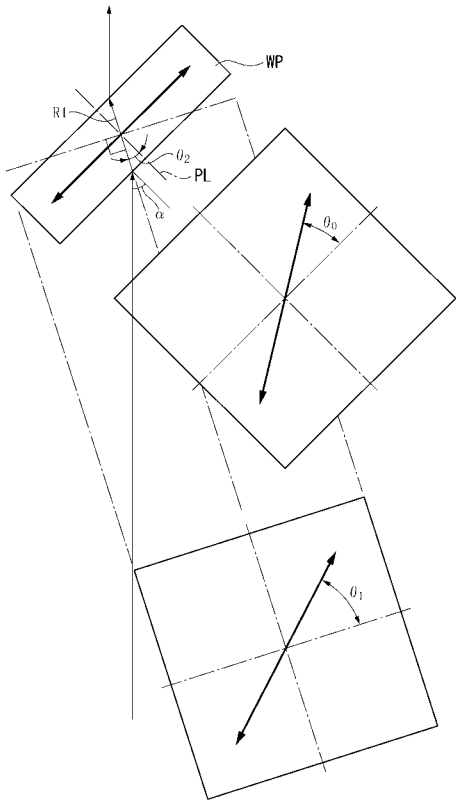
【図 48】



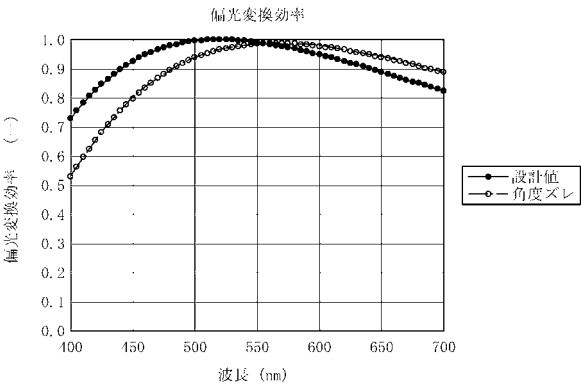
【図 50】



【図 5 1】



【図 5 2】



フロントページの続き

Fターム(参考) 2H149 AA17 AB01 BA04 DA05 EA02 FA44Y FD47
2H191 FA22X FA22Z FA30X FA30Z FB02 FC08 LA13 PA42 PA44
2K103 AA05 AB10 BC03 BC14 CA10 CA26 CA29 CA45 CA46 CA75
CA76