

(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2012-247705

(P2012-247705A)

(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)		
<b>GO2B</b>	<b>5/30</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2B 5/30	2H088	
<b>GO2F</b>	<b>1/13</b>	<b>(2006.01)</b>	GO2F 1/13	505	2H149
<b>GO3B</b>	<b>21/14</b>	<b>(2006.01)</b>	GO3B 21/14	Z	2K103
<b>GO3B</b>	<b>21/00</b>	<b>(2006.01)</b>	GO3B 21/00	E	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2011-120966 (P2011-120966)	(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
(22) 出願日	平成23年5月30日 (2011.5.30)	(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

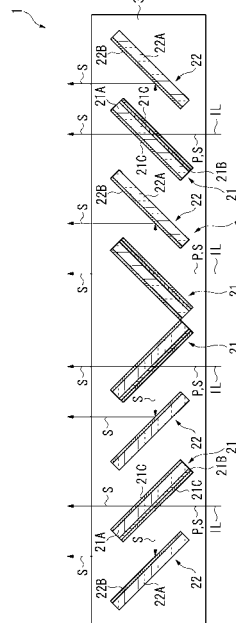
(54) 【発明の名称】 偏光変換素子、偏光変換ユニット及び投写型映像装置

(57) 【要約】

【課題】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結晶材料からなる透光性基板21Aと、この透光性基板21Aの入射側表面に設けられP偏光を透過させ、かつ、S偏光を反射する偏光分離部21Bとを備えて偏光分離素子21を構成し、偏光分離部21Bで反射されたS偏光Sを反射する反射素子22を、透光性基板21Aと略平行に離間して配置し、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、S偏光Sの偏波面と平行となるように変換しS偏光Sとして出射するように、所定の関数を設定した。

【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に離間して配置され、前記偏光分離部で反射された前記第 2 の直線偏光を反射する反射素子と、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、

前記偏光分離部を透過し前記透光性基板に入射した前記第 1 の直線偏光を、前記第 2 の直線偏光の偏波面と平行となるように変換し第 2 の直線偏光として出射するよう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)

前記透光性基板は単板であり、

設計波長、前記透光性基板の板厚  $t_0$ 、前記無機結晶材料の切断角度を  $Z$  としたとき、

設計波長、切断角度  $Z$  及び板厚  $t_0$  の関係が、式(1)(2)(3)(4)を満足し、

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

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

$$t_0 \quad 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \quad \dots (3)$$

$$t_0 \quad 2 \cdot 05 \times Z^2 - 0.0029 \times Z + 0.136 \quad \dots (4)$$

条件 (B)

前記透光性基板は 2 枚の前記無機結晶材料を積層してなり、

設計波長、前記透光性基板の板厚  $t_0$ 、前記無機結晶材料の切断角度を  $Z$  としたとき、

設計波長、切断角度  $Z$  及び板厚  $t_0$  の関係が、式(5)(6)(7)(8)(9)を満足し、

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

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

$$t_0 \quad -0.0281 \times Z^2 + 5.0512 \times Z - 225.61 \quad \dots (7)$$

$$t_0 \quad 0.0173 \times Z^2 - 3.1146 \times Z + 141.39 \quad \dots (8)$$

前記透光性基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  $\theta_1$ 、第 2 の無機結晶材料の位相差を  $\theta_2$  としたときに下式を満足し、

$$|\theta_1 - \theta_2| = 180 \text{ (deg)} \quad \dots (9)$$

条件 (C)

前記透光性基板は 2 枚の前記無機結晶材料を積層してなり、

設計波長、前記透光性基板の板厚  $t_0$ 、前記無機結晶材料の切断角度を  $Z$  としたとき、

設計波長、切断角度  $Z$  及び板厚  $t_0$  の関係が、式(10)(11)(12)(13)を満足する、

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

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

$$t_0 \quad -2E-08 \times Z^4 + 6E-06 \times Z^3 - 0.0008 \times Z^2 + 0.0495 \times Z - 0.9844 \quad \dots (12)$$

$$t_0 \quad 5E-07 \times Z^3 - 0.0001 \times Z^2 + 0.0065 \times Z - 0.0924 \quad \dots (13)$$

ことを特徴とする偏光変換素子。

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載された偏光変換素子において、

条件 (A) のとき、

前記透光性基板の法線から見た光学軸方位を  $\theta_0$  とし、前記透光性基板中を進む光線に

10

20

30

40

50

対する光学軸方位を  $\theta_1$  とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を  $\theta_2$  とし、前記透光性基板の屈折率を  $n_c$ 、前記透光性基板と隣接する層の屈折率を  $n_a$  とし、入射角を  $\theta_0$  とすると、式 (A 1)、(A 2) を満足する

$$\theta_0 = a \tan(\tan \theta_1 \times \cos \theta_2) \quad (A 1)$$

$$n_a \sin \theta_0 = n_c \sin \theta_2 \quad (A 2)$$

ことを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 3】

請求項 1 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、

前記透光性基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  $\theta_{01}$  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  $\theta_{11}$  とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を  $\theta_{21}$  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  $\theta_0$  とすると、式 (A 11)、(A 21) を満足し、

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

$$n_a \sin \theta_0 = n_{c1} \sin \theta_{21} \quad (A 21)$$

前記透光性基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  $\theta_{02}$  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  $\theta_{12}$  とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を  $\theta_{22}$  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 12)、(A 22) を満足する

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

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

ことを特徴とする偏光変換素子。

【請求項 4】

請求項 2 又は請求項 3 に記載された偏光変換素子において、

前記入射角  $\theta_0$  が、略 45 deg あるいは 135 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 2 から請求項 4 のいずれかに記載された偏光変換素子において、

前記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 6】

請求項 1 から請求項 5 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 7】

請求項 1 から請求項 6 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と前記反射素子の両端部とをそれぞれ保持する一対の保持板と、

当該一対の保持板の両端部をそれぞれ連結する一対の連結板と、を有することを特徴とする偏光変換ユニット。

【請求項 8】

請求項 7 に記載された偏光変換ユニットにおいて、

前記一対の保持板と前記一対の連結板とは一体に形成され、

前記一対の保持板の互いに対向する部分には前記透光性基板と前記反射素子と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対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 9】

10

20

30

40

50

請求項 8 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 10】

光源と、  
前記光源からの光を前記第 2 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。

10

【請求項 11】

請求項 10 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。

20

【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。

30

【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 45 deg 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。

40

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

50

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（特許文献5）。さらに、1/2波長板として、板厚が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。

10

#### 【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。

20

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膜により成膜し、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）。

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。

30

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。

40

#### 【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。この特許

50

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PBS（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。PBSはガラス板に例えばTiO<sub>2</sub>（高屈折率材料）とSiO<sub>2</sub>（低屈折率材料）とを交互に繰り返して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、PBS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、PBS、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。

10

#### 【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）。

20

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）。

#### 【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、入射面側にワイヤー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、複屈折性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、複屈折性を有する基板が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ーグリッド型偏光子（特許文献13）がある。

30

#### 【先行技術文献】

40

#### 【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

【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

50

- 【特許文献 9】再公表 W O 9 8 / 2 3 9 9 3 号公報  
 【特許文献 10】特開 2 0 0 5 - 1 5 8 1 2 1 号公報  
 【特許文献 11】特開 2 0 1 0 - 1 3 4 4 1 4 号公報  
 【特許文献 12】特開 2 0 0 4 - 0 2 9 1 6 8 号公報  
 【特許文献 13】特許第 4 5 2 7 9 8 6 号公報

【発明の概要】

【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 P B S はガラス板に T i O <sub>2</sub> (高屈折率材料)と S i O <sub>2</sub> (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。

10

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 P B S 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。

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 ( 1 8 0 d e g ) 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

20

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 9 0 d e g 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、 4 5 d e g 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 20 に基づいて考える。

30

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 20 において、水晶製 1 / 2 波長板 W P の主面 (入、出射面) の法線 P L から見た光学軸方位を  $\theta_0$  とし、水晶製 1 / 2 波長板 W P の中を進む光線 R 1 に対する光学軸方位を  $\theta_1$  とし、水晶製 1 / 2 波長板 W P の主面の法線 P L と前記光線 R 1 とのなす角度を  $\theta_2$  とすると、これらの角度には次の関係がなりたつ。

40

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

このとき、 $\theta_1 = 45 \text{ deg}$ 、 $\theta_2 = 45 \text{ deg}$  であるから、 $\theta_0$  は、

$$\begin{aligned} \theta_0 &= a \tan (\tan (45 \text{ deg}) \times \cos (45 \text{ deg})) \\ &= a \tan (1 / 2^{1/2}) \\ &= 35.3 \text{ deg} \end{aligned}$$

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 4 5 d e g 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

50

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。

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

このとき、 $\theta_1 = 45 \text{ deg}$ 、 $\theta_2 = 27.2 \text{ deg}$ であるから、 $\theta_0$ は、

$$\begin{aligned} \theta_0 &= a \tan(\tan(45 \text{ deg}) \times \cos(27.2 \text{ deg})) \\ &= a \tan(1 \times 0.88941) \\ &= 41.65 \text{ deg} \end{aligned}$$

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( $\theta_0$ )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21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、前記光路を通過して、水晶製1/2波長板を透過する光の位相差 $\theta_1$ は、以下に示す関係式に算出される。

$$\theta_1 = 2\pi / \lambda \times (n_e - n_o) \times t_1$$

この式において、 $\theta_1 = 180 \text{ deg}$ 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 $t_0$ が求められ、前記法線方向の設計波長 $\lambda$ における位相差 $\theta_0$ が算出される。

$$\theta_0 = 2\pi / \lambda \times (n_e - n_o) \times t_0$$

$$\cos(\theta_2) = t_0 / t_1$$

$$t_0 = t_1 \times \cos(\theta_2)$$

$$\theta_0 = 2\pi / \lambda \times (n_e - n_o) \times t_1 \times \cos(\theta_2)$$

となり、この $\theta_0$ を設計位相差と定義し、ここでは、 $\theta_0 = 160.11 \text{ (deg)}$ 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 $t_0$ 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 $\theta_0$ にズレが生じ、即ち、 $\theta_0 = 160.11 \text{ deg}$ 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ふという問題があった。

【0013】

10

20

30

40

【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  $t_0$  のままで加工してしまうと、設計位相差  $\phi$  は、160.11 deg から 175.50 deg に位相差が大きくなりすぎる。

これは、 $\phi = 2 \pi / \lambda (n_e - n_o) \times t_0$  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  $\phi$  は、180 deg から大きくなりすぎる。

その結果、偏光変換効率は、図 21 の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。

## 【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ことを可能とした 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に離間して配置され、前記偏光分離部で反射された前記第 2 の直線偏光を反射する反射素子と、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、前記偏光分離部を透過し前記透光性基板に入射した前記第 1 の直線偏光を、前記第 2 の直線偏光の偏波面と平行となるように変換し第 2 の直線偏光として出射するよう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)

前記透光性基板は単板であり、

設計波長  $\lambda$ 、前記透光性基板の板厚  $t_0$ 、前記無機結晶材料の切断角度を  $Z$  としたとき、設計波長  $\lambda$ 、切断角度  $Z$  及び板厚  $t_0$  の関係が、式 (1)(2)(3)(4) を満足し、

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

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

$$t_0 = 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \quad \dots (3)$$

$$t_0 = 2-05 \times Z^2 - 0.0029 \times Z + 0.136 \quad \dots (4)$$

## 条件 (B)

前記透光性基板は 2 枚の前記無機結晶材料を積層してなり、

設計波長  $\lambda$ 、前記透光性基板の板厚  $t_0$ 、前記無機結晶材料の切断角度を  $Z$  としたとき、設計波長  $\lambda$ 、切断角度  $Z$  及び板厚  $t_0$  の関係が、式 (5)(6)(7)(8)(9) を満足し、

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

10

20

30

40

50

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

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

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

前記透光性基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  $\theta_1$ 、第2の無機結晶材料の位相差を  $\theta_2$  としたときに下式を満足し、

$$|\theta_1 - \theta_2| = 180 \text{ (deg)} \quad \dots (9)$$

条件(C)

前記透光性基板は2枚の前記無機結晶材料を積層してなり、設計波長  $\lambda$ 、前記透光性基板の板厚  $t_o$ 、前記無機結晶材料の切断角度を  $Z$  としたとき、設計波長  $\lambda$ 、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、

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

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

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

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

ことを特徴とする。

この構成の本適用例では、誘電体多層膜の偏光分離部が透光性基板に設けられた偏光分離素子と反射素子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、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、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、設計波長  $\lambda$ 、切断角度  $Z$  及び板厚  $t_o$  等の関係が条件(A)(B)(C)のいずれかを満足することにより、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と直交する第2の直線偏光として透光性基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。

【0017】

[適用例2]

本適用例に係る偏光変換素子は、条件(A)のとき、前記透光性基板の法線から見た光学軸方位を  $\theta_0$  とし、前記透光性基板中を進む光線に対する光学軸方位を  $\theta_1$  とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を  $\theta_2$  とし、前記透光性基板の屈折率を  $n_c$ 、前記透光性基板と隣接する層の屈折率を  $n_a$  とし、入射角を  $\theta$  とすると、式(A1)、(A2)を満足する

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

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

ことを特徴とする。

この構成の本適用例では、透光性基板が単板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。

【0018】

[適用例3]

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、前記透光性基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  $\theta_{01}$  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  $\theta_{11}$  とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を  $\theta_{21}$  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  $\theta$  とすると、式(A11)、(A21)を満足し、

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

10

20

30

40

50

$$n_a \sin \theta_{21} = n_{c1} \sin \theta_{12} \quad (A21)$$

前記透光性基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  $\theta_{02}$  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  $\theta_{12}$  とし、この光線と結晶光学軸の法線とのなす角度を  $\theta_{22}$  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。

この構成の本適用例では、透光性基板が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。

【0019】

[適用例4]

本適用例に係る偏光変換素子は、前記入射角  $\theta$  が、略  $45 \text{ deg}$  あるいは  $135 \text{ deg}$  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。

【0020】

[適用例5]

本適用例に係る偏光変換素子は、前記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。

【0021】

[適用例6]

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。

【0022】

[適用例7]

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と前記反射素子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と反射素子と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。

【0023】

[適用例8]

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と前記反射素子と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、前記偏光分離素子と前記反射素子と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。

【0024】

[適用例9]

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

10

20

30

40

50

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と反射素子とを確実に保持することになり、偏光分離素子や反射素子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。

【0025】

[適用例10]

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2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。

10

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。

【0026】

[適用例11]

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】

20

【0027】

【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】第1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3】(A)は切断角度 $Z$ と設計波長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4】第1実施形態の透光性基板の偏光変換効率を示すグラフ。

【図5】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6】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7】(A)は切断角度 $Z$ と設計波長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。

30

【図8】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9】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10】(A)は切断角度 $Z$ と設計波長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11】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12】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13】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14】(A)は保持部材の平面図、(B)は保持部材の断面図。

【図15】保持部材の一部を示す分解斜視図。

【図16】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。

40

【図17】保持部材の一部を示す分解斜視図。

【図18】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19】本発明の変形例にかかる偏光変換素子の概略図。

【図20】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。

【図21】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】

【0028】

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。

50

図 1 から図 4 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。

偏光変換素子 2 は交互に配置される偏光分離素子 2 1 及び反射素子 2 2 を備え、これらの偏光分離素子 2 1 と反射素子 2 2 と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 2 1 及び反射素子 2 2 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 2 1 及び反射素子 2 2 と右側に配置された偏光分離素子 2 1 及び反射素子 2 2 とは、前記中心に対して対称関係に配置されている。

#### 【 0 0 2 9 】

偏光分離素子 2 1 は、その入射側主表面及び出射側主表面が入射光 I L に対して所定角度、本実施形態では、略 4 5 d e g をなすように配置された 1 枚の透光性基板 2 1 A と、この透光性基板 2 1 A の入射側表面に、入射光 I L 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 2 1 B と、この偏光分離部 2 1 B が配置された透光性基板 2 1 A の入射光 I L 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 2 1 C とを有する。

透光性基板 2 1 A は、複屈折性と旋光性を有する水晶からなる 1 / 2 波長板であり、かつ、偏光分離部 2 1 B を透過して入射した P 偏光 P を、反射素子 2 2 で反射された S 偏光 S の偏波面と平行になるように変換して S 偏光 S として出射するものである。

偏光分離部 2 1 B は、例えば、酸化ケイ素（ $\text{SiO}_2$ ）よりなる低屈折率層と、例えば酸化アルミナ（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ）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 2 1 C 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。

反射素子 2 2 は、水晶板 2 2 A と、この水晶板 2 2 A の表面に設けられたミラー部 2 2 B とを有する。

ミラー部 2 2 B 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。

#### 【 0 0 3 0 】

図 2 は 1 / 2 波長板の光学軸方位を説明するための図である。

図 2 において、1 / 2 波長板である透光性基板 2 1 A の法線から見た光学軸方位を  $\theta_0$  とし、透光性基板 2 1 A の中を進む光線 R 1 に対する光学軸方位を  $\theta_1$  とし、結晶光学軸 P O の法線 P L と光線 R 1 とのなす角度を  $\theta_2$  とすると、これらの角度には次の関係がなりたつ。

$$\theta_0 = a \tan (\tan \theta_1 \times \cos \theta_2) \quad (\text{A } 1)$$

また、透光性基板 2 1 A の屈折率を  $n_c$ 、透光性基板 2 1 A 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、透光性基板 2 1 A での屈折角は  $\theta_2$  であるから、スネルの方式により、次の関係がなりたつ。

$$n_a \sin \theta_2 = n_c \sin \theta_1 \quad (\text{A } 2)$$

本実施形態では、透光性基板 2 1 A の無機結晶材料である水晶の屈折率  $n_c$  は 1 . 5 4 であり、空気の屈折率  $n_a$  は 1 . 0 0 であり、入射角  $\theta_2$  は 4 5 d e g であるので、式 ( A 2 ) から、 $\theta_1$  は 2 7 . 2 d e g となる。

さらに、 $\theta_2$  は 2 7 . 2 d e g であり、 $\theta_1$  は 4 5 d d e g であるため、式 ( A 1 ) から  $\theta_0$  は、

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

10

20

30

40

50

と、算出される。

【 0 0 3 1 】

本実施形態では、透光性基板 2 1 A が単板である A タイプの場合であり、透光性基板 2 1 A への入射角度は 4 5 ( d e g ) を中心とし、当該中心から ± 1 0 ( d e g ) 度の範囲の角度で傾いた場合、5 ( d e g ) 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  $\lambda$ 、透光性基板 2 1 A の板厚を  $t_o$ 、透光性基板 2 1 A 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  $\lambda$ 、切断角度 Z、板厚  $t_o$  の関係が、式 (1)(2)(3)(4) を満足する。

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

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

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

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

式 (1)(2) は設計波長  $\lambda$  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  $\lambda$  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  $\lambda$  との関係が図 3 ( A ) にも示され、切断角度 Z と板厚  $t_o$  との関係が図 3 ( B ) にも示されている。

【 0 0 3 2 】

【表 2】

切断角度 Z (deg)		115	110	100	90	80	70	65	60
設計波長 $\lambda$ (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

【 0 0 3 3 】

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

$$4 5 5 \quad 6 4 0 \quad ( n m )$$

$$6 5 \quad Z \quad 1 1 0 \quad ( d e g )$$

である。

設計波長  $\lambda$  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 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4は本実施形態で設計した1/2波長板である透光性基板21Aの偏光変換効率が表示されている。図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。

図4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以上であり、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。

#### 【0034】

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) 複屈折性と旋光性を有する結晶材料からなる透光性基板21Aと、この透光性基板21Aの入射側表面に設けられP偏光を透過させ、かつ、S偏光を反射する偏光分離部21Bとを備えて偏光分離素子21を構成し、偏光分離部21Bで反射されたS偏光Sを反射する反射素子22を、透光性基板21Aと略平行に離間して配置し、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、S偏光Sの偏波面と平行となるように変換しS偏光Sとして出射するようにした。そのため、偏光分離素子21と反射素子22とからレンズアレイが構成されていることから、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、構造がコンパクトになる。

(2) 透光性基板21Aとして結晶材料を用いているため、この結晶材料がガラスに比べて放熱効果が高いので、耐熱性や長寿命化を図ることができる。その上、本実施形態では、透光性基板21A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を透過し透光性基板21Aに入射したP偏光Pをこ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するため、条件(A)、つまり、設計波長、切断角度Z、板厚 $t_0$ の関係が、 $-0.1293 \times Z^2 + 22.402 \times Z - 325.73 \dots (1)$ 、 $0.1199 \times Z^2 - 20.762 \times Z + 1348.6 \dots (2)$ 、 $t_0 = 5E-06 \times Z^2 - 0.0004 \times Z - 0.0368 \dots (3)$ 及び $t_0 = 2 \cdot 05 \times Z^2 - 0.0029 \times Z + 0.136 \dots (4)$ 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。

#### 【0035】

(3) 1つの偏光分離素子21について透光性基板21Aが1枚であり、透光性基板21Aの法線から見た光学軸方位を $\theta_0$ とし、透光性基板21Aの中を進む光線に対する光学軸方位を $\theta_1$ とし、この光線と結晶光学軸POの法線PLとのなす角度を $\theta_2$ とし、透光性基板21Aの屈折率を $n_c$ 、透光性基板21Aと隣接する空気層の屈折率を $n_a$ とすると、光学軸方位 $\theta_0$ は $\theta_0 = a \tan(\tan \theta_1 \times \cos \theta_2) (A1)$ 、 $n_a \sin \theta_2 = n_c \sin \theta_1 (A2)$ 、の式から求められるから、透光性基板21Aが1つの偏光分離素子21につき1枚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。

#### 【0036】

(4) 透光性基板21Aを、入射光ILに対して45(deg)あるいは135(deg)として配置したから、偏光分離素子21の偏光分離部21BによってS偏光Sを入射光に対して略直角に反射素子22に向けて反射させることができるので、反射素子22で反射される光S偏光Sを透光性基板21Aで出射されるS偏光Sと略平行にすることができる。そのため、反射素子22の反射光と偏光分離素子21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。

#### 【0037】

(5) 透光性基板21A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。

(6) 反射素子22において、ミラー部22Bが設けられる板材がガラスではなく水晶であるため、偏光分離素子21とともに反射素子22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。

(7) 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

10

20

30

40

50

造することができる。

【0038】

次に、本発明の第2実施形態を図5から図8に基づいて説明する。

第2実施形態は透光性基板21Aを2枚の位相差板から構成した点に特徴があり、他の構成は第1実施形態と同じである。

図5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5において、透光性基板21Aは、それぞれ水晶からなる板状の第1の無機結晶材料211と、第2の無機結晶材料212とから構成され、第1の無機結晶材料211は、その一面に反射防止部21Cが形成される。この反射防止部21Cには偏光分離部21Bが設けられている。第1の無機結晶材料211の他面には第2の無機結晶材料212の一面が対向され、この第2の無機結晶材料の他面には反射防止部21Cが形成される。なお、図5では、第1の無機結晶材料211と第2の無機結晶材料212とが接着層213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211と第2の無機結晶材料212とを単に積層する構成としてもよい。

10

【0039】

本実施形態では、透光性基板21Aの光学軸方位が図6に示される。

図6に示される通り、第1の無機結晶材料211と第2の無機結晶材料212との結晶光学軸 $PO_1$ 、 $PO_2$ が互いに交差するように接着層213で貼り合わされる。本実施形態では、透光性基板21Aが第1の無機結晶材料211と第2の無機結晶材料212とを貼り合わせてなる通称Dタイプの位相差板である。

20

第1の無機結晶材料211の光学軸方位 $\theta_{01}$ と第2の無機結晶材料212の光学軸方位 $\theta_{02}$ とは次の式から求められる。

つまり、透光性基板21Aの法線から見た第1の無機結晶材料211の光学軸方位を $\theta_{01}$ とし、第1の無機結晶材料211の中を進む光線R1に対する光学軸方位を $\theta_{11}$ とし、この光線R1と結晶光学軸 $PO_1$ の法線とのなす角度を $\alpha_{21}$ （図6での図示省略）とし、第1の無機結晶材料211の屈折率を $n_{c1}$ 、第1の無機結晶材料211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211の光学軸方位 $\theta_{01}$ は

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

$$n_a \sin \theta_{01} = n_{c1} \sin \theta_{11} \quad (A21)$$

の式から求められる。

30

【0040】

同様に、第2の無機結晶材料212の中を進む光線に対する光学軸方位を $\theta_{12}$ とし、光線と結晶光学軸 $PO_2$ の法線とのなす角度を $\alpha_{22}$ （図6での図示省略）とし、第2の無機結晶材料212の屈折率を $n_{c2}$ 、第2の無機結晶材料212と隣接する第1の無機結晶材料211の屈折率を $n_{c1}$ とすると、

第2の無機結晶材料212の光学軸方位 $\theta_{02}$ は

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

$$n_{c1} \sin \theta_{02} = n_{c2} \sin \theta_{12} \quad (A22)$$

の式から求められる。

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

40

【0041】

第1の無機結晶材料211と第2の無機結晶材料212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 $\theta_{01}$ は45degである。さらに、光学軸方位 $\theta_{11}$ は45degであり、光学軸方位 $\theta_{12}$ は135deg(45deg+90deg)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 $\theta_{01}$ 、 $\theta_{02}$ を求めることができる。

光学軸方位 $\theta_{01}$ は、

$$n_a \sin \theta_{01} = n_{c1} \sin \theta_{11} \quad (A21)$$

50

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

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

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

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

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

$$= a \tan(0.89)$$

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

光学軸方位  $\theta_{02}$  は、

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

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

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

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

$$= a \tan(\tan 135 \text{ deg} \times \cos 27.32 \text{ deg})$$

$$= a \tan(-0.888)$$

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

10

光学軸方位  $\theta_{02}$  の  $-41.7 \text{ deg}$  を図6の図示に合わせると  $\theta_{02}$  は  $138.3 \text{ deg}$  となる。

【0042】

本実施形態では、第1実施形態と同様に、透光性基板21A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、

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、前記透光性基板の板厚 $t_o$ 、前記無機結晶材料の切断角度をZとしたとき、設計波長、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

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

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

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

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

ここで、前記板厚 $t_o$ は、前記第1の無機結晶材料211と前記第2の無機結晶材料212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211の板厚 $t_{211}$ と前記第2の無機結晶材料212の板厚 $t_{212}$ との合計の板厚となっている。

40

透光性基板21A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211の位相差を $\theta_1$ 、第2の無機結晶材料212の位相差を $\theta_2$ としたときに下式を満足する。

$$|\theta_1 - \theta_2| = 180 \text{ (deg)} \quad \dots (9)$$

式(5)(6)は設計波長と切断角度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

との関係が図7(A)にも示され、切断角度Zと板厚 $t_0$ との関係が図7(B)にも示されている。

【0043】

【表3】

切断角度 z (deg)		95	93	90	89	87	85
設計波長 $\lambda$ (nm)	min	NG	500	450	455	510	NG
	Max	NG	545	640	640	550	NG
板厚(合計) $t_0$ (mm)	Min	NG	1.200	1.060	1.074	1.225	NG
	Max	NG	1.321	1.568	1.568	1.332	NG

10

【0044】

表3及び図7(A)(B)から、透過特性を満足させるための設計波長と切断角度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8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8は本実施形態で設計した1/2波長板である透光性基板21Aの偏光変換効率が表示されている。図8では、太く図示した曲線Lに複数のデータが含まれる。

図8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211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211の位相差は270degであり、第2の無機結晶材料212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212の位相差は110degである。

30

【0045】

従って、第2実施形態では、第1実施形態の(1)(3)~(7)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。

(8)本実施形態では、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をこ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するため、設計波長、透光性基板21Aの板厚 $t_0$ 、無機結晶材料の切断角度をZとしたとき、設計波長、切断角度Z及び板厚 $t_0$ の関係が、条件(B)、つまり、 $-10.75 \times Z^2 + 1933.9 \times Z - 86330 \dots (5)$ 、 $6.25 \times Z^2 - 1126.6 \times Z + 51216 \dots (6)$ 、 $t_0 - 0.0281 \times Z^2 + 5.0512 \times Z - 225.61 \dots (7)$ 、 $t_0 - 0.0173 \times Z^2 - 3.1146 \times Z + 141.39 \dots (8)$ 、第1の無機結晶材料212の位相差を $\phi_1$ 、第2の無機結晶材料212の位相差を $\phi_2$ としたときに、 $|\phi_1 - \phi_2| = 180 \text{ (deg)} \dots (9)$ 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

【0046】

(9)透光性基板21Aを第1の無機結晶材料211と第2の無機結晶材料212との2枚から構成し、透光性基板21Aの法線から見た第1の無機結晶材料211の光学軸方位を $\theta_{01}$ とし、第1の無機結晶材料211の中を進む光線に対する光学軸方位を $\theta_{11}$ と

50

し、この光線と結晶光学軸  $PO_1$  の法線とのなす角度を  $\theta_{21}$  とし、第1の無機結晶材料 211 の屈折率を  $n_{c1}$ 、第1の無機結晶材料 211 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 211 の光学軸方位  $\theta_{01}$  は  $\theta_{01} = a \tan(\tan \theta_{11} \times \cos \theta_{21})$  (A11)、 $n_a \sin \theta_{21} = n_{c1} \sin \theta_{21}$  (A21) の式から求められ、透光性基板 21A の法線から見た第2の無機結晶材料 212 の光学軸方位を  $\theta_{02}$  とし、第2の無機結晶材料 212 の中を進む光線に対する光学軸方位を  $\theta_{12}$  とし、この光線と結晶光学軸  $PO_2$  の法線とのなす角度を  $\theta_{22}$  とし、第2の無機結晶材料 212 の屈折率を  $n_{c2}$ 、第2の無機結晶材料 212 と隣接する第1の無機結晶材料 211 の屈折率を  $n_{c1}$  とすると、第2の無機結晶材料 212 の光学軸方位  $\theta_{02}$  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 211 と第2の無機結晶材料 212 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

【0047】

次に、本発明の第3実施形態を図5、図9、図10に基づいて説明する。

図5に示される通り、第3実施形態では、透光性基板 21A が2枚の第1の無機結晶材料 211 と第2の無機結晶材料 212 とからなる点では第2実施形態と同じであるが、第1の無機結晶材料 211 と第2の無機結晶材料 212 との具体的な構成が第2実施形態と異なる。

図9には、第3実施形態の透光性基板 21A の光学軸方位が示されている。

20

図9において、第3実施形態の透光性基板 21A は、1/2波長板であり、第1の無機結晶材料 211 と第2の無機結晶材料 212 とを結晶光学軸  $PO_1$ 、 $PO_2$  が互いに交差するよう重ね合わせたものである。

【0048】

本実施形態では、透光性基板 21A が第1の無機結晶材料 211 と第2の無機結晶材料 212 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 211 の光学軸方位  $\theta_{01}$  と、第2の無機結晶材料 212 の光学軸方位  $\theta_{02}$  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  $\theta_{11}$  と光学軸方位  $\theta_{12}$  との和が90degである。

30

第1の無機結晶材料 211 と第2の無機結晶材料 212 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  $\theta_{11}$  は22.5degであり、光学軸方位  $\theta_{12}$  は67.5deg (=90deg - 22.5deg) であり、入射角  $\theta$  は45degである。式(A11)(A21)(A12)(A22)から、光学軸方位  $\theta_{01}$ 、 $\theta_{02}$  を求めることができる。

光学軸方位  $\theta_{01}$  は、

$$n_a \sin \theta_{21} = n_{c1} \sin \theta_{21} \tag{A21}$$

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

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

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

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

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

$$= a \tan(0.89)$$

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

40

光学軸方位  $\theta_{02}$  は、

$$n_{c1} \sin \theta_{21} = n_{c2} \sin \theta_{22} \tag{A22}$$

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

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

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

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

$$= a \tan(2.14)$$

50

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

## 【0049】

第3実施形態では、前記各実施形態と同様に、透光性基板21A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つの規格を満足するように設計条件を設定する。

10

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、前記透光性基板の板厚 $t_0$ 、前記無機結晶材料の切断角度を $Z$ としたとき、設計波長、切断角度 $Z$ 及び板厚 $t_0$ の関係が、式(10)(11)(12)(13)を満足する。

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

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

$$t_0 \quad -2E-08 \times Z^4 + 6E-06 \times Z^3 - 0.0008 \times Z^2 + 0.0495 \times Z - 0.9844 \dots (12) \quad 20$$

$$t_0 \quad 5E-07 \times Z^3 - 0.0001 \times Z^2 + 0.0065 \times Z - 0.0924 \dots (13)$$

ここで、前記板厚 $t_0$ は、第2実施形態と同様に、前記第1の無機結晶材料211と前記第2の無機結晶材料212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211の板厚 $t_{211}$ と前記第2の無機結晶材料212の板厚 $t_{212}$ との合計の板厚となっている。

式(10)(11)は設計波長と切断角度 $Z$ 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 $t_0$ 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。

30

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 $Z$ と設計波長との関係と切断角度 $Z$ と板厚 $t_0$ との関係が示されている。切断角度 $Z$ と設計波長との関係が図10(A)にも示され、切断角度 $Z$ と板厚 $t_0$ との関係が図10(B)にも示されている。

## 【0050】

【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 <sub>o</sub> (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

## 【0051】

20

表 4 及び図 10 (A) (B) から、透過特性を満足させるための設計波長 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 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 11 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 11 は本実施形態で設計した 1/2 波長板である透光性基板 21A の偏光変換効率が示されている。図 11 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 11 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、透過損失の平均は 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、透過損失を 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 211 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 211 の位相差は 270 deg であり、第 2 の無機結晶材料 212 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 212 の位相差は 110 deg である。

## 【0052】

40

従って、第 3 実施形態では、第 2 実施形態の (1) (3) ~ (7) (9) 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。

(10) 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 をこ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するために、設計波長  $\lambda$ 、透光性基板 21A 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  $\lambda$ 、切断角度 Z 及び板厚  $t_o$  の関係が、条件 (C)、つまり、 $-2E-07 \times Z^6 + 0.0001 \times Z^5 - 0.024 \times Z^4 + 2.7749 \times Z^3 - 178.61 \times Z^2 + 6067.8 \times Z - 84312 \dots$  (10)、 $-4E-05 \times Z^3 + 0.0757 \times Z^2 - 10.073 \times Z + 696.9 \dots$  (11)、 $t_o = -2E-08 \times Z^4 + 6E-06 \times Z^3 - 0.0008 \times Z^2 + 0.0495 \times Z - 0.9844 \dots$  (12)、 $t_o = 5E-07 \times Z^3 - 0.0001 \times Z^2 + 0.0065 \times Z - 0.0924 \dots$  (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。

50

## 【 0 0 5 3 】

次に、本発明の第 4 実施形態を図 1 2 から図 1 5 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 1 0 0 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 1 2 は液晶プロジェクターの概略構成を示す。

図 1 2 において、液晶プロジェクター 1 0 0 は、インテグレーター照明光学系 1 1 0 と、色分離光学系 1 2 0 と、リレー光学系 1 3 0 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 1 4 0 と、光変調装置 1 4 0 で変調された光を拡大投射する投写光学装置 1 5 0 とを備える。

インテグレーター照明光学系 1 1 0 は、後述する 3 枚の透過型液晶パネル 1 4 1 R, 1 4 1 G, 1 4 1 B 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 1 1 1 と、第 1 レンズアレイ 1 1 2 と、偏光変換装置 2 0 0 と、重畳レンズ 1 1 3 とを備える。

10

## 【 0 0 5 4 】

光源装置 1 1 1 は、光源ランプ 1 1 4 から射出された輻射状の光線をリフレクター 1 1 5 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 2 0 0 は、第 2 レンズアレイ 2 1 0 と、遮光板 2 2 0 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。

色分離光学系 1 2 0 は、2 枚のダイクロイックミラー 1 2 1, 1 2 2 と、反射ミラー 1 2 3 とを備え、ダイクロイックミラー 1 2 1, 1 2 2 によりインテグレーター照明光学系 1 1 0 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 1 2 1 で分離された青色光は、反射ミラー 1 2 3 によって反射され、フィールドレンズ 1 4 2 を通って、青色用の透過型液晶パネル 1 4 1 B に到達する。

20

ダイクロイックミラー 1 2 1 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 1 2 2 によって反射され、フィールドレンズ 1 4 2 を通って、緑色用の透過型液晶パネル 1 4 1 G に到達する。

リレー光学系 1 3 0 は、入射側レンズ 1 3 1 と、リレーレンズ 1 3 3 と、反射ミラー 1 3 2, 1 3 4 とを備える。色分離光学系 1 2 0 で分離された赤色光は、ダイクロイックミラー 1 2 2 を透過して、リレー光学系 1 3 0 を通り、さらにフィールドレンズ 1 4 2 を通って、赤色光用の透過型液晶パネル 1 4 1 R に到達する。

30

光変調装置 1 4 0 は、透過型液晶パネル 1 4 1 R, 1 4 1 G, 1 4 1 B と、クロスダイクロイックプリズム 1 4 3 とを備える。このクロスダイクロイックプリズム 1 4 3 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。

## 【 0 0 5 5 】

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 1 3 から図 1 5 に示されている。

図 1 3 は保持部材 5 の斜視図、図 1 4 ( A ) は保持部材 5 の平面図、図 1 4 ( 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 2 1 の両端部と反射素子 2 2 の両端部とをそれぞれ保持する一对の保持板 5 1 と、これら的一对の保持板 5 1 の両端部をそれぞれ連結する一对の連結板 5 2 とを有する構造である。これらの保持板 5 1 及び連結板 5 2 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。

40

一对の保持板 5 1 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 とをそれぞれ案内するガイド溝 5 1 A が複数対形成されている。これらのガイド溝 5 1 A は、その長手方向が入射光に対して 4 5 deg または 1 3 5 deg となるように形成されている。

## 【 0 0 5 6 】

なお、図 1 3 及び図 1 4 において、ガイド溝 5 1 A は、偏光分離素子 2 1 を収納するために 4 対が図示され、反射素子 2 2 を収納するために 2 対が図示されているが、これは、ガイド溝 5 1 A 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

50

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 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。ただし、ガイド溝 5 1 A 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 2 1 や反射素子 2 2 の数に対応する。

【 0 0 5 7 】

図 1 5 は保持部材 5 の一部の分解斜視図である。図 1 5 において、ガイド溝 5 1 A は、一端部が保持板 5 1 の一側面に開口され、他端部が偏光分離素子 2 1 や反射素子 2 2 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 5 1 A は、その幅寸法が偏光分離素子 2 1 や反射素子 2 2 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 2 1 や反射素子 2 2 の長さ寸法と同じあるいはやや大きく形成されている。

10

【 0 0 5 8 】

従って、第 4 実施形態では、第 1 実施形態の ( 1 ) から ( 6 ) 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。

( 1 1 ) 光源装置 1 1 1 からの光を S 偏光 S 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 1 4 0 と、この光変調装置 1 4 0 により変調された光を投写する投写光学装置 1 5 0 とを備えて液晶プロジェクター 1 0 0 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 1 0 0 の投影精度を高いものにできる。

【 0 0 5 9 】

( 1 2 ) 光変調装置 1 4 0 は、透過型液晶パネル 1 4 1 R , 1 4 1 G , 1 4 1 B 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 1 0 0 を提供することができる。

20

( 1 3 ) 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 2 1 の両端部と反射素子 2 2 の両端部とをそれぞれ保持する一对の保持板 5 1 と、これら的一对の保持板 5 1 の両端部をそれぞれ連結する一对の連結板 5 2 とを有する構造であるため、偏光分離素子 2 1 及び反射素子 2 2 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。

【 0 0 6 0 】

( 1 4 ) 一对の保持板 5 1 と一对の連結板 5 2 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。

30

( 1 5 ) 一对の保持板 5 1 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 とをそれぞれ案内するガイド溝 5 1 A が形成され、これらのガイド溝は一对の保持板 5 1 の一側面にそれぞれ開口されているので、偏光分離素子 2 1 と反射素子 2 2 とをそれぞれガイド溝 5 1 A 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。

【 0 0 6 1 】

次に、本発明の第 5 実施形態を図 1 6 及び図 1 7 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 1 6 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 1 7 は保持部材の一部を示す分解斜視図である。

40

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。

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。

【 0 0 6 2 】

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 4 5 deg または 1 3 5 deg 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

50

状とされた凹部である。

第5実施形態では、ガイド溝71A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21を収納するために4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。

【0063】

一对の連結板72は、長尺状の板材721と、この板材721に連結され一对の保持板71を互いに向き合う方向に付勢する係合片722とを有する。

これらの板材721と係合片722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722は板材721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71に形成された凹部71Bに係合する凸状の抑え部722Aが形成されている。凸状の抑え部722Aと凹部71Bとは保持板71の長手方向と直交する方向に延びて形成されている。

10

【0064】

従って、第5実施形態では、第4実施形態の(1)~(6)(11)~(15)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。

(16)保持部材7は、一对の保持板71と、一对の保持板71の端部に設けられた一对の連結板72とを備え、一对の連結板72は、長尺状の板材721と、この板材721に連結され一对の保持板71を互いに向き合う方向に付勢する係合片722とを有する。そのため、一对の連結板72によって、一对の保持板71を互いに近接する方向に付勢するので、偏光分離素子21と反射素子22とを確実に保持部材7で保持することができるから、偏光分離素子21や反射素子22が保持部材7から誤って脱落することがない。

20

【0065】

(17)係合片722は保持板71に形成された凹部71Bに係合する抑え部722Aを有するので、連結板72が保持板71の長手方向にずれて外れることがない。そのため、保持板71から連結板72が誤って外れることを防止できる。

(18)保持板71に形成され偏光分離素子21や反射素子22の端部が保持されるガイド溝71Aは、平面が矩形状とされた凹部であるため、保持板71の平面内での偏光分離素子21や反射素子22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21や反射素子22が保持部材7から誤って脱落することがない。

30

【0066】

次に、本発明の第6実施形態を図18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18は第6実施形態にかかる偏光分離素子21の偏光分離部210Bの斜視図である。図18において、偏光分離素子21の偏光分離部210Bは誘電基板21D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21Eから形成される。導電電極21E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21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。

40

【0067】

従って、第6実施形態によれば、第1実施形態の(1)~(6)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)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。

【0068】

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。

50

例えば、前記実施形態では、偏光分離素子 2 1 を構成する透光性基板 2 1 A の両面に反射防止部 2 1 C を設けたが、本発明では、必ずしも反射防止部 2 1 C 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 2 1 C を設ければ、偏光分離素子 2 1 及び反射素子 2 2 を透過する光の量が多くなる。

さらに、第 2 実施形態及び第 3 実施形態では、第 1 の無機結晶材料 2 1 1 と第 2 の無機結晶材料 2 1 2 とを積層した構成としたが、本発明では、図 1 9 に示される通り、第 1 の無機結晶材料 2 1 1 と第 2 の無機結晶材料 2 1 2 とを離隔配置し、かつ、第 1 の無機結晶材料 2 1 1 の両面と第 2 の無機結晶材料 2 1 2 の片面とに反射防止部 2 1 C を形成するものでもよい。

#### 【 0 0 6 9 】

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 2 2 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 2 1 では、透光性基板 2 1 A 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 2 1 を入射光 I L に対して略 4 5 ( d e g ) あるいは 1 3 5 ( d e g ) 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、6 0 ( d e g ) や 1 2 0 ( d e g ) としてもよい。

#### 【 産業上の利用可能性 】

#### 【 0 0 7 0 】

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 】

#### 【 0 0 7 1 】

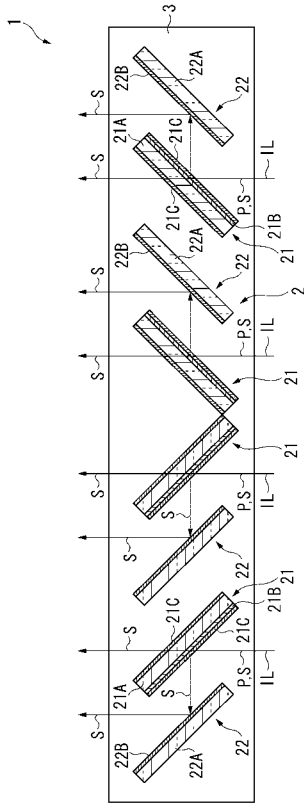
1 , 4 , 6 ... 偏光変換ユニット、 2 ... 偏光変換素子、 3 , 5 , 7 ... 保持部材、 2 1 ... 偏光分離素子、 2 1 A ... 透光性基板、 2 1 B ... 偏光分離部、 2 2 ... 反射素子、 5 1 ... 保持板、 5 1 A ... ガイド溝、 5 2 , 7 2 ... 連結板、 7 1 ... 保持板、 7 1 A ... ガイド溝、 1 0 0 ... 液晶プロジェクター（投写型映像装置）、 1 1 1 ... 光源装置、 1 4 0 ... 光変調装置（光変調手段）、 1 4 1 R , 1 4 1 G , 1 4 1 B ... 透過型液晶パネル、 1 5 0 ... 投写光学装置（投写光学系）、 2 1 1 ... 第 1 の無機結晶材料、 2 1 2 ... 第 2 の無機結晶材料、 2 1 3 ... 接着層、 P ... P 偏光（第 1 の直線偏光）、 P O , P O <sub>1</sub> , P O <sub>2</sub> ... 結晶光学軸、 S ... S 偏光（第 2 の直線偏光）

10

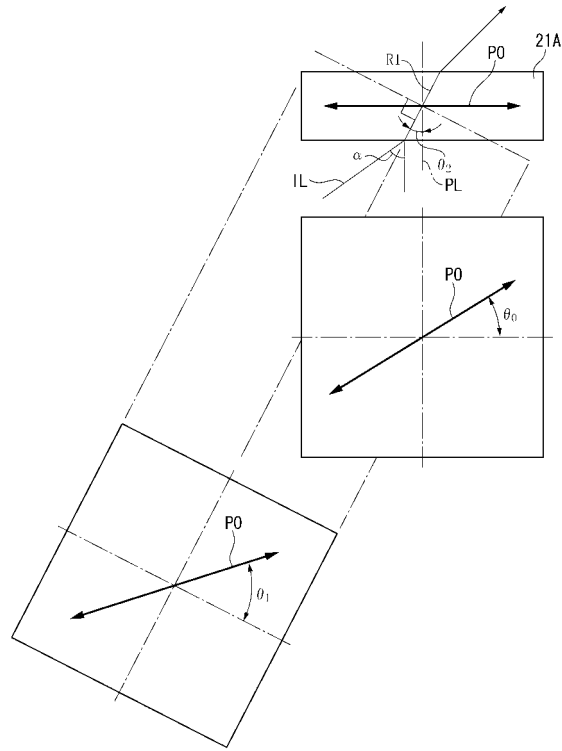
20

30

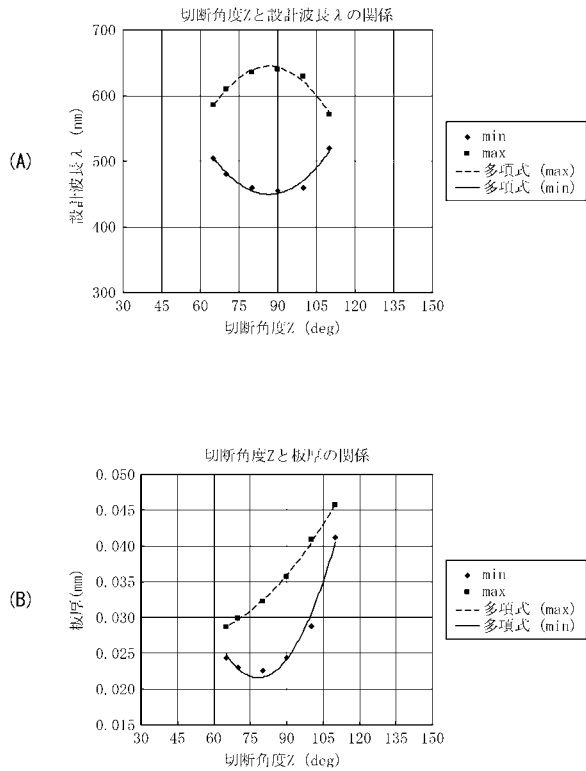
【 図 1 】



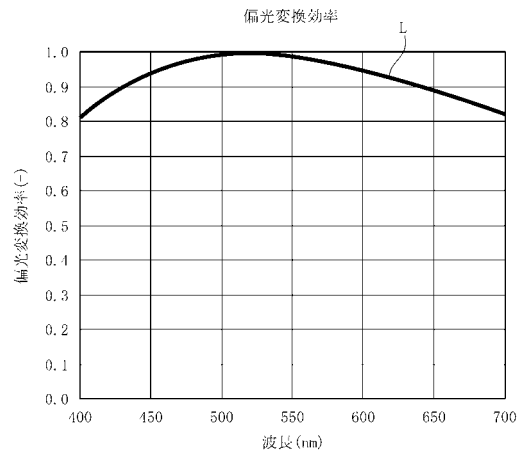
【 図 2 】



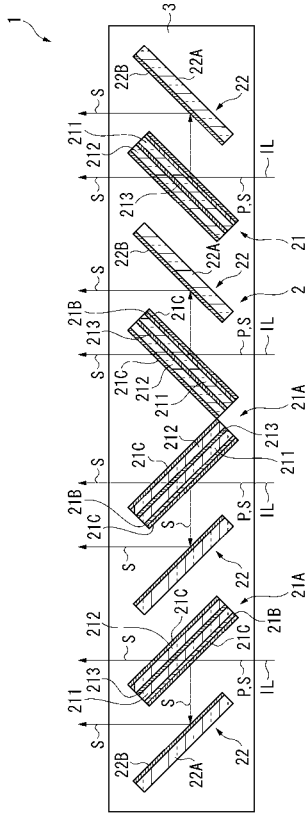
【 図 3 】



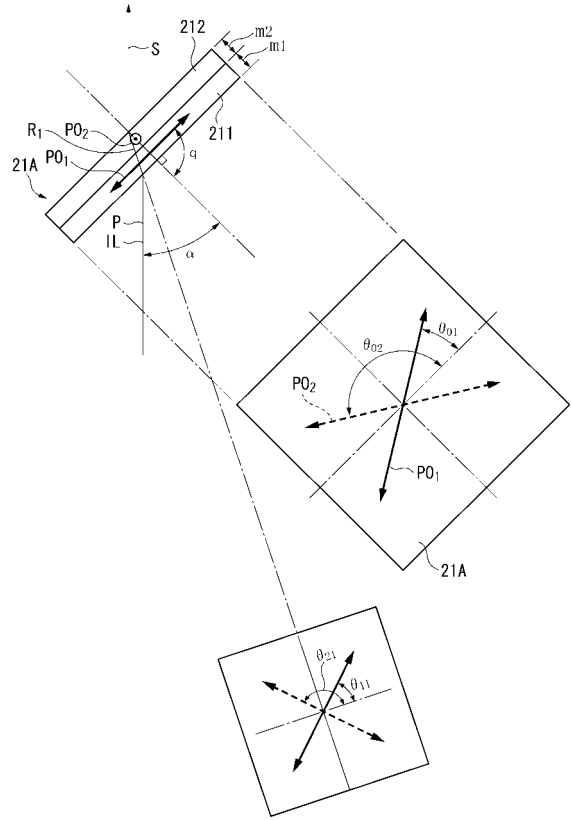
【 図 4 】



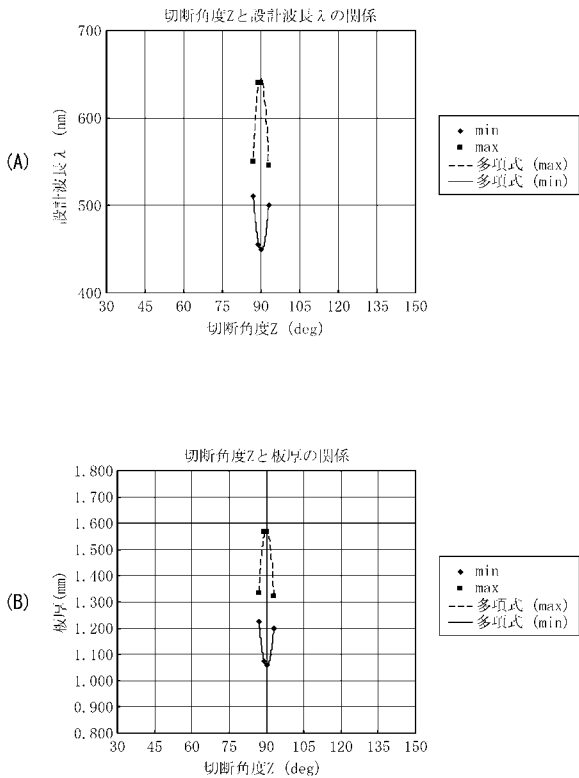
【 図 5 】



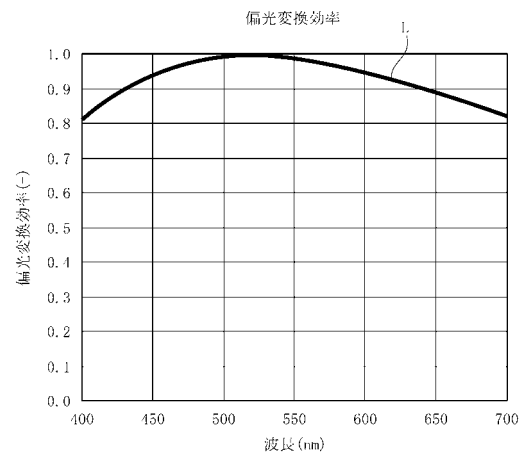
【 図 6 】



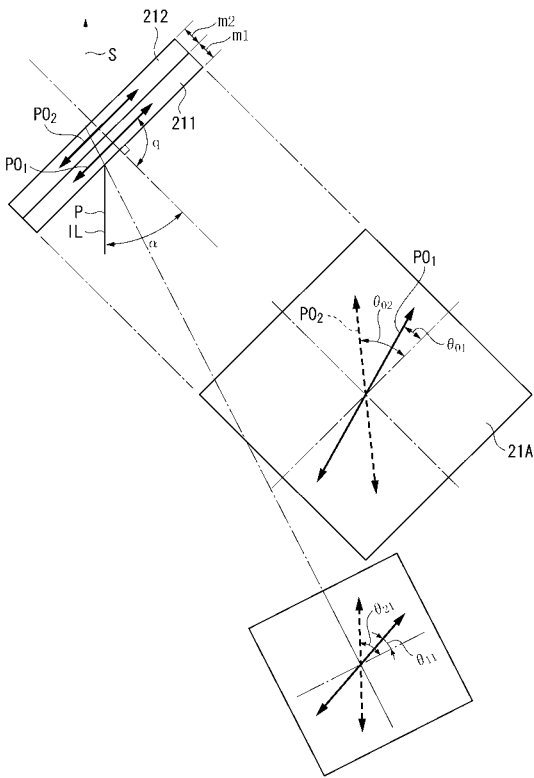
【 図 7 】



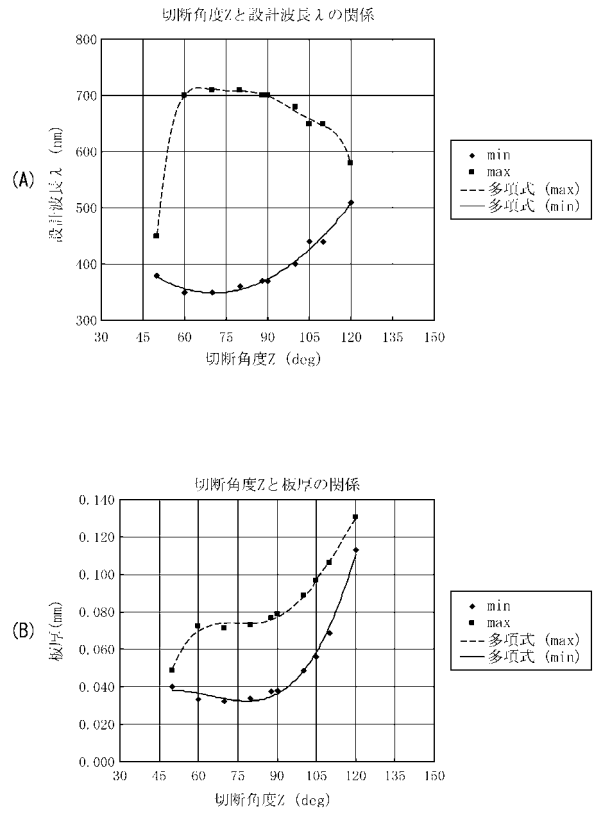
【 図 8 】



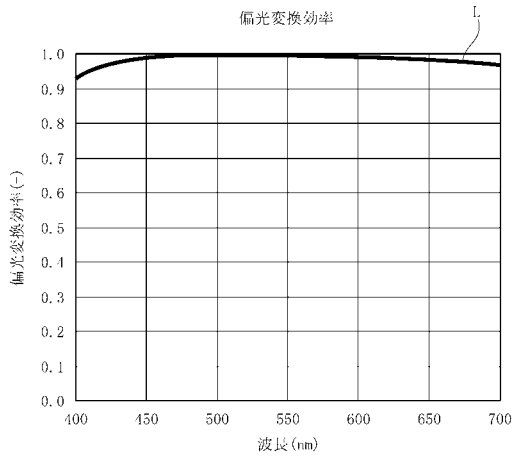
【 図 9 】



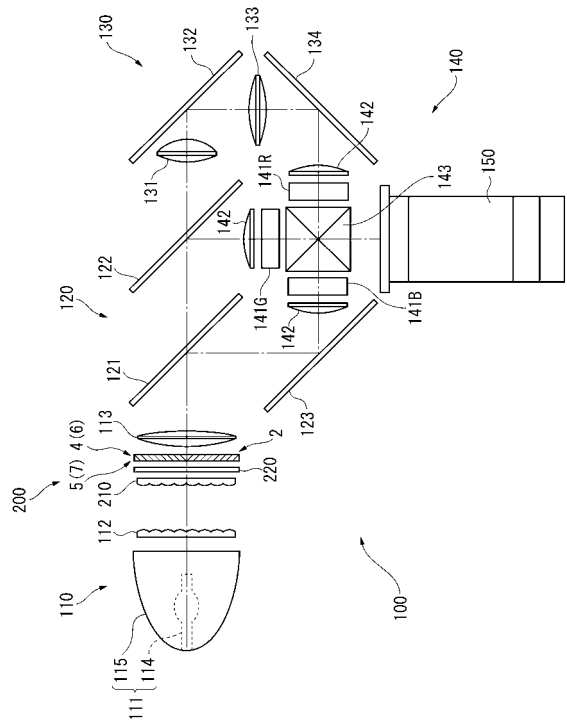
【 図 1 0 】



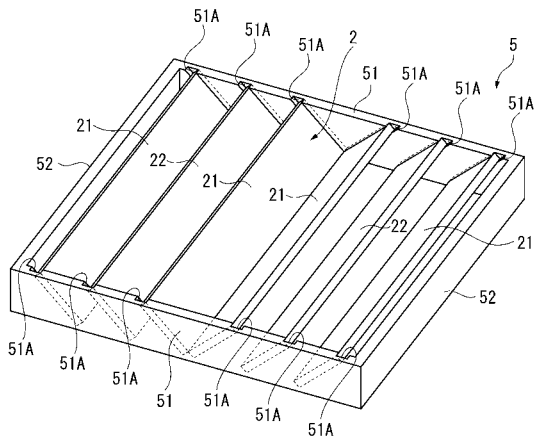
【 図 1 1 】



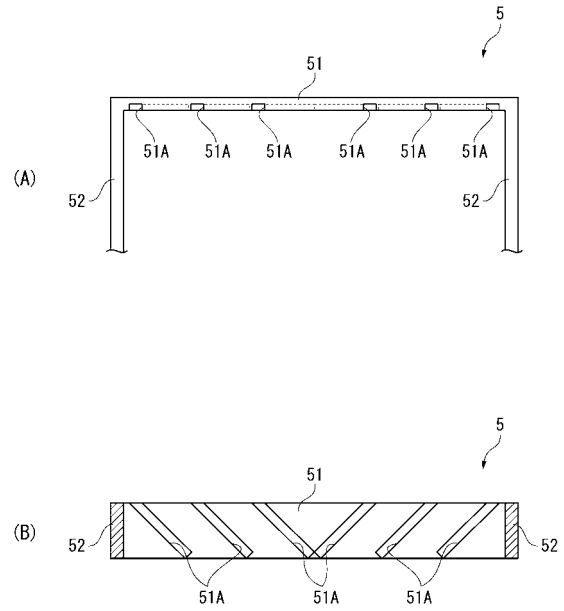
【 図 1 2 】



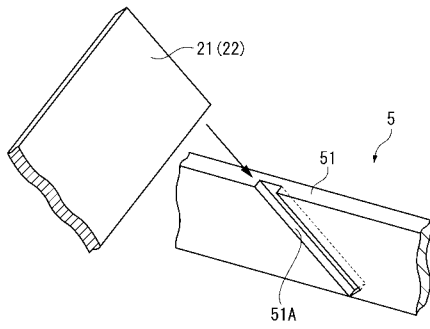
【 図 1 3 】



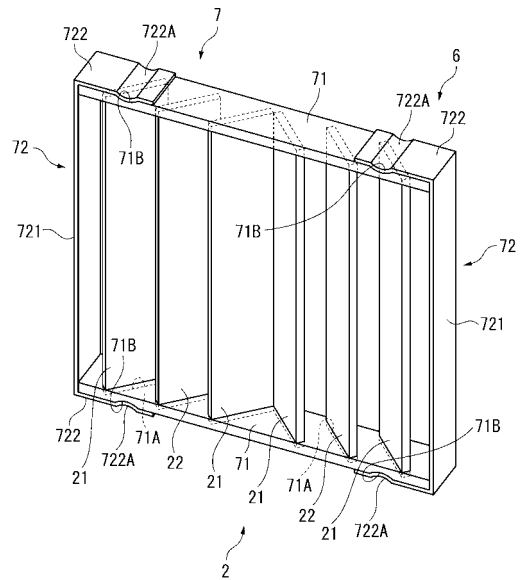
【 図 1 4 】



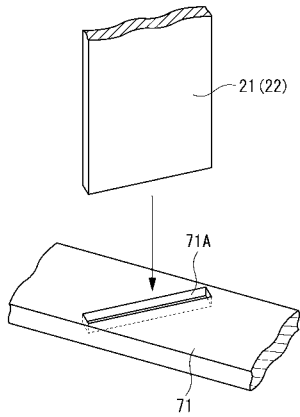
【 図 1 5 】



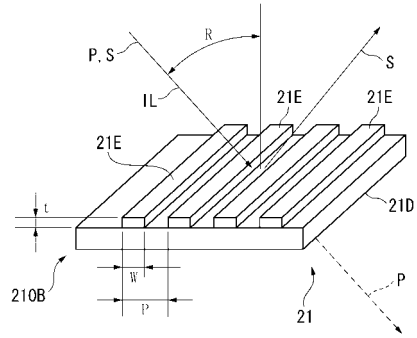
【 図 1 6 】



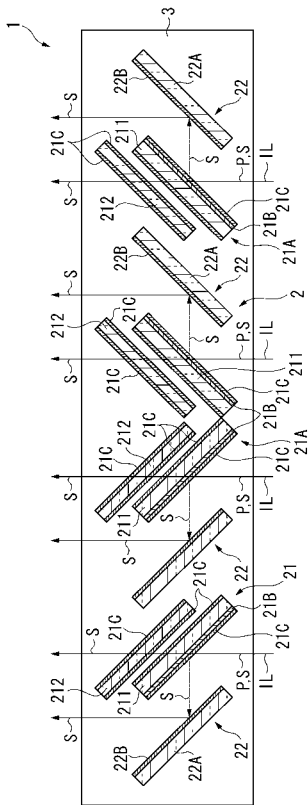
【 図 1 7 】



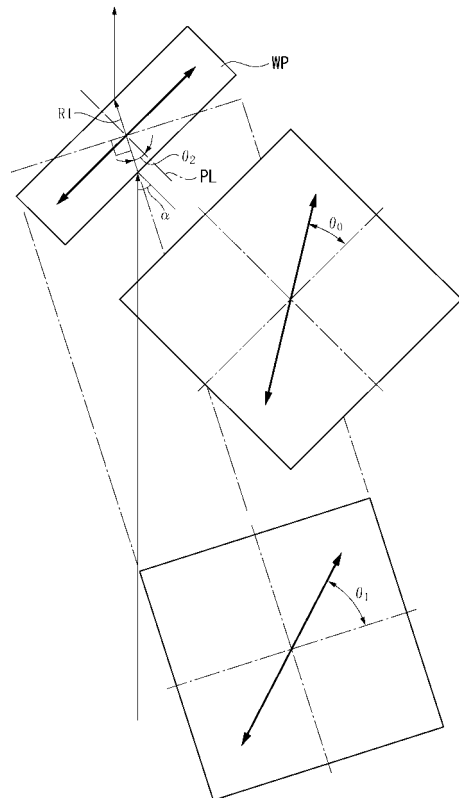
【 図 1 8 】



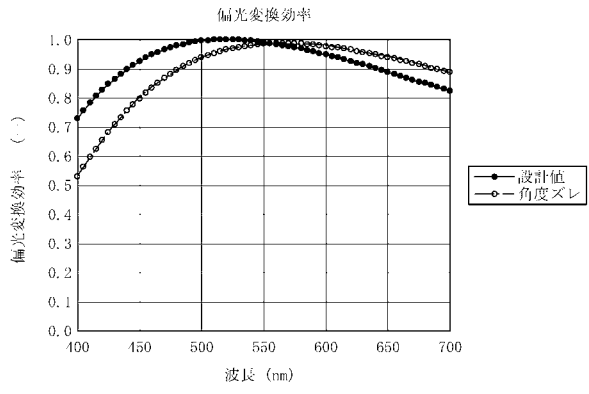
【 図 1 9 】



【 図 2 0 】



【 図 2 1 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2H088 EA14 EA15 HA13 HA15 HA18 HA20 HA21 HA24 HA28  
2H149 AA02 AA17 AB01 BA04 BB28 DA02 DA12 DB38 FA43Y FC07  
FD03 FD05 FD47  
2K103 AA01 AA05 AA11 AB04 BC03 BC11 BC14 CA17 CA26 CA29  
CA75 CA76