

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3891178号

(P3891178)

(45) 発行日 平成19年3月14日(2007.3.14)

(24) 登録日 平成18年12月15日(2006.12.15)

(51) Int. Cl.

F I

GO 2 B 27/28 (2006.01)
 GO 2 B 5/28 (2006.01)
 GO 2 B 5/30 (2006.01)
 GO 2 B 5/32 (2006.01)
 GO 2 B 27/10 (2006.01)

GO 2 B 27/28 Z
 GO 2 B 5/28
 GO 2 B 5/30
 GO 2 B 5/32
 GO 2 B 27/10

請求項の数 14 (全 32 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2003-507615 (P2003-507615)
 (86) (22) 出願日 平成14年6月24日(2002.6.24)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2002/006310
 (87) 国際公開番号 W02003/001277
 (87) 国際公開日 平成15年1月3日(2003.1.3)
 審査請求日 平成17年5月9日(2005.5.9)
 (31) 優先権主張番号 特願2001-190289 (P2001-190289)
 (32) 優先日 平成13年6月22日(2001.6.22)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 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 100095728
 弁理士 上柳 雅誉
 (74) 代理人 100107076
 弁理士 藤網 英吉
 (74) 代理人 100107261
 弁理士 須澤 修
 (72) 発明者 伊藤 嘉高
 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

審査官 三橋 健二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学系およびプロジェクト

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源からの光を複数の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、
 それぞれの前記部分光束を第1色の部分光束と第2色の部分光束とに分離し、第1色の部分光束と第2色の部分光束をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、

複数の偏光分離膜と複数の反射膜とが交互に配列された偏光ビームスプリッタアレイと、前記偏光分離膜を透過した光が射出される位置または前記反射膜によって反射された光が射出される位置に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、前記偏光ビームスプリッタアレイにおける前記偏光分離膜が配列される入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過する前記第1色の部分光束と、前記偏光分離膜を反射した後前記反射膜を反射する前記第1色の部分光束を第1の偏光方向に揃え、前記偏光ビームスプリッタアレイにおける前記反射膜が配列される入射側端面に入射し、前記反射膜を反射した後前記偏光分離膜を反射する前記第2色の部分光束と、前記反射膜を反射した後前記偏光分離膜を透過し前記反射した反射膜とは別の反射膜を反射する前記第2色の部分光束を第2の偏光方向に揃えて射出する偏光変換素子と、

前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、

前記偏光変換素子より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有していることを特徴とする照明光学系。

10

20

【請求項 2】

光源からの光を第 1 の色光と第 2 の色光とに分離し、第 1 の色光と第 2 の色光をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、

前記第 1 の色光を複数の第 1 色の部分光束に分割し、前記第 2 の色光を複数の第 2 色の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、

複数の偏光分離膜と複数の反射膜とが交互に配列された偏光ビームスプリッタアレイと、前記偏光分離膜を透過した光が射出される位置または前記反射膜によって反射された光が射出される位置に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、前記偏光ビームスプリッタにおける前記偏光分離膜が配列される入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過する前記第 1 色の部分光束と、前記偏光分離膜を反射した後前記反射膜を反射する前記第 1 色の部分光束を第 1 の偏光方向を有する偏光光に揃え、前記偏光ビームスプリッタにおける前記反射膜が配列される入射側端面に入射し、前記反射膜を反射した後前記偏光分離膜を反射する前記第 2 色の部分光束と、前記反射膜を反射した後前記偏光分離膜を透過し前記反射した反射膜とは別の反射膜を反射する前記第 2 色の部分光束を第 2 の偏光方向を有する偏光光に揃えて射出する偏光変換素子と、

前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、

前記偏光変換素子より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有していることを特徴とする照明光学系。

【請求項 3】

光源からの光を複数の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、

それぞれの前記部分光束を第 1 色の部分光束と第 2 色の部分光束とに分離し、第 1 色の部分光束と第 2 色の部分光束をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、

複数の偏光分離膜が所定の間隔で配列された偏光ビームスプリッタアレイと、一つおきの前記偏光分離膜に対応するように配列され、前記偏光ビームスプリッタアレイの射出側に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、

前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられていない入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過する前記第 1 色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射されて前記偏光方向回転素子を透過する前記第 1 色の部分光束とを第 1 の偏光方向に揃え、

前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられている入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過した後前記偏光方向回転素子を透過する前記第 2 色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射される前記第 2 色の部分光束とを第 2 の偏光方向に揃えて射出する偏光変換素子と、

前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、

前記偏光変換素子より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有していることを特徴とする照明光学系。

【請求項 4】

光源からの光を第 1 の色光と第 2 の色光とに分離し、第 1 の色光と第 2 の色光をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、

前記第 1 の色光を複数の第 1 色の部分光束に分割し、前記第 2 の色光を複数の第 2 色の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、

複数の偏光分離膜が所定の間隔で配列された偏光ビームスプリッタアレイと、一つおきの前記偏光分離膜に対応するように配列され、前記偏光ビームスプリッタアレイの射出側に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、

前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられていない入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過する前記第 1 色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射されて前記偏光方向回転素子を透過する前記第 1 色の

10

20

30

40

50

部分光束とを第 1 の偏光方向に揃え、

前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられている入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過した後前記偏光方向回転素子を透過する前記第 2 色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射される前記第 2 色の部分光束とを第 2 の偏光方向に揃えて射出する偏光変換素子と、

前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、

前記偏光変換素子より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有していることを特徴とする照明光学系。

【請求項 5】

10

請求項 1 ~ 4 のいずれか一つにおいて、

前記色光分離光学素子は第 1 のミラーと第 2 のミラーを備えており、前記第 1 のミラーは色分離を行うダイクロイックミラーであり、前記第 2 のミラーは反射ミラーであることを特徴とする照明光学系。

【請求項 6】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一つにおいて、

前記色光分離光学素子は、板状の透光性部材と、前記透光性部材の対向する 2 つの面のうち一方の面に設けられたダイクロイックミラーと、他方の面に設けられた反射ミラーと、を備えた光学部品により構成されていることを特徴とする照明光学系。

【請求項 7】

20

請求項 1 ~ 4 のいずれか一つにおいて、

前記色光分離光学素子は、板状の透光性部材と、前記透光性部材の対向する 2 つの面のうち一方の面に固着された直角プリズムと、他方の面に設けられた反射ミラーと、前記透光性部材と前記直角プリズムとの間に設けられたダイクロイックミラーと、を備えた光学部品により構成されていることを特徴とする照明光学系。

【請求項 8】

請求項 1 ~ 4 のいずれか一つにおいて、

前記色光分離光学素子は、板状の透光性部材と、前記透光性部材の対向する 2 つの面のうち一方の面に固着された複数個の小寸法直角プリズムと、他方の面に設けられた反射ミラーと、前記透光性部材と前記直角プリズムとの間に設けられたダイクロイックミラーと、を備えた光学部品により構成されていることを特徴とする照明光学系。

30

【請求項 9】

請求項 1 ~ 8 のいずれか一つにおいて、

前記偏光ビームスプリッタアレイの入射側に不要な色光の入射を遮るためのダイクロイックフィルターアレイが設けられていることを特徴とする照明光学系。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 9 のいずれか一つにおいて、

前記色光分離光学素子は、緑色光と赤および青色光とを分離する色分解特性を有していることを特徴とする照明光学系。

【請求項 11】

40

請求項 1 ~ 10 のいずれか一つに記載の照明光学系と、

前記照明光学系から射出された光を変調する光変調装置と、

前記光変調装置によって変調された光を投写する投写レンズと、

を有することを特徴とするプロジェクタ。

【請求項 12】

請求項 1 ~ 10 のいずれか一つに記載の照明光学系と、

前記照明光学系から射出された前記第 1 色の光を変調する第 1 の反射型光変調装置と、

前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 3 の色光を変調する第 2 の反射型光変調装置と、

前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 4 の色光を変調する第 3 の

50

反射型光変調装置と、

前記照明光学系から射出された光を前記第 1 色の光と前記第 2 色の光とに分離する偏光ビームスプリッタと、

前記第 2 色の光を前記第 3 の色光と前記第 4 の色光とに分離するとともに前記第 2 の反射型光変調装置から射出された光と前記第 3 の反射型光変調装置から射出された光を合成して前記偏光ビームスプリッタに向けて射出する色光分離・合成素子と、を有し、

前記第 1 の反射型光変調装置から射出された光と前記色光分離・合成素子から射出された光のうち、前記偏光ビームスプリッタによって選択された光を投写する投写レンズと、を有することを特徴とするプロジェクタ。

【請求項 13】

請求項 1 ~ 10 のいずれか一つに記載の照明光学系と、

前記照明光学系から射出された光に含まれる前記第 1 色の光を変調する第 1 の反射型光変調装置と、

前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 3 の色光を変調する第 2 の反射型光変調装置と、

前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 4 の色光を変調する第 3 の反射型光変調装置と、

第 1 ~ 第 4 の偏光ビームスプリッタと、

前記第 1 の偏光ビームスプリッタと前記第 3 の偏光ビームスプリッタとの間に設けられた第 1 の波長選択位相差板と、

前記第 3 の偏光ビームスプリッタと前記第 4 の偏光ビームスプリッタとの間に設けられた第 2 の波長選択位相差板と、

前記第 4 の偏光ビームスプリッタから射出された光を投写する投写レンズと、を備え、

前記第 1 の偏光ビームスプリッタは前記照明光学系から射出された光を前記第 1 色の光と前記第 2 色の光とに分離し、

前記第 2 の偏光ビームスプリッタは、前記第 1 の偏光ビームスプリッタによって分離された前記第 1 色の光を前記第 1 の反射型光変調装置に導くと共に、前記第 1 の反射型光変調装置によって変調された前記第 1 色の色光を前記第 4 の偏光ビームスプリッタに導き、

前記第 1 の波長選択位相差板は、前記第 1 の偏光ビームスプリッタによって分離された前記第 2 色の光に含まれる前記第 3 の色光と前記第 4 の色光のうち、前記第 3 の色光の偏光方向のみを約 90° 回転させ、

前記第 3 の偏光ビームスプリッタは、前記第 1 の波長選択位相差板から射出された前記第 3 の色光と前記第 4 の色光を前記第 2 の反射型光変調装置と前記第 3 の反射型光変調装置に導くと共に、前記第 2 の反射型光変調装置および前記第 3 の反射型光変調装置によって変調された前記第 3 の色光および前記第 4 の色光を前記第 2 の波長選択位相差板に導き、

前記第 2 の波長選択位相差板は、前記第 3 の偏光ビームスプリッタから射出された前記第 3 の色光と前記第 4 の色光のうち、前記第 3 の色光の偏光方向のみを約 90° 回転させ

前記第 4 の偏光ビームスプリッタは、前記第 2 の偏光ビームスプリッタから射出された前記第 1 色の光と、前記第 2 の波長選択位相差板から射出された前記第 3 の色光と前記第 4 の色光とを合成して前記投写レンズに向けて射出すること、

を特徴とするプロジェクタ。

【請求項 14】

請求項 1 ~ 10 のいずれか一つに記載の照明光学系と、

前記照明光学系から射出された光を第 1 色の光と第 2 色の光と第 3 色の光とに分離する色分離光学系と、

前記色分離光学系により分離された前記第 1 色の光を画像信号に応じて変調する第 1 の透過型光変調装置と、

前記色分離光学系により分離された前記第 2 色の光を画像信号に応じて変調する第 2 の

10

20

30

40

50

透過型光変調装置と、

前記色分離光学系により分離された前記第3色の光を画像信号に応じて変調する第3の透過型光変調装置と、

前記第1の透過型光変調装置、前記第2の透過型光変調装置、及び前記第3の透過型光変調装置によりそれぞれ変調された前記第1色の光、前記第2色の光、及び前記第3色の光を合成する色合成光学系と、

前記色合成光学系により合成された光を投写する投写レンズと、
を有することを特徴とするプロジェクタ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

この発明は、光源から射出された光の面内照度分布を均一化する照明光学系、および、そのような光学系を有するプロジェクタに関するものである。

【背景技術】

【0002】

液晶プロジェクタとして、3個の反射型液晶パネルを使用するいわゆる3板式の反射型液晶プロジェクタが知られている。3板式の反射型液晶プロジェクタは、光源から発せられた光を、色分離系によって光の3原色である赤(R)、緑(G)、青(B)の色光に分光し、分光した色光によって色光毎の3個の反射型液晶パネルを照明し、各反射型液晶パネルによって変調された3原色の光を色合成し、それにより得られるカラー画像を投写

20

【0003】

上述の反射型液晶プロジェクタでは、装置の小型化を重視して、光軸に対して45°に配置したダイクロイック面を備えた光学素子を色分離や色合成に用いることが多い。しかし、このようなプロジェクタでは、ダイクロイック面の分光特性の偏光依存性によって色ムラが発生しやすく、高画質化が難しいと云う問題がある。

【0004】

そこで、ダイクロイック面の特性を考慮して、色ムラが発生し難く、高画質化を実現する光学系が幾つか提案されている。例えば、特開平7-84218号公報、特開平11-64794号公報には、ダイクロイック面に代えて、波長選択位相差板や分光機能を備えた偏光ビームスプリッタを使用して分光を行う光学系が提案されている。しかしながら、波長選択位相差板や分光機能を備えた偏光ビームスプリッタにおいて、急峻に変化する分光特性を実現することは難しく、高価なものになってしまうという課題があった。

30

【0005】

従って、この発明は、特定の色光の偏光方向が他の色光のそれに対して約90°異なる照明光を効率よく生成し、その様な照明光で被照明領域を均一な照度分布で照明できる照明光学系を提供することを目的とする。さらに、その様な照明光学系を適用することによって、色分離・合成光学系を構成するダイクロイック面における分光特性の偏光依存性を軽減し、高画質な投写画像を表示するプロジェクタを提供することを目的としている。

【発明の開示】

40

この発明による第1の照明光学系は、光源からの光を複数の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、それぞれの前記部分光束を第1色の部分光束と第2色の部分光束とに分離し、第1色の部分光束と第2色の部分光束をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、複数の偏光分離膜と複数の反射膜とが交互に配列された偏光ビームスプリッタアレイと、前記偏光分離膜を透過した光が射出される位置または前記反射膜によって反射された光が射出される位置に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、前記偏光分離膜に入射する前記第1色の部分光束を第1の偏光方向に揃え、前記反射膜に入射する前記第2色の部分光束を第2の偏光方向に揃えて射出する偏光変換素子と、前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、前記偏光変換素子

50

より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有しているものである。

【0006】

この構成によれば、光源からの光が、まず、光束分割光学素子によって複数の部分光束に分割および集光され、その複数の部分光束のそれぞれが、色光分離光学素子によって第1色の部分光束と第2色の部分光束とに分離される。分離された第1色、第2色の色光は、偏光ビームスプリッタアレイと偏光方向回転素子とを備えた偏光変換素子に入射し、色光毎に所望の偏光状態を有する第1色の部分光束と第2色の部分光束とに変換される。ここで、偏光ビームスプリッタアレイは一对の偏光分離膜と反射膜とを複数対配置した構造を有しており、偏光分離膜或いは反射膜の位置に対応させて偏光方向回転素子が、偏光ビームスプリッタアレイの射出側に位置選択的に配置されている。例えば、偏光分離膜の射出側にのみ偏光方向回転素子が配置される。したがって、第1色の部分光束と第2色の部分光束のうち、一方は偏光分離膜に入射し、他方は反射膜に選択的に入射する。さらに、第1色、第2色の部分光束は、それぞれ、偏光ビームスプリッタアレイにおいて2種類の偏光光束、すなわち、偏光分離膜を透過する第1の偏光方向を有する部分光束と偏光分離膜で反射される第2の偏光方向を有する部分光束とに分離される。この2種類の偏光光束のうち、一方の偏光光束の偏光方向が $\lambda/2$ 波長板のような位相差板（偏光方向回転素子）を通過することによって約90°回転される。第1色の部分光束と第2色の部分光束は異なる膜（偏光分離膜と反射膜）に入射するため、第1色の部分光束は第1の偏光方向に、第2色の部分光束は第2の偏光方向にという具合に、第1色の部分光束と第2色の部分光束とは異なる偏光方向に揃えられることになる。

10

20

【0007】

たとえば、第1色の部分光束はすべてS偏光、第2色の部分光束はすべてP偏光の光に揃えられる。そして、これらの部分光束は、重畳光学素子を介して被照明領域で重畳される。伝達光学素子は、各部分光束を被照明領域に伝達する機能を有している。この伝達光学素子は、偏光変換素子の入射側に配置することも、射出側に配置することも可能である。伝達光学素子を偏光変換素子の入射側に配置すれば、各部分光束を偏光変換素子に対して所定の角度で入射することが可能となり、偏光分離膜における偏光分離性能を高めやすい。よって、照明効率の点では、伝達光学素子を偏光変換素子の入射側に配置した方が有利である。一方、伝達光学素子を偏光変換素子の射出側に配置すれば、伝達光学素子に重畳光学素子の機能を持たせることにより、重畳光学素子と伝達光学素子とを一体の光学素子で構成することも可能である。よって、部品点数を削減したい場合には、伝達光学素子を偏光変換素子の射出側に配置した方が有利である。本発明による第1の照明光学系は、以上説明した通り、光源からの非偏光な光を、予め色光毎に偏光方向が揃った偏光光束に変換しているため、照明光学系よりも光路下流側に配置されるダイクロイックプリズムや偏光ビームスプリッタなどの光学要素の偏光依存性を軽減することができる。よって、照明効率を高めることが可能となる。

30

【0008】

また、この発明による第2の照明光学系は、光源からの光を第1の色光と第2の色光とに分離し、第1の色光と第2の色光をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、前記第1の色光を複数の第1色の部分光束に分割し、前記第2の色光を複数の第2色の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、複数の偏光分離膜と複数の反射膜とが交互に配列された偏光ビームスプリッタアレイと、前記偏光分離膜を透過した光が射出される位置または前記反射膜によって反射された光が射出される位置に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、前記偏光分離膜に入射する前記第1色の部分光束を第1の偏光方向を有する偏光光に揃え、前記反射膜に入射する前記第2色の部分光束を第2の偏光方向を有する偏光光に揃えて射出する偏光変換素子と、前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、前記偏光変換素子より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有しているものである。

40

50

【0009】

この構成によれば、光源からの光が、まず、色光分離光学素子によって第1の色光と第2の色光とに分離される。第1の色光と第2の色光は、光束分割光学素子によってそれぞれ複数の部分光束に分割および集光される。すなわち、第1の色光は第1色の部分光束に分割され、第2の色光は第2色の部分光束に分割される。これらの各部分光束は、偏光ビームスプリッタアレイと偏光方向回転素子とを備えた偏光変換素子に入射し、色光毎に所望の偏光状態を有する第1色の部分光束と第2色の部分光束に変換される。ここで、偏光ビームスプリッタアレイの構成は上述の第1の照明光学系と同じである。したがって、第1色の部分光束と第2色の部分光束のうち、一方は偏光分離膜に入射し、他方は反射膜に入射する。その後の作用は、先の第1の照明光学系と同じである。

10

【0010】

第2の照明光学系の場合も、光源からの非偏光な光を、予め色光毎に偏光方向が揃った偏光光束に変換しているため、第1の照明光学系と同様の効果を得ることが可能である。さらに、第2の照明光学系では、色光分離光学素子が光源と光束分割素子との間に配置されるため、色光分離光学素子に平行性の高い光を入射させることができる。よって、色光分離光学素子において、色光の分離を一層高い効率で、確実に行うことが可能となる。なお、第2の照明光学系においても、第1の照明光学系の場合と同様、伝達光学素子を、偏光変換素子の入射側に配置することも、射出側に配置することも可能である。

【0011】

また、この発明による第3の照明光学系は、光源からの光を複数の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、それぞれの前記部分光束を第1色の部分光束と第2色の部分光束とに分離し、第1色の部分光束と第2色の部分光束をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、複数の偏光分離膜が所定の間隔で配列された偏光ビームスプリッタアレイと、前記所定の間隔で配列され、前記偏光ビームスプリッタアレイの射出側に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられていない入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過する前記第1色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射されて前記偏光方向回転素子を透過する前記第1色の部分光束とを第1の偏光方向に揃え、前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられている入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過した後前記偏光方向回転素子を透過する前記第2色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射される前記第2色の部分光束とを第2の偏光方向に揃えて射出する偏光変換素子と、前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、

20

30

前記偏光変換素子より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有しているものである。

【0012】

この構成によれば、光源からの光が、まず、光束分割光学素子によって複数の部分光束に分割および集光され、その複数の部分光束のそれぞれが、色光分離光学素子によって第1色の部分光束と第2色の部分光束とに分離される。分離された第1色、第2色の色光は、偏光ビームスプリッタアレイと偏光方向回転素子とを備えた偏光変換素子に入射し、色光毎に所望の偏光状態を有する第1色の部分光束と第2色の部分光束とに変換される。ここで、偏光ビームスプリッタアレイは偏光分離膜を複数配置した構造を有しており、偏光方向回転素子が、特定の偏光分離膜の位置に対応して偏光ビームスプリッタアレイの射出側に位置選択的に配置されている。例えば、一つ置きに偏光分離膜の射出側にのみ偏光方向回転素子が配置される。今、射出側に偏光方向回転素子を備えた偏光分離膜を偏光分離膜A、射出側に偏光方向回転素子を備えない偏光分離膜を偏光分離膜Bと、便宜的に呼称する。したがって、第1色の部分光束と第2色の部分光束のうち、一方は偏光分離膜Bに入射し、他方は偏光分離膜Aに選択的に入射する。偏光分離膜A、Bでは、上述の偏光分離膜と同様に、入射した部分光束を透過する第1の偏光方向を有する部分光束と反射する第

40

50

2の偏光方向を有する部分光束とに分離する。偏光分離膜Bを透過した部分光束は第1の偏光方向を有する部分光束として偏光変換素子から射出される。また、偏光分離膜Bで反射された部分光束は第2の偏光方向を有する部分光束であるが、隣接する偏光分離膜Aで再度反射された後、 $\lambda/2$ 波長板のような位相差板(偏光方向回転素子)を通過することで偏光方向を約 90° 回転され、第1の偏光方向を有する部分光束として偏光変換素子から射出される。これに対して、偏光分離膜Aを透過した部分光束は第1の偏光方向を有する部分光束であるが、 $\lambda/2$ 波長板のような位相差板を通過することで偏光方向を約 90° 回転され、第2の偏光方向を有する部分光束として偏光変換素子から射出される。また、偏光分離膜Aで反射された部分光束は隣接する偏光分離膜Bで再度反射された後、第2の偏光方向を有する部分光束として偏光変換素子から射出される。

10

【0013】

第1色の部分光束と第2色の部分光束は偏光方向回転素子の有無によって区別された偏光分離膜に入射するため、第1色の部分光束は第1の偏光方向に、第2色の部分光束は第2の偏光方向にという具合に、第1色の部分光束と第2色の部分光束とは異なる偏光方向に揃えられることになる。

【0014】

たとえば、第1色の部分光束はすべてP偏光、第2色の部分光束はすべてS偏光の光に揃えられる。そして、これらの部分光束は、重畳光学素子を介して被照明領域で重畳される。その後の作用は、先の第1の照明光学系と同じである。

【0015】

第3の照明光学系においては、先の第1及び第2の照明光学系の場合に比べて、偏光変換素子内における第1色及び第2色の部分光束のうち、最短の光路長を有する部分光束と最長の光路長を有する部分光束との間の光路長差を小さくできる。このため、被照明領域において、第1色の部分光束の拡大率と第2色の部分光束の拡大率とを容易に一致させることができる。この結果、照明効率を向上できる。また、上述の第1及び第2の照明光学系における偏光ビームスプリッタアレイは偏光分離膜と反射膜を備えているのに対して、第3の照明光学系における偏光ビームスプリッタアレイは偏光分離膜だけを備えて構成されているため、偏光ビームスプリッタアレイの構造が単純であり、製造が容易である。

20

【0016】

また、この発明による第4の照明光学系は、光源からの光を第1の色光と第2の色光とに分離し、第1の色光と第2の色光をそれぞれ異なる方向に、または平行な状態で射出する色光分離光学素子と、前記第1の色光を複数の第1色の部分光束に分割し、前記第2の色光を複数の第2色の部分光束に分割して各部分光束を集光する光束分割光学素子と、複数の偏光分離膜が所定の間隔で配列された偏光ビームスプリッタアレイと、前記所定の間隔で配列され、前記偏光ビームスプリッタアレイの射出側に設けられた偏光方向回転素子とを具備し、前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられていない入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過する前記第1色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射されて前記偏光方向回転素子を透過する前記第1色の部分光束とを第1の偏光方向に揃え、前記偏光分離膜の射出側に前記偏光方向回転素子が設けられている入射側端面に入射し、前記偏光分離膜を透過した後前記偏光方向回転素子を透過する前記第2色の部分光束と、前記偏光分離膜で反射された後隣接する前記偏光分離膜で再度反射される前記第2色の部分光束とを第2の偏光方向に揃えて射出する偏光変換素子と、前記偏光変換素子の入射側または射出側に配置され、前記光束分割光学素子によって形成される像を被照明領域に伝達する伝達光学素子と、前記偏光変換素子より射出される部分光束を被照明領域で重畳させる重畳光学素子と、を有しているものである。

30

40

【0017】

この構成によれば、光源からの光が、まず、色光分離光学素子によって第1の色光と第2の色光とに分離される。第1の色光と第2の色光は、光束分割光学素子によってそれぞれ複数の部分光束に分割および集光される。すなわち、第1の色光は第1色の部分光束に

50

分割され、第2の色光は第2色の部分光束に分割される。これらの各部分光束は、偏光ビームスプリッタアレイと偏光方向回転素子とを備えた偏光変換素子に入射し、色光毎に所望の偏光状態を有する第1色の部分光束と第2色の部分光束に変換される。ここで、偏光ビームスプリッタアレイの構成は上述の第3の照明光学系と同じである。したがって、第1色の部分光束は偏光分離膜Bに、第2色の部分光束は偏光分離膜Aに、各々位置選択的に入射する。その後の作用は、上述の第3の照明光学系と同じである。

【0018】

第4の照明光学系では、上述の第3の照明光学系と同様に、先の第1及び第2の照明光学系の場合に比べて、偏光変換素子内における第1色及び第2色の部分光束のうち、最短の光路長を有する部分光束と最長の光路長を有する部分光束との間の光路長差を小さくできる。このため、被照明領域において、第1色の部分光束の拡大率と第2色の部分光束の拡大率とを容易に一致させることができる。この結果、照明効率を向上できる。また、第3の照明光学系における偏光ビームスプリッタアレイと同様に、偏光ビームスプリッタアレイの構造が単純であり、製造が容易である。

10

【0019】

上記第1、第2、第3、第4の照明光学系で使用する色光分離光学素子は、2つのミラー、2つのミラーを備えた一つの光学部品、反射型ホログラム、または、透過型ホログラムによって構成することが可能である。

【0020】

色光分離光学素子を2つのミラーによって構成する場合は、第1のミラーを色分離を行うダイクロイックミラーとし、第2のミラーを反射ミラーとすれば良い。ダイクロイックミラーや反射ミラーは、一般的に反射率が高い。よって、このようなミラーを用いた構成とすれば、色光の分離を高い効率で、確実に行うことが可能となる。ここで、反射ミラーは、アルミニウム等の金属膜によって形成された一般的な反射ミラーだけでなく、特定の色光を反射するダイクロイックミラーによっても構成することが可能である。この様な構成によれば、色光分離光学素子によって照明光から不要光（例えば、赤外光、紫外光、黄色光などの特定の色光）を排除できるため、これらの照明光学系をプロジェクタに用いる場合には、プロジェクタに用いられる光変調装置の信頼性の向上や投写画像の高画質化が可能となる。なお、第2のミラーの機能は、第1のミラーを透過してきた特定の色光を反射することであるから、必ずしも第2のミラーをダイクロイックミラーとする必要は無い。しかし、ダイクロイックミラーを用いると、一般的な反射ミラーに比べて高い反射率を得やすいため、色光分離光学素子における光利用効率を高めるためには都合が良い。

20

30

【0021】

さらに、2つのミラーを用いる場合、第1のミラーと第2のミラーは、以下のように配置することが好ましい。

【0022】

(1) 前記第1のミラーと前記第2のミラーとは互いに非平行であって、前記第1のミラーは前記光源の光軸に対して 45° の角度で配置され、前記第2のミラーは前記光源の光軸に対して $(45 - \quad)$ の角度で配置されている。

【0023】

(2) 前記第1のミラーと前記第2のミラーは互いに非平行であって、前記第1のミラーは前記光源の光軸に対して $(45 + \quad)$ の角度で配置され、前記第2のミラーは前記光源の光軸に対して 45° の角度で配置されている。

40

【0024】

(3) 前記第1のミラーと前記第2のミラーは互いに非平行であって、前記第1のミラーは前記光源の光軸に対して $(45 + \quad)$ の角度で配置され、前記第2のミラーは前記光源の光軸に対して $(45 - \quad)$ の角度で配置されている。

【0025】

(4) 前記第1のミラーと前記第2のミラーは、所定の間隔を隔て互いに平行に、前記光源の光軸に対して 45° の角度で配置されている。

50

【0026】

特に、(3)や(4)のような配置にすると、色光を所定の軸に対して対称に分離することができ、伝達光学素子の構成を簡素化する上で好ましい。

【0027】

また、(1)から(3)の場合には、色光分離光学素子の機能は偏光変換素子へ向けて射出する光束の方向を第1色の部分光束と第2色の部分光束との間で異ならせることであるから、この機能を実現するためには、第1のミラーと第2のミラーとを互いに非平行な状態で配置すれば良いため、第1のミラーと第2のミラーの配置角度は上記の例に限定されない。但し、伝達光学素子に対する色光の入射角度に対応させて、伝達光学素子の光学特性を適宜設定する必要がある。

10

【0028】

次に、色光分離光学素子を2つのミラーを備えた一つの光学部品で構成する場合について説明する。2つのミラーを備えた一つの光学部品としては、次のようなものが挙げられる。

【0029】

(A)板状の透光性部材と、前記透光性部材の対向する2つの面のうち一方の面に設けられたダイクロイックミラーと、他方の面に設けられた反射ミラーと、を備えた光学部品。

【0030】

(B)板状の透光性部材と、前記透光性部材の対向する2つの面のうち一方の面に固着された直角プリズムと、他方の面に設けられた反射ミラーと、前記透光性部材と前記直角プリズムとの間に設けられたダイクロイックミラーと、を備えた光学部品。

20

【0031】

(C)板状の透光性部材と、前記透光性部材の対向する2つの面のうち一方の面に固着された複数個の小寸法直角プリズムと、他方の面に設けられた反射ミラーと、前記透光性部材と前記直角プリズムとの間に設けられたダイクロイックミラーと、を備えた光学部品。

【0032】

色光分離光学素子をこのような一つの光学部品とすれば、光学系の組み立てを容易化することが可能となる。また、(B)や(C)のような光学部品を用いれば、屈折率が1よりも大きな直角プリズムを介してダイクロイックミラーに光が入射するため、ダイクロイックミラーへの光の入射角度が狭められ、ダイクロイックミラーの分光特性を高められるとともに、光路シフトをなくすることができる。さらに、(C)のような光学部品を用いれば、プリズム部分の小型化が図られるため、色光分離光学素子を小型・軽量化することができる。なお、反射ミラーは、アルミニウム等の金属膜によって形成された一般的な反射ミラーだけでなく、特定の色光を反射するダイクロイックミラーによっても構成することが可能であり、上述の効果を得ることができる。第2のミラーの機能は、第1のミラーを透過してきた特定の色光を反射することであるから、必ずしも第2のミラーをダイクロイックミラーとする必要は無い。しかし、ダイクロイックミラーを用いると、一般的な反射ミラーに比べて高い反射率を得やすいため、色光分離光学素子における光利用効率を高めるためには都合が良い。

30

40

【0033】

さらに、(A)~(C)の光学部品において、ダイクロイックミラーが設けられる一方の面と、反射ミラーが設けられる他方の面とは、以下のように配置することが好ましい。

【0034】

(a)前記一方の面と前記他方の面とは互いに非平行であって、前記一方の面は前記光源の光軸に対して45°の角度で配置され、前記他方の面は前記光源の光軸に対して(45 -)°の角度で配置されている。

【0035】

(b)前記一方の面と前記他方の面は互いに非平行であって、前記一方の面は前記光源

50

の光軸に対して(45 +)°の角度で配置され、前記他方の面は前記光源の光軸に対して45°の角度で配置されている。

【0036】

(c)前記一方の面と前記他方の面は互いに非平行であって、前記一方の面は前記光源の光軸に対して(45 +)°の角度で配置され、前記他方の面は前記光源の光軸に対して(45 -)°の角度で配置されている。

【0037】

(d)前記一方の面と前記他方の面は、所定の間隔を隔て互いに平行に、前記光源の光軸に対して45°の角度で配置されている。

【0038】

特に、(c)や(d)のような配置にすると、色光を所定の軸に対して対称に分離することができ、伝達光学素子の構成を簡素化する上で、好ましい。

【0039】

また、(1)から(3)の場合には、色光分離光学素子の機能は偏光変換素子へ向けて射出する光束の方向を第1色の部分光束と第2色の部分光束との間で異ならせることであるから、この機能を実現するためには、一方の面と他方の面とを互いに非平行な状態で配置すれば良いため、一方の面と他方の面の配置角度は上記の例に限定されない。但し、伝達光学素子に対する色光の入射角度に対応させて、伝達光学素子の光学特性を適宜設定する必要がある。

【0040】

最後に、色光分離光学素子を、反射型ホログラム素子や透過型ホログラム素子によって構成する場合について説明する。この場合は、色光分離光学素子を1つの板状のホログラムによって構成することができるため、色光分離光学素子の部品点数を減らすことができるとともに、照明光学系の小型、軽量化を図ることが可能となる。

【0041】

この発明による照明光学系で使用する光束分割光学素子は、レンズアレイ、ミラーアレイ、複数の反射面を備えた導光ロッド等により構成することができる。ミラーアレイを用いると、レンズアレイや導光ロッドを用いた場合より安価になる。また、ミラーアレイや導光ロッドを用いると、レンズアレイにつきものの球面収差が発生しないため、集光性を高められ、照明効率を向上させることができる。

【0042】

また、この発明による照明光学系において、さらに、前記偏光ビームスプリッタアレイの入射側に不要な色光の入射を遮るためのダイクロイックフィルターアレイを設けることが好ましい。このようにダイクロイックフィルターアレイを設ければ、分光特性における入射角依存性が比較的大きな色光分離光学素子を用いた場合でも、偏光ビームスプリッタアレイに対して不要な色光が入射することを回避でき、第1の色光と第2の色光との分離を確実に行うことができる。なお、伝達光学素子を偏光変換素子の入射側に配置する場合、ダイクロイックフィルターアレイは、伝達光学素子と偏光変換素子の間だけでなく、伝達光学素子の入射側に配置することもできる。

【0043】

また、この発明による照明光学系において、前記色光分離光学素子は、緑色光と赤および青色光とを分離する色分解特性を有していることが好ましい。このようにすれば、色光分離光学素子における緑色光の選択特性を最適化しやすくなる。よって、このような構成とした照明光学系をプロジェクタに採用すれば、緑色光のコントラストと利用効率をより一層高め易くなり、より高いコントラストで明るい投写画像を表示することが可能となる。

【0044】

さらに、以上に述べたような照明光学系を用いて、この照明光学系から射出された光を変調する光変調装置と、前記光変調装置によって変調された光を投写する投写レンズとを有するプロジェクタを構成すれば、照明光学系よりも光路下流側に配置された光学素子の

10

20

30

40

50

偏光依存性を軽減することができ、投写画像の高画質化と明るさ向上を実現することが可能となる。

【 0 0 4 5 】

特に、この発明による照明光学系は、次のようなプロジェクタに採用することが好ましい。

【 0 0 4 6 】

(I) 上述したような照明光学系と、前記照明光学系から射出された前記第 1 色の光を変調する第 1 の反射型光変調装置と、前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 3 の色光を変調する第 2 の反射型光変調装置と、前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 4 の色光を変調する第 3 の反射型光変調装置と、前記照明光学系から射出された光を前記第 1 色の光と前記第 2 色の光とに分離する偏光ビームスプリッタと、前記第 2 色の光を前記第 3 の色光と前記第 4 の色光とに分離するとともに前記第 2 の反射型光変調装置から射出された光と前記第 3 の反射型光変調装置から射出された光を合成して前記偏光ビームスプリッタに向けて射出する色光分離・合成素子と、を有し、前記第 1 の反射型光変調装置から射出された光と前記色光分離・合成素子から射出された光のうち、前記偏光ビームスプリッタによって選択された光を投写する投写レンズと、を有するプロジェクタ。

10

【 0 0 4 7 】

(II) 上述したような照明光学系と、前記照明光学系から射出された光に含まれる前記第 1 色の光を変調する第 1 の反射型光変調装置と、前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 3 の色光を変調する第 2 の反射型光変調装置と、前記照明光学系から射出された前記第 2 色の光に含まれる第 4 の色光を変調する第 3 の反射型光変調装置と、第 1 ~ 第 4 の偏光ビームスプリッタと、前記第 1 の偏光ビームスプリッタと前記第 3 の偏光ビームスプリッタとの間に設けられた第 1 の波長選択位相差板と、前記第 3 の偏光ビームスプリッタと前記第 4 の偏光ビームスプリッタとの間に設けられた第 2 の波長選択位相差板と、前記第 4 の偏光ビームスプリッタから射出された光を投写する投写レンズと、を備え、前記第 1 の偏光ビームスプリッタは前記照明光学系から射出された光を前記第 1 色の光と前記第 2 色の光とに分離し、前記第 2 の偏光ビームスプリッタは、前記第 1 の偏光ビームスプリッタによって分離された前記第 1 色の光を前記第 1 の反射型光変調装置に導くと共に、前記第 1 の反射型光変調装置によって変調された前記第 1 色の色光を前記第 4 の偏光ビームスプリッタに導き、前記第 1 の波長選択位相差板は、前記第 1 の偏光ビームスプリッタによって分離された前記第 2 色の光に含まれる前記第 3 の色光と前記第 4 の色光のうち、前記第 3 の色光の偏光方向のみを約 90° 回転させ、前記第 3 の偏光ビームスプリッタは、前記第 1 の波長選択位相差板から射出された前記第 3 の色光と前記第 4 の色光を前記第 2 の反射型光変調装置と前記第 3 の反射型光変調装置に導くと共に、前記第 2 の反射型光変調装置および前記第 3 の反射型光変調装置によって変調された前記第 3 の色光および前記第 4 の色光を前記第 2 の波長選択位相差板に導き、前記第 2 の波長選択位相差板は、前記第 3 の偏光ビームスプリッタから射出された前記第 3 の色光と前記第 4 の色光のうち、前記第 3 の色光の偏光方向のみを約 90° 回転させ、前記第 4 の偏光ビームスプリッタは、前記第 2 の偏光ビームスプリッタから射出された前記第 1 色の光と、前記第 2 の波長選択位相差板から射出された前記第 3 の色光と前記第 4 の色光とを合成して前記投写レンズに向けて射出するプロジェクタ。

20

30

40

【 0 0 4 8 】

(III) 上述したような照明光学系と、前記照明光学系から射出された光を第 1 色の光と第 2 色の光と第 3 色の光とに分離する色分離光学系と、前記色分離光学系により分離された前記第 1 色の光を画像信号に応じて変調する第 1 の透過型光変調装置と、前記色分離光学系により分離された前記第 2 色の光を画像信号に応じて変調する第 2 の透過型光変調装置と、前記色分離光学系により分離された前記第 3 色の光を画像信号に応じて変調する第 3 の透過型光変調装置と、前記第 1 の透過型光変調装置、前記第 2 の透過型光変調装置、及び前記第 3 の透過型光変調装置によりそれぞれ変調された前記第 1 色の光、前記第 2

50

色の光、及び前記第3色の光を合成する色合成光学系と、前記色合成光学系により合成された光を投写する投写レンズと、を有することを特徴とするプロジェクタ。

【0049】

(I)、(II)、(III)のようなプロジェクタを構成すれば、ダイクロミックミラー、ダイクロミックプリズム、偏光ビームスプリッタ等における分光特性の偏光依存性が軽減され、投写画像の高画質化と高輝度化、色光の分離や合成を行う光学系の低コスト化を同時に実現することが可能となる。また、(II)のような構成のプロジェクタでは、各色光がすべて2つの偏光ビームスプリッタを通過して投写レンズに至るから、プロジェクタの投写画像のコントラストをさらに高めることができる。なお、第1と第4の偏光ビームスプリッタをダイクロミックミラーやダイクロミックプリズムに置き換えることもでき、その場合には低コスト化を達成できる。さらに、本発明による上述の照明光学系は、第1色光、第2色光、及び第3色光の3つの色光のうち、1つの色光の偏光状態を他の2つの色光の偏光状態と異ならせて射出することができる。このため、通常、第1色の光、第2色の光、及び第3色の光をそれぞれ変調する3つの透過型光変調装置と、これらの透過型変調装置により変調された第1色の光、第2色の光、及び第3色の光を合成する色合成光学系とを備えた、所謂3板式のプロジェクタにおいては、色合成光学系における色光の合成効率を向上させるために透過型光変調装置の直前又は直後に $\lambda/2$ 波長板を配置して、色合成光学系に入射する少なくとも1つの色光の偏光状態を他の色光の偏光状態と異ならせているが、本発明の照明光学系を用いれば、そのような目的で使用される $\lambda/2$ 波長板を省略できる。この結果、低コスト化を達成できる。

10

20

【0050】

例えば、照明光学系が、緑色光をS偏光光、青色光及び赤色光をP偏光光として射出する構成の場合、透過型光変調装置の直前又は直後の $\lambda/2$ 波長板は不要である。また、照明光学系が、緑色光をP偏光光、青色光及び赤色光をS偏光光として射出する構成の場合、第1～第3の全ての透過型光変調装置の直前又は直後に各透過型光変調装置ごとに同じ数の $\lambda/2$ 波長板が必要となるが、各色ごとの光路中において、それぞれ同じ数の $\lambda/2$ 波長板を配置しているため、色ムラを低減できる。

【0051】

さらに、透過型光変調装置が有する表示特性によっては、この透過型光変調装置へ入射する光の偏光状態が限定されている場合もある。例えば、緑色光をS偏光光、青色光及び赤色光をP偏光光として透過型光変調装置に入射させる場合、(III)に記載したプロジェクタの構成は効果的である。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0052】

以下に添付の図を参照して、この発明にかかる照明光学系およびプロジェクタの実施の形態を詳細に説明する。

(実施の形態1)

第1図は、この発明による照明光学系を含むプロジェクタの一つの実施の形態を示している。このプロジェクタは、照明光学系10と、色分離・合成光学系100と、光変調装置としての3個の反射型液晶パネル200R、200G、200Bと、投写レンズ210とを有している。

40

【0053】

照明光学系10は、ほぼ平行な光束を射出する光源20と、光束分割光学素子をなす第1のレンズアレイ30と、色光分離光学素子40と、偏光変換素子50と、伝達光学素子をなす第2のレンズアレイ60と、重畳光学素子である重畳レンズ70とを備えており、色光毎に偏光方向がほぼ揃った照明光束を生成する機能を有している。

【0054】

光源20は、光源ランプ21と凹面鏡22とを有している。光源ランプ21から放射された光は、凹面鏡22によって一方向に反射され、ほぼ平行な光線束となって第1のレンズアレイ30に入射する。ここで、光源ランプ21としては、メタルハライドランプ、キ

50

セノンランプ、高圧水銀ランプ、ハロゲンランプ等を、凹面鏡 2 2 としては、放物面リフレクタ、楕円面リフレクタ、球面リフレクタ等を使用できる。

【 0 0 5 5 】

第 1 のレンズアレイ 3 0 は、被照明領域とほぼ相似関係にある輪郭形状を有する複数の小レンズ 3 1 を M 行 N 列のマトリックス状に配列した構成を有している。本実施の形態の場合、被照明領域は反射型液晶パネルの表示領域であり、その輪郭は矩形形状であるため、小レンズ 3 1 も矩形形状の輪郭形状に設定されている。各小レンズ 3 1 は、光源 2 0 から入射したほぼ平行な光束を複数 (M × N 個) の部分光束に分割し、偏光変換素子 5 0 の近傍で各部分光束を個別に集光する。換言すれば、第 1 のレンズアレイ 3 0 の部分光束が集光する位置に偏光変換素子 5 0 が配置されている。

10

【 0 0 5 6 】

色光分離光学素子 4 0 は、第 1 のレンズアレイ 3 0 と第 2 のレンズアレイ 6 0 との間に配置され、第 1 のミラーとしてのダイクロイックミラー 4 1 と、第 1 のミラー 4 1 の背面側に配置された第 2 のミラーとしての反射ミラー 4 2 とを備えている。ダイクロイックミラー 4 1 は、第 1 6 図に示されているような分光特性を有しており、赤色光 (R) と青色光 (B) とを反射し、緑色光 (G) を透過する。反射ミラー 4 2 はアルミニウム等の金属膜によって形成された一般的な反射ミラー、或いは、緑色光 (G) を反射するダイクロイックミラーにより構成されている。反射ミラー 4 2 の機能は、ダイクロイックミラー 4 1 を透過してきた特定の色光を反射することであるから、必ずしもダイクロイックミラーを用いる必要はないが、一般的な反射ミラーに比べてダイクロイックミラーでは高い反射率を得やすいため、色光分離光学素子 4 0 における光利用効率を高めるためには都合がよい。なお、ダイクロイックミラーは誘電体多層膜によって形成することができる。

20

【 0 0 5 7 】

これにより、ダイクロイックミラー 4 1 は、第 1 のレンズアレイ 3 0 から射出された部分光束のすべてを、緑色光 (G) である第 1 色の部分光束と、赤色光 (R) と青色光 (B) との合成色である第 2 色の部分光束とに分離する。

【 0 0 5 8 】

ダイクロイックミラー 4 1 と反射ミラー 4 2 は互いに非平行な状態にあり、ダイクロイックミラー 4 1 は光源 2 0 の光軸 L a に対して 4 5 ° の角度で配置され、反射ミラー 4 2 は光源 2 0 の光軸 L a に対して (4 5 -) ° の角度で配置されている (但し、 > 0) 。ダイクロイックミラー 4 1 を光源 2 0 の光軸 L a に対して (4 5 +) ° の角度で配置し、反射ミラー 4 2 を光源 2 0 の光軸 L a に対して 4 5 ° の角度で配置するようにしても良い。

30

【 0 0 5 9 】

色光分離光学素子 4 0 は、ダイクロイックミラー 4 1 と反射ミラー 4 2 の配置角度の違いから、第 1 色の部分光束 (G) と第 2 色の部分光束 (B + R) を、第 2 のレンズアレイ 6 0 へ向けてそれぞれ異なる方向に射出する。言い換えれば、色光分離光学素子 4 0 の機能は、第 2 のレンズアレイ 6 0 へ向けて射出する光束の方向を第 1 色の部分光束と第 2 色の部分光束との間で異ならせることであるから、この機能を実現するためには、ダイクロイックミラー 4 1 と反射ミラー 4 2 とを互いに非平行な状態で配置すれば良い。したがって、ダイクロイックミラー 4 1 と反射ミラー 4 2 は上記以外の角度で配置することもできる。但し、後述するように、第 2 のレンズアレイ 6 0 に対する色光の入射角度に対応させて、第 2 のレンズアレイ 6 0 を構成するレンズ 6 1、6 2 の形状や光学特性を設定することが必要となる。

40

【 0 0 6 0 】

第 2 のレンズアレイ 6 0 は、第 2 色の部分光束 (B + R) のそれぞれに対応する同心レンズ 6 1 と、第 1 色の部分光束 (G) のそれぞれに対応する偏心レンズ 6 2 との対を、M 行 N 列のマトリックス状に配列した構成を有している。第 2 のレンズアレイ 6 0 は、同心レンズ 6 1 によって第 2 色の部分光束 (B + R) のそれぞれを偏光変換素子 5 0 の後述する偏光分離膜 5 4 に入射させ、偏心レンズ 6 2 によって第 1 色の部分光束 (G) のそれぞ

50

れを偏光変換素子 5 0 の後述する反射膜 5 5 に入射させる。

【 0 0 6 1 】

ここで、同心レンズ 6 1 はレンズ体の物理的中心に光軸を有するレンズであり、偏心レンズ 6 2 はレンズ体の物理的中心から離れたところに光軸を有するレンズである。これらのレンズ 6 1、6 2 は、入射する部分光束を効率よく被照明領域である液晶パネルに伝達する機能と、各部分光束を偏光変換素子 5 0 に対して所定の角度で入射させる機能を有している。本実施の形態の場合は、各部分光束を偏光変換素子 5 0 に対してほぼ垂直に入射させている。ダイクロイックミラー 4 1 と光軸 L a との成す角度は 45° であるため、第 2 色の各部分光束 (B + R) は偏光変換素子 5 0 に対してほぼ垂直に入射する。よって、これらの部分光束に対するレンズは同心レンズ 6 1 となっている。一方、反射ミラー 4 2 と光軸 L a との成す角度は $(45 -)^\circ$ であるため、第 1 色の各部分光束 (G) は偏光変換素子 5 0 に対して僅かに斜めに入射する。よって、これらの部分光束に対するレンズは偏心レンズ 6 2 となっている。すなわち、偏心レンズ 6 2 で部分光束の光軸を曲げ、偏光変換素子 5 0 に対してほぼ垂直に入射するように構成されている。

10

【 0 0 6 2 】

ダイクロイックミラー 4 1 を光源 2 0 の光軸 L a に対して $(45 +)^\circ$ の角度で配置し、反射ミラー 4 2 を光源 2 0 の光軸 L a に対して 45° の角度で配置するようにする場合は、同心レンズ 6 1 の位置と偏心レンズ 6 2 の位置とを入れかえ、偏心レンズ 6 2 の向きを第 1 図とは逆 (レンズ厚の薄い部分が光源 2 0 側に来る) に設定すれば良い。なお、後述する偏光分離膜 5 4 における偏光分離性能を高めやすいため、各部分光束を偏光変換素子 5 0 に対してほぼ垂直に入射させる設定が望ましいが、偏光分離膜 5 4 の偏光分離特性は膜設計によって変化させることが可能である。したがって、偏光分離膜 5 4 や反射膜 5 5 の光学特性によっては、第 2 のレンズアレイ 6 0 を偏光変換素子 5 0 の射出側に配置することができる。この場合、第 2 のレンズアレイ 6 0 は、入射する部分光束を被照明領域である液晶パネルに伝達する機能のみを有する。また、この場合、第 2 のレンズアレイ 6 0 に後述する重畳レンズ 7 0 の機能を併せ持たせることもできる。

20

【 0 0 6 3 】

偏光変換素子 5 0 は、偏光ビームスプリッタアレイ 5 1 と、偏光ビームスプリッタアレイ 5 1 の射出側に配置された偏光方向回転素子としての $\lambda/2$ 波長板 5 2 とにより構成されている。

30

【 0 0 6 4 】

偏光ビームスプリッタアレイ 5 1 は、第 2 図に示されているように、断面形状が平行四辺形の柱状の透光性部材 5 3 を複数個貼り合わせた構成となっている。透光性部材 5 3 としては、光学ガラスを用いるのが一般的であるが、その他の材料 (例えば、プラスチックや結晶) であっても構わない。隣接する透光性部材 5 3 の貼り合わせ界面には、偏光分離膜 5 4 と反射膜 5 5 とを交互に配置している。偏光分離膜 5 4 と反射膜 5 5 は、偏光変換素子 5 0 の入射端面 5 1 a に対して約 45° 傾斜している。また、偏光分離膜 5 4 と反射膜 5 5 とは対をなしており、その対の数は、第 1 のレンズアレイ 3 0 の列数 N あるいは行数 M に対応している。

【 0 0 6 5 】

偏光分離膜 5 4 は、誘電体多層膜等により構成され、非偏光な光を偏光方向が互いに直交する 2 種類の直線偏光光に分離する。例えば、P 偏光光を透過し、S 偏光光を反射する偏光分離特性を有している。また、反射膜 5 5 は、誘電体多層膜や金属膜等によって構成される。

40

【 0 0 6 6 】

$\lambda/2$ 波長板 5 2 は、偏光分離膜 5 4 を透過した光が射出される位置に設けられており、透過する偏光光の偏光方向を 90° 回転させる。これは、P 偏光光を S 偏光光に、S 偏光光を P 偏光光に変換することを意味する。

【 0 0 6 7 】

この実施の形態では、偏光変換素子 5 0 は、偏光ビームスプリッタアレイ 5 1 と $\lambda/2$

50

波長板 5 2 との組み合わせにより、偏光分離膜 5 4 に入射する第 2 色の部分光束 (B + R) をすべて第 2 の偏光方向を有する偏光光としての S 偏光光に変換し、反射膜 5 5 に入射する第 1 色の部分光束 (G) をすべて第 1 の偏光方向を有する偏光光としての P 偏光光に変換する。なお、変換の過程については後述する。勿論、 $\lambda/2$ 波長板 5 2 を反射膜 5 5 で反射した光が射出される位置に設け、第 1 色の部分光束 (G) を S 偏光光に、第 2 色の部分光束 (B + R) を P 偏光光に変換する構成を採用することもできる。

【 0 0 6 8 】

重畳レンズ 7 0 は、偏光変換素子 5 0 の射出側に配置され、偏光変換素子 5 0 より射出される部分光束のすべてを被照明領域、すなわち、3 個の反射型液晶パネル 2 0 0 R、2 0 0 G、2 0 0 B 上で重畳させる。色分離・合成光学系 1 0 0 の入光部近傍には、平行化
10
レンズ 9 9 が配置され、被照明領域に至る各部分光束の中心光路が照明光軸 L とほぼ平行となるように変換し、被照明領域における照明効率を向上させている。

【 0 0 6 9 】

つぎに、色分離・合成光学系 1 0 0 について説明する。色分離・合成光学系 1 0 0 は、偏光ビームスプリッタ 1 1 0 と、色光分離・合成素子をなすダイクロイックプリズム 1 2 0 とを有している。偏光ビームスプリッタ 1 1 0 は、2 個の直角プリズム 1 1 1、1 1 2 の互いの接合面に偏光光分離膜 1 1 3 が形成された光学素子であり、一つの入射端面 1 1 4 と、一つの射出端面 1 1 5 と、二つの入射・射出端面 1 1 6、1 1 7 を有している。偏光光分離膜 1 1 3 は、誘電体多層膜等により構成され、例えば P 偏光光を透過し、S 偏光光を反射する偏光分離特性を有している。
20

【 0 0 7 0 】

偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の入射端面 1 1 4 は平行化レンズ 9 9 と対向して照明光学系 1 0 からの光の入口面になっている。偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の射出端面 1 1 5 に投写レンズ 2 1 0 が対向配置され、入射・射出端面 1 1 6 に反射型液晶パネル 2 0 0 G が対向配置されている。

【 0 0 7 1 】

ダイクロイックプリズム 1 2 0 は、2 個の直角プリズム 1 2 1、1 2 2 の互いの接合面にダイクロイック面 1 2 3 が形成された光学素子であり、3 つの入射・射出端面 1 2 4、1 2 5、1 2 6 を有している。ダイクロイック面 1 2 3 は、誘電体多層膜等により構成され、少なくとも赤色光を反射する色分離特性を有している。ダイクロイックプリズム 1 2
30
0 の入射・射出端面 1 2 4 は偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の入射・射出端面 1 1 7 と接合されており、入射・射出端面 1 2 5 に反射型液晶パネル 2 0 0 B が、もう一つの入射・射出端面 1 2 6 に反射型液晶パネル 2 0 0 R が、それぞれ対向配置されている。

【 0 0 7 2 】

つぎに、上述の構成によるプロジェクタの光学系の機能について説明する。光源 2 0 からの光は、第 1 のレンズアレイ 3 0 の各小レンズ 3 1 によって複数の部分光束に分割され、色光分離光学素子 4 0 に入射する。各部分光束は色光分離光学素子 4 0 のダイクロイックミラー 4 1 によって、緑色光 (G) である第 1 色の部分光束と、赤色光 (R) と青色光 (B) との合成色である第 2 色の部分光束とに分離され、第 2 色の各部分光束はダイクロイックミラー 4 1 で反射して第 2 のレンズアレイ 6 0 の同心レンズ 6 1 を経て偏光ビーム
40
スプリッタアレイ 5 1 の偏光分離膜 5 4 に入射する。一方、第 1 色の各部分光束はダイクロイックミラー 4 1 を透過し、反射ミラー 4 2 で反射して第 2 のレンズアレイ 6 0 の偏光レンズ 6 2 を経て偏光ビームスプリッタアレイ 5 1 の反射膜 5 5 に入射する。

【 0 0 7 3 】

偏光ビームスプリッタアレイ 5 1 の偏光分離膜 5 4 に入射した第 2 色の部分光束 (B + R) は、偏光分離膜 5 4 を透過する P 偏光光と反射する S 偏光光とに分離される。偏光分離膜 5 4 を透過した P 偏光光は $\lambda/2$ 波長板 5 2 を通過することによって偏光方向を 9 0 ° 回転し、S 偏光光に変換される。これに対して、偏光分離膜 5 4 で反射した S 偏光光は隣接する反射膜 5 5 で再度反射され、偏光分離膜 5 4 を透過した偏光光とほぼ同じ方向に向かうが、この偏光光は $\lambda/2$ 波長板 5 2 を通過しないので、偏光方向は変化せず、S 偏
50

光光のままである。よって、偏光分離膜 5 4 に入射した第 2 色の部分光束 (B + R) は、S 偏光光に揃えられて偏光変換素子 5 0 から射出される。

【 0 0 7 4 】

一方、偏光ビームスプリッタアレイ 5 1 の反射膜 5 5 に入射した第 1 色の部分光束 (G) は、反射膜 5 5 を経て偏光分離膜 5 4 に入射するため、第 1 色の部分光束 (G) が偏光分離膜 5 4 に入射する方向は、上記の第 2 色の部分光束 (B + R) に対して 9 0 ° 異なっている。したがって、反射膜 5 5 を経て偏光分離膜 5 4 で反射した S 偏光光は $\lambda/2$ 波長板 5 2 を通過することによって偏光方向を 9 0 ° 回転し、P 偏光光に変換される。これに対して、反射膜 5 5 を経て偏光分離膜 5 4 を透過した P 偏光光は隣接する別の反射膜 5 5 で反射され、偏光分離膜 5 4 で反射した偏光光とほぼ同じ方向に向かうが、この偏光光は $\lambda/2$ 波長板 5 2 を通過しないので、偏光方向は変化せず、P 偏光光のままである。よって、反射膜 5 5 に入射した第 1 色の部分光束 (G) は、P 偏光光に揃えられて偏光変換素子 5 0 から射出される。

10

【 0 0 7 5 】

なお、第 2 図において、実線による光線表示は P 偏光光を、破線による光線表示は S 偏光光をそれぞれ示している。このルールは、第 1 図の色分離・合成光学系 1 0 0 部分における光線表示についても、同様である。

【 0 0 7 6 】

偏光変換素子 5 0 より射出される第 1 色の各部分光束 (G) と第 2 色の各部分光束 (B + R) は重畳レンズ 7 0 によって被照明領域である 3 個の反射型液晶パネル 2 0 0 R、2 0 0 G、2 0 0 B 上で重畳される。

20

【 0 0 7 7 】

入射端面 1 1 4 を通って色分離・合成光学系 1 0 0 の偏光ビームスプリッタ 1 1 0 に入射した光束のうち、第 1 色の部分光束 (G) は、すべて P 偏光光であるから、偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の偏光光分離膜 1 1 3 を透過して直進し、入射・射出端面 1 1 6 より反射型液晶パネル 2 0 0 G に入射する。第 1 色の部分光束 (G) は、反射型液晶パネル 2 0 0 G によって図示しない外部からの画像情報に応じて変調され、変調の度合いによって部分的に S 偏光光を含んだ光束に変換されると共に、反射型液晶パネル 2 0 0 G で反射して入射・射出端面 1 1 6 に戻り、偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の偏光光分離膜 1 1 3 に入射する。第 1 色の部分光束 (G) のうち、変調されて S 偏光光に変換された光束は、偏光光分離膜 1 1 3 で反射して射出端面 1 1 5 を通って投写レンズ 2 1 0 に入射する。なお、反射型液晶パネル 2 0 0 R、2 0 0 G、2 0 0 B については周知であるため、その構造や動作に関する詳細な説明は省略する。

30

【 0 0 7 8 】

一方、入射端面 1 1 4 を通って色分離・合成光学系 1 0 0 の偏光ビームスプリッタ 1 1 0 に入射した光束のうち、第 2 色の部分光束 (B + R) は、すべて S 偏光光であるから、偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の偏光光分離膜 1 1 3 にて反射し、ダイクロイックプリズム 1 2 0 のダイクロイック面 1 2 3 に入射する。ダイクロイックプリズム 1 2 0 のダイクロイック面 1 2 3 に入射した第 2 色の部分光束 (B + R) のうち、赤色光は、ダイクロイック面 1 2 3 で反射し、入射・射出端面 1 2 6 より反射型液晶パネル 2 0 0 R に入射する。赤色光は、反射型液晶パネル 2 0 0 R によって変調され、変調の度合いによって部分的に P 偏光光を含んだ光束に変換されると共に、反射型液晶パネル 2 0 0 R で反射して入射・射出端面 1 2 6 に戻り、ダイクロイック面 1 2 3 で反射し、偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の偏光光分離膜 1 1 3 に入射する。赤色光のうち、変調されて P 偏光光に変換された光束は、偏光光分離膜 1 1 3 を透過して射出端面 1 1 5 を通って投写レンズ 2 1 0 に入射する。

40

【 0 0 7 9 】

さらに、ダイクロイックプリズム 1 2 0 のダイクロイック面 1 2 3 に入射した第 2 色の部分光束 (B + R) のうち、青色光は、ダイクロイック面 1 2 3 を透過し、入射・射出端面 1 2 5 を通って反射型液晶パネル 2 0 0 B に入射する。赤色光と同様に青色光は、反射

50

型液晶パネル 200B で変調されると共に、反射して入射・射出端面 125 に戻り、ダイクロイック面 123 を透過して偏光ビームスプリッタ 110 の偏光光分離膜 113 に入射する。青色光のうち、変調されて P 偏光光に変換された光束は偏光光分離膜 113 を透過して射出端面 115 を通って投写レンズ 210 に入射する。

【0080】

ダイクロイックプリズム 120 としては、第 17 図に例示するような、分光特性に大きな偏光依存性を有しているものを使用することができる。ダイクロイックプリズム 120 で分光されるのは、赤色光 (R) と青色光 (B) であるため、入射されない緑色光 (G) の波長に相当する波長領域を大きな偏光依存性を示す過渡的な波長領域に割り当てることができる。そのため、ダイクロイックプリズム 120 において赤色光 (R) と青色光 (B) の分離と合成を効率良く行え、高画質化と高輝度化を実現できる。もちろん、ダイクロイック面の構成の仕方によっては、偏光依存性の小さな分光特性を有するダイクロイックプリズムを実現することも可能であるが、特殊な成膜材料を使用したり、成膜数が多くなるため、低コスト化が難しい。

10

【0081】

以上のような構成により、ダイクロイックプリズム 120 における分光特性の偏光依存性を軽減でき、ダイクロイックプリズム 120 を色分離・合成光学系に使用したプロジェクタにおいて、投写画像の高画質化と色分離・合成光学系の低コスト化を同時に実現することが可能となる。また、第 1 色の部分光束 (G) は偏光ビームスプリッタ 110 のみを通過する構成のため、明るさへの影響が大きな緑色光の光利用効率が高く、高輝度化を容易に実現できる。さらに、照明光学系 10 においては、光源 20 からの非偏光な光束を、予め色光毎に偏光方向が揃った偏光光束に変換した後、色分離・合成光学系 100 に入射しているため、照明効率を高めることが可能となる。

20

(実施の形態 2)

第 3 図は、この発明による照明光学系を含むプロジェクタの他の実施の形態を示している。この実施の形態は、先に説明した実施の形態 1 と、色光分離光学素子 40 のミラー 41、42 の配置、並びに、ダイクロイックフィルターアレイ 56 が設けられている点において異なる。その他の構成については、実施の形態 1 と同様である。なお、本実施の形態を含めて、以降に説明する各実施の形態において、既に説明済みの各構成要素と同様の構成要素については、第 1 図及び第 2 図に付した符号と同一の符号を付けて、その説明を省略する。また、第 3 図の色分離・合成光学系 100 において、実線による光線表示は P 偏光光を、破線による光線表示は S 偏光光をそれぞれ示している。

30

【0082】

この実施の形態では、色光分離光学素子 40 のダイクロイックミラー 41 と反射ミラー 42 は互いに非平行で、ダイクロイックミラー 41 は光源 20 の光軸 L_a に対して $(45 + \quad)$ ° の角度で配置され、反射ミラー 42 は光源 20 の光軸 L_a に対して $(45 - \quad)$ ° の角度で配置されている (但し、 $\quad > 0$)。

【0083】

また、偏光ビームスプリッタアレイ 51 の入射側には、偏光分離膜 54 と反射膜 55 の各々に所定の色光ではない不要な色光が入射することを防止するためのダイクロイックフィルターアレイ 56 が設けられている。本実施の形態では、第 2 色の部分光束 (B + R) は偏光分離膜 54 に、第 1 色の部分光束 (G) は反射膜 55 に入射するように設定しているため、偏光ビームスプリッタアレイ 51 の偏光分離膜 54 に対応する入射開口部 54A には、第 2 色の部分光束 (B + R) のみを透過させ、第 1 色の部分光束 (G) を遮るフィルター 58 が、また、反射膜 55 に対応する入射開口部 55A には、第 1 色の部分光束 (G) のみを透過させ、第 2 色の部分光束 (B + R) を遮るフィルター 57 が各々配置されて、ダイクロイックフィルターアレイ 56 を構成している。

40

【0084】

この実施の形態においても、実施の形態 1 と同様の効果を得ることが可能である。さらに、この実施の形態では、ダイクロイックミラー 41 が光源 20 の光軸 L_a に対して $(4$

50

5 +)°の角度で配置され、反射ミラー42が光源20の光軸Laに対して(45 -)°の角度で配置され、ダイクロイックミラー41と反射ミラー42が、光源20の光軸Laと45°の角度を成す軸Lcに対して各々の交角が等しくなるように配置されることから、色光分離光学素子40において第1色の部分光束と第2色の部分光束の2つの色光を光軸Laと直交する光軸Lbに対して対称な角度で分離することができる。したがって、第2のレンズアレイ60のレンズ63を、上述の実施の形態1における同心レンズ61と偏心レンズ62とを一つに統合したもので構成できる。これにより、第2のレンズアレイ60を第1のレンズアレイ30と同等品で構成でき、さらなるコストダウンを図ることができる。さらに、ダイクロイックミラー41への部分光束の入射角度(45 -)°を45°よりも小さくできるため、ダイクロイックミラー41の分光特性における入射角依存性を低減でき、第1色の部分光束と第2色の部分光束との分離をより精度良く確実に行うことができる。

10

【0085】

また、偏光ビームスプリッタアレイ51の入射側には、ダイクロイックフィルターアレイ56が設けられている。したがって、分光特性における入射角依存性が比較的大きなダイクロイックミラー41を用いた場合でも、偏光ビームスプリッタアレイ51に対して不要な色光が入射することを回避でき、第1色の部分光束と第2色の部分光束との分離を確実に行うことができる。なお、ダイクロイックフィルターアレイ56は第2のレンズアレイ60の前面に配置することもできる。

(実施の形態3)

20

第4図は、この発明による照明光学系を含むプロジェクタの他の実施の形態を示している。この実施の形態は、先に説明した実施の形態2と、主に色光分離光学素子40のミラー41、42の配置と第2のレンズアレイ60の構成が異なる。その他の構成については、実施の形態2と同様である。なお、第4図の色分離・合成光学系100において、実線による光線表示はP偏光光を、破線による光線表示はS偏光光をそれぞれ示している。

【0086】

この実施の形態では、色光分離光学素子40のダイクロイックミラー41と反射ミラー42は互いに平行で、光軸Laの方向に沿って、所定量tの間隔を隔てて配置されている。ここで、所定量tは偏光ビームスプリッタアレイ51を構成する偏光分離膜54と反射膜55の偏光ビームスプリッタアレイ51の入射端面51aに沿った方向における間隔にほぼ等しい。ダイクロイックミラー41と反射ミラー42は、いずれも、光源20の光軸Laに対して45°の角度で配置されている。

30

【0087】

この実施の形態においても、上述の実施の形態1と同様の効果を得ることが可能である。

【0088】

さらに、この実施の形態では、このような構成の色光分離光学素子40を用いることによって、第1色の部分光束(G)と第2色の部分光束(B+R)を互いに平行な状態で、それぞれ異なる位置に射出することができる。したがって、第1色の部分光束(G)と第2色の部分光束(B+R)の両方を第2のレンズアレイ60に対して垂直に入射させられるため、第2のレンズアレイ60は同心レンズ61のみによって構成したものをを用いることができる。これにより、第2のレンズアレイ60の構成を簡略化できるため、さらなるコストダウンを図ることができる。

40

(実施の形態4)

第5図は、この発明による照明光学系を含むプロジェクタの他の実施の形態を示している。この実施の形態は、先に説明した実施の形態2と、色分離・合成光学系の構成が異なる。また、偏光変換素子50のλ/2波長板52の位置も異なっている。その他の構成については、実施の形態2と同様である。また、第5図の後述する色分離・合成光学系130において、実線による光線表示はP偏光光を、破線による光線表示はS偏光光をそれぞれ示している。

50

【0089】

この実施の形態では、偏光変換素子50の / 2波長板52は、反射膜55で反射した光が射出される位置に設けられており、反射膜55から射出された光の偏光面を90°回転させる。これにより、第1色の部分光束(G)は、すべてS偏光光となり、第2色の部分光束(B+R)は、すべてP偏光光となる。

【0090】

この実施の形態では、色分離・合成光学系130は田の字形に配置された直方体形状の第1から第4の偏光ビームスプリッタ140、150、160、170と、第1の偏光ビームスプリッタ140と第3の偏光ビームスプリッタ160との間に配置された波長選択位相差板180と、第3の偏光ビームスプリッタ160と第4の偏光ビームスプリッタ170との間に配置された波長選択位相差板181とを有して構成されている。

10

【0091】

第1の偏光ビームスプリッタ140は、2個の直角プリズム141、142の互いの接合面に偏光光分離膜143が形成された直方体状の光学素子であり、偏光光分離膜143は、誘電体多層膜等により構成され、たとえばP偏光光のみを透過し、S偏光光を反射する偏光分離特性を有している。他の第2から第4の偏光ビームスプリッタ150、160、170も、第1の偏光ビームスプリッタ140と同様の構成と類似の偏光分離特性を有している。なお、図において、151、152、161、162、171、172は直角プリズムを示す。

【0092】

波長選択位相差板180、181は、第18図に示されているような光学的特性を有しており、少なくとも、透過する赤色光に対しては位相変化を与えず透過する青色光に対して / 2の位相変化を与えることで青色光の偏光方向を90°回転させるものである。色分離・合成光学系130では、第1の偏光ビームスプリッタ140の入射端面144は平行化レンズ99と対向して照明光学系10からの光の入口面となっており、第2の偏光ビームスプリッタ150の入射・射出端面154に反射型液晶パネル200Gが対向配置され、第3の偏光ビームスプリッタ160の2つの入射・射出端面164、165に2つの反射型液晶パネル200B、200Rが対向配置され、第4の偏光ビームスプリッタ170の射出端面174に投写レンズ210が対向配置されている。

20

【0093】

照明光学系10から射出された光のうち、P偏光光である第2色の部分光束(B+R)は第1の偏光ビームスプリッタ140の偏光光分離膜143を透過して波長選択位相差板180に入射し、S偏光光である第1の色光(G)は偏光光分離膜143で反射して第2の偏光ビームスプリッタ150に入射する。

30

【0094】

第2の偏光ビームスプリッタ150は、第1の偏光ビームスプリッタ140よりのS偏光光である第1色の部分光束(G)を反射型液晶パネル200Gに導くと共に、反射型液晶パネル200Gによって光変調されてP偏光光となった第1色の部分光束(G)を第4の偏光ビームスプリッタ170に導く。

【0095】

波長選択位相差板180は、第1の偏光ビームスプリッタ140よりの第2色の部分光束(B+R)に含まれる青色光と赤色光のうち、青色光の偏光方向のみを約90°回転させる。これにより、第3の偏光ビームスプリッタ160には、P偏光光の赤色光と、S偏光光の青色光とが入射し、偏光方向の違いによって分離される。すなわち、P偏光光の赤色光は偏光ビームスプリッタ160の偏光光分離膜163を透過して反射型液晶パネル200Rに至り、S偏光光の青色光は偏光光分離膜163で反射して反射型液晶パネル200Bに至る。反射型液晶パネル200R、反射型液晶パネル200Bによって光変調された赤色光と青色光は、第3の偏光ビームスプリッタ160に戻り合成されて、波長選択位相差板181に入射する。

40

【0096】

50

波長選択位相差板 181 は、第 3 の偏光ビームスプリッタ 160 よりの青色光 (P 偏光光) と赤色光 (S 偏光光) のうち、青色光の偏光方向のみを約 90° 回転させる。これにより、第 4 の偏光ビームスプリッタ 170 には、S 偏光光の赤色光と、S 偏光光の青色光とが入射する。第 4 の偏光ビームスプリッタ 170 の偏光光分離膜 173 は、第 2 の偏光ビームスプリッタ 150 よりの P 偏光光の緑色光を透過し、第 3 の偏光ビームスプリッタ 160 よりの S 偏光光の赤色光と S 偏光光の青色光を反射し、これら 3 色光を合成して投写レンズ 210 に向けて射出する。

【0097】

本実施の形態においても、上述の実施の形態と同様の効果を得ることができる。さらに、本実施の形態では、各色光がすべて 2 つの偏光ビームスプリッタを通過して投写レンズ 210 に至るから、プロジェクタの投写画像のコントラストを高めることができる。なお、第 1 色の部分光束 (G) を P 偏光光、第 2 色の部分光束 (B + R) を S 偏光光とし、第 2 の偏光ビームスプリッタ 150 の側に青色光用と赤色光用の 2 つの反射型液晶パネル 200B、200R を、第 3 の偏光ビームスプリッタ 160 の側に緑色光用の反射型液晶パネル 200G を配置した構成としても良い。その場合には、緑色光のコントラストをより一層高めることが可能となるため、より高いコントラストの投写画像を表示することができる。本実施の形態では、色光分離光学素子 40 のダイクロイックミラー 41、反射ミラー 42 を実施の形態 2 で説明した角度で配置しているが、実施の形態 1 や実施の形態 3 で説明した角度で配置するようにしても良い。

【0098】

また、第 1 の偏光ビームスプリッタ 140 は、緑色光 (G) のみを反射し、赤色光 (R) と青色光 (B) を透過させるダイクロイックミラーやダイクロイックプリズムに、また、第 4 の偏光ビームスプリッタ 170 は、緑色光 (G) のみを透過し、赤色光 (R) と青色光 (B) を反射させるダイクロイックミラーやダイクロイックプリズムに、それぞれ置き換えることができる。さらに、後者を採用した場合には、波長選択位相差板 181 を省略することもできる。この様な構成を採用すれば、低コスト化を実現しやすい点で都合がよい。

(実施の形態 5)

第 6 図は、この発明による照明光学系を含むプロジェクタの実施の形態 5 を示している。この実施の形態は、透過型の光変調装置、及びそれに対応した色分離光学系及び色合成光学系を用いる点が先に説明した実施の形態 1 ~ 4 と異なる。本実施の形態の照明光学系 10 として、上記実施の形態 1 ~ 4 のいずれかの実施形態に用いられている照明光学系 10 も適用できる。本実施の形態では、代表例として実施の形態 1 の照明光学系 10 を適用した構成を説明する。

ただし、/ 2 波長板 52 の位置は、第 1 図の照明光学系 10 で示す位置から隣接する位置へシフトさせて配置している。これにより、第 1 色の部分光束 (G) を S 偏光光、第 2 色の部分光束 (B + R) を P 偏光光として射出できる。

なお、本実施の形態において実施の形態 1 と同様である部分は第 1 図に付した符号と同一の符号を付けて、重複する説明を省略する。また、第 6 図において、実線による光線表示は P 偏光光を、破線による光線表示は S 偏光光をそれぞれ示している。

【0099】

まず、照明光学系 10 から射出された光のうち、S 偏光光である第 1 色の部分光束 (G) について説明する。照明光学系 10 からの第 1 色の部分光束 (G) は、ダイクロイックミラー 501 に入射する。ここで、ダイクロイックミラー 501 は、赤色光を透過し、緑色光及び青色光を反射させる光学特性に設定されている。ダイクロイックミラー 501 で反射された緑色光は、ダイクロイックミラー 503 に入射する。ここで、ダイクロイックミラー 503 は、青色光を透過し、緑色光を反射させる光学特性に設定されている。ダイクロイックミラー 503 で反射された緑色光は、平行化レンズ 510G を経由して緑色光用の透過型光変調装置 520G に入射し、透過型光変調装置 520G によって図示しない外部からの画像情報に応じて変調され、変調の度合いによって P 偏光光として射出される

10

20

30

40

50

。なお、後述する3つの透過型光変調装置の前後には、入射側に入射光の偏光度を高めるためと射出側に不要な偏光光を排除するための一对の偏光板がそれぞれ配置されているが、第6図ではその表記を省略している。

【0100】

次に、第2色光の部分光束(B+R)のうち赤色光について説明する。照明光学系10からの第2色の部分光束(B+R)は、ダイクロイックミラー501に入射する。ダイクロイックミラー501を透過した赤色光は、反射ミラー502で光路を略90°折り曲げられた後、平行化レンズ510Rを経由して赤色光用の透過型光変調装置520Rに入射する。透過型光変調装置520Rに入射したP偏光光である赤色光は、透過型光変調装置520Rによって図示しない外部からの画像情報に応じて変調され、変調の度合いによつてS偏光光として射出される。

10

【0101】

次に、第2色光の部分光束(B+R)のうち青色光について説明する。照明光学系10からの第2色の部分光束(B+R)は、ダイクロイックミラー501に入射する。ダイクロイックミラー501で反射された青色光は、ダイクロイックミラー503を透過した後、第1のリレーレンズL1、反射ミラー504、第2のリレーレンズL2、反射ミラー505からなるリレー光学系と平行化レンズ510Bを経由して青色光用の透過型光変調装置520Bに入射する。透過型光変調装置520Bに入射したP偏光光である青色光は、赤色光と同様に画像信号に応じて変調され、S偏光光として射出される。ここで、青色光路にリレー光学系を用いる理由は、他の2つの色光の光路と、光学的な光路の長さを略同一にすることで、色ムラや明るさムラの発生を抑制するためである。

20

【0102】

各色光用の透過型光変調装置520R、520G、520Bから射出された光は、それぞれ異なる入射端面からクロスダイクロイックプリズム530に入射する。クロスダイクロイックプリズム530は、青色光反射ダイクロイック膜530Bと、赤色光反射ダイクロイック膜530Rとをそれぞれ入射光軸に対して45°の角度を有し、かつ互いに直交するようにX型に配置したものである。

【0103】

色合成光学系であるクロスダイクロイックプリズム530に入射した3つの色光は合成され、色合成される。そして、合成光は投写レンズ540により不図示のスクリーン上にフルカラー像を投写表示する。

30

【0104】

3つの透過型光変調装置を用いるプロジェクタでは、色合成光学系としてクロスダイクロイックプリズムを用いる場合が多い。この場合、クロスダイクロイックプリズムのダイクロイック膜で反射される色光はS偏光光に、また、ダイクロイック膜を透過する色光はP偏光光に設定すれば、色合成時の光利用効率を向上させる点で都合がよい。したがって、本実施の形態では、緑色光用の透過型光変調装置520Gから射出される光はP偏光光、赤色光及び青色光用の透過型光変調装置520R、Bから射出される光はS偏光光となるように構成されているため、明るい投写画像を得ることができる。

(実施の形態6)

40

第7図は、この発明による照明光学系の他の実施の形態を示している。本実施の形態に係る照明光学系10Aは、第1図、第3図、第4図に示したような色分離・合成光学系100、第5図に示したような色分離・合成光学系130、第6図に示したような透過型の光変調装置を前提とした色分離光学系及び色合成光学系のいずれと組み合わせることも可能である。この実施の形態に係る照明光学系10Aは、光源20と光束分割光学素子である第1のレンズアレイ30との間に色光分離光学素子40が設けられている点で、実施の形態2に係る照明光学系10と異なっている。その他の構成については、実施の形態2に係る照明光学系10と同様である。この実施の形態に係る照明光学系10Aでは、光源20からの光は、まず、色光分離光学素子40によって第1の色光(G)と第2の色光(B+R)とに分離され、これらの第1の色光(G)と第2の色光(B+R)はそれぞれ僅か

50

に異なる方向に射出される。

【0105】

第1のレンズアレイ30に入射した第1の色光(G)と第2の色光(B+R)は各小レンズ31によってそれぞれ複数の部分光束に分割されて集光され、第2のレンズアレイ60を経て、第1色の部分光束(G)は偏光変換素子50の偏光ビームスプリッタアレイ51の反射膜55に、第2色の部分光束(B+R)は偏光ビームスプリッタアレイ51の偏光分離膜54に入射する。これらの部分光束はλ/2波長板52によって、第2色の部分光束(B+R)はS偏光光に、第1色の部分光束(G)はP偏光光に揃えられた後、重畳レンズ70によって被照明領域上で重畳される。

【0106】

この実施の形態に係る照明光学系10Aは、上述した実施の形態2にかかる照明光学系10と同様の作用、効果が得られる。加えて、色光分離光学素子40を光源20と第1のレンズアレイ30との間に配置し、色光分離光学素子40には平行性の高い光束が入射する構成となっているため、他の実施の形態と比較して、色光分離光学素子40においては、色光の分離を一層高い効率で確実に行うことができる。なお、本実施の形態では、色光分離光学素子40のダイクロイックミラー41と反射ミラー42とを実施の形態2で説明したような角度で配置しているが、実施の形態1や実施の形態3で説明したような角度で配置するようにしても良い。

(偏光変換素子の変形例)

第8図は、この発明による照明光学系の変形例に係る偏光変換素子50Aの構成を示す図である。この偏光変換素子50Aは、反射膜55(第2図)を用いずに偏光分離膜54だけで構成している点が第2図に示した偏光変換素子50と異なる。その他の構成については、実施の形態2に係る照明光学系10と同様である。なお、第8図において、第2図に対応する部分には、第2図に付した符号と同一の符号を付けて、その説明を省略する。

【0107】

まず、この変形例に係る偏光変換素子50Aの構成を説明する。偏光ビームスプリッタアレイ51は、第2図と同様に、断面形状が平行四辺形の柱状の透光性部材53を複数個貼り合わせた構成となっている。隣接する透光性部材53の貼り合わせ界面には、偏光分離膜54が所定の間隔dで設けられている。ここで、所定の間隔dは上述した偏光変換素子50における偏光分離膜54と反射膜55との間隔に等しい。偏光分離膜54は、偏光変換素子50Aの入射端面51aに対して約45°傾斜している。また、偏光分離膜54の数は、第1のレンズアレイ30の列数Nあるいは行数Mの略2倍に対応している。言い換えれば、偏光変換素子50Aの偏光分離膜54の数は、偏光変換素子50における偏光分離膜54と反射膜55の数の総和に略等しい。

【0108】

λ/2波長板52は、一つおきの偏光分離膜54に対応させて、所定の間隔dを隔てて、2dのピッチで配置されている。

【0109】

この変形例では、偏光変換素子50Aは、偏光分離膜54の後方(射出側)にλ/2波長板52が配置されている入射端面AAに入射する第2色の部分光束(例えばB+R)をすべて第2の偏光方向を有する偏光光としてのS偏光光に変換する。また、偏光変換素子50Aは、偏光分離膜54の後方(射出側)にλ/2波長板52が配置されていない入射端面BBに入射する第1色の部分光束(例えばG)をすべて第1の偏光方向を有する偏光光としてのP偏光光に変換する。

【0110】

次に、偏光変換素子50Aの機能を説明する。偏光ビームスプリッタアレイ51の入射端面AAから偏光分離膜54に入射した第2色の部分光束(B+R)は、偏光分離膜54を透過するP偏光光と反射するS偏光光とに分離される。偏光分離膜54を透過したP偏光光はλ/2波長板52を通過することによって偏光方向を90°回転し、S偏光光に変換される。これに対して、偏光分離膜54で反射したS偏光光は隣接する偏光分離膜54

10

20

30

40

50

で再度反射され、 $\lambda/2$ 波長板52を通過しないで射出する。このため、偏光方向は変化せず、S偏光光のままである。よって、入射端面AAから偏光分離膜54に入射した第2色の部分光束(B+R)は、S偏光光に揃えられて偏光変換素子50Aから射出される。

【0111】

一方、偏光ビームスプリッタアレイ51の入射端面BBから偏光分離膜54に入射した第1色の部分光束(G)は、偏光分離膜54を透過するP偏光光と反射するS偏光光とに分離される。偏光分離膜54を透過したP偏光光は $\lambda/2$ 波長板52を通過しないで射出する。このため、偏光方向は変化せず、P偏光光のままである。これに対して、偏光分離膜54で反射したS偏光光は、隣接する偏光分離膜54で再度反射され、 $\lambda/2$ 波長板52を透過することによって偏光方向を90°回転し、P偏光光に変換される。よって、入射端面BBから偏光分離膜54に入射した第1色の部分光束(G)は、P偏光光に揃えられて偏光変換素子50Aから射出される。

10

【0112】

なお、第8図において、実線による光線表示はP偏光光を、破線による光線表示はS偏光光をそれぞれ示している。

【0113】

勿論、入射端面AAに第1色の部分光束(例えばG)を入射させて、偏光変換素子50Aから射出される第1色の部分光束をすべてS偏光光に、また、入射端面BBに第2色の部分光束(例えばB+R)を入射させて、偏光変換素子50Aから射出される第2色の部分光束をすべてP偏光光に変換する構成でも良い。要するに、 $\lambda/2$ 波長板52の配置の有無に対応して隣接する入射端面AA、BBに対して、第1色及び第2色の部分光束を選択的に入射させることによって、色光毎に偏光方向を揃えることが可能となる。偏光変換素子50Aでは、前述の偏光変換素子50に比べて、偏光変換素子内における第1色及び第2色の部分光束のうち、最短の光路長を有する部分光束と最長の光路長を有する部分光束との間の光路長差を小さくできる。このため、被照明領域において、第1色の部分光束の拡大率と第2色の部分光束の拡大率とを容易に一致させることができ、この結果、高い照明効率で部分光束を重畳結合できる。また、偏光変換素子50における偏光ビームスプリッタアレイ51は偏光分離膜と反射膜を備えているのに対して、偏光変換素子50Aにおける偏光ビームスプリッタアレイ51は偏光分離膜だけを備えて構成されているため、偏光ビームスプリッタアレイの構造が単純であり、製造が容易である。

20

30

(色光分離光学素子の各種実施の形態)

第9図～第14図は、色光分離光学素子の他の実施の形態を示している。これらの色光分離光学素子は、先に説明した照明光学系10、10Aにおける色光分離光学素子40と置き換えることが可能である。第9図(a)、(b)に示されている色光分離光学素子は、対向する2つの面を有する透光性部材80の一方の面にダイクロイックミラー81が設けられ、他方の面に反射ミラー82が設けられた一つの光学部品として構成されている。

【0114】

第10図(a)、(b)に示されている色光分離光学素子は、対向する2つの面を有する透光性部材83の一方の面に、直角プリズム84が固着された構成となっている。透光性部材83と直角プリズム84との間に、ダイクロイックミラー85が設けられており、透光性部材83の他方の面に、反射ミラー86が設けられている。

40

【0115】

第11図(a)、(b)に示されている色光分離光学素子は、対向する2つの面を有する透光性部材87の一方の面に複数個の小寸法直角プリズム88が階段状に固着された構成となっている。透光性部材87と小寸法直角プリズム88の間にはダイクロイックミラー89が設けられており、透光性部材87の他方の面には反射ミラー90が設けられている。

【0116】

第9図(a)、第10図(a)、第11図(a)の色光分離光学素子では、ダイクロイックミラー81、85、89と反射ミラー82、86、90とが非平行であり、光源の光

50

軸 L_a に対してそれぞれ $(45 + \quad)$ °、 $(45 - \quad)$ °となるように配置される。ダイクロイックミラー 81、85、89 と反射ミラー 82、86、90 とは、光源の光軸 L_a に対してそれぞれ 45° 、 $(45 - \quad)$ °となるように配置しても構わない。あるいは、光源の光軸 L_a に対してそれぞれ $(45 + \quad)$ °、 45° となるように配置しても構わない。一方、第9図(b)、第10図(b)、第11図(b)の色光分離光学素子では、ダイクロイックミラー 81、85、89 と反射ミラー 82、86、90 とが平行となっており、光源の光軸 L_a に対して 45° となるように配置される。ダイクロイックミラー及び反射ミラーに対する上記の設置角度の設定の仕方については、上述の実施の形態で説明したとおりである。

【0117】

第1のミラーとしてのダイクロイックミラー 81、85、89 は、色光分離光学素子 40 のダイクロイックミラー 41 と対応しており、これと同じように構成することが可能である。また、第2のミラーとしての反射ミラー 82、86、90 は、色光分離光学素子 40 の反射ミラー 42 と対応しており、これと同じように構成することが可能である。

【0118】

これらの色光分離光学素子は、一つの光学部品として構成されている。よって、これらの色光分離光学素子を用いれば、装置の組み立てを容易化することができる。さらに、第10図(a)、第10図(b)の色光分離光学素子は、屈折率が1よりも大きな直角プリズム 84 を介してダイクロイックミラー 85 に光が入射するため、ダイクロイックミラー 85 への光の入射角度が狭められ、ダイクロイックミラー 85 の分光特性を高められると共に、直角プリズム 84 と透光性部材 83 の屈折率を一致させておけば、直角プリズム 84 からダイクロイックミラー 85 に光が入射する場合に界面での屈折を生じないため、界面での光損失を低減できるという効果がある。さらにまた、第11図(a)、第11図(b)の色光分離光学素子は、第10図(a)、第10図(b)に示した色光分離光学素子と同様の特徴に加えて、プリズム部分の小型化が図られるため、色光分離光学素子を小型・軽量化することができるという特徴を有する。なお、第9図～第11図に示した色光分離光学素子では、ダイクロイックミラーと反射ミラーとの間に屈折率が1よりも大きな媒質が介在するため、ダイクロイックミラーと反射ミラーとの間隔は介在する媒質の屈折率も考慮して設定する必要がある。特に、第9図の色光分離光学素子では、空気中から媒質に光が入射する場合に光が屈折し光路シフトを生じるため、この点を考慮する必要がある。

【0119】

第12図に示されている色光分離光学素子は、反射型ホログラム素子 91 により構成され、第13図と第14図に示されている色光分離光学素子は、透過型ホログラム素子 92 により構成されている。第12図～第14図において、第1図や第3図に対応する部分には、第1図や第3図に付した符号と同一の符号を付けて、その説明を省略する。反射型ホログラム素子 91、透過型ホログラム素子 92 は、光束分割光学素子である第1のレンズアレイ 30 の前後、何れにも配置できる。また、反射型、透過型を問わず、分離した光の方向を光軸 L_b に対して対称にも、非対称にもすることができる。第12図、第13図は対称の場合の例、第14図は非対称の場合の例をそれぞれ示している。対称の場合は、第3図に示したような同心レンズ 63 のみからなる第2のレンズアレイ 60 を用いることができるが、非対称の場合は、第1図に示したような同心レンズ 61 と偏心レンズ 62 とからなる第2のレンズアレイ 60 を用いることとなる。上述したようなホログラム素子を使用すれば、色光分離光学素子の部品点数を減らすことができるとともに、照明光学系、ひいてはこれを用いたプロジェクタの小型、軽量化を図ることが可能となる。

(光束分割光学素子と色光分離光学素子の他の実施の形態)

第15図に示されている実施の形態では、光束分割光学素子として、第1のレンズアレイ 30 の代わりに小さい凹面鏡 93 をマトリックス状に配置したミラーアレイ 94 が使用されている。また、色光分離光学素子は、透過型ホログラム素子 92 により構成されている。第2のレンズアレイ 60 は、実施の形態 2 におけるレンズアレイ 60 と同じである。

10

20

30

40

50

この図に示した部分は、第1図、第3図、第5図、第6図などの第1のレンズアレイ30、色光分離光学素子40、第2のレンズアレイ60の部分と置き換えることが可能である。小さい凹面鏡93は第1のレンズアレイ30の小レンズ31と同等の働きをする。これにより、ミラーアレイ94は第1のレンズアレイ30と同等に機能し、レンズ構成による場合より、安価になる。また、ミラーアレイ94ではレンズアレイに付きものの球面収差が発生しないため、集光性を高められ、照明効率を向上させることができる。

(その他の実施の形態)

なお、この発明は、上記の実施の形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば次のような変形も可能である。

【0120】

色光分離光学素子による色光分離は、緑色光と青+赤色光との分離に限られることはなく、青色光と緑+赤色光との分離、赤色光と緑+青色光との分離でもよい。このような色の組み合わせは、ダイクロイックミラー41の分光特性の選定により、任意に設定することができる。例えば、ダイクロイックミラー41は緑色光を選択的に反射し、他の色光を透過させる分光特性を備えていても良い。

【0121】

第1図に示した実施の形態1に係るプロジェクタを用いて、色光分離の組み合わせの効果を説明する。青色光と緑+赤色光との分離の組み合わせの場合は、第1図において入射・射出端面116の対向位置に緑色光用の反射型液晶パネル200Gの代わりに赤色光用の反射型液晶パネル200Rを配置する。この場合、赤色光の利用効率を高くできる。従って、光源ランプ21として、例えば赤色光が少ない高圧水銀ランプを用いた場合に、色バランスを容易に確保できる。この結果、プロジェクタにおける色再現性と光利用効率を高めることができる。

【0122】

また、赤色光と緑+青色光との分離の組み合わせの場合は、第1図において入射・射出端面116の対向位置に緑色光用の反射型液晶パネル200Gの代わりに青色光用の反射型液晶パネル200Bを配置する。この場合、ダイクロイックプリズム120での青色光の吸収が少なくなる。従って、光弾性効果による青色光の偏光解消を防止できる。この結果、プロジェクタにおける色再現性と光利用効率を高めることができる。

【0123】

また、第1色の光と第2色の光の偏光方向の設定は、上記の実施の形態に限定されず、色分離・合成光学系100の構成に応じて、偏光状態を任意に設定することができる。例えば、第1色の光をS偏光光に、第2色の光をP偏光光に揃えるような光学構成を採用することができる。換言すれば、特定の色光が入射する偏光分離膜の後方(射出側)に $\lambda/2$ 波長板52を配置した場合は、この特定の色光はS偏光光に変換されて射出する。また、特定の色光が入射する偏光分離膜の後方(射出側)に $\lambda/2$ 波長板52を配置しない場合は、この特定の色光の光はP偏光光に変換されて射出される。

【0124】

さらに、上記の実施の形態では、色光分離光学素子40のダイクロイックミラー41で反射した第2色の部分光束を偏光変換素子50の偏光分離膜54に入射させ、反射ミラー42で反射した第1色の部分光束を反射膜55に入射させる構成としているが、第1および第2色の部分光束と偏光分離膜54および反射膜55の対応関係は、上記の逆であっても良い。すなわち、第1色の部分光束を偏光分離膜54に、第2色の部分光束を反射膜55に入射させる構成であっても良い。但し、偏光変換素子50を用いる場合には、第1のレンズアレイ30と第2のレンズアレイ60との間、および、偏光変換素子50と色分離・合成光学系100との間において生じる第1色の部分光束と第2色の部分光束の光路の長さの違いを考慮すると、上記の実施の形態での対応関係が最も適当である。なお、第1及び第2のレンズアレイ30、60のレンズ特性を適当に設定すれば、偏光分離膜54と反射膜55の対が光軸Lbを対称軸として折り返しの位置に配置された偏光変換素子を用

10

20

30

40

50

いることもできる。

【0125】

さらにまた、上記の実施の形態のうち一部のものでは、光軸Laと光軸Lbとの成す角を90°とし、色光分離光学素子40に対しては約45°の角度で光源20からの光が入射する構成としているが、光軸Laと光軸Lbとの成す角度を90°よりも小さくし、光源20からの光が色光分離光学素子40に対して45°よりも小さな角度で入射する構成としても良い。その場合には、色光分離光学素子40に使用されるダイクロイックミラー41や反射ミラー42の分光特性や反射特性を向上しやすく、高い光学効率を実現することができる。また、これとは反対に、光軸Laと光軸Lbとの成す角度を90°よりも大きくする構成としても良い。これにより、光学系のレイアウトの自由度を増すことができる。

10

【0126】

また、上記の実施の形態において、光束分割光学素子としてのレンズアレイ30の代わりに、複数の反射面を備えた導光ロッドを用いることも可能である。このような導光ロッドは、特開平10-161237号公報などに開示されており、公知であるため、その詳細な説明は省略する。導光ロッドを用いれば、ミラーアレイ94の場合と同様、レンズアレイに付きものの球面収差が発生しないため、集光性を高められ、照明効率を向上させることができる。

【0127】

また、この発明による照明光学系は、先に実施の形態で示したように、反射型と透過型を問わず種々の光変調装置を照明する装置として使用することができる。

20

【0128】

以上の説明から理解される如く、この発明による照明光学系によれば、光源からの非偏光な光を予め色光毎に偏光方向が揃った偏光光束に変換しているため、照明光学系よりも光路下流側に配置されるダイクロイックプリズムや偏光ビームスプリッタなどの光学要素の偏光依存性を軽減することができる。よって、照明効率を高めることができる。

【0129】

さらに、この照明光学系をプロジェクタに採用することにより、投写画像の高輝度化と高画質化、高コントラスト化を図ることができる。また、従来の照明光学系を用いた場合と比較して、部品点数を削減でき、低コスト化を実現できる。

30

【産業上の利用可能性】

【0130】

以上説明したように、本発明の照明光学系によれば、特定の色光の偏光方向が他の色光のそれに対して約90°異なる照明光を効率よく生成し、その様な照明光で被照明領域を均一な照度分布で照明できる。

【0131】

また、本発明のプロジェクタによれば、上述の照明光学系を適用することによって、色分離・合成光学系を構成するダイクロイック面における分光特性の偏光依存性を軽減し、明るく高画質な投写画像を表示できる。また、従来の照明光学系を用いた場合と比較して、部品点数を削減でき、低コスト化を実現できる。

40

【図面の簡単な説明】

【0132】

【図1】この発明による照明光学系を含むプロジェクタの実施の形態1を示す概略構成図である。

【図2】この発明による照明光学系で使用される偏光変換素子の詳細構成を示す断面図である。

【図3】この発明による照明光学系を含むプロジェクタの実施の形態2を示す概略構成図である。

【図4】この発明による照明光学系を含むプロジェクタの実施の形態3を示す概略構成図である。

50

【図5】この発明による照明光学系を含むプロジェクタの実施の形態4を示す概略構成図である。

【図6】この発明による照明光学系を含むプロジェクタの実施の形態5を示す概略構成図である。

【図7】この発明による照明光学系の実施の形態6を示す概略構成図である。

【図8】偏光変換素子の変形例の詳細構成を示す断面図である。

【図9】(a)、(b)は、この発明による照明光学系で使用される色光分離光学素子の他の実施の形態を示す図である。

【図10】(a)、(b)は、この発明による照明光学系で使用される色光分離光学素子の他の実施の形態を示す図である。

10

【図11】(a)、(b)は、この発明による照明光学系で使用される色光分離光学素子の他の実施の形態を示す図である。

【図12】この発明による照明光学系で使用される色光分離光学素子の他の実施の形態を示す図である。

【図13】この発明による照明光学系で使用される色光分離光学素子の他の実施の形態を示す図である。

【図14】この発明による照明光学系で使用される色光分離光学素子の他の実施の形態を示す図である。

【図15】この発明による照明光学系で使用される光束分割光学素子と色光分離光学素子の他の実施の形態を示す図である。

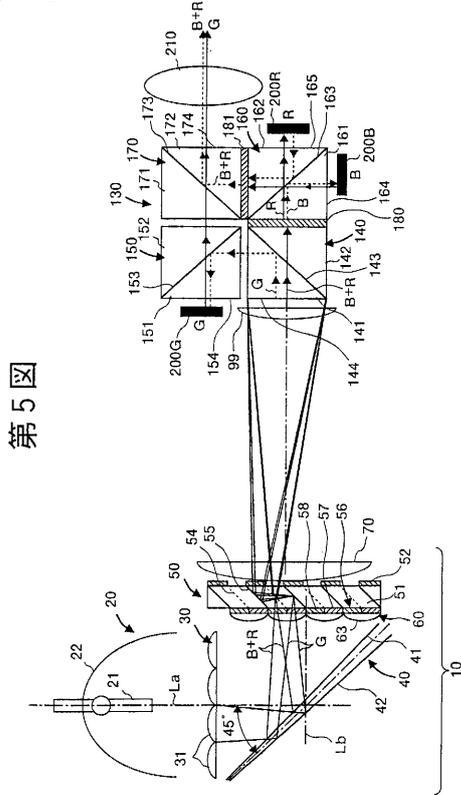
20

【図16】この発明による照明光学系で使用されるダイクロイックミラーの反射特性を示す説明図である。

【図17】この発明による照明光学系で使用されるダイクロイックプリズムの分光特性を示す説明図である。

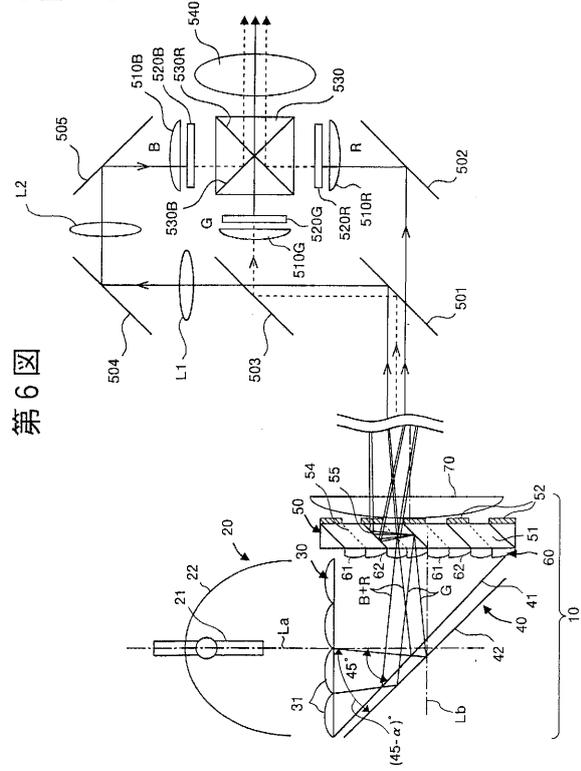
【図18】この発明による照明光学系を用いたプロジェクタで使用される波長選択位相差板の光学的特性を示す説明図である。

【 図 5 】



第 5 図

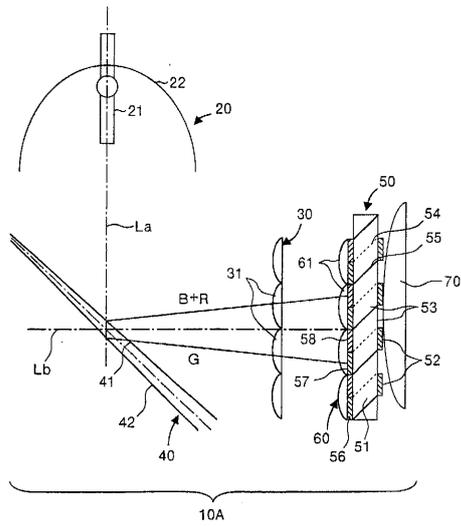
【 図 6 】



第 6 図

【 図 7 】

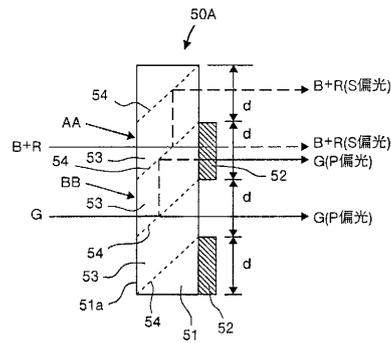
第 7 図



10A

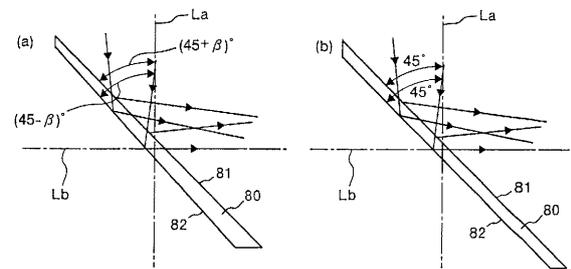
【 図 8 】

第 8 図



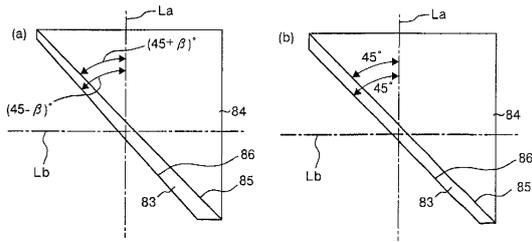
【 図 9 】

第 9 図



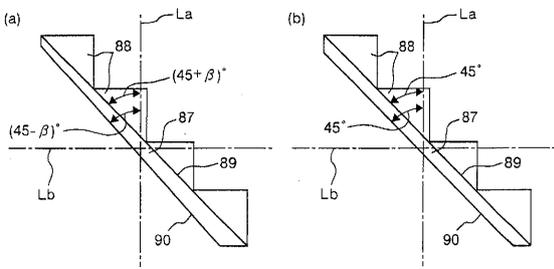
【 図 1 0 】

第10図



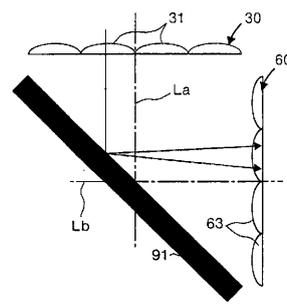
【 図 1 1 】

第11図



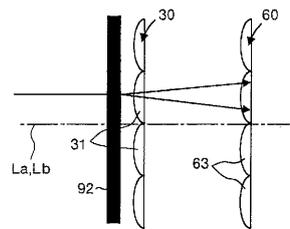
【 図 1 2 】

第12図



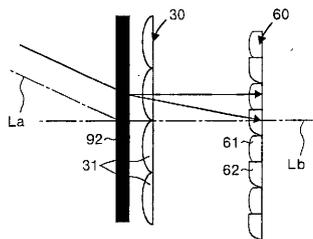
【 図 1 3 】

第13図



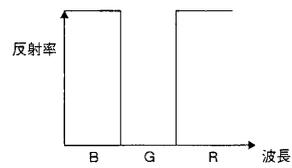
【 図 1 4 】

第14図



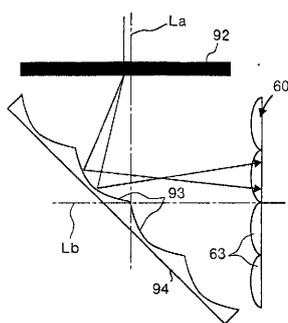
【 図 1 6 】

第16図



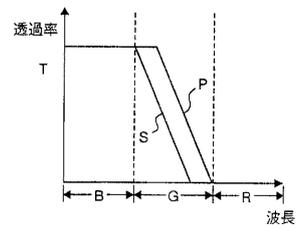
【 図 1 5 】

第15図



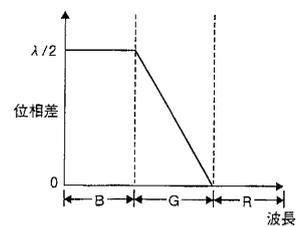
【 図 1 7 】

第17図



【 図 1 8 】

第18図



フロントページの続き

(51) Int.Cl.			F I		
G 0 2 F	1/13	(2006.01)	G 0 2 F	1/13	5 0 5
G 0 3 B	21/00	(2006.01)	G 0 3 B	21/00	E
G 0 3 B	21/14	(2006.01)	G 0 3 B	21/14	A

(56) 参考文献 特開平 1 1 - 5 2 2 9 8 (J P , A)
国際公開第 0 0 / 4 6 6 3 7 (W O , A 1)
特開 2 0 0 0 - 2 9 2 7 4 5 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 2 9 8 3 0 8 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 0 2 1 3 2 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 7 5 1 7 3 (J P , A)

(58) 調査した分野 (Int . Cl . , D B 名)

G02B 27/28

G02F 1/13