

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3554520号
(P3554520)

(45) 発行日 平成16年8月18日(2004.8.18)

(24) 登録日 平成16年5月14日(2004.5.14)

(51) Int. Cl.⁷

F I

G03B 21/00

G03B 21/00 D

G02B 27/28

G02B 27/28 Z

G02F 1/13

G02F 1/13 505

G02F 1/1335

G02F 1/1335

G03B 33/12

G03B 33/12

請求項の数 18 (全 27 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2000-69002 (P2000-69002)
 (22) 出願日 平成12年3月13日(2000.3.13)
 (65) 公開番号 特開2001-75174 (P2001-75174A)
 (43) 公開日 平成13年3月23日(2001.3.23)
 審査請求日 平成14年7月12日(2002.7.12)
 (31) 優先権主張番号 特願平11-193875
 (32) 優先日 平成11年7月8日(1999.7.8)
 (33) 優先権主張国 日本国(JP)

(73) 特許権者 000005049
 シャープ株式会社
 大阪府大阪市阿倍野区長池町2番2号
 (74) 代理人 100077931
 弁理士 前田 弘
 (74) 代理人 100094134
 弁理士 小山 廣毅
 (74) 代理人 100110939
 弁理士 竹内 宏
 (74) 代理人 100110940
 弁理士 嶋田 高久
 (74) 代理人 100113262
 弁理士 竹内 祐二

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 画像表示装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系と、
 前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子と、
 偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子と、
 前記光分離素子および前記色分離素子によって分離された光を変調する複数の反射型画像表示素子と、
 前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系と、
 を有し、
 前記色分離素子の色分離面が、2枚の基板間に挟まれている画像表示装置。

【請求項2】

前記光分離素子によって分離された光の光路上の少なくとも一方に透明基板が配置されている請求項1記載の画像表示装置。

【請求項3】

赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系と、
 前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子と、
 偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子と、
 前記光分離素子および前記色分離素子によって分離された光を変調する複数の反射型画像

表示素子と、

前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系と、
を有し、

前記色分離素子が2つの3角柱プリズムを貼り合わせた4角柱プリズムであり、
前記4角柱プリズムへの入射光及び出射光の主光線が、前記4角柱プリズムの光入射面及び出射面の面法線に対して略平行に入出射し、かつ、前記4角柱プリズムの光分離面の面法線に対して45°より小さい角度で入射する画像表示装置。

【請求項4】

赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系と、

前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子と、
偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子と、
前記光分離素子および前記色分離素子によって分離された光を変調する複数の反射型画像表示素子と、

前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系と、
を有し、

前記色分離素子の色分離面は、基板の一方の表面に形成されており、前記光分離素子側に向くように配置されており、且つ、青色の光を透過し、偏光方向が同じ前記2色の光は青色の光を含む画像表示装置。

【請求項5】

赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系と、

前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子と、
偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子と、
前記光分離素子および前記色分離素子によって分離された光を変調する複数の反射型画像表示素子と、

前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系と、
を有し、

前記照明光学系は、3原色の光を出射する光源と、前記光源からの3原色の光のうち少なくとも1色の光の偏光方向を変換させる第1の偏光制御素子とを有しており、
前記光分離素子の前記投影光学系側に前記赤、緑、青の3原色の光の偏光方向を同方向に揃える第2の偏光制御素子が配置されている画像表示装置。

【請求項6】

前記第2の偏光制御素子の光出射側の光路上に1方向の偏光方向のみを透過または反射させる偏光選択素子が配置されている請求項5記載の画像表示装置。

【請求項7】

赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系と、

前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子と、
偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子と、
前記光分離素子および前記色分離素子によって分離された光を変調する複数の反射型画像表示素子と、

前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系と、
を有し、

前記光源と前記投影光学系との間の光路上に、少なくとも一枚の波長規制素子が挿入され、
前記波長規制素子が、前記光分離素子と前記反射型画像表示素子との間に配置され、前記波長規制素子の光規制面が、前記反射型画像表示素子の画像表示面と角度を成して配置されている画像表示装置。

【請求項8】

10

20

30

40

50

前記照明光学系は、3原色の光を出射する光源と、前記光源からの3原色の光のうち少なくとも1色の光の偏光方向を変換させる第1の偏光制御素子とを有しており、
前記波長規制素子が前記第1の偏光制御素子で偏光方向が変換される光と、それ以外の光の波長との境界の波長域の光をカットする請求項7に記載の画像表示装置。

【請求項9】

前記波長規制素子が前記光分離素子で分離された光の光路上の少なくとも一方に配置され、前記波長規制素子が挿入された光路に配置された前記複数の反射型画像表示素子のいずれかが対応する光以外の光をカットする請求項7または8記載の画像表示装置。

【請求項10】

前記波長規制素子が、赤と緑の境界波長域、および緑と青の境界波長域の少なくとも一方の光をカットする請求項7から9のいずれかに記載の画像表示装置。

10

【請求項11】

前記波長規制素子の光規制面と、前記反射型画像表示素子の画像表示面とのなす角度が $1.5^\circ \sim 13.5^\circ$ の範囲内にある請求項7から10のいずれかに記載の画像表示装置。

【請求項12】

赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系と、

前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子と、
偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子と、

前記光分離素子および前記色分離素子によって分離された光を変調する複数の反射型画像表示素子と、

20

前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系と、
を有し、

前記光分離素子の光分離面のP偏光に対する透過率およびS偏光に対する反射率のどちらか一方が他方よりも高く、

前記一方を有する偏光として前記光分離素子で分離された光が前記複数の反射型画像表示素子の内の2枚以上に入射する画像表示装置。

【請求項13】

赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系と、

30

前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子と、
偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子と、

前記光分離素子および前記色分離素子によって分離された光を変調する複数の反射型画像表示素子と、

前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系と、
を有し、

前記光分離素子の光分離面のP偏光に対する透過率およびS偏光に対する反射率のどちらか一方が他方よりも高く、緑の光が前記一方を有する偏光として前記光分離素子で分離される画像表示装置。

【請求項14】

40

前記光分離素子の光分離面と前記色分離素子の色分離面とのなす角が 20° 以下である請求項1から13のいずれかに記載の画像表示装置。

【請求項15】

前記赤、緑、青の3原色の光のうち、偏光方向が同じ2色の光に緑の光が含まれている請求項1から14のいずれかに記載の画像表示装置。

【請求項16】

前記照明光学系は、3原色の光を出射する光源と、前記光源からの3原色の光のうち少なくとも1色の光の偏光方向を変換させる第1の偏光制御素子とを有する請求項1から4、7、9から13のいずれかに記載の画像表示装置。

【請求項17】

50

前記第1の偏光制御素子の光入射側の光路上に1方向の偏光方向の偏光のみを透過または反射させる偏光選択素子が配置されている請求項5、6、8または16のいずれかに記載の画像表示装置。

【請求項18】

前記第1の偏光制御素子は、複数の波長板をその軸の角度を変えて互いに積層して形成されている請求項5、6、8、16または17のいずれかに記載の画像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は例えば液晶プロジェクタのような、光源から画像表示素子を経た光をスクリーンに拡大投影する画像表示装置に関する。 10

【0002】

【従来の技術】

液晶表示素子は、マトリクス状に規則的に配列された画素電極に画像信号に対応した駆動電圧をそれぞれ印加することによって液晶の光学特性を変化させ、画像や文字などを表示するように構成されている。上述した画素電極に独立した駆動電圧を印加する方式としては、単純マトリクス方式と、非線形2端子素子や3端子素子を液晶表示素子に設けた場合のアクティブマトリクス方式とがある。

【0003】

後者のアクティブマトリクス方式の場合には、MIM(金属-絶縁体-金属)素子やTF 20
T(薄膜トランジスタ)素子等のスイッチング素子と、画素電極に駆動電圧を供給する為の配線電極とを設ける必要がある。

【0004】

このスイッチング素子に強い光が入射すると、OFF状態における素子抵抗が下がり、電圧印加時に充電した電荷が放電されるだけでなく、前記スイッチング素子や配線電極が形成された領域に存在する液晶部分には、正規の駆動電圧が印加されず、本来の表示動作が実行されないため、黒状態でも光が漏れてコントラスト比が低下するという難点がある。

【0005】

したがって、液晶表示素子が透過型である場合には、図15に示すように、TF 30
T601などのスイッチング素子および画素電極605が設けられたTF T基板とは液晶層を挟んで対向する対向基板にブラックマトリクス602と称される遮光手段を設けて、上述した光入射領域に入射する光を遮断する必要がある。よって、透過型の液晶表示素子の場合には、各々遮光性のあるTF T601、ゲートバスライン603およびソースバスライン604に加えて、ブラックマトリクス602によっても遮光されるため、画素の区画中に占める有効な画素開口部の面積、即ち開口率が小さくなる。

【0006】

さらに、これらスイッチング素子や配線電極は、その電気的性能や製造技術等の制約から、ある程度以下の大きさで形成することは困難である。よって、液晶表示素子の高精細化、小型化に伴って、画素電極のピッチが小さくなるほど開口率がさらに低下する。

【0007】

そこで、この問題を解決する為に、反射型の液晶表示素子が開発されている。 40

【0008】

反射型液晶表示素子は、図16に示すようにスイッチング素子としてのTF 50
T651の上に反射型の画素電極655を形成することができるため、同じ液晶表示サイズでは、前記透過型液晶表示素子よりも開口率を大きくとることができ、投影型液晶表示装置における明るさの向上には非常に効果的である。

【0009】

このような反射型液晶表示素子を投影型画像表示装置に適用した方式が電子ディスプレイフォーラム97(P.3-27~3-32)や特開平4-338721号公報に提案されている。 50

【0010】

電子ディスプレイフォーラム97では、図17に示すように、光源701から出射された光をダイクロイックミラーで、赤、緑、青（以下順にR、GおよびBと呼ぶ）の3原色の光に分離し、それぞれの光を対応する偏光ビームスプリッタ（PBS）702に入射させる。偏光ビームスプリッタ702では、入射光を互いに直交する2方向の直線偏光成分に分離し、一方の光が対応する反射型液晶表示素子704に入射する。反射型液晶表示素子704で反射され、偏光方向が変調されたR、GおよびBの光は、再度PBS702に入射し、クロスダイクロイックミラー703で合成された後、投影レンズ705でスクリーンに投影される。

【0011】

特開平4-338721号公報では、図18(a)、(b)に示すように、光源101からの光をPBS105で2つの直線偏光に分離後、一方の光をクロスダイクロイックプリズム（図18(a)）やフィリップスタイププリズム（図18(b)）の色分離・合成素子でR、GおよびBの光に分離し、反射型液晶表示素子107-R、107-G、107-Bで反射された光を同素子で色合成した後、PBS105に再度入射させ、偏光方向が変調された光のみ投影レンズ108に入射し、スクリーンに投影する。

【0012】

この方式は、3板式液晶プロジェクションと呼ばれ、光源からのR、GおよびBの光を効率良く利用できるため、非常に明るい画像が実現できる。

【0013】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、反射型液晶表示装置を用いた上記のような投影型画像表示装置は、次に説明するような課題を有する。

【0014】

電子ディスプレイフォーラム97に提案されている方法では、R、GおよびBの各色に対応したPBSがそれぞれ3つ必要であり、また、色分離用の光学系と色合成用クロスダイクロイックプリズムも必要となるため、システムのコストが非常に高くなるだけでなく、システムサイズが非常に大きくなるという欠点を有する。

【0015】

特開平4-338721号公報では、色分離と色合成を一つの素子で行い、また、PBSも一つで済むことから、システムサイズの小型化を図ることができるが、クロスダイクロイックプリズムを使う方式では、色分離を行う膜面に対して、通常45度の角度で光が入射するため、図19に示すように色分離面での分光特性の偏光依存性が大きく（図19では、Bの色分離面での分光特性を表示）、同素子で色分離と色合成を行うと光の使用できるバンド幅が大きく制限され、光利用効率が悪く、また、色純度も低下してしまう。

【0016】

フィリップスタイププリズムを用いた場合は、色分離面への光の入射角度はクロスダイクロイックプリズムと比べて小さいため、前記したような偏光依存性による影響は緩和されるが、フィリップスタイププリズム内を通過する光の光路が長く、入射した光をフィリップスタイププリズムの側面で蹴られることなく通過させるためには、プリズムと投影レンズを大型化しなくてはならず、コスト高となる。

【0017】

本発明は、上記の問題点を解決する為になされたものであり、その目的は、小型、軽量かつ、明るい反射型液晶表示素子を用いた投影型画像表示装置を実現することである。

【0018】

【課題を解決するための手段】

本発明の画像表示装置は、赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系（照明手段）と、前記照明光学系から出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子（光分離手段）と、前記光分離素子で分離された光を変調する複数の反射型画像表示素子と、偏光方向が同じ前記2色

10

20

30

40

50

の光を分離する色分離素子（色分離手段）と、前記複数の反射型画像表示素子で変調された光を投影する投影光学系（投影手段）とを有し、そのことによって上記目的が達成される。

【0019】

前記光分離素子の光分離面と前記色分離素子の色分離面とのなす角が 20° 以下であることが好ましい。

【0020】

前記照明光学系は、3原色の光を出射する光源と、前記光源からの3原色の光のうち少なくとも1色の光の偏光方向を変換させる第1の偏光制御素子（偏光制御手段）とを有する構成としてもよい。

【0021】

前記第1の偏光制御素子の光入射側の光路上に1方向の偏光方向のみを透過または反射させる偏光選択素子が配置されている構成としてもよい。

【0022】

前記色分離素子の色分離面が、2枚の基板間に挟まれている構成とすることが好ましい。このとき、前記光分離素子によって分離された光の光路上の少なくとも一方に透明基板が配置されていることが好ましい。特に、前記光分離素子によって分離された光のうち、前記色分離素子を介して前記複数の反射型画像表示素子のうちの1つに入射する光の光路上に、前記色分離素子が有する前記2枚の基板分の厚さを有する基板を配置することが好ましい。なお、この透明基板は、必要に応じて、色分離面が2枚の基板間に設けられた光分離素子以外の構成に対して用いてもよい。

【0023】

前記色分離素子は2つの三角柱プリズムを貼り合わせた四角柱プリズムであってもよい。

【0024】

前記四角柱プリズムへの入射光及び出射光の主光線が、前記四角柱プリズムの光入射面及び出射面の面法線に対して略平行に入出射し、かつ、前記四角柱プリズムの光分離面の面法線に対して 45° より小さい角度で入射することが好ましい。

【0025】

前記色分離素子の色分離面は、基板の一方の表面に形成されており、前記光分離素子側に向くように配置されており、且つ、青色の光を透過し、偏光方向が同じ前記2色の光は青色の光を含む構成としてもよい。

【0026】

前記光分離素子の前記投影光学系側に前記赤、緑、青の3原色の光の偏光方向を同方向に揃える第2の偏光制御素子（偏光制御手段）が配置されている構成としてもよい。

【0027】

前記第2の偏光制御素子の光出射側の光路上に1方向の偏光方向のみを透過または反射させる偏光選択素子が配置されている構成としてもよい。

【0028】

前記光源と前記投影光学系との間の光路上に、少なくとも一枚の波長規制素子（波長規制手段）が挿入されていることが好ましい。

【0029】

前記波長規制素子が前記第1の偏光制御素子で偏光方向が変換される光と、それ以外の光の波長との境界の波長域の光をカットすることが好ましい。

【0030】

前記波長規制素子が前記光分離素子で分離された光の光路上の少なくとも一方に配置され、前記波長規制素子が挿入された光路に配置された前記反射型画像表示素子が対応する光以外の光をカットすることが好ましい。

【0031】

前記波長規制素子が、赤と緑の境界波長域、および緑と青の境界波長域の少なくとも一方の光をカットすることが好ましい。緑と青を光の偏光方向を揃えた場合には、赤と緑の境

10

20

30

40

50

界波長域の光をカットすることが好ましく、赤と緑を光の偏光方向を揃えた場合には、緑と青の境界波長域の光をカットすることが好ましい。

【0032】

前記波長規制素子が、前記光分離素子と前記反射型画像表示素子との間に配置され、前記波長規制素子の光規制面が、前記反射型画像表示素子の画像表示面と角度を成して、すなわち非平行に、配置されていることが好ましい。前記波長規制素子の光規制面と、前記反射型画像表示素子の画像表示面とのなす角度が $1.5^{\circ} \sim 13.5^{\circ}$ の範囲内にあることが好ましい。

【0033】

前記赤、緑、青の3原色の光のうち、偏光方向が同じ2色の光に緑の光が含まれていることが好ましい。 10

【0034】

前記光分離素子の光分離面のP偏光に対する透過率およびS偏光に対する反射率のどちらか一方が他方よりも高く、前記一方を有する偏光として前記光分離素子で分離された光が前記複数の反射型画像表示素子の内の2枚以上に入射する構成とすることが好ましい。

【0035】

前記光分離素子の光分離面のP偏光に対する透過率およびS偏光に対する反射率のどちらか一方が他方よりも高く、緑の光が前記一方を有する偏光として前記光分離素子で分離される構成とすることが好ましい。

【0036】

以下、本発明の作用について説明する。 20

【0037】

本発明の画像表示装置の照明光学系は、3原色の光のうちの1色の光の偏光方向が他の2色の光の偏光方向と異なるように、3原色の光を出射する。すなわち、3原色の光のうちの2色は同じ偏光方向を有する偏光であり、その偏光方向は、他の1色の光の偏光方向と異なる。光分離素子(「偏光分離素子」とも呼ばれる。)は、照明光学系から出射された光をその偏光方向に基づいて、偏光方向が互いに異なる光に分離する。従って、偏光方向が同じ2色の光と、他の1色の光とを分離する。本発明の画像表示装置が有する色分離素子は、偏光方向が同じ2色の光を分離する。

【0038】

したがって、本発明の画像表示装置は、色分離(および色合成)に、従来のようにクロスダイクロイックプリズムやフィリップスタイププリズムを用いる必要が無く、ダイクロイックプリズムやフィリップスタイププリズムの偏光依存性に起因する、明るさや色純度、コントラスト比の低下を改善し、かつ、画像表示装置の小型化ができるだけでなく、大幅にコストダウンが可能である。 30

【0039】

また、光分離素子(例えば、PBS)の光分離面と、色分離素子(例えばダイクロイックミラー)の色分離面とが 20° (絶対値)以下の角度をなすよう配置する構成を採用することによって、さらにコントラスト比を向上することができる。光分離面と色分離面とがなす角は、 10° 以下が好ましく、略平行(約 0°)がさらに好ましい。以下に、図20を参照しながら、この理由を説明する。 40

【0040】

光分離素子は、通常、入射光をP偏光とS偏光とに分離する。P偏光およびS偏光は、それぞれ、光分離面への光の入射光路と面法線と含む面に対する偏光方向によって規定される。光分離素子に入射する光は、一般に、完全な平行光ではなく、ある程度の広がり角を有しているので、光分離素子によって反射光または透過光として分離された光の偏光方向(振動方向)は、完全な平行光が分離された結果得られるP偏光やS偏光の偏光方向と異なる。

【0041】

広がり角を有した光が、光分離素子105を通過後、図20(a)に示すように(光分離 50

面とほぼ直交するように配置されている色分離素子 106' の色分離面に入射すると、この光は色分離面に対して、P 偏光または S 偏光からずれた偏光方向を有していることになる。色分離面では、通常、直線偏光（光の入射面に対する P 偏光および S 偏光）の偏光方向に依存する位相のずれが発生する。よって、広がり角を有した光は、この影響を受け、色分離素子 106' から楕円偏光として出射されるため、コントラスト比の低下を招く。

【0042】

これに対して、図 20 (b) に示したように、色分離面を光分離面に対して略平行に配置にすると、この 2 つの面に対する S 偏光および P 偏光の偏光方向はそれぞれ互いに一致する（例えば、色分離面に対する S 偏光は光分離面に対しても S 偏光である）。したがって、色分離面で位相のずれが発生したとしても、P 偏光または S 偏光のどちらかの光しか存在しないため、偏光状態は変化しないため、コントラスト比を向上させることができる。

10

【0043】

図 20 (b) には、光分離素子の光分離面と色分離素子の色分離面を平行に配置した例を示したが、色分離面の角度は、図 20 (b) で示した角度 (0°) から、例えば ± 20 度程度ずれたとしても、その効果は低下するが、図 20 (a) の配置よりも高いコントラスト比が得られる。

【0044】

本発明の画像表示装置で用いられる照明光学系は、例えば、白色の光を出射する光源と、R、G および B の光の少なくとも 1 つの偏光方向を回転させる第 1 の偏光制御素子とによって構成される。この構成を採用することによって、効率よく所定の偏光方向の光を対応する反射型画像表示素子に入射させることができ、明るさをアップすることができる。なお、光源から出射された R、G および B の光は、例えば、偏光板を用いて直線偏光とすることができる。

20

【0045】

第 1 の偏光制御素子としては、例えば、USP 5,751,384 に開示されているような素子を利用できる。この素子は、複数の波長板（「位相差板」とも言う。）をその軸（光学軸、例えば遅相軸）の角度を変えて互いに積層し、ある特定の波長域の光のみの偏光方向を回転させる機能を有する。例えば、図 4 に示すように、B の光の偏光方向を回転させる偏光制御素子 104 を用いた場合、白色の直線偏光が偏光制御素子 104 に入射すると、出射光のうち R および G の光の偏光方向は維持され、B の光の偏光方向のみ回転させることができる。

30

【0046】

また、色分離面が 2 枚の基板（平行平板）の間に挟まれた構造を有する色分離素子は、分離された 2 色の光に対して同程度の非点収差を生成するので、投影光学系によってこの非点収差を補償することが可能となる。分離された 2 色の光に対する非点収差の発生量を互いに一致させるためには、色分離面を挟む 2 枚の基板の屈折率および厚さは互いに等しいことが好ましい。以下に、図 5 および図 21 を参照しながら説明する。

【0047】

画像表示素子で変調された光によって形成された画像をスクリーンに投影する場合、投影レンズと画像表示素子との間に色分離素子などの平行平板が入ると、非点収差が発生し、スクリーン上の画像に非点収差に起因するゆがみが生ずる。

40

【0048】

図 21 に示した従来の色分離素子 106' のように、平行平板の一方の面に色分離面（典型的には、誘電体多層膜）CP が形成されている色分離素子を用いた構成では、例えば反射型画像表示素子 107-R で反射され、色分離素子 106' に入射する光は、色分離素子 106' の表面（色分離面 CP）で反射されるため、この光に対する非点収差は発生しないが、反射型画像表示素子 107-G で反射された光は、色分離素子 106'（平行平板を含む）を通過するため、この光に対して非点収差が発生する。このように、反射型画像表示素子 107-R および 107-G からの光のうち一方の光に対してのみ非点収差が

50

発生するので、投影光学系によって非点収差を補償することは困難である。

【0049】

そこで、図5に示したように、色分離面が2枚のガラス基板（透明な平行平板）106aおよび106bにサンドイッチされた色分離素子106を使用すると、反射型画像表示素子107-Rおよび107-Gで反射された光が、色分離素子106のガラス中を通過する距離が互いに同じとなるので、投影光学系によって非点収差を補償することが可能となり、非点収差による歪のない良好な画像を表示できる。

【0050】

また、色分離素子106のガラス基板106aおよび106bの間に挟持された色分離面への光の入射角度は、ガラス表面で光が屈折されるため、クロスダイクロイックプリズムの色分離面への入射角度（典型的には45°）よりも小さくなり、前述した色分離面の偏光依存性による問題は大幅に緩和される。

【0051】

また、例えば、R、GおよびBの光に対応した3枚の反射型画像表示素子を図1に示すように配置した場合、反射型画像表示素子107-Bに至るの光路上には色分離素子が必要ないため、非点収差が発生しない。一方、先に述べたように、反射型画像表示素子107-R、107-Gに至る光路においては、色分離素子106によって非点収差が発生する。従って、投影光学系（投影レンズ）108で投影されるR、GおよびBの光のうち、RとGの光に対してのみ非点収差が発生するので、この非点収差を投影光学系で補償することは困難である。

【0052】

これに対し、反射型画像表示素子107-Bで反射された光の光路上に透明基板109を挿入することにより、R、GおよびBの光に対して発生する非点収差の発生量を同じにできるため、投影光学系（投影レンズ）108による補償が可能になり、良好な画像が得られる。なお、図1から明らかなように、3つ色の光に対する非点収差を同じにするためには、透明基板109は色分離素子106が有する2枚の基板と同じ基板（厚さは2枚分）で、Bの光の光路に対して、RおよびGの光の光路に対する色分離素子106（光分離面）の配置角度と同じ角度で配置されることが好ましい。

【0053】

また、反射型画像表示素子で偏光方向が変調されたR、GおよびBの光は、その中の1色（図1の例では、Bの光）の偏光方向が他の2色（図1の例では、RおよびGの光）と異なるため、第2の偏光制御素子を光分離素子（光合成素子としても機能する）の投影光学系側に配置することで、R、GおよびBの光の偏光方向をそろえることができる。その結果、スクリーンとして明るい照明下でも高いコントラスト比が保てる偏光スクリーンを用いることが可能となる。偏光スクリーンは、スクリーン面に偏光板が貼り付けられており、ランダム偏光（非偏光）で入射した光の半分をカットする。この偏光板の透過軸とプロジェクタ（投影型画像表示装置）から出射される光の偏光方向とを一致させておけば、プロジェクタからの投影光はほとんどカットされず、且つ、外光の影響を半減できるので、高いコントラスト比の表示が可能となる。さらに、後述する偏光選択素子（典型的には偏光板）を第2の偏光制御素子の後方（投影光学系側）に配置することによって、コントラスト比をさらに向上することが可能となる。

【0054】

また、偏光選択素子を第1の偏光制御素子の光入射側の光路上に配置することにより、第1の偏光制御素子に直線偏光を入射させることが可能となり、その結果、第1の偏光制御素子及び光分離素子によって効率よく色分離・偏光分離（および色合成・偏光合成）が行え、明るく、コントラスト比の高い画像を表示することができる。

【0055】

また、偏光選択素子を第2の偏光制御素子の光出射側の光路上に設けることにより、本来光分離素子によって光源の方向に返される光が、光分離素子を通過しても、偏光選択素子でカットされるため、コントラスト比の高い画像を表示することができる。

【 0 0 5 6 】

また、波長規制素子が挿入されていることにより、本来それぞれの反射型画像表示素子に照射されるべきでない波長域の光及び偏光方向の光を規制することができるため、色純度を向上することができると共にコントラスト比の低下を防止することができる。

【 0 0 5 7 】

また、2色の光を他の1色の光と偏光方向を異ならせて照射するため、偏光方向が同じ2色の光と他の1色の光との境界波長域において、P偏光とS偏光が混在する波長域が存在する。その偏光が混在している波長域の光を波長規制素子でカットすることにより、コントラスト比及び色純度が向上する。

【 0 0 5 8 】

また、偏光制御素子ではその特性によって、完全に偏光が回転できなかった光や本来偏光が回転してはいけない光の一部偏光の乱れが発生する。また、光分離素子も光を偏光方向にしたがって完全に分離することができないため、混色やコントラスト比の低下が起こる。

【 0 0 5 9 】

そこで、光分離素子と反射型画像表示素子107との間に、各反射型画像表示素子107に対応する色の光以外の光をカットする波長規制素子を挿入することにより、色純度及びコントラスト比の向上を図ることができる。

【 0 0 6 0 】

また、赤と緑との境界波長領域および緑と青との境界波長域の少なくとも一方の光を波長規制素子にてカットすることにより、色純度を向上させることができる。この波長規制素子は、上記の各反射型画像表示素子に対応する色の光以外の光をカットする波長規制素子と同時に使用しても良い。この場合、両波長規制素子の分光特性を併せ持つものを用いることが好ましい。

【 0 0 6 1 】

また、前記したように偏光が同じ2色の光と他の1色の光との波長の境界域においてP偏光とS偏光が混在する波長域が存在する。その偏光が混在している波長域はコントラスト比に影響を及ぼすため、カットすることが好ましい。

【 0 0 6 2 】

RとBの偏光方向を揃えた場合は、図22の斜線部に示すGの短波長側(B側)と長波長側(R側)の光をカットする必要があるため、Gの波長帯域を確保した場合、RおよびBの波長帯域が狭くなり、逆にRおよびBの波長帯域を確保した場合はGの波長帯域が狭くなる。よって、明るさと色純度が低下してしまう。

【 0 0 6 3 】

これに対して、RとGの偏光方向を揃えた場合又はBとGの偏光方向を揃えた場合、例えば図2に示すように(図2はRとGの偏光方向が同じ場合の例)、同図斜線部の波長帯域の光のみカットするだけで済むため、明るさの低下を抑制しながら、色純度を大幅に向上させることができる。

【 0 0 6 4 】

また、波長規制素子を光分離素子と反射型画像表示素子との間に配置した構成において、波長規制素子の波長規制面が反射型画像表示素子の画像表示面と角度をなすように配置することによって、コントラスト比を向上することができる(図7(b)参照)。以下に理由を説明する。

【 0 0 6 5 】

光分離素子の消光比(偏光選択比)が十分でないと、本来除去されるべき(他の反射型画像表示素子に向けて出射されるべき)不要な偏光が本来の偏光に混ざって反射型画像表示素子に向けて出射される。この不要な偏光は、光分離素子と反射型画像表示素子との間に配置された波長規制素子に入射し、波長規制面で反射される。従って、波長規制面が反射型画像表示素子の表面と平行に配置されていると、波長規制面で反射される不要な偏光は、投影光学系に向けて反射されることになり、表示のコントラスト比を低下させる。しかしながら、波長規制面が反射型画像表示素子の画像表示面と角度(0°を越え90°未満

10

20

30

40

50

)をなすように配置しておく、不要な偏光は、表示に用いられる本来の偏光とは異なる角度で投影光学系に向けて反射されるので、投影光学系によって容易に除去することができる。特に、波長規制素子の波長規制面が反射型画像表示素子の画像表示面と角度を約 $1.5^{\circ} \sim 13.5^{\circ}$ の範囲内に設定すれば、通常用いられるFナンバーが1~8の投影レンズによって不要な偏光を容易に除去することができる。

【0066】

また、プリズム状の色分離素子を用いると、非点収差が発生しないので、表示品位を向上することができる。あるいは、投影光学系に対して非点収差を補償するための特別な設計を施す必要がなくなる。板状の色分離素子を用いた場合、図12に示すように、色分離面CPに対向する面での表面反射で、スクリーン上にゴースト(画像が2重に映る現象)が発生するが、プリズム状の色分離素子を用いると、反射型画像表示素子で反射された光はプリズムに入射する際にその表面で反射されても、反射型画像表示素子の方向に戻るため、スクリーンには入射しない。従って、プリズム表面で反射された光による表示品位の低下が起こらない。色分離プリズムは、典型的には、2個の三角柱プリズムを貼り合せた四角柱プリズムであり、貼り合わせ面に誘電体多層膜が形成されている。三角柱プリズムの貼り合わせ面(誘電体多層膜)が色分離面として機能する。

10

【0067】

色分離プリズムの色分離面への光の入射角が大きいと、色分離面の色分離特性(波長選択性)の偏光依存性が大きく、色分離の効率が低い。例えば、典型的な、直角三角柱プリズムを貼り合せた正方柱プリズムの分離面に対する入射角は 45° であり、偏光依存性が大きく、色分離の効率が低い。そこで、例えば、頂角が鈍角の2等辺三角柱プリズムを貼り合せた平行四辺形柱プリズムを用いると、その色分離面への入射角を 45° 未満とすることが可能となり、色分離特性の偏光依存性を抑制することができる。その結果、色分離素子による色分離の効率を向上することができる。

20

【0068】

色分離素子として、サンドイッチ構造を有するダイクロイックミラーやダイクロイックプリズムを用いることが好ましいが、透明基板の一方の表面に色分離面CPを有するダイクロイックミラー(図21参照)を用いてもよい。このとき、色分離面CPを光分離素子(PBS)の方向を向くように配置することによって、図12に示した配置よりも、ゴーストの発生を抑制することができる。さらに、透明基板の表面上に形成された(露出された)色分離面CPで反射されるRおよびGの色光には非点収差は発生せず、色分離面CPを透過するBの光にのみ非点収差が発生するが、Bの光の視感度は最も低いので、表示画像の解像度には影響しない。従って、視感度の最も低いBの色光を透過するダイクロイックミラーを用いることによって、ゴーストの発生をさらに抑制できるとともに、非点収差による解像度の低下を抑制することができる。

30

【0069】

さらに、前記の複数の波長板を互いに重ね合わせて作製した偏光制御素子では、RとBの光又はRとGの光の偏光方向を回転させるものは層数が増えるため、高価になる。これに対して、R又はBの光の偏光方向を回転させる偏光制御素子とすれば、RとBの光又はRとGの光の偏光方向を回転させるものより、層数が少なく済むため、コストダウンが図れる。

40

【0070】

また、光分離素子の光分離面の偏光分離特性(P偏光を選択的に透過およびS偏光を選択的に反射)は、一般に光の波長範囲に依存する。また、P偏光に対する透過率とS偏光に対する反射率との両方を最適化すること困難であり、一方の特性(例えば、P偏光に対する透過率)を最適化すると、他方の特性(S偏光に対する反射率)が低下する。

【0071】

従って、光分離素子の光分離面のP偏光に対する透過率およびS偏光に対する反射率のどちらか一方を最適化し、最適化された特性を有する偏光が、2枚以上の反射型画像表示素子に入射するように配置することによって、表示品位を向上することができる。あるいは

50

、3原色の光のうちで視感度が最も高いGの光が、最適化された特性を有する偏光として光分離素子で分離することによって、表示品位を向上することができる。

【0072】

【発明の実施の形態】

以下に本発明の実施形態を図面を参照しながら具体的に説明する。

【0073】

図1は本発明による実施形態の投影型カラー画像表示装置100の模式図である。なお、以下の図面において、実質的に同じ機能を有する構成要素は共通の参照符号で示す。

【0074】

画像表示装置100は、赤、緑、青の3原色の光を、そのうちの2色の光の偏光方向を他の1色の光の偏光方向と異ならせて出射する照明光学系100aと、照明光学系100aから出射された光を偏光方向によって分離する光分離素子としてのPBS105と、偏光方向が同じ前記2色の光を分離する色分離素子としてのダイクロイックミラー106と、PBS105およびダイクロイックミラー106によって分離された光(R、GおよびB)をそれぞれ変調する反射型画像表示素子107-R、107-Gおよび107-Bと、反射型画像表示素子107-R、GおよびBで変調された光を投影する投影光学系(投影レンズ)108とを有する。

10

【0075】

照明光学系100aは、白色光源101と、波長規制素子としてのトリミングフィルタ102と、偏光選択素子としての偏光板103と、偏光制御素子104とを有している。

20

【0076】

本実施形態では光源101として、120W、アーク長1.4mmのPhilips社製のUHPランプを用いた。光源101としては、この他にハロゲンランプやキセノンランプ、メタルハライドランプを用いることができる。

【0077】

光源101からの光は、放物面鏡101aで略平行光にされたのち、トリミングフィルタ102と偏光板103に入射する。

【0078】

偏光板103は、紙面に対して垂直方向の光のみを透過し、得られた直線偏光は偏光制御素子104に入射する。

30

【0079】

偏光制御素子104は、図2に示すような特性を有しており、入射光のうちBの光の偏光方向だけを紙面に対して平行方向に回転し、PBS105に入射させる。

【0080】

図2中の実線は、図3に示す光学系においてPBS105の光分離面PPで反射された光の特性であり、破線はPBS105の光分離面PPを透過した光の特性である。

【0081】

本実施形態では偏光制御素子104として、USP5、751、384に開示されているような素子を使用した。この素子は複数の波長板をその軸の角度を変えて積層し、ある特定の波長域の光のみの偏光方向を回転させる機能を有する。本実施形態のように、Bの偏光の偏光方向を回転させる素子を用いた場合、図4に示すように、白色の直線偏光が本素子に入射すると、その出射光のうちRおよびGの光の偏光方向は維持され、Bの光の偏光方向のみ回転させることができる。

40

【0082】

本実施形態では、偏光制御素子104として上記素子を用いたが、同様の機能を有するものであれば、いかなるものでも利用でき、例えばコレステリック液晶などを用いても良い。

【0083】

トリミングフィルタ102は、図2の斜線部で示す偏光制御素子104で偏光方向を回転させるBの光と偏光が回転しないGの光の境界の波長域をカットする働きと、RとGの境

50

界波長域(570nm~590nm)をカットする働きを合わせ持つ。

【0084】

偏光制御素子104を出射した光がPBS105に入射すると、RおよびGの光は、PBS105に対してS偏光となるため光分離面PPで反射され、Bの光はP偏光となるために光分離面PPを透過する。

【0085】

PBS105で反射されたRおよびGの光は、PBS105の光分離面PPと略平行に配置されたダイクロミックミラー106に入射し、Rの光は反射され、Gの光は透過する。ダイクロミックミラー106の色分離面CPは、PBS105の光分離面PPと略平行に配置されているので、上述したように、色分離面CPによる偏光状態の乱れが抑制され、

10

【0086】

これらPBS105やダイクロミックミラー106を透過・反射した光は、それぞれ対応する反射型画像表示素子107-R、107-G、107-Bに入射して、画像信号に合わせて変調される。その後、RおよびGの光はダイクロミックミラー106に再度入射し、合成された後、再度PBS105に向けて反射される。Bの光も同様に変調された後にPBS105に向けて反射される。PBS105によって、偏光方向が変調された光のみが選択的に投影レンズ108に向けて出射される。このとき、PBS105は偏光合成素子または色合成素子として機能する。

【0087】

反射型画像表示素子107としては、0.9型XGAパネルで、垂直配向の液晶モードのものを用いた。液晶のモードとしては、この他にTNモードなど、いかなる反射型液晶表示素子でも使用できる。

20

【0088】

ダイクロミックミラー106は、図5に示すような構造になっており、誘電体面(色分離面)CPがガラス基板106aおよび106bにサンドイッチされて光学的に貼り合わされている。よって、ダイクロミックミラー106で色分離され、反射型画像表示素子107-R、107-Gで反射された光が、ダイクロミックミラー106で色合成される時に、それぞれの光(RとGの光)が通過するガラス中の光路長が同じになり、それによって発生する非点収差も同じとなる。勿論、ガラス基板106aおよび106bとして、同じガラス基板(平行平板)を用いることが好ましい。なお、上述したように、ダイクロミックミラー106の色分離面CPは色合成面としても機能する。

30

【0089】

この構造によって、ダイクロミックミラー106では、ガラス基板106aおよび106bでの光の屈折により、色分離面CPへの光の入射角度が変化し、ダイクロミックミラー106の配置角度が変化した場合と同様の状態になるが、その変化量は20°以下であるため、コントラスト比を大幅に低下させるほどの影響は出ない。もちろん、ガラス基板106aおよび106bでの光の屈折を考慮して、色分離面CPへの入射角が20°以下とすることが好ましい。

【0090】

一方、反射型画像表示素子107-Bで反射された光は、透明ガラス基板109を通過した後に、PBS105に入射することになる。よって、この透明ガラス基板109の厚さをダイクロミックミラー106の厚さ(ガラス基板106aおよび106bの厚さの合計)と同じにしておけば、R、GおよびBの光に対する非点収差量は互いに同じとなる。なお、ガラス基板109の光路に対する配置角が、ダイクロミックミラー106の光路に対する配置角と等しいことが好ましいことは、言うまでもない。但し、非点収差量を一致させることができるかぎり、他の構成を用いてもよい。

40

【0091】

投影レンズ108は、これらの非点収差を補償(補正)する設計とした。上述したように、基板間に挟持された色分離面を有する色分離素子を用い、さらに、色分離素子を経ない

50

で反射型画像表示素子に至る光路上に色分離素子と同じ厚さの透明基板を配置することによって、全ての色の光に対する非点収差を等しくできるので、投影レンズ108の設計を変更するだけで、非点収差を補償することが可能となる。

【0092】

本実施形態では、サンドイッチ構造のダイクロイックミラー106を用いたが、必要な解像度によっては、必ずしもサンドイッチ構造にする必要はなく、従来の色分離面がガラスの表面に形成されたタイプのものを用いても良い。この場合、解像度に最も影響するGの光に対応した反射型画像表示素子107-Gを非点収差が発生しない光路に配置するか、もしくは、反射型画像表示素子107-Gの非点収差をとるように投影レンズを設計するのが好ましい。また、同様に透明ガラス基板109も必要な解像度によっては、必ずしも配置する必要はない。

10

【0093】

PBS105と投影レンズ108の間には、偏光制御素子104と同特性の偏光制御素子110と紙面に対して垂直方向の偏光を通過させる偏光板111が配置されている。

【0094】

PBS105の投影レンズ108側に設けられた偏光制御素子110は、Bの光のみの偏光方向を回転し、R、GおよびBの偏光方向を揃える働きを持つ。偏光制御素子110として、偏光制御素子104と同様の素子を用いることができる。また、偏光制御素子110と投影レンズ108との間に設けられた偏光板111は、偏光制御素子110からの光のうちPBS105で本来カットされる光の漏れ光をカットし、コントラスト比を向上させる。このように、投影レンズ108によって投射され、表示に用いられるR、GおよびBの全ての光が同じ偏光であると、偏光スクリーン上に投影することによって、表示のコントラスト比を向上させることができる。

20

【0095】

PBS105と反射型画像表示素子107-R、107-Gとの間及びPBS105と反射型画像表示素子107-Bの間には、それぞれ図6(a)、(b)に示すような特性のダイクロイックミラー112、113が挿入されており、各反射型画像表示素子107-R、107-G、107-Bが対応する光以外の光をカットする働きを持つ。ダイクロイックミラー112、113で反射された不要光は、PBS105を介して光源101の方に戻る。なお、図6(a)はダイクロイックミラー112の分光特性(RとGとを選択的に透過)を示し、図6(b)はダイクロイックミラー113の分光特性(Bを選択的に透過)を示す。

30

【0096】

本実施形態では、ダイクロイックミラー112をPBS105の直後に配置したが、RとGの光をダイクロイックミラー106で光を分離した後に配置しても良い。この場合、その分光特性は、Gの反射型画像表示素子107-Gに対応するダイクロイックミラーはGのみ透過、Rの反射型画像表示素子107-Rに対応するダイクロイックミラーはRのみ透過するものを用いても良く、PBS105や偏光制御素子104の特性によっては、どちらか一方に配置しても良い。

【0097】

また、本実施形態では、PBS105で分離された光路の両方にそれぞれダイクロイックミラー112と113を配置したが、PBS105や偏光制御素子104の特性によってはダイクロイックミラー112、113を配置しなくても良く、一方だけに挿入しても良い。

40

【0098】

さらに、本実施形態では、BとGの光の境界波長域をカットする働きと、RとGの光の境界波長域をカットする働きを合わせ持つトリミングフィルタ102を使用した。本フィルタではPBS105や偏光制御素子104の特性及び、使用する波長域によっては、必ずしも両方の境界波長域の光をカットする必要はなく、また、要求される表示性能によっては、必ずしも配置しなければいけないものではない。また、トリミングフィルタ102

50

の配置位置は光源からスクリーンまでの光路上であればいかなる位置でも良い。

【0099】

上記構成を有するプロジェクタ100は、非常に明るく、高コントラスト比でありながら、コンパクトで低コストな液晶プロジェクションが実現できた。

【0100】

本実施形態では、Bの光の偏光方向を回転させる偏光制御素子104、110を用いたが、偏光方向を回転させる色はこれに限定されるものではなく、また、PBS105に入射する各色のP、S偏光が入れ替わっても良い。

【0101】

本実施形態では白色光をPBS105でRおよびGとBの光に分離したが、GおよびBとRなど組み合わせを変えることも可能である。この場合、偏光制御素子104、110で回転させる光の色を変えるだけで良い。

10

【0102】

また、本実施形態では、PBS105の光入射側及び出射側の両方に偏光板と偏光制御素子を配置したが、光出射側の偏光制御素子110と偏光板111は必ずしも必要ではない。

【0103】

次に、図1に示した画像表示装置100による表示の品位をさらに向上するための構造を説明する。図7(a)は、画像表示装置100におけるPBS105の周辺の光学素子の配置関係を模式的に示す図であり、図7(b)はそれを改変した配置を模式的に示している。なお、図7では、色分離用のダイクロイックミラー106を省略し、反射型画像表示素子107-Rおよび107-Gの一方を反射型画像表示素子107として示している。なお、参照符号107は任意の反射型画像表示素子に対しても用いる。

20

【0104】

画像表示装置100のように、波長規制のためのダイクロイックミラー112および113を、それぞれ対応する反射型画像表示素子107とPBS105との間に配置した場合、例えば、図7(a)に示したように、PBS105の光分離面PPを本来透過すべき光B(p)(BのP偏光)の一部がPBS105の消光比が完全でないため、PBS105の光分離面PPで反射されて、光B(p)'としてダイクロイックミラー112に入射する。B光のP偏光のうちの不要なものを光B(p)'として表すこととする。

30

【0105】

光B(p)'は、本来PBS105の光分離面PPを透過し、対応する反射型画像表示素子107-Bに入射する光であるため、ダイクロイックミラー112で反射され、再度PBS105に入射する。PBS105に入射した光B(p)'のほとんどは、PBS105の光分離面PPを透過し、投影レンズ(不図示)に入射するため、表示のコントラスト比を低下させる。

【0106】

ここで、図7(b)に示したように、ダイクロイックミラー112および113の光規制面と反射型画像表示素子107の画像表示面とが角度をなすように配置すると、ダイクロイックミラー112および113で反射された光B(p)'は、反射型画像表示素子107で反射された光(表示に用いられる光)と異なる角度でPBS105に入射する。従って、図8に模式的に示したように、投影レンズ108ではコントラスト比の低下の原因となる光B(p)'のみが瞳でけられる。その結果、PBS105の不完全な色分離特性に起因するコントラスト比の低下を防止することができる。

40

【0107】

通常、投影型画像表示装置に使用される投影レンズ108の受光角は、使用する画像表示素子のサイズによって変化するが、おおよそ3°~27°(Fナンバー1~8)の範囲である。従って、コントラスト比の低下の原因となる不要光B(p)'が、図8の破線で示すように、投影レンズ108の受光角よりも大きな角度で入射するように、ダイクロイックミラー112の波長規制面(典型的には、誘電体多層膜)の反射型画像表示素子107の

50

画像表面に対する角度 θ を、投影レンズの受光角に応じて、約 $1.5^\circ \sim 13.5^\circ$ の範囲内で調節することによって、不要光 $B(p)'$ がカットされ、効果的にコントラスト比の向上が図れる。なお、ダイクロイックミラー 112 の波長規制面を θ だけ傾けると、反射光は入射光に対して 2θ の角をなすので、このとき、投影レンズの受光角は 2θ 以下であることが必要である。この関係を満足する範囲内で、投影レンズの受光角に応じてダイクロイックミラー 112 の波長規制面の反射型画像表示素子 107 の画像表面に対する角度 θ を調節する。

【0108】

PBS 105 の不完全な光分離特性に起因して、表示品位が低下することがある。図 9 を参照しながら、この現象を説明する。図 9 は、画像表示装置 100 における PBS 105 の周辺の光学素子の配置関係を模式的に示す図である。なお、簡単さのために、説明に不要な光学素子を省略している。

【0109】

図 9 に示したように、対応する反射型画像表示素子 107 - G に入射した光 $G(S)$ (G の S 偏光) が、反射型画像表示素子 107 - G で変調されずに反射されたとき (典型的には、反射型画像表示素子 107 - G が黒表示状態のとき)、再び PBS 105 に入射する光 $G(S)$ のほとんどは、PBS 105 の光分離面 PP で反射され、光源 (不図示) の方向に戻るが、PBS 105 の消光比が完全ではない為、その一部 ($G(s)'$ と表記する。) は、PBS 105 の光分離面 PP を透過する。この光 $G(s)'$ のほとんどは、偏光板 111 によってカットされる。しかしながら、特に、偏光制御素子 110 が PBS 105 と偏光板 111 との間に配置されている場合、PBS 105 の光分離面 PP を透過した $G(s)'$ の一部の偏光方向が偏光制御素子 110 によって乱され、偏光板 111 を透過し、その結果、表示のコントラスト比が低下する。

【0110】

また、図 17 に示した光学系では、照明光を R、G および B の光に色分離した後、それぞれの色光に対する PBS 702 に入射させているのに対し、本実施形態の画像表示装置 100 では、全ての色光が PBS 105 に入射するので、PBS 105 は、R、G および B の光のすべての波長域に対して高い消光比が要求される。しかしながら、広い波長域に亘って、P 偏光および S 偏光の両方に対して高い消光比を有する PBS 105 を得ることは困難である。例えば、S 偏光に対する特性 (反射率) が良くなるように設計した場合、P 偏光に対する特性 (透過率) は低下する。すなわち、図 10 に示すような、色分離特性が得られる。

【0111】

図 10 に示したように、S 偏光に対して高い特性を示す PBS を図 9 の PBS 105 として用いると、光 $G(s)'$ を低減させることができ、コントラスト比を向上させることができる。

【0112】

一般に、PBS 105 の偏光分離特性を P 偏光および S 偏光のどちらに対して最適化してもよいが、他方の偏光に対する偏光分離特性が低下するので、より多くの反射型画像表示素子 (通常、R、G および B の 3 パネルが用いられるので、2 枚以上) が配置されている側の偏光方向に最適化するか、あるいは、より視感度の高い G の光に対応した反射型画像表示素子が配置されている偏光に対して、PBS 105 の偏光分離特性を最適化することがより効果的である。

【0113】

図 11 (a) および (b) に、画像表示装置 100 に対して上述した構造を適用した投影型カラー画像表示装置 200 および 300 を模式的に示す。

【0114】

図 11 (a) の画像表示装置 200 では、ダイクロイックミラー 112 及び 113 は、それぞれが対応する反射型画像表示素子 107 の表示面に対して、約 5° 傾けて配置されている (図 8 中の θ が約 5°)。また、図 11 (b) では、ダイクロイックミラー 112、

10

20

30

40

50

113と同様の機能を有するダイクロイックミラー211、212および213をそれぞれ対応する反射型画像表示素子107の表示面に対して、約5°傾けて配置されている。

【0115】

画像表示装置200および300は、ともに、投影レンズ108として、Fno.が3.0(受光角±9.5°)のものを用い、反射型画像表示素子107に対して、±10°の平行度を有する照明光を入射させた。

【0116】

上記の構造を採用することによって、ダイクロイックミラー112および113、またはダイクロイックミラー211、212および213で反射された不要光が、PBS105の不完全な偏光分離特性によって、投影レンズ108の方向に出射されても、この不要光は図8の破線で示したように投影レンズ108の瞳を通過できないので、コントラスト比の低下が防止される。画像表示装置200および300は、明るさを低下させずに、画像表示装置100よりもさらに高コントラスト比な表示を実現することができた。

10

【0117】

画像表示装置200および300では、ダイクロイックミラー112および113、またはダイクロイックミラー211、212および213で反射された不要光がすべて投影レンズ108でカットされるように、ダイクロイックミラー112および113、またはダイクロイックミラー211、212および213を傾けたが、これらのダイクロイックミラーの傾き角を小さくし、不要光の一部が投影レンズ108を透過する構成を採用しても、画像表示装置100よりも、コントラスト比を向上することができる。

20

【0118】

また、画像表示装置200および300では、PBS105として、図10に示したように、S偏光に対する特性(反射率)がP偏光に対する特性(透過率)よりも優れているものを用いている。従って、PBS105の光分離面PPでP偏光よりも良好に分離されたS偏光が、3枚の反射型画像表示素子のうちの反射型画像表示素子107Gおよび107Rに入射し、偏光分離特性が劣るP偏光は反射型画像表示素子107Bにのみ入射する。このように、PBS105の偏光分離特性を最大限に利用することによって、コントラスト比を低下させる光をさらに低減することができる。

【0119】

画像表示装置200および300では、S偏光に対する偏光分離特性を最適化したPBS105を用い、2枚の反射型画像表示素子107Gおよび107RをS偏光側に配置したが、S偏光側に視感度の高いGに対応した反射型画像表示素子107G1枚を配置しても同様の効果が得られる。また、P偏光に対して偏光分離特性を最適化したPBS105を用いた場合、P偏光側に2枚の反射型画像表示素子107を配置した構成を採用してもよいし、P偏光側に視感度の高いG光に対応した反射型画像表示素子107Gを1枚配置した構成を採用しても、同様に効果が得られる。

30

【0120】

画像表示装置200および300では、偏光制御素子104でBの偏光方向を回転させたが、RとGの光の偏光方向を回転させても良く、PBSに入射する光のP偏光とS偏光が逆になっても良い。また、PBS105で分離された光路の両方にそれぞれダイクロイックミラー112と113及びダイクロイックミラー211、212および213を配置したが、PBS105や偏光制御素子104の特性によっては上記のダイクロイックミラーを配置する数を減らしても良い。さらに、PBS105の光入射側及び出射側の両方に偏光板と偏光制御素子を配置したが、光出射側の偏光制御素子110と偏光板111は必ずしも必要ではない。

40

【0121】

また、画像表示装置200および300においても、色分離面が2枚のガラス基板にサンドイッチされた色分離素子106を用いたが、必要な解像度によっては、必ずしもサンドイッチ構造の色分離素子106を用いる必要はなく、ガラス基板の一方の表面に色分離面が形成された従来の色分離素子106'(例えば図21参照)を用いてもよい。

50

【0122】

次に、色分離素子として、ダイクロイックプリズムを用いる構成とその動作を説明する。

【0123】

上述したように、色分離素子として、平行平板の一方の面上に色分離面を形成した従来のダイクロイックミラー106'を用いると、非点収差を発生するので、上述したように、その非点収差を補償するための特別な工夫(色分離素子106やガラス基板109の使用)が必要となる。

【0124】

さらに、従来のダイクロイックミラー106'のような平行平板状の色分離素子を用いると、図12に示すように、ガラス基板106a'の色分離面CPに対向する表面で反射された光(「ゴースト光」と呼ぶ。)によって、スクリーン上に画像が2重に映る現象、いわゆるゴースト現象が発生する。

10

【0125】

これに対し、図13(a)および(b)に示す投影型カラー画像表示装置400および500のように、プリズム状の色分離素子(ダイクロイックプリズム)206を用いると、非点収差が発生しないので、図1に示した画像表示装置100のような特別な工夫をすることなしに、表示品位を向上することができる。ダイクロイックプリズム206は、典型的には、2個の三角柱プリズムを貼り合せた四角柱プリズムであり、貼り合わせ面に誘電体多層膜が形成されており、貼り合わせ面が色分離面CPとして機能する。

【0126】

20

さらに、ダイクロイックプリズム206を用いると、反射型画像表示素子で反射された光は、ダイクロイックプリズム206に入射する際にその表面で反射されても、反射型画像表示素子の方向に戻るため、スクリーンには入射しない。従って、ダイクロイックプリズム206の表面で反射された光がゴースト現象を引き起こすことは無い。

【0127】

なお、画像表示装置400のダイクロイックプリズム206は、直角三角柱プリズムを貼り合せた正方柱プリズムなので、色分離面CPへの光の入射角が45°と比較的大きいので、偏光依存性が大きく、色分離の効率が低い。そこで、図13(b)の画像表示装置500のように、例えば、頂角が鈍角の2等辺三角柱プリズムを貼り合せた平行四辺形柱プリズムからなるダイクロイックプリズム206を用いると、色分離面CPへの入射角を45°未満となり、色分離特性の偏光依存性を抑制することができる。この例では、光入射角が40°となるダイクロイックプリズム206を用いた結果、色分離の効率を向上し、明るさ及び色純度を向上させることができた。

30

【0128】

なお、色分離素子としてプリズム素子を用いる場合には、それぞれの色の光の光路長を互いに等しくするために、図13(a)および(b)に示したように、ダイクロイックプリズム206を経ない光路にガラスブロック209を配置することが好ましい。

【0129】

色分離素子として、ダイクロイックプリズムを用いる画像表示装置の構成は、例示した画像表示装置400および500に限られず、上述した構成と適宜組み合わせることが可能で、ダイクロイックミラーに代えてダイクロイックプリズムを用いることによって、上述の効果を付加的に得ることができる。

40

【0130】

上述したように、色分離素子として、サンドイッチ構造を有するダイクロイックミラー106やダイクロイックプリズム206を用いることが好ましいが、従来のダイクロイックミラー106'を用いてもよい。図14に本発明による他の投影型カラー画像表示装置100'を模式的に示す。

【0131】

図14に示した画像表示装置100'は、図1に示した画像表示装置100におけるサンドイッチ型ダイクロイックミラー106を、ガラス基板の一方の表面に色分離面CPを有

50

する従来のダイクロイックミラー106'に置き換えたものである。ダイクロイックミラー106'は、色分離面CPがPBS105の方向を向くように配置されている。また、ダイクロイックミラー106'として、Bの光を透過するものを用いる。さらに、ダイクロイックミラー106'を上述のように配置すると、GまたはRの色光は、露出されている色分離面CPで反射されるので、これらの色光には非点収差が発生しない。従って、図1の画像表示装置100における透明基板109は設けていない。

【0132】

画像表示装置100'においては、Bの光に対して非点収差が発生するが、RおよびGの光と合成され、スクリーン上に投影された画像の解像度には、ほとんど影響しない。これは、Bの光に対する人間の目の視感度は、RおよびGの光に対する視感度よりも低いので、投影表示された画像の解像度は、RおよびGの画像の解像度が支配的となるからである。

10

【0133】

さらに、ダイクロイックミラー106'の色分離面CPをPBS105側に向け、且つ、視感度の最も低いBの光を色分離面CPが透過する構成を採用することによって、スクリーン上でのゴーストの発生をほとんど視認できない程度に抑制することができる。

【0134】

図14に示した配置では、反射型画像表示素子107-Rおよび107-Gで反射された光は、直接、色分離面CPで反射されるので、ゴーストは発生しない。反射型画像表示素子107-Bで反射された光は、透明基板の色分離面CPが形成されていない面で反射されるが、この反射光は投影レンズに入射しない。また、色分離面CPに到達したBの光のほとんどは、色分離面CPを透過する。色分離面CPの特性によってBの光のその一部が反射され、この反射された光の一部が、透明基板の色分離面CPが形成されていない方の面で再度反射され、ゴーストとなる。しかしながら、このゴーストは、色分離面CPが反射型画像表示素子107側を向くよう配置された構成(図12参照)で発生するゴーストに比べると極めて軽度である。もちろん、色分離面CPが視感度の最も低いBの光を透過する構成を採用することがゴーストの発生を抑制するために好ましいが、他の色光を透過する構成を採用しても、図12に示した構成よりも、ゴーストの発生は抑制される。

20

【0135】

また、Bの光がダイクロイックミラー106'を透過する構成よりも効果は低いものの、必要とされる画質によっては、Bの光の次に視感度が低い、Rの光がダイクロイックミラー106'を透過する構成を採用してもよい。

30

【0136】

画像表示装置100'においては、BおよびGの光をPBS105で反射させる構成を採用したが、BおよびRの光を反射させてもよい。また、BおよびGの光、または、BおよびRの光を透過する構成を採用してもよい。

【0137】

上述したように、従来のダイクロイックミラー106'の透明基板の一方の表面に形成された色分離面CPをPBS105の方向を向くように配置することによって、ゴーストの発生を抑制することができる。さらに、視感度の最も低いBの色光を透過するダイクロイックミラー106'を用いることによって、ゴーストの発生をさらに抑制できるだけでなく、非点収差による解像度の低下を抑制することができる。

40

【0138】**【発明の効果】**

以上のように本発明によれば、PBSに入射するR、GおよびBのうちの1色を他の色と偏光方向を異ならせることにより、PBSとダイクロイックミラーで色分離が行えるため、コンパクトかつ、低コストな画像表示装置(例えば、液晶プロジェクタ)を実現できる。

【0139】

また、R、GおよびBの光のうち偏光方向が同じ2色の光のうち的一方をGとすることで

50

、使用できる光の帯域が広げられ、明るさ、色純度をアップできる。

【0140】

また、色分離用のダイクロイックミラーの色分離面をガラス基板で挟み込む構造をとり、かつ、色分離を行わない方の光路上に透明基板を挿入することで、各反射型画像表示素子に発生する非点収差の収差量が同じになり、投影レンズで収差を補正できるため、解像度の高い画像を実現することができる。

【0141】

さらに、S偏光とP偏光とが混在する波長域の光や各反射型画像表示素子に対応した光以外の光をカットする波長規制素子を設けることにより、R、GおよびBの色純度の向上やコントラストのアップを図ることができる。

10

【0142】

さらに、波長規制素子の波長規制面を反射型画像表示素子の画像表示面に対して傾斜して配置することによって、コントラスト比をさらに向上することができる。

【0143】

また、プリズム状の色分離素子を用いると、さらに表示品位を向上することができる。

【0144】

さらに、偏光分離特性がP偏光およびS偏光のうちのどちらか一方に対して最適化された光分離素子を用い、G光が最適化された偏光として分離されるように配置するか、あるいは、2枚以上の反射型画像表示素子を最適化された偏光に対応して配置することによって、さらに表示品位を向上することができる。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施形態に係る投影型カラー画像表示装置100の模式図である。

【図2】本発明の実施形態で用いた偏光制御素子の分光特性である。

【図3】偏光制御素子の分光特性測定に用いた光学系である。

【図4】偏光制御素子の機能の説明図である。

【図5】ダイクロイックミラーの構造図である。

【図6】本発明の実施形態で用いたダイクロイックミラーの分光特性である。

【図7】(a)は、投影型カラー画像表示装置100におけるPBS105の周辺の光学素子の配置関係を模式的に示す図であり、(b)はそれを改変した配置を模式的に示す図である。

30

【図8】図7(b)の配置によってコントラスト比の低下が防止できることを示す模式図である。

【図9】PBSの不完全な偏光分離特性によってコントラスト比が低下するメカニズムを説明するための模式図である。

【図10】本発明による実施形態の投影型カラー画像表示装置に用いられるPBSの偏光分離特性を示すグラフである。

【図11】(a)および(b)は、本発明による実施形態の投影型カラー画像表示装置200および300をそれぞれ模式的に示す図である。

【図12】従来のダイクロイックミラー106'によるゴースト現象を説明するための模式図である。

40

【図13】(a)および(b)は、本発明による実施形態の投影型カラー画像表示装置400および500をそれぞれ模式的に示す図である。

【図14】本発明による実施形態の投影型カラー画像表示装置100'を模式的に示す図である。

【図15】透過型液晶表示素子の画素部の説明図である。

【図16】反射型液晶表示素子の説明図である。

【図17】反射型液晶表示素子を用いた3板式液晶プロジェクションの説明図である。

【図18】反射型液晶表示素子を用いた別の3板式液晶プロジェクションの説明図である。

【図19】クロスダイクロイックプリズムの偏光依存性の説明図である。

50

【図20】色分離用ダイクロイックミラーの配置方向の説明図である。

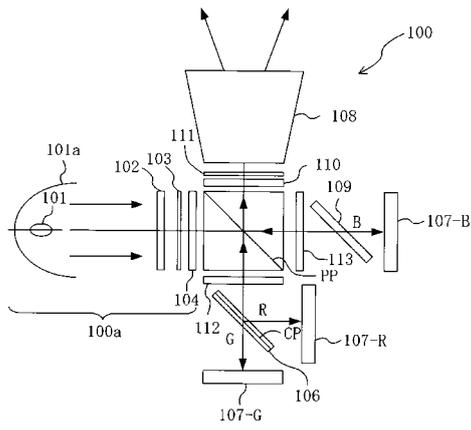
【図21】従来の色分離用ダイクロイックミラーの説明図である。

【図22】赤と青の偏光方向を揃えた場合の偏光制御素子の分光特性である。

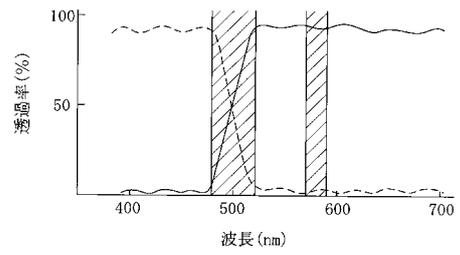
【符号の説明】

100	投影型カラー画像表示装置	
100a	照明光学系	
101	光源	
102	トリミングフィルタ	
103	偏光板	
104	偏光制御素子	10
105	PBS	
106	色分離用ダイクロイックミラー	
107	反射型画像表示素子	
108	投影レンズ(投影光学系)	
109	透明基板	
110	偏光制御素子	
111	偏光板	
112	ダイクロイックミラー	
113	ダイクロイックミラー	
206	色分離用ダイクロイックプリズム	20
209	ガラスブロック	
211、212、213	ダイクロイックミラー	
601	TFT	
602	ブラックマトリクス	
603	ゲートバスライン	
604	ソースバスライン	
601	反射型の画素電極	
701	光源	
702	PBS	
703	クロスダイクロイックミラー	30
704	反射型液晶表示素子	
705	投影レンズ	

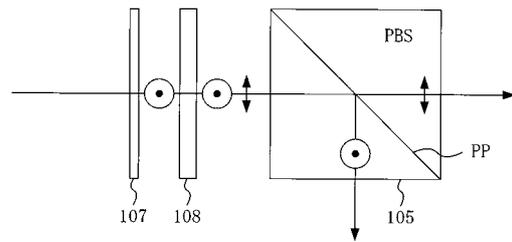
【 図 1 】



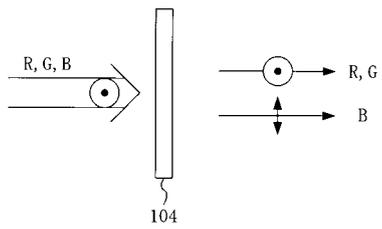
【 図 2 】



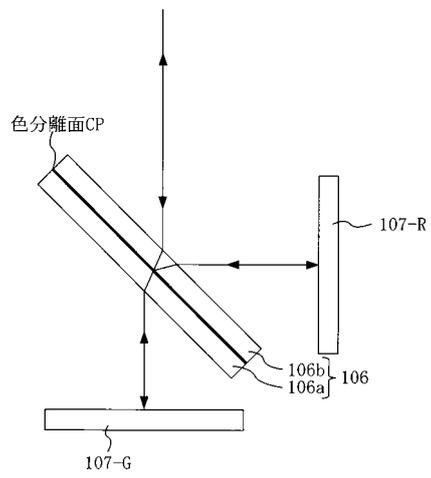
【 図 3 】



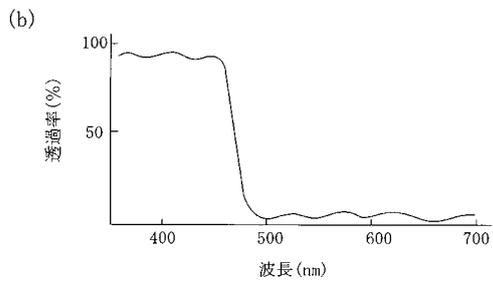
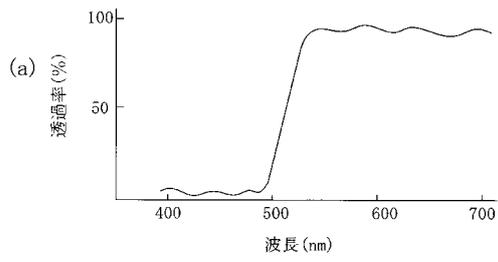
【 図 4 】



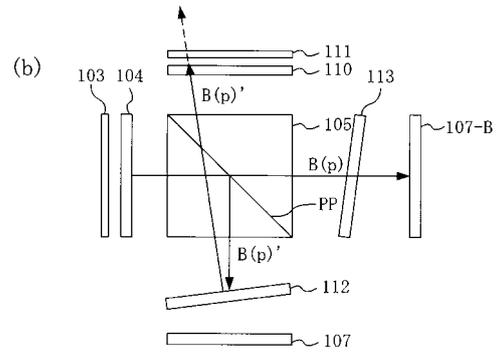
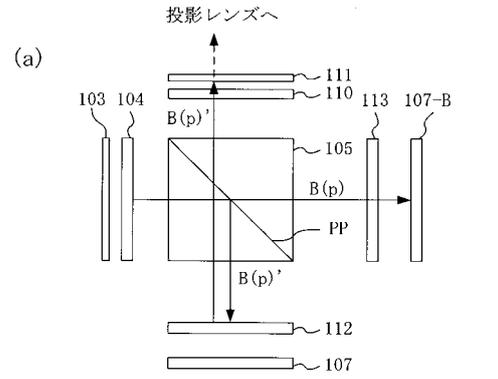
【 図 5 】



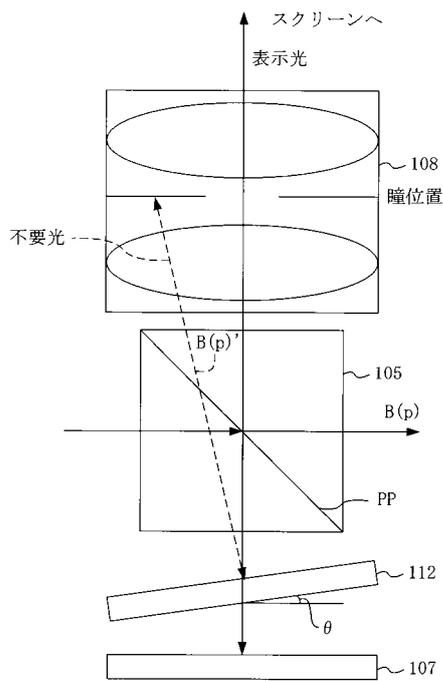
【 図 6 】



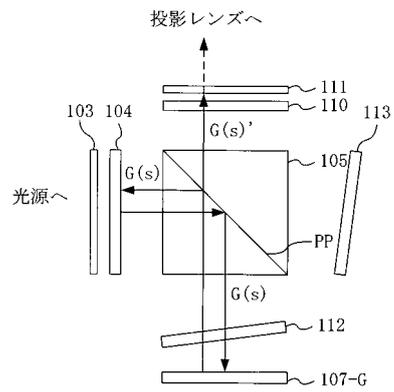
【 図 7 】



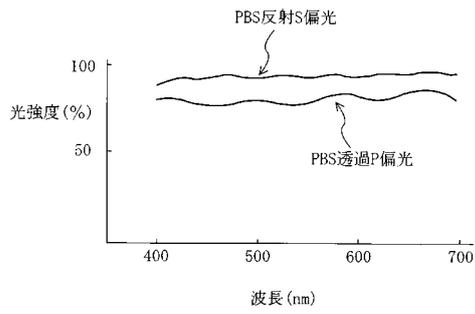
【 図 8 】



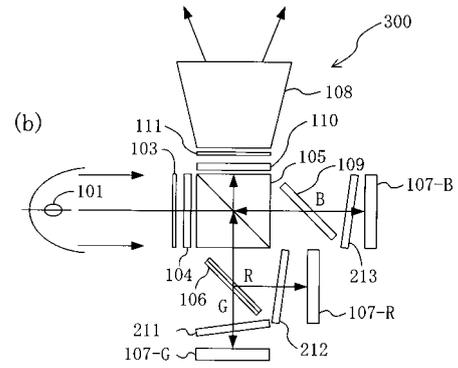
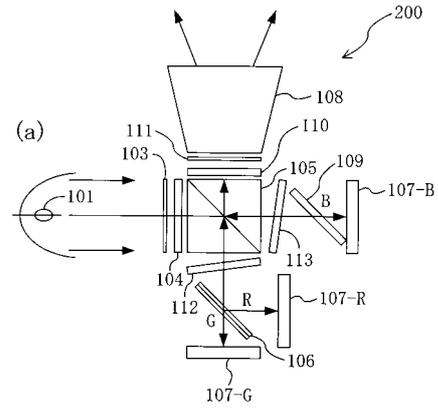
【 図 9 】



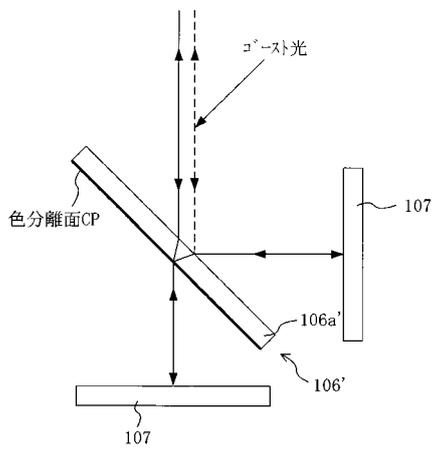
【 図 1 0 】



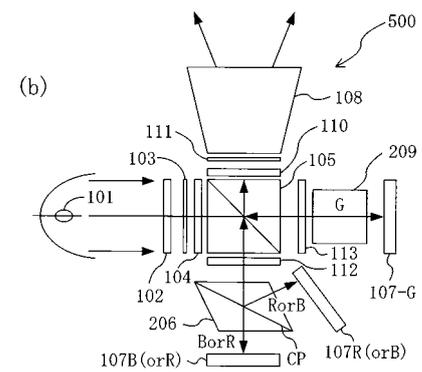
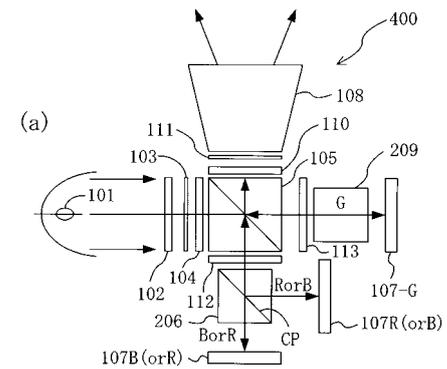
【 図 1 1 】



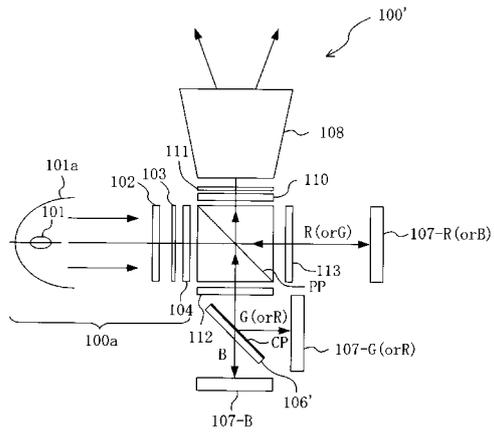
【 図 1 2 】



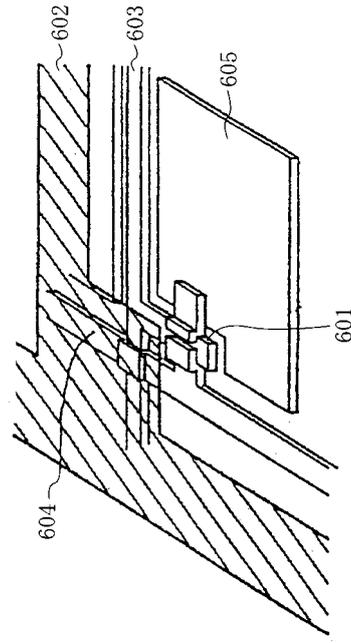
【 図 1 3 】



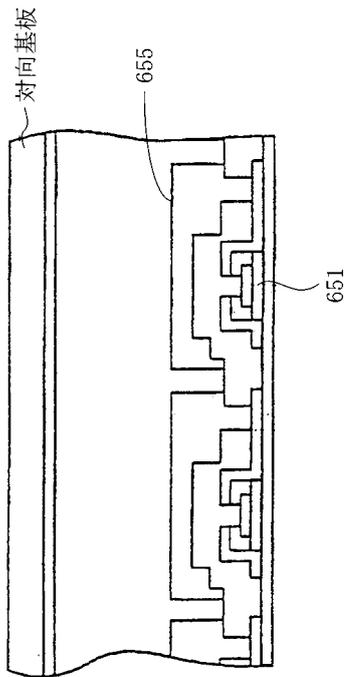
【 図 1 4 】



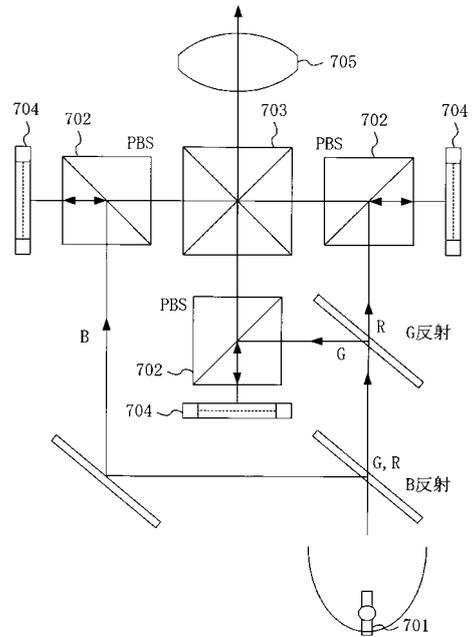
【 図 1 5 】



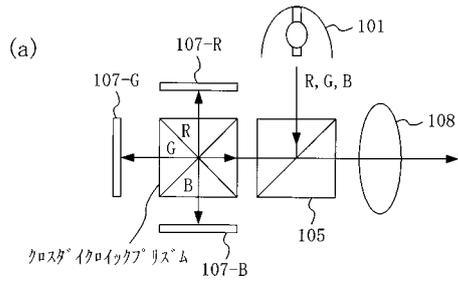
【 図 1 6 】



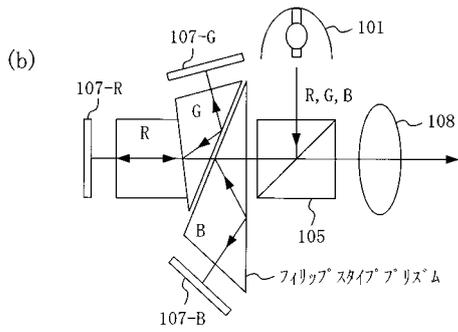
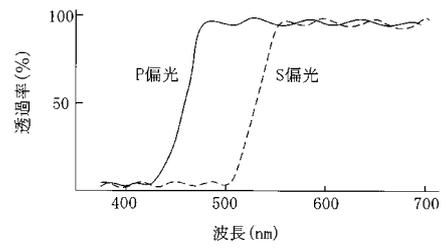
【 図 1 7 】



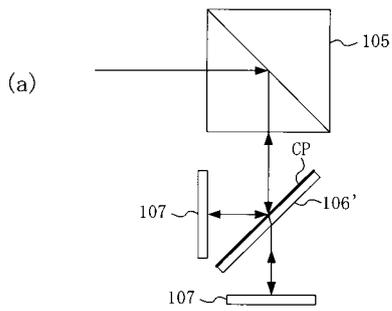
【 図 1 8 】



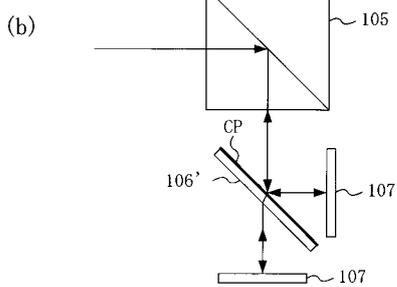
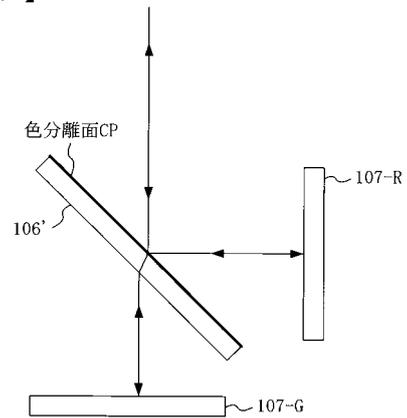
【 図 1 9 】



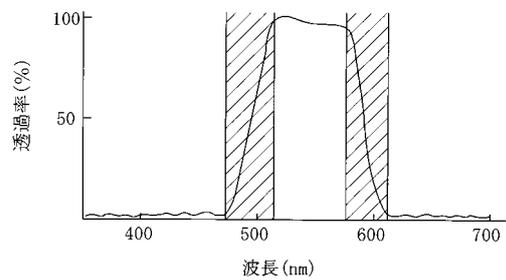
【 図 2 0 】



【 図 2 1 】



【 図 2 2 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl. ⁷		F I		
G 0 9 F	9/00	G 0 9 F	9/00	3 6 0 D
H 0 4 N	5/74	H 0 4 N	5/74	K
H 0 4 N	9/31	H 0 4 N	9/31	B
		H 0 4 N	9/31	C

(72)発明者 中西 浩
大阪府大阪市阿倍野区长池町2番2号 シャープ株式会社内

審査官 佐竹 政彦

(56)参考文献 特開平03-046692(JP,A)
特表平11-504441(JP,A)
国際公開第97/043862(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)
G03B 21/00-21/30
G02F 1/13
G02F 1/1335-1/13363
G02B 27/18
G03B 33/12