

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7486964号
(P7486964)

(45)発行日 令和6年5月20日(2024.5.20)

(24)登録日 令和6年5月10日(2024.5.10)

(51)国際特許分類	F I	
G 0 2 B 27/02 (2006.01)	G 0 2 B 27/02	Z
G 0 2 B 13/00 (2006.01)	G 0 2 B 13/00	
G 0 2 B 13/16 (2006.01)	G 0 2 B 13/16	
G 0 2 B 13/18 (2006.01)	G 0 2 B 13/18	
H 0 4 N 5/64 (2006.01)	H 0 4 N 5/64	5 1 1 A
請求項の数 21 (全22頁)		

(21)出願番号	特願2020-15848(P2020-15848)	(73)特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	令和2年1月31日(2020.1.31)	(74)代理人	100110412 弁理士 藤元 亮輔
(65)公開番号	特開2021-124538(P2021-124538 A)	(74)代理人	100104628 弁理士 水本 敦也
(43)公開日	令和3年8月30日(2021.8.30)	(74)代理人	100121614 弁理士 平山 倫也
審査請求日	令和5年1月18日(2023.1.18)	(72)発明者	東原 正和 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
		審査官	山本 貴一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 画像観察装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

画像を表示する表示面を有する表示素子と、
前記表示面からの光を射出瞳に導く接眼光学系とを有し、
前記接眼光学系は、前記表示素子の側から前記射出瞳の側へ向かって順に配置された、
第1の / 4板、半透過反射面、レンズ、第2の / 4板、及び偏光分離素子を含み、
前記偏光分離素子は、第1の直線偏光を反射し、かつ該第1の直線偏光の偏光方向に直交する偏光方向の第2の直線偏光を透過させる素子であり、前記表示面の中心部において、前記表示面の法線方向での輝度は該法線方向に対して前記表示面の外側へ向かって傾いた特定方向での輝度よりも高く、

前記表示面の最端部において、前記法線方向での輝度は前記特定方向での輝度よりも低く、

前記最端部における前記法線方向に対する前記特定方向の角度を θ とし、
前記表示面から出射して前記半透過反射面を透過し、さらに前記偏光分離素子を透過する光において、前記最端部から前記射出瞳の中心に向かう主光線の前記表示面からの出射角を α とするとき、

$$|\theta - \alpha| < 15^\circ$$

なる条件を満足することを特徴とする画像観察装置。

【請求項2】

画像を表示する表示面を有する表示素子と、

前記表示面からの光を射出瞳に導く接眼光学系とを有し、

前記接眼光学系は、前記表示素子の側から前記射出瞳の側へ向かって順に配置された、第1の / 4板、半透過反射面、レンズ、第2の / 4板、及び偏光分離素子を含み、

前記偏光分離素子は、第1の直線偏光を反射し、かつ該第1の直線偏光の偏光方向に直交する偏光方向の第2の直線偏光を透過させる素子であり、

前記表示面の中心部において、前記表示面の法線方向での色ずれは該法線方向に対して前記表示面の外側へ向かって傾いた特定方向での色ずれよりも小さく、

前記表示面の最端部において、前記法線方向での色ずれは前記特定方向での色ずれよりも大きく、

前記最端部における前記法線方向に対する前記特定方向の角度を θ_{max} とし、

前記表示面から出射して前記半透過反射面を透過し、さらに前記偏光分離素子を透過する光において、前記最端部から前記射出瞳の中心に向かう主光線の前記表示面からの出射角を θ_3 とするとき、

$$|\theta_{max} - \theta_3| < 15^\circ$$

なる条件を満足することを特徴とする画像観察装置。

【請求項3】

画像を表示する表示面を有する表示素子と、

前記表示面からの光を射出瞳に導く接眼光学系とを有し、

前記接眼光学系は、前記表示素子の側から前記射出瞳の側へ向かって順に配置された、第1の / 4板、半透過反射面、レンズ、第2の / 4板、及び偏光分離素子を含み、

前記偏光分離素子は、第1の直線偏光を反射し、かつ該第1の直線偏光の偏光方向に直交する偏光方向の第2の直線偏光を透過させる素子であり、前記表示面の中心部において、前記表示面の法線方向での輝度は該法線方向に対して前記表示面の外側へ向かって傾いた特定方向での輝度よりも高く、

前記表示面の最端部において、前記法線方向での輝度は前記特定方向での輝度よりも低く、前記表示素子は、複数の画素のそれぞれに対応する複数のカラーフィルタを有し、

前記中心部の画素の中心における法線上において、該画素に対応するカラーフィルタの中心が位置し、

前記最端部の画素の中心における法線に対して、該画素に対応するカラーフィルタの中心が前記外側にずれていることを特徴とする画像観察装置。

【請求項4】

画像を表示する表示面を有する表示素子と、

前記表示面からの光を射出瞳に導く接眼光学系とを有し、

前記接眼光学系は、前記表示素子の側から前記射出瞳の側へ向かって順に配置された、第1の / 4板、半透過反射面、レンズ、第2の / 4板、及び偏光分離素子を含み、

前記偏光分離素子は、第1の直線偏光を反射し、かつ該第1の直線偏光の偏光方向に直交する偏光方向の第2の直線偏光を透過させる素子であり、

前記表示面の中心部において、前記表示面の法線方向での色ずれは該法線方向に対して前記表示面の外側へ向かって傾いた特定方向での色ずれよりも小さく、

前記表示面の最端部において、前記法線方向での色ずれは前記特定方向での色ずれよりも大きく、

前記表示素子は、複数の画素のそれぞれに対応する複数のカラーフィルタを有し、

前記中心部の画素の中心における法線上において、該画素に対応するカラーフィルタの中心が位置し、

前記最端部の画素の中心における法線に対して、該画素に対応するカラーフィルタの中心が前記外側にずれていることを特徴とする画像観察装置。

【請求項5】

前記レンズが、樹脂レンズであることを特徴とする請求項1から4のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項6】

10

20

30

40

50

前記表示素子は、複数の画素のそれぞれに対応する複数のカラーフィルタを有し、
前記中心部の画素の中心における法線上において、該画素に対応するカラーフィルタの中心が位置し、

前記最端部の画素の中心における法線に対して、該画素に対応するカラーフィルタの中心が前記外側にずれていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の画像観察装置。

【請求項 7】

前記中心部の画素に対応するカラーフィルタのサイズよりも、前記最端部の画素に対応するカラーフィルタのサイズの方が大きいことを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の画像観察装置。

【請求項 8】

前記法線方向に対する前記特定方向の角度を θ とし、前記最端部から前記射出瞳の中心に向かう主光線の前記表示面からの出射角を θ_1 とするとき、

$$0 < \theta_1 < \theta$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 9】

前記接眼光学系の最大表示画角が 60° 以下であり、前記最端部から前記射出瞳の中心に向かう主光線の前記表示面からの出射角を θ_2 とするとき、

$$\theta_2 / \theta < 2$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 8 に記載の画像観察装置。

【請求項 10】

前記接眼光学系の最大表示画角が 60° より大きい場合において、前記最端部から前記射出瞳の中心に向かう主光線の前記表示面からの出射角を θ_2 とするとき、

$$\theta_2 < \theta_1$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 8 に記載の画像観察装置。

【請求項 11】

前記最端部における前記法線方向に対する前記特定方向の角度を θ_{max} とし、
前記表示面から出射して前記半透過反射面を透過し、さらに前記偏光分離素子を透過する光において、前記最端部から前記射出瞳の中心に向かう主光線の前記表示面からの出射角を θ_3 とするとき、

$$|\theta_{max} - \theta_3| < 15^\circ$$

なる条件を満足することを特徴とする請求項 3 または 4 に記載の画像観察装置。

【請求項 12】

前記半透過反射面が前記レンズに設けられており、
前記レンズのうち前記半透過反射面が設けられた面が、前記表示素子に向かって凸形状であることを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 13】

前記半透過反射面が前記レンズに設けられており、
前記レンズのうち前記半透過反射面が設けられた面が非球面であることを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 14】

前記接眼光学系に含まれる 1 以上のレンズのうち最も前記射出瞳に近いレンズは、前記表示素子に向かって凸形状の面を有する平凸レンズであることを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 15】

前記半透過反射面が前記レンズに設けられており、
前記レンズの光学有効領域における偏肉比が、 1.5 以上、 4 以下であることを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 16】

前記接眼光学系のアイレリーフを E とするとき、

10

20

30

40

50

15 mm E 25 mm

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 1 5 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 1 7】

前記接眼光学系の光軸方向での厚さを L、前記接眼光学系のアイレリーフを E とするとき、

0.6 L / E 1.0

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 1 6 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 1 8】

前記接眼光学系のアイレリーフを E、前記接眼光学系の最大の対角半画角を θ とするとき、

8 mm E x t a n θ 20 mm

なる条件を満足することを特徴とする請求項 1 から 1 7 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 1 9】

前記第 1 の直線偏光の偏光方向に対して、前記第 1 の $\lambda/4$ 板の遅相軸と前記第 2 の $\lambda/4$ 板の遅相軸とが互いに反対側に傾いていることを特徴とする請求項 1 から 1 8 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 2 0】

前記接眼光学系は、前記偏光分離素子と前記射出瞳との間に配置された、前記第 2 の直線偏光を透過する偏光板を含むことを特徴とする請求項 1 から 1 9 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【請求項 2 1】

前記表示素子から無偏光光が出射し、

前記接眼光学系は、前記表示素子と前記第 1 の $\lambda/4$ 板との間に配置された、前記第 1 の直線偏光を透過する偏光板を有することを特徴とする請求項 1 から 2 0 のいずれか一項に記載の画像観察装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、表示素子に表示された画像を接眼光学系を介して観察可能な画像観察装置に関する。

【背景技術】

【0002】

上記のような画像観察装置としては、観察者の頭部に装着されるヘッドマウントディスプレイ (HMD) がある。このような HMD において広画角での画像提示を実現するために、偏光を利用して光路を折り畳む接眼光学系が用いられることがある。ただし、このような接眼光学系では、焦点距離が短くなるため、周辺画角での表示素子からの光の出射角が大きくなり、表示素子の視野角特性 (輝度や色度ずれ) が悪化し易い。また、このような接眼光学系に、軽量化のためにプラスチックレンズが使用されると、プラスチックレンズ内の複屈折によって光の偏光状態が乱れ、この結果、ゴーストが発生する。

【0003】

特許文献 1 および特許文献 2 には、偏光を利用して広画角化された接眼光学系を有する HMD が開示されている。さらに特許文献 2 には、表示素子に設けられたカラーフィルタのサイズを中心部から周辺部にかけて大きくすることで周辺画角での視野角特性を改善している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

10

20

30

40

50

【文献】特開 2019 - 053152 号公報

【文献】特表 2019 - 61198 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献 2 の H M D では、光源とカラーフィルタの中心とが揃っており、表示素子の法線方向での視野角特性が良好であるために、レンズの複屈折によるゴーストを低減することができない。

【0006】

本発明は、偏光を利用した接眼光学系の周辺画角での視野角特性を改善しつつゴーストを低減できるようにした画像観察装置を提供する。

10

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一側面としての画像観察装置は、画像を表示する表示面を有する表示素子と、前記表示面からの光を射出瞳に導く接眼光学系とを有する。接眼光学系は、表示素子の側から射出瞳の側へ向かって順に配置された、第 1 の / 4 板、半透過反射面、レンズ、第 2 の / 4 板、及び偏光分離素子を含み、偏光分離素子は、第 1 の直線偏光を反射し、かつ該第 1 の直線偏光の偏光方向に直交する偏光方向の第 2 の直線偏光を透過させる素子であり、表示面の中心部において、該表示面の法線方向での輝度は該法線方向に対して前記表示面の外側へ向かって傾いた特定方向での輝度よりも高く、表示面の最端部において、前記法線方向での輝度は前記特定方向での輝度よりも低く、前記最端部における前記法線方向に対する前記特定方向の角度を θ とし、前記表示面から出射して前記半透過反射面を透過し、さらに前記偏光分離素子を透過する光において、前記最端部から前記射出瞳の中心に向かう主光線の前記表示面からの出射角を θ_0 とするとき、

20

$$\left| \theta_0 - \theta \right| < 15^\circ$$

なる条件を満足することを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明は、偏光を利用した接眼光学系の周辺画角での視野角特性を改善しつつゴーストを低減することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図 1】本発明の実施例 1 である H M D の構成を示す図。

【図 2】実施例 1 における接眼光学系の構成を示す図。

【図 3】実施例 1 の H M D の外観図。

【図 4】実施例 1 における接眼光学系の光路図。

【図 5】実施例 1 における表示面中心部での視野角特性を示す図。

【図 6】実施例 1 におけるカラーフィルタを示す図。

【図 7】実施例 1 における表示面の水平端部での視野角特性を示す図。

【図 8】実施例 1 における表示画角と画像面からの出射角との関係を示す図。

40

【図 9】実施例 1 におけるカラーフィルタを示す別の図。

【図 10】実施例 1 におけるゴースト光路を示す図。

【図 11】本発明の実施例 2 である H M D の構成を示す図。

【図 12】実施例 2 における接眼光学系の構成を示す図。

【図 13】実施例 2 における接眼光学系の光路図。

【図 14】実施例 2 におけるカラーフィルタを示す図。

【図 15】実施例 2 における表示面中心部での視野角特性を示す図。

【図 16】実施例 2 におけるゴースト光路を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0010】

50

以下、本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

【実施例 1】

【0011】

図 1 は、本発明の実施例 1 である画像観察装置としての HMD 101 の構成を示している。HMD 101 は、観察者の頭部に装着される。102 は観察者の右眼、103 は観察者の左眼である。表示レンズ 104、105 は右眼用接眼光学系 OR1 を構成し、表示レンズ 106、107 は左眼用接眼光学系 OL1 を構成する。各接眼光学系は、複数（2 つ）表示レンズにより構成された共軸の光学系である。右眼用接眼光学系 OR1 の射出瞳 ER1 には観察者の右眼 102 が配置され、左眼用接眼光学系 OL1 の射出瞳 EL1 には観察者の左眼 103 が配置される。

10

【0012】

108 は右眼用表示素子、109 は左眼用表示素子である。各表示素子は、平板型の表示素子であり、本実施例では有機 EL ディスプレイパネルを用いている。図 3 は、HMD 101 とこれに接続されたパーソナルコンピュータ 150 の外観を示している。各表示素子は、パーソナルコンピュータ 150 から出力された画像信号に対応する表示画像（原画像）を表示する。

【0013】

接眼光学系 OR1、OL1 はそれぞれ、表示素子 108、109 からの光を射出瞳 ER1、EL1 に導くことで、表示画像の拡大虚像を観察者の右眼 102 と左眼 103 に投影する。これにより、観察者は、表示素子 108、109 に表示された表示画像（の虚像）を接眼光学系 OR1、OL1 を通して観察することができる。

20

【0014】

本実施例において、各接眼光学系の焦点距離は 12 mm、水平表示画角は 45°、垂直表示画角は 34°、対角表示画角は 54° である。各接眼光学系における最も射出瞳側の面（後述する偏光分離素子 114 の射出瞳側の面）と各接眼光学系の射出瞳との距離であるアイレリーフ E1 は、18 mm である。

【0015】

本実施例における右眼用および左眼用接眼光学系 R1、OL1 は偏光を利用して光路を折り畳む光学系であり、その構成について右眼用接眼光学系 R1 を用いて説明する。図 2 に示すように、右眼用接眼光学系 R1 は、右眼用表示素子 108 から射出瞳 ER1 に向かって順に配置された偏光板 110、第 1 の /4 板（第 1 の位相板）111、表示レンズ 105、表示レンズ 104、第 2 の /4 板（第 2 の位相板）113 および偏光分離素子（以下、PBS という）114 を有する。表示レンズ 104 における表示素子側の凸面には、半透過反射面としてのハーフミラー 112 が蒸着により形成されている。また第 2 の /4 板 113 と PBS 114 は、表示レンズ 104 における射出瞳側の面上に積層されるように設けられている。

30

【0016】

偏光板 110、第 1 の /4 板 111、第 2 の /4 板 113 および PBS 114 はいずれも平板状に形成されている。偏光板 110 を透過する第 1 の直線偏光の偏光方向と第 1 の /4 板 111 の遅相軸とは 45° 傾いており、偏光板 110 を透過する第 1 の直線偏光の偏光方向と第 2 の /4 板 113 の遅相軸とは -45°（すなわち第 1 の直線偏光の偏光方向に対して第 1 の /4 板 111 の遅相軸とは反対側に同角度だけ）傾いている。また偏光板 110 を透過する第 1 の直線偏光の偏光方向と PBS 114 を透過する第 2 の直線偏光の偏光方向とは互いに直交している。

40

【0017】

右眼用表示素子 108 から出射した無偏光光は、偏光板 110 を透過して直線偏光となり、第 1 の /4 板 111 を透過して円偏光となって表示レンズ 105 を透過する。さらに円偏光は、ハーフミラー 112 を透過した後、表示レンズ 104 を透過し、第 2 の /4 板 113 を透過して第 1 の直線偏光になる。この第 1 の直線偏光は、PBS 114 を透過する偏光方向に対して直交する偏光方向を有するため、PBS 114 で反射して第 2 の

50

／4板113を透過して円偏光となる。この円偏光は、表示レンズ104を透過した後、ハーフミラー112で反射し、再度、表示レンズ104を透過し、第2の／4板113を透過して第2の直線偏光になる。この第2の直線偏光は、PBS114を透過する偏光方向と一致する偏光方向を有するため、PBS114を透過して射出瞳ER1（右眼102）に導かれる。左眼用表示素子109から出射した光も、同様に左眼用接眼光学系OL1により射出瞳EL1（左眼103）に導かれる。

【0018】

このように各接眼光学系を偏光を利用して光路を折り畳むように構成することで、各接眼光学系を光軸方向において薄型化することができ、かつ各接眼光学系の焦点距離を短くして広画角な画像の観察を可能とする。

【0019】

HMDは、観察者が頭部に装着するために軽量であることが望ましい。このため、接眼光学系を構成する表示レンズは硝子よりも比重が小さい樹脂により製作することが望ましい。このため、本実施例でも、表示レンズ104～107は樹脂レンズとしている。また最も射出瞳側の表示レンズ104、106を表示素子側に向かって凸面を有する平凸レンズとして、該凸面にハーフミラー112を設けることで、接眼光学系を薄型しつつ広画角化を実現している。さらに表示レンズ104、106の凸面を非球面形状とすることで、収差補正効果を高めている。また、表示レンズ105、107を樹脂製の両面非球面レンズとして、収差補正効果を高めている。

【0020】

ただし、表示レンズ105、107は外径が小さく、重量への影響が小さいため、ガラスレンズとしてもよい。またHMD101の全体の重量が許容範囲であれば、表示レンズ104、106もガラスレンズとしてもよい。

【0021】

本実施例のHMD101では、眼鏡を掛けている観察者でも装着できるように、アイレリーフは15mm以上であることが望ましい。一方、アイレリーフが長すぎると、表示レンズの外形が大きくなりHMDも大型化するため、アイレリーフは25mm以下であることが望ましい。すなわち、アイレリーフE1は、

$$15\text{ mm} \leq E1 \leq 25\text{ mm} \quad (1)$$

なる条件を満足するとよい。

【0022】

また本実施例のHMD101では、図4に示すように、右眼102の眼球（瞳）が右眼用表示素子108の表示面の左右の端部を向いている（見ている）状態での右眼用接眼光学系OR1の射出瞳ER1の位置、すなわちアイレリーフE1を、図1に示すように眼球が表示面の中心部を向いている状態でのアイレリーフE1=18mmに眼球の回転半径10mmを加えた28mmに設定し、射出瞳径を6mmに設定している。左眼用接眼光学系OL1の射出瞳についても同様である。このように設定することで、表示面の左右の端部（同様に上下の端部）を観察するために眼球が回転した場合でも、眼球が向いた方向からの光が眼球に入射させることができる。

【0023】

本実施例の接眼光学系のようにアイレリーフが長く、焦点距離が短く、かつ薄い接眼光学系においては、表示画角のうち周辺画角において表示素子（表示面）からの光の出射角が大きくなる。表示面からの光の出射角が大きいと、表示輝度や表示色度としての視野角特性が低下して、観察される画像が暗くなったり正しい色の画像を観察できなくなったりする。

【0024】

右眼用接眼光学系OR1において、右眼用表示素子（表示面）108から出射して該接眼光学系OR1の射出瞳ER1（ER1）の中心を通る光線を主光線とする。このとき、本実施例では、図1に示すように眼球が表示面の中心部を向いているときの左右方向（水平方向）の最大周辺画角 22.5° の主光線が表示面から出射するときの出射角は18

10

20

30

40

50

°である。一方、図4に示すように眼球が表示面の水平方向の端部を向いているときの水平方向の最大周辺画角 22.5° の主光線が表示面から出射するときの出射角は 37° である。

【0025】

このとき、一般的な構成を有する表示素子の視野角特性、すなわち輝度（明るさ）と色度のずれ（色ずれ：E）は、図5に示すようになっている。表示面からの光の出射角が大きくなるほど、明るさは低下し、色ずれは増加する。

【0026】

これに対して、本実施例では、表示素子108, 109を図6(a)~(c)に示すように構成している。ここでは、右眼用表示素子108の水平方向での構成について説明するが、左眼用表示素子109についても同様である。本実施例における表示素子108は、その表示面の面内方向（水平方向および垂直方向）に赤、緑および青用の複数のサブ画素とこれらに対応する赤、緑および青の複数のカラーフィルタがストライプ状に周期的に配置されている。なお、表示面の面内方向において正方形状や六角形状にサブ画素およびカラーフィルタが配置されていてもよい。また、表示素子108の表示面に立てた法線が延びる方向（以下、法線方向という）を 0° の方向とし、右眼102で見て右側を正とし、左側を負とする。

【0027】

図6(a)に示すように、表示素子108の中心部では、一般的な表示素子と同様に、赤カラーフィルタ118の中心を、赤用サブ画素115の中心から法線方向に位置させている。すなわち、水平方向において、赤カラーフィルタ118の中心の位置を赤用サブ画素115の中心の位置に一致させている。同様に、水平方向において、緑カラーフィルタ119の中心の位置を緑用サブ画素116の中心の位置に一致させ、青カラーフィルタ120の中心の位置を青用サブ画素117の中心の位置に一致させている。

【0028】

これに対して、図6(b)に示すように、右眼102で見たときの表示素子108の左端部では、赤カラーフィルタ118の中心を赤用サブ画素115の中心に対して左側（外側）にずらして配置している。このときの赤用サブ画素115の中心に対する赤カラーフィルタ118の中心のずれ量は、赤用サブ画素115の中心と赤カラーフィルタ118の中心を通る直線が法線方向に対して左側に 10° 傾くずれ量であり、以下の説明では、左側へのカラーフィルタずれ量が 10° であるという。緑カラーフィルタ119と青カラーフィルタ120についても同様である。

【0029】

一方、図6(c)に示すように、右眼102で見たときの表示素子108の右端部では、赤カラーフィルタ118の中心を赤用サブ画素115の中心に対して右側（外側）にずらして配置している。このときの赤用サブ画素115の中心に対する赤カラーフィルタ118の中心のずれ量は、赤用サブ画素115の中心と赤カラーフィルタ118の中心を通る直線が法線方向に対して右側に 10° （すなわち -10° ）傾くずれ量であり、以下の説明では、右側へのカラーフィルタずれ量が 10° であるという。緑カラーフィルタ119と青カラーフィルタ120についても同様である。

【0030】

このような構成の表示素子108の明るさおよび色ずれはそれぞれ、図7(a)および図7(b)に示すようになり、 -10° の方向（特定方向）で最も良好となる。

【0031】

表示素子（表示面）108の左端部からの接眼光学系OR1への主光線の出射角は、右眼102の眼球が表示面の中心部を向いているとき（以下、正面視状態という）では -18° であり、表示面の左端部を向いているとき（以下、左端視状態という）では -37° である。

【0032】

正面視状態において表示面の左端部にてサブ画素に対してカラーフィルタをずらさない

10

20

30

40

50

と、図5(a)、(b)から分かるように明るさが10%低下し、Eは3増加する。しかし、カラーフィルタをずらすと、図7(a)、(b)から分かるように明るさが2%低下するにすぎず、Eも1増加するにすぎない。すなわち視野角特性が改善する。一方、左端視状態において表示面の左端部にてカラーフィルタをずらさないと、図5(a)、(b)から分かるように明るさが36%低下し、Eは12増加する。しかし、カラーフィルタをずらすと、図7(a)、(b)から分かるように明るさが21%低下するにすぎず、Eも7増加するにすぎない。すなわち視野角特性が改善する。

【0033】

また、右眼102の眼球が表示面の右端部を向いている右端視状態でも、左端視状態と同様に、図7(c)および図7(d)に示すようにサブ画素に対してカラーフィルタをずらすことにより、サブ画素に対してカラーフィルタをずらさない場合に比べて明るさと色ずれが改善する。

10

【0034】

ここまでは、水平方向における端部におけるサブ画素に対するカラーフィルタずらしについて説明したが、本実施例では、垂直方向の端部(上端部と下端部)でも同様にサブ画素に対してカラーフィルタをずらしている。本実施例では、正面視状態における垂直方向での最大周辺画角17°の主光線の表示素子(表示面)108からの出射角は14°であり、眼球が垂直方向の上端部や下端部を向いているとき(以下、上端視状態、下端視状態という)における垂直方向での最大周辺画角17°の主光線の表示面からの出射角は29°である。

20

【0035】

表示面上端部では、赤カラーフィルタの中心を赤用サブ画素の中心に対して上側(外側)にずれた位置に配置している。このときの赤用サブ画素115の中心に対する赤カラーフィルタ118の中心のずらし量は、赤用サブ画素115の中心と赤カラーフィルタ118の中心を通る直線が法線方向に対して上側に7.5°傾くずらし量であり、以下の説明では、上側へのカラーフィルタずらし量が7.5°であるという。また、表示面の下端部では、赤カラーフィルタの中心を赤用サブ画素の中心に対して下側(外側)にずれた位置に配置している。このときの赤用サブ画素115の中心に対する赤カラーフィルタ118の中心のずらし量は、赤用サブ画素115の中心と赤カラーフィルタ118の中心を通る直線が法線方向に対して下側に7.5°傾くずらし量であり、以下の説明では、下側へのカラーフィルタずらし量が7.5°であるという。これらのことは、緑カラーフィルタと青カラーフィルタについても同様である。このようにサブ画素に対してカラーフィルタをずらすことで、表示面上端部や下端部の明るさや色ずれが改善する。

30

【0036】

このように本実施例では、表示面の中心部において該表示面の法線方向での視野角特性を法線方向から外側に傾いた特定方向での視野角特性より高くし、表示面の端部において法線方向での視野角特性を特定方向での視野角特性より低くすることができる。

【0037】

図8は、本実施例における正面視状態での接眼光学系OR1の表示画角と表示素子(表示面)108からの主光線の出射角との関係を示している。この図から分かるように、表示面からの出射角は、表示画角が大きくなるにつれて大きくなる。このため、表示面の中心部から端部にかけて、サブ画素に対するカラーフィルタずらし量を大きくする必要がある。

40

【0038】

この場合、サブ画素のピッチは、図9(a)に示すように(赤、緑および青用サブ画素をまとめて1つの枠で示している)、表示面の中心部から端部にかけて一定である。これに対して、カラーフィルタのピッチは、図9(b)に示すように、中心部から端部にかけて大きくなる。このため、カラーフィルタのサイズをピッチの増加に合わせて大きくしてもよい。カラーフィルタのサイズが大きくなると、サブ画素から出射して該カラーフィルタを透過する光の角度が大きくなるため、視野角特性がさらに改善する。

50

【 0 0 3 9 】

次に、本実施例の接眼光学系 O R 1 , O L 1 における不要光としてのゴースト光の発生について、図 1 0 を用いて説明する。ここでも、右眼用接眼光学系 O R 1 を用いて説明するが、左眼用接眼光学系 O L 1 についても同様である。

【 0 0 4 0 】

本実施例のように偏光を利用した接眼光学系 O R 1 では、表示レンズ 1 0 4 , 1 0 5 内での複屈折や偏光板 1 1 0、 / 4 板 1 1 1 , 1 1 3 および P B S 1 1 4 の偏光特性により、表示素子 1 0 8 から出射した光が、図 1 や図 4 に示す正規の光路ではなく、図 1 0 に示すように P B S 1 1 4 で反射することなくそのまま観察者の右眼 1 0 2 に導かれることがある。この光がゴースト光となる。このゴースト光は、第 1 の / 4 板 1 1 1 を透過した円偏光の光が表示レンズ 1 0 5 , 1 0 4 内の複屈折によって楕円偏光になり、第 2 の / 4 板 1 1 3 を透過した後の直線偏光の偏光方向が本来の方向に対して傾き、P B S 1 1 4 を透過して右眼 1 0 2 に導かれることで発生する。また、表示レンズ 1 0 4 , 1 0 5 内の複屈折がなくても、偏光板 1 1 0、 / 4 板 1 1 1 , 1 1 3 および P B S 1 1 4 の偏光特性が良好でないとゴースト光が発生する。

10

【 0 0 4 1 】

図 1 0 に示したゴースト光では、正面視状態における水平方向の最大周辺画角 2 2 . 5 ° の主光線の表示素子 (表示面) 1 0 8 からの出射角は 1 1 ° であり、図 1 および図 4 に示した正規の主光線の出射角とは、表示面の法線に対して反対側に傾いている。このため、上述したように正規の主光線の出射角に合わせてサブ画素に対してカラーフィルタをずらすことにより、視野角特性を改善するだけでなく、表示面の端部を含む周辺部からのゴースト光の明るさを低減することができる。

20

【 0 0 4 2 】

レンズ内の複屈折は、一般に、該レンズの中心部から周辺部にかけて大きくなるため、レンズ内の複屈折によるゴースト光の強度も中心部から周辺部にかけて大きくなる。このため、レンズの周辺部を通過するゴースト光を低減するために、表示面の周辺部からの光の明るさを下げることが効果的である。具体的には、サブ画素に対してカラーフィルタをずらさない場合における表示面の水平方向の端部からのゴースト光の明るさは 9 6 % であるのに対して、カラーフィルタをずらした場合の明るさを 8 7 % に低減することができる。垂直方向についても同様である。

30

【 0 0 4 3 】

本実施例では、表示画角 2 2 . 5 ° の主光線に対する表示面の水平方向の端部での外側へのカラーフィルタずらし量は 1 0 °、表示画角 1 7 ° の主光線に対する表示面の垂直方向の端部での外側へのカラーフィルタずらし量は 7 . 5 ° であり、これらの方向の視野角特性が法線方向の視野角特性よりも良好である。

【 0 0 4 4 】

表示面の中心部以外のサブ画素 (以下、単に画素という) A に対する外側へのカラーフィルタずらし量 (法線方向に対する特定方向の傾き角度) は、以下の式 (2) の条件を満足することが望ましい。

$$0 < \theta_1 \quad (2)$$

40

ここで、 θ_1 は眼球が画素 A に対応する表示画角の方向を向いているときにその方向の主光線の表示面からの出射角であり、表示面の外側に向かう方向を + とする。本実施例では、表示画角 2 2 . 5 ° での θ_1 は 3 7 ° であり、表示画角 1 7 ° での θ_1 は 2 9 ° である。このため、それぞれの表示画角に対応する画素 A における外側へのカラーフィルタずらし量 $\theta_1 = 1 0 °$, 7 . 5 ° は式 (2) の条件を満足している。

【 0 0 4 5 】

外側へのカラーフィルタずらし量 θ_1 が 0 ° 以下、すなわち法線方向もしくは内側の方向における視野角特性が良い場合には、表示面の周辺部からの主光線の出射角と視野角特性が良い方向との差が大きく、観察される画像の周辺部での輝度の低下や色ずれが大きくなり、自然な画像の観察ができない。また、ゴースト光の表示面からの出射角と視野角特性

50

が良い方向とが近くなり、ゴースト光の強度が増加する。一方、外側へのカラーフィルタずらし量が 1 よりも大きい場合には、正面視状態での表示面の周辺部からの主光線の出射角と視野角特性が良い方向との差が大きく、正面視における画像の周辺部での輝度の低下や色ずれが大きくなる。

【0046】

本実施例のように最大表示画角が 60° 以下 (54°) である場合においては、さらに以下の式 (3) の条件を満足するとよい。

$$2 / 2 \quad 2 \quad (3)$$

ここで、 2 は正面視状態での画素 A に対応する表示画角の方向の主光線の表示面からの出射角であり、表示面の外側に向かう方向を + とする。本実施例では、表示画角 22.5° での 2 は 18° であり、表示画角 17° での 2 は 14° である。このため、それぞれの表示画角に対応する画素での外側へのカラーフィルタずらし量は式 (3) の条件を満足している。最大表示画角が 60° 以下である場合には、観察者は正面視状態において画像の周辺部も認識できるため、正面視状態を想定してカラーフィルタずらし量を定めることが好ましい。

10

【0047】

さらに、表示面の水平方向の端部での外側へのカラーフィルタずらし量 max は、以下の式 (4) の条件を満足することが望ましい。

$$| \quad max - \quad 3 | \quad 15^\circ \quad (4)$$

ここで、 3 はゴースト光のうち正面視状態での水平方向における最大周辺画角の主光線の表示面からの出射角であり、表示面の外側に向かう方向を +、中心部に向かう方向を - とする。本実施例では、 max は 10° で、 3 は -11° となり、式 (4) の条件を満足する。

20

$| \quad max - \quad 3 |$ が 15° 未満の場合には、ゴースト光の表示素子からの出射角と視野角特性が良い方向とが近くなり、ゴースト光の強度が増加する。

【0048】

本実施例では、画素に対してカラーフィルタをずらした構成が表示素子からの光の出射角を制御する構成となり、この構成により、観察される画像の周辺部での輝度や色ずれといった視野角特性を改善しつつ、ゴースト光を低減することができる。

【0049】

レンズ内の複屈折は、該レンズを樹脂材料を用いて金型成形により製造した際に発生し易く、該レンズの偏肉比が大きいほど金型成形後の冷却時にレンズの薄い部分と厚い部分との冷え方の差が大きくなることで複屈折が大きくなる。

30

【0050】

本実施例のように広画角で薄型の接眼光学系 OR1 では、最も光学パワーが大きい反射面 (ハーフミラー 112) を有する表示レンズ 104 の偏肉比が大きくなる。表示レンズ 104 の光学有効領域における偏肉比は 2.0 であり、偏肉比は 1.5 以上、4.0 以下であることが望ましい。偏肉比が 1.5 未満である場合には、表示レンズ 104 の光学パワーを小さくして該表示レンズ 104 の曲率半径が大きくなるか厚みが大きくなる。表示レンズ 104 の光学パワーを小さくすると広画角化を実現できなくなったり、光学パワー

40

が大きいレンズを追加する必要が生じて接眼光学系 OR1 の薄型化が不可能となったりする。また表示レンズ 104 の厚みが大きくなると、接眼光学系 OR1 の薄型化を実現できない。一方、偏肉比が 4.0 より大きい場合には、表示レンズ 104 の複屈折が大きくなり過ぎて、ゴースト光の強度が増す。

【0051】

接眼光学系 OR1 の厚さ $L1$ を、PBS 114 における射出瞳側の面から表示素子 108 までの距離とすると、厚さ $L1$ は 1.3 mm であり、厚さ $L1$ とアイレリーフ $E1 = 1.8 \text{ mm}$ との比 $L1 / E1$ は 0.72 である。この値はアイレリーフの長さとは接眼光学系の薄型化とを両立するために、

$$0.60 \quad L1 / E1 \quad 1.00 \quad (5)$$

50

なる条件を満足することが望ましい。L1/E1が0.60より小さいと、アイレリーフが長くなりすぎて表示レンズの外径が大きくなり、HMD101も大型化するので、好ましくない。しかも、外径が大きいほど表示レンズ104の複屈折が大きくなるため、ゴースト光の強度が増す。一方、L1/E1が1.00より大きいと、接眼光学系が厚くなってHMD101が大型化するとともに、アイレリーフが短すぎて観察者に圧迫感を与えたり眼鏡を掛けている観察者が装着できなくなったりするため、好ましくない。

【0052】

また本実施例において、接眼光学系OR1の最大対角半画角 θ_1 は27°である。このとき、 $E1 \times \tan \theta_1 = 9.2 \text{ mm}$ である。この値はアイレリーフの長さ t_1 と接眼光学系の広画角化を両立するために、

$$8 \text{ mm} < E1 \times \tan \theta_1 < 20 \text{ mm} \quad (6)$$

なる条件を満足することが望ましい。E1×tan θ_1 が8mmより小さいと、アイレリーフが短すぎて観察者に圧迫感を与えたり眼鏡を掛けている観察者が装着できなくなったりするため、好ましくない。また接眼光学系の表示画角が狭すぎて、臨場感のある自然な画像の観察ができない。一方、E1×tan θ_1 が20mmより大きいと、アイレリーフが長くなりすぎて表示レンズ104の外径が大きくなり、HMD101も大型化するので、好ましくない。しかも、外径が大きいほど表示レンズ104の複屈折が大きくなるため、ゴースト光の強度が増す。さらに、表示画角が広くなりすぎて、周辺画角の主光線の表示面からの出射角が大きくなり、視野角特性が悪化する。

【0053】

また、外光によるゴースト光を低減して観察する画像のコントラストを高めるために、PBS114と各接眼光学系の射出瞳との間に偏光板を配置してもよい。

【0054】

さらに本実施例では、図2に示すように、第2の θ_2 /4板113とPBS114が積層されるように形成された表示レンズ104の射出瞳側の面を平面としている。これはアイレリーフを長くすることと、接眼光学系を薄型化することを両立するためである。この面が射出瞳に向かって凹形状を有すると、その周辺部でのアイレリーフを確保するために表示レンズ104が厚くなる。また、この面が射出瞳に向かって凸形状を有すると、表示レンズ104のレンズコバ部の厚さを確保するためにレンズが厚くなる。

【0055】

本実施例で説明した式(1)～(6)で示した条件については、後述する実施例2において同様である。また、本実施例で説明した好ましいレンズの材料や形状等についても、実施例2において同様である。

【0056】

なお、表示素子として、直線偏光を出射する液晶ディスプレイパネルを用いてもよい。この場合、偏光板110が不要となり、接眼光学系およびHMDのさらなる薄型化が可能となる。これについても、実施例2において同様である。

【実施例2】

【0057】

図11は、本発明の実施例2であるHMD201の構成を示している。202は観察者の右眼、203は観察者の左眼である。表示レンズ204、205は右眼用接眼光学系OR2を構成し、表示レンズ206、207は左眼用接眼光学系OL2を構成する。各接眼光学系は、2つの表示レンズにより構成された共軸の光学系である。右眼用接眼光学系OR2の射出瞳ER2には観察者の右眼202が配置され、左眼用接眼光学系OL2の射出瞳EL2には観察者の左眼203が配置される。

【0058】

208は右眼用表示素子、209は左眼用表示素子である。各表示素子は、平板型の表示素子であり、本実施例では有機ELディスプレイパネルを用いている。

【0059】

接眼光学系OR2、OL2はそれぞれ、表示素子208、209からの光を射出瞳ER

10

20

30

40

50

2, EL2に導くことで、表示素子208, 209に表示された表示画像(原画像)の拡大虚像を観察者の右眼202と左眼203に投影する。これにより、観察者は、表示素子208, 209に表示された表示画像(の虚像)を接眼光学系OR2, OL2を通して観察することができる。

【0060】

本実施例において、各接眼光学系の焦点距離は13mm、水平表示画角は60°、垂直表示画角は60°、対角表示画角は78°である。各接眼光学系における最も射出瞳側の面(後述する偏光分離素子214の射出瞳側の面)と各接眼光学系の射出瞳との距離であるアイレリーフE2は、20mmである。

【0061】

本実施例における右眼用および左眼用接眼光学系R2, OL2も、実施例1と同様に、偏光を利用して光路を折り畳む光学系であり、その構成について右眼用接眼光学系R2を用いて説明する。図12に示すように、右眼用接眼光学系R2は、右眼用表示素子208から射出瞳ER2に向かって順に配置された偏光板210、第1の1/4板211、表示レンズ205、表示レンズ204、第2の1/4板213およびPBS214を有する。表示レンズ204における表示素子側の凸面には、半透過反射面としてのハーフミラー212が蒸着により形成されている。また第2の1/4板213とPBS214は、表示レンズ204における射出瞳側の面上に積層されるように設けられている。

【0062】

偏光板210、第1の1/4板211、第2の1/4板213およびPBS214はいずれも平板状に形成されている。偏光板210を透過する第1の直線偏光の偏光方向と第1の1/4板211の遅相軸とは45°傾いており、偏光板210を透過する第1の直線偏光の偏光方向と第2の1/4板213の遅相軸とは-45°傾いている。また偏光板210を透過する第1の直線偏光の偏光方向とPBS214を透過する第2の直線偏光の偏光方向とは互いに直交している。

【0063】

右眼用表示素子208から出射した無偏光光は、偏光板210を透過して直線偏光となり、第1の1/4板211を透過して円偏光となって表示レンズ205を透過する。さらに円偏光は、ハーフミラー212を透過した後、表示レンズ204を透過し、第2の1/4板213を透過して第1の直線偏光になる。この第1の直線偏光は、PBS214を透過する偏光方向に対して直交する偏光方向を有するため、PBS214で反射して第2の1/4板213を透過して円偏光となる。この円偏光は、表示レンズ204を透過した後、ハーフミラー212で反射し、再度、表示レンズ204を透過し、第2の1/4板213を透過して第2の直線偏光になる。この第2の直線偏光は、PBS214を透過する偏光方向と一致する偏光方向を有するため、PBS214を透過して射出瞳ER2(右眼202)に導かれる。左眼用表示素子209から出射した光も、同様に左眼用接眼光学系OL2により射出瞳EL2(左眼203)に導かれる。

【0064】

本実施例でも、実施例1と同様に、各接眼光学系を偏光を利用して光路を折り畳むように構成することで、各接眼光学系を薄型化することができ、かつ各接眼光学系の焦点距離を短くして広画角な画像の観察を可能とする。

【0065】

本実施例では、各接眼光学系において2つの表示レンズを接合して、その光軸方向の厚さを13.5mmと薄型化している。そして、前述したように接眼光学系のアイレリーフE2として20mmを確保している。2つの表示レンズを接合レンズとすることで、HMD201の本体によって表示レンズを保持しやすくなる。

【0066】

本実施例でも、表示レンズ204~207は樹脂レンズであり、さらに表示レンズ204~207を非球面レンズとして収差補正効果を高めている。

【0067】

10

20

30

40

50

また表示レンズ204, 205を接合レンズとしているため、ハーフミラー212を表示レンズ205のうち射出瞳側の面に設けてもよい。この場合でも、ハーフミラーが設けられた面は表示素子208に向かって凸面である。

【0068】

また本実施例のHMD201では、図13に示すように、右眼202の眼球(瞳)が表示素子208の表示面の左右の端部を向いている(見ている)状態での右眼用接眼光学系OR2の射出瞳ER2の位置、すなわちアイレリーフE2を、図11に示すように眼球が表示面の中心部を向いている状態でのアイレリーフE2=20mmに眼球の回転半径10mmを加えた30mmに設定し、射出瞳径を6mmに設定している。左眼用接眼光学系OL2の射出瞳についても同様である。このように設定することで、表示面の左右の端部(同様に上下の端部)を観察するために眼球が回転した場合でも、眼球が向いた方向からの光が眼球に入射させることができる。

10

【0069】

本実施例でも、実施例1と同様に、表示素子(表示面)208, 209における画素に対するカラーフィルタずらしを行っている。右眼用接眼光学系OR2において、右眼用表示素子(表示面)208から出射して該接眼光学系OR2の射出瞳ER2(ER2)の中心を通る光線を主光線とする。このとき、本実施例では、図11に示すように眼球が表示面の中心部を向いているときの左右方向(水平方向)の最大周辺画角30°の主光線が表示面から出射するときの出射角は23°である。一方、図13に示すように眼球が表示面の水平方向の端部を向いているときの水平方向の最大周辺画角30°の主光線が表示面から出射するときの出射角は47°である。

20

【0070】

一般的な構成の表示素子の視野角特性(明るさと色ずれE)は、図5(a)、(b)に示した通りである。本実施例では、表示素子208, 209を図14(a)~(c)に示すように構成している。ここでは、右眼用表示素子208の水平方向での構成について説明するが、左眼用表示素子209についても同様である。本実施例における表示素子208も、実施例1と同様に、その表示面の面内方向(水平方向および垂直方向)に赤、緑および青用のサブ画素とこれらに対応する赤、緑および青のカラーフィルタがストライプ状に周期的に配置されている。また本実施例でも、表示素子208の表示面に立てた法線が延びる法線方向を0°の方向とし、右眼202で見て右側を正とし、左側を負とする。

30

【0071】

図14(a)に示すように、表示素子208の中心部では、一般的な表示素子と同様に、赤カラーフィルタ218の中心を、赤用サブ画素215の中心から法線方向に位置させている。すなわち、水平方向において、赤カラーフィルタ218の中心の位置を赤用サブ画素215の中心の位置に一致させている。同様に、水平方向において、緑カラーフィルタ219の中心の位置を緑用サブ画素216の中心の位置を一致させ、青カラーフィルタ220の中心の位置を青用サブ画素217の中心の位置に一致させている。

【0072】

これに対して、図14(b)に示すように、右眼202で見たときの表示素子208の左端部では、赤カラーフィルタ218の中心を赤用サブ画素215の中心に対して左側(外側)にずらして配置している。このときの赤用サブ画素215の中心に対する赤カラーフィルタ218の中心のずらし量は、赤用サブ画素215の中心と赤カラーフィルタ218の中心を通る直線が法線方向に対して左側に45°傾くずれ量であり、以下の説明では、左側へのカラーフィルタずらし量が45°であるという。緑カラーフィルタ219と青カラーフィルタ220についても同様である。

40

【0073】

一方、図14(c)に示すように、右眼202で見たときの表示素子208の右端部では、赤カラーフィルタ218の中心を赤用サブ画素215の中心に対して右側(外側)にずらして配置している。このときの赤用サブ画素215の中心に対する赤カラーフィルタ218の中心のずらし量は、赤用サブ画素215の中心と赤カラーフィルタ218の中心

50

を通る直線が法線方向に対して右側に 45° 傾くずれ量であり、以下の説明では、右側へのカラーフィルタずらし量が 45° であるという。緑カラーフィルタ 219 と青カラーフィルタ 220 についても同様である。

【0074】

このような構成の表示素子 208 の明るさおよび色ずれはそれぞれ、図 15 (a) および図 15 (b) に示すようになり、 -45° の方向 (特定方向) で最も良好となる。

【0075】

表示素子 (表示面) 208 の左端部からの接眼光学系 OR1 への主光線の出射角は、右眼 202 の眼球が表示面の中心部を向いている正面視状態では -23° であり、表示面の左端部を向いている左端視状態では -47° である。

10

【0076】

正面視状態において表示面の左端部にてサブ画素に対してカラーフィルタをずらさないと、図 5 (a)、(b) から分かるように明るさが 15% 低下し、E は 5 増加する。しかし、カラーフィルタをずらすと、図 15 (a)、(b) から分かるように明るさが 14% 低下するにすぎず、E も 4 増加するにすぎない。すなわち視野角特性が改善する。一方、左端視状態において表示面の左端部にてカラーフィルタをずらさないと、図 5 (a)、(b) から分かるように明るさが 53% 低下し、E は 17 増加する。しかし、カラーフィルタをずらすと、図 15 (a)、(b) から分かるように明るさが 1% 低下するにすぎず、E も 1 増加するにすぎない。すなわち視野角特性が大きく改善する。

【0077】

また、右眼 202 の眼球が表示面の右端部を向いている右端視状態でも、左端視状態と同様に、図 15 (c) および図 15 (d) に示すようにサブ画素に対してカラーフィルタをずらすことにより、サブ画素に対してカラーフィルタをずらさない場合に比べて明るさと色ずれが改善する。

20

【0078】

ここまでは、水平方向における端部におけるサブ画素に対するカラーフィルタずらしについて説明したが、本実施例では、垂直方向の端部 (上端部と下端部) でも同様にサブ画素に対してカラーフィルタをずらしている。本実施例では、正面視状態における垂直方向での最大周辺画角 30° の主光線の表示素子 (表示面) 208 からの出射角は 23° であり、眼球が垂直方向の上端部や下端部を向いている上端視状態や下端視状態における垂直方向での最大周辺画角 30° の主光線の表示面からの出射角は 47° である。

30

【0079】

表示面上端部では、赤カラーフィルタ 218 の中心を赤用サブ画素 215 の中心に対して上側 (外側) にずらして配置している。このときの赤用サブ画素 215 の中心に対する赤カラーフィルタ 218 の中心のずらし量は、赤用サブ画素 215 の中心と赤カラーフィルタ 218 の中心を通る直線が法線方向に対して上側に 45° 傾くずらし量であり、以下の説明では、上側へのカラーフィルタずらし量が 45° であるという。

【0080】

また、表示面下端部では、赤カラーフィルタ 218 の中心を赤用サブ画素 215 の中心に対して下側 (外側) にずらして配置している。このときの赤用サブ画素 215 の中心に対する赤カラーフィルタ 218 の中心のずらし量は、赤用サブ画素 215 の中心と赤カラーフィルタ 218 の中心を通る直線が法線方向に対して下側に 45° 傾くずらし量であり、以下の説明では、下側へのカラーフィルタずらし量が 45° であるという。これらのことは、緑カラーフィルタと青カラーフィルタについても同様である。

40

【0081】

このようにサブ画素に対してカラーフィルタをずらすことで、表示面上端部や下端部の明るさや色ずれが改善する。

【0082】

本実施例でも、表示面の中心部において該表示面の法線方向での視野角特性を法線方向から外側に傾いた特定方向での視野角特性より高くし、表示面の端部において法線方向で

50

の視野角特性を特定方向での視野角特性より低くすることができる。

【0083】

また本実施例でも、図9(a)に示したように表示面におけるサブ画素のピッチは表示面の中心部から端部にかけて一定である。これに対して、カラーフィルタのピッチは、図9(b)に示したように中心部から端部にかけて大きくなるため、カラーフィルタのサイズをピッチの増加に合わせて大きくしている。

【0084】

本実施例の接眼光学系OR2, OL2においても、実施例1と同様の理由によってゴースト光が発生する。図16に示すように、正面視状態における水平方向の最大周辺画角30°の主光線の表示素子(表示面)208からの出射角は15°であり、図11および図13に示した正規の主光線の出射角とは、表示面の法線に対して反対側に傾いている。このため、上述したように正規の主光線の出射角に合わせてサブ画素に対してカラーフィルタをずらすことにより、視野角特性を改善するだけでなく、表示面の端部を含む周辺部からのゴースト光の明るさを低減することができる。

10

【0085】

具体的には、サブ画素に対してカラーフィルタをずらさない場合における表示面の水平方向の端部からのゴースト光の明るさは93%であるのに対して、カラーフィルタをずらした場合の明るさを25%に低減することができる。垂直方向についても同様である。

【0086】

本実施例では、表示画角30°の主光線に対する表示面の水平および垂直方向の端部での外側へのカラーフィルタずらし量は45°であり、これらの方向の視野角特性が法線方向の視野角特性よりも良好である。

20

【0087】

また、1が実施例1と同じ出射角を意味するとき、本実施例における表示画角30°での1は47°であるため、外側へのカラーフィルタずらし量 = 45°は式(2)の条件を満足している。また本実施例のように最大表示画角が60°より大きい(78°)である場合においては、以下の式(7)の条件を満足するとさらによい。2は実施例1と同じ出射角を示す。

$$2 \quad 1 \quad (7)$$

本実施例では、表示画角30°での2は23°であるため、カラーフィルタずらし量は式(7)の条件を満足する。

30

【0088】

最大表示画角が60°より大きい場合には、画角が広いために観察者は正面視状態において画像の周辺部を認識しにくい。このため、正面視状態ではなく、画像の周辺部を見ている状態において、その見ている方向の主光線の表示面からの出射角を想定してカラーフィルタずらし量を決めることが好ましい。

【0089】

さらに、表示面の水平方向の端部での外側へのカラーフィルタずらし量 max は45°であり、3は-15°となるため、式(3)の条件を満足する。この結果、ゴースト光を低減することができる。

40

【0090】

本実施例では、上端視状態と下端視状態においてゴースト光を低減することを優先して、表示画角30°の水平および垂直方向の端部での外側へのカラーフィルタずらし量を45°と大きく設定している。しかし、表示画角が大きくても正面視状態での周辺部の視野角特性を向上させたい場合には、表示画角30°の水平および垂直方向の端部での外側へのカラーフィルタずらし量を正面視状態での水平方向の最大周辺画角30°の主光線の表示面からの出射角23°に合わせてもよい。

【0091】

また、カラーフィルタずらし量を、正面視状態での水平方向の最大周辺画角30°の主光線の表示面からの出射角23°と左端視および右端視状態での水平方向の最大周辺画角

50

30°の主光線の表示面からの出射角47°との平均である35°に設定してもよい。この場合、正面視状態において表示面の左端部にてカラーフィルタをずらさないともるさは15%低下し、Eは5増加するが、カラーフィルタをずらすともるさは4%低下するにすぎず、Eも2増加するにすぎない。すなわち視野角特性が改善する。一方、左端視状態において表示面の左端部にてカラーフィルタをずらさないともるさは53%低下し、Eは17増加するが、カラーフィルタをずらすともるさは4%低下するにすぎず、Eも2増加するにすぎない。すなわち視野角特性が大きく改善する。

【0092】

また、カラーフィルタをずらさないとも、表示面の水平方向の端部からのゴースト光の明るさは93%であるのに対して、カラーフィルタをずらすともゴースト光の明るさは41%となり、大幅に低減することができる。このように、本実施例では、正面視状態と左端視および右端視状態での正規の光の視野角特性をバランスよく改善し、ゴースト光も低減することができる。

10

【0093】

本実施例でも、画素に対してカラーフィルタをずらした構成が表示素子からの光の出射角を制御する構成となり、この構成により、観察される画像の周辺部での輝度や色ずれといった視野角特性を改善しつつ、ゴースト光を低減することができる。

【0094】

本実施例でも、右眼用接眼光学系OR2は広画角で薄型であるため、最も光学パワーが大きい反射面(ハーフミラー212)を有する表示レンズ204の偏肉比が大きくなる。表示レンズ204, 205を接合しているため、表示レンズ205における表示レンズ204との接合面の曲率半径が短く、表示レンズ205の偏肉比も大きくなる。本実施例では、表示レンズ204の光学有効領域における偏肉比は3.6であり、表示レンズ205の光学有効領域における偏肉比は2.8である。

20

【0095】

また右眼用接眼光学系OR2の厚さL2をPBS214の観察者の右眼202側の面から右眼用表示素子208までの距離とすると、右眼用接眼光学系OR2のアイレリーフE2は2.0mmであり、厚さL2は13.5mmであり、厚さL2とアイレリーフE2の比、L2/E2は0.68である。

【0096】

本実施例において、右眼用接眼光学系OR2の最大対角半画角 θ_2 は39°である。このとき、 $E_2 \times \tan \theta_2 = 16.2 \text{ mm}$ であり、式(6)の条件を満足している。上記偏肉比、L2/E2および $E_2 \times \tan \theta_2$ については左眼用接眼光学系OL2についても同じである。

30

【0097】

また、本実施例でも、外光によるゴースト光を低減して観察する画像のコントラストを高めるために、PBS214と各接眼光学系の射出瞳との間に偏光板を配置してもよい。

【0098】

上述した各実施例では、表示素子からの光の出射角を制御する構成として、画素に対してカラーフィルタをずらした構成について説明したが、表示素子からの光の出射角を制御する構成であれば、マイクロレンズアレイを配置する等の他の構成を用いてもよい。

40

【0099】

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

【符号の説明】

【0100】

101, 201 HMD

108, 208 右眼用表示素子

109, 209 左眼用表示素子

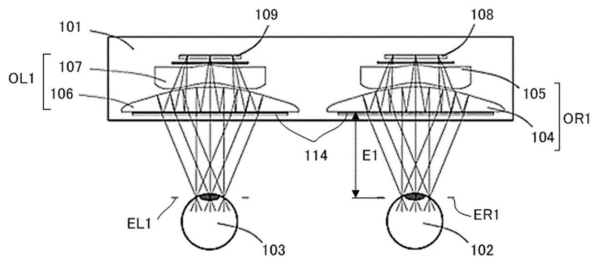
OR1, 2 右眼用接眼光学系

50

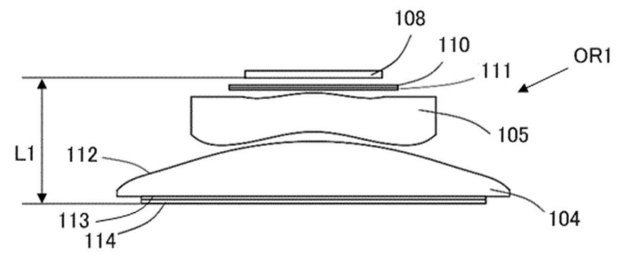
OL 1, 2 左眼用接眼光学系

【图面】

【图 1】

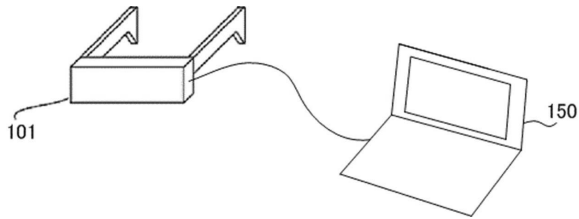


【图 2】

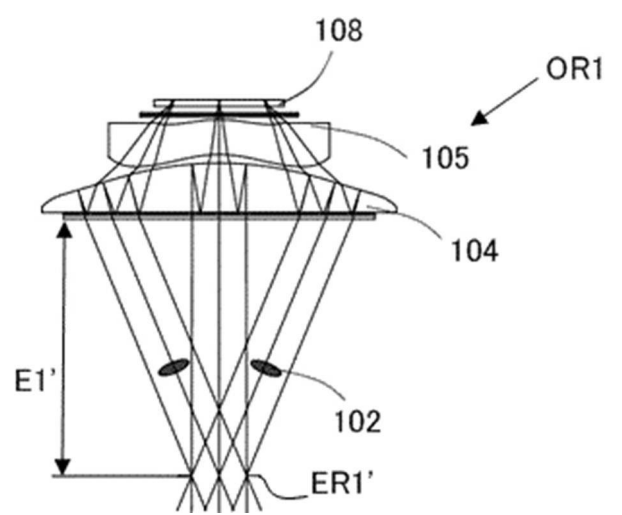


10

【图 3】

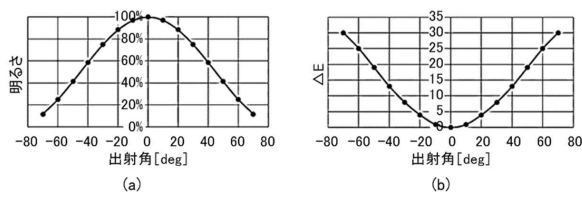


【图 4】

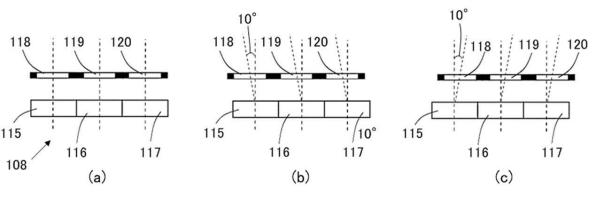


20

【图 5】



【图 6】

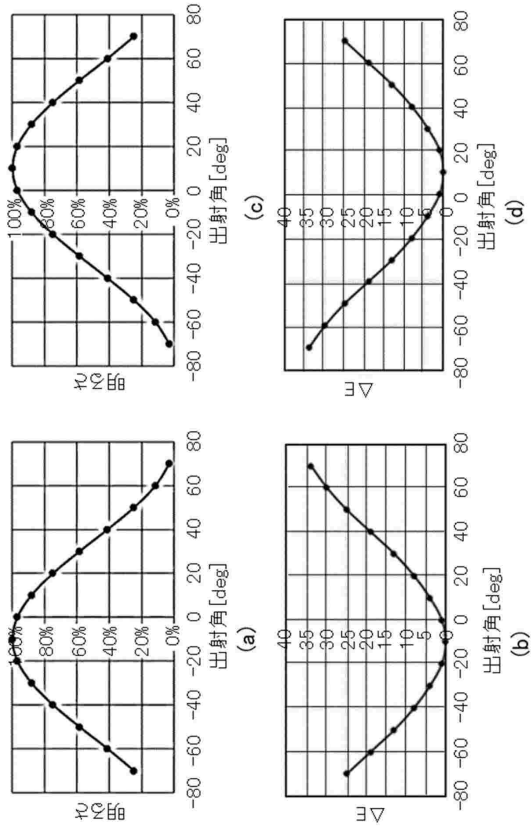


30

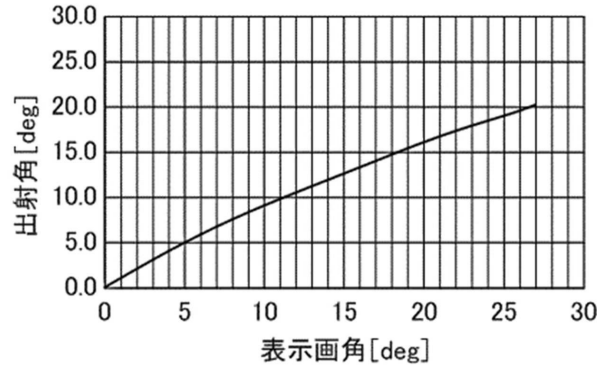
40

50

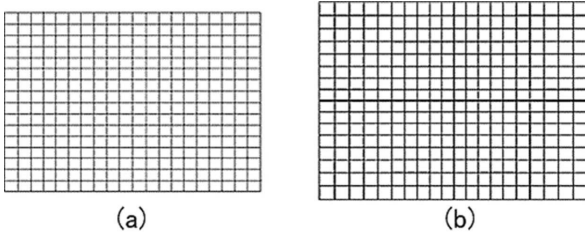
【 図 7 】



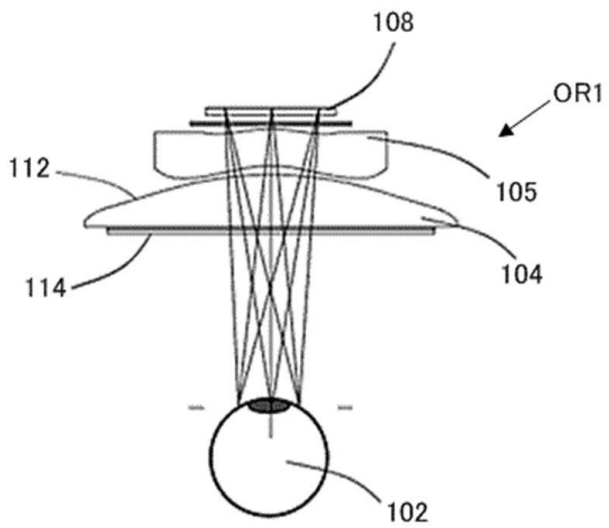
【 図 8 】



【 図 9 】



【 図 10 】



10

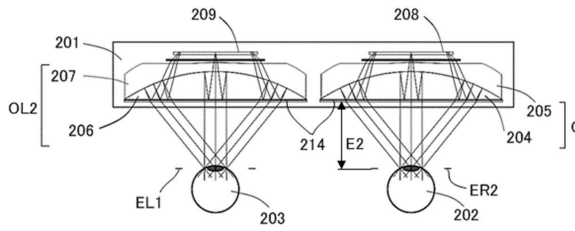
20

30

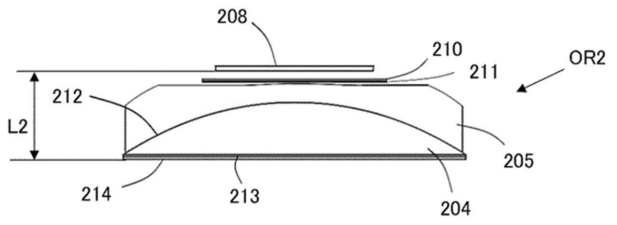
40

50

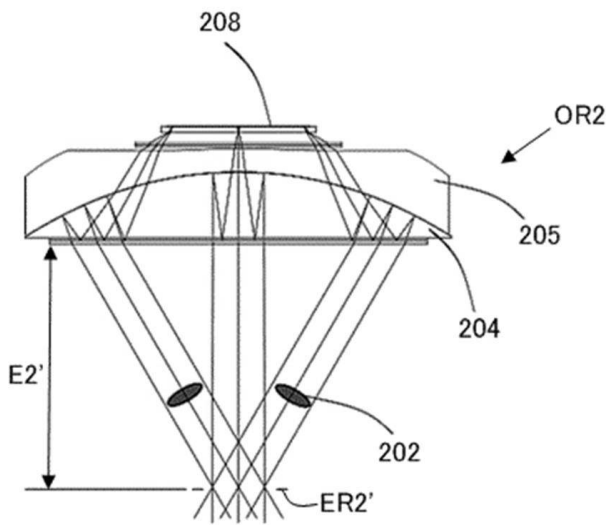
【図 1 1】



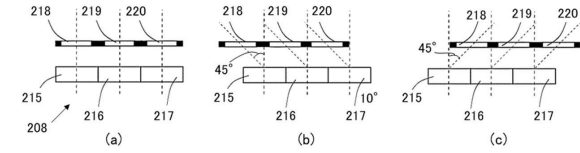
【図 1 2】



【図 1 3】



【図 1 4】



10

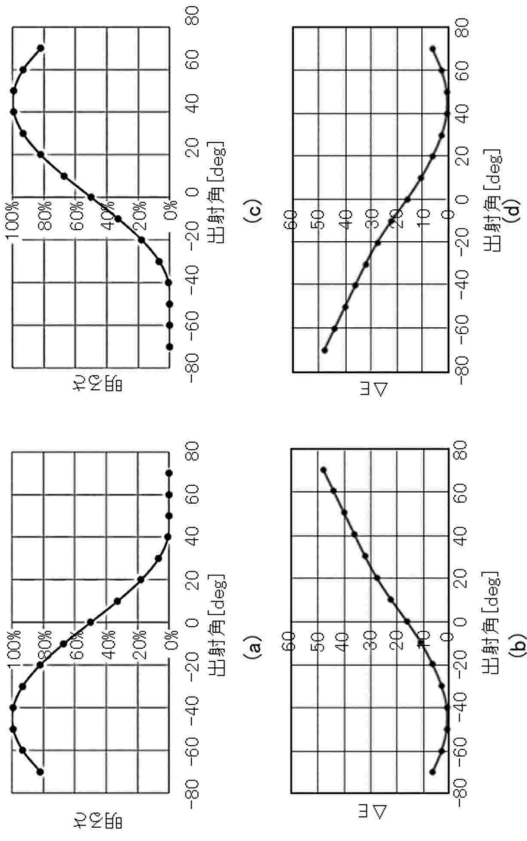
20

30

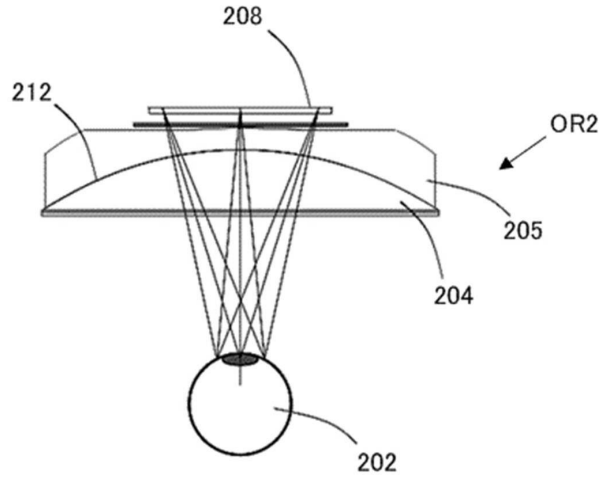
40

50

【図 15】



【図 16】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2017/169961(WO, A1)
特開2018-063852(JP, A)
特開2011-150960(JP, A)
特開2019-053151(JP, A)
特開2019-061198(JP, A)
特表2003-529795(JP, A)
国際公開第2019/013864(WO, A1)
特開2015-075713(JP, A)
特表2011-501822(JP, A)
特表2010-526321(JP, A)
米国特許出願公開第2019/0165052(US, A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 27/01, 27/02
H04N 5/64
G02B 9/00-17/08