

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7223248号

(P7223248)

(45)発行日 令和5年2月16日(2023.2.16)

(24)登録日 令和5年2月8日(2023.2.8)

(51)国際特許分類

F I

G 0 2 B 27/02 (2006.01)

G 0 2 B 27/02 Z

H 0 4 N 5/64 (2006.01)

H 0 4 N 5/64 5 1 1 A

請求項の数 7 (全31頁)

(21)出願番号 特願2018-206386(P2018-206386)
(22)出願日 平成30年11月1日(2018.11.1)
(65)公開番号 特開2020-71417(P2020-71417A)
(43)公開日 令和2年5月7日(2020.5.7)
審査請求日 令和3年10月5日(2021.10.5)

(73)特許権者 000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(74)代理人 100179475
弁理士 仲井 智至
(74)代理人 100216253
弁理士 松岡 宏紀
(74)代理人 100225901
弁理士 今村 真之
(72)発明者 井出 光隆
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 鈴木 俊光

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 表示装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

第1光線と第2光線とを含む画像光を出射する画素を有する画像光生成装置と、
前記画像光の光路において、

正のパワーを有し、前記画像光生成装置と第1中間像との間に設けられる第1光学部と、

正のパワーを有し、前記第1光学部と瞳との間に設けられる第1回折素子を有する第2
光学部と、

正のパワーを有し、前記第2光学部と第2中間像との間に設けられる第3光学部と、

正のパワーを有し、前記第3光学部と射出瞳との間に設けられる第2回折素子を有する
第4光学部と、

前記第2光学部と前記第4光学部との間に設けられ、前記画像光の前記第1光線が通過
する領域の厚さが前記画像光の前記第2光線が通過する領域の厚さよりも厚いプリズム部
材と、を備え、

前記第2回折素子において、前記画像光の前記第1光線の入射角度は、前記画像光に含
まれる光線において相対的に大きく、前記画像光の前記第2光線の入射角度は、前記画像
光に含まれる光線において相対的に小さい、ことを特徴とする表示装置。

【請求項2】

前記第1光学部は、第1レンズと第2レンズとを有し、

前記光路において、前記第1レンズは、前記第2レンズよりも前記画像光生成装置に近
く、かつ、前記画像光生成装置と前記第1中間像との間に設けられる、ことを特徴とする

請求項 1 に記載の表示装置。

【請求項 3】

前記光路において、前記第 2 レンズは、前記第 1 中間像と前記第 2 光学部との間に設けられる、ことを特徴とする請求項 2 に記載の表示装置。

【請求項 4】

前記光路において、前記プリズム部材は、前記第 3 光学部と前記第 4 光学部との間に設けられる、ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の表示装置。

【請求項 5】

観測者に対する左右方向において、前記画像光の前記第 1 光線は、前記観測者から遠い側の光線であり、前記画像光の前記第 2 光線は、前記観測者から近い側の光線である、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表示装置。

10

【請求項 6】

前記プリズム部材は、前記第 1 回折素子と一体に設けられる、ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の表示装置。

【請求項 7】

前記プリズム部材は曲率を有する面を含む、ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載の表示装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、回折素子を利用して画像を表示する表示装置に関するものである。

20

【背景技術】

【0002】

ホログラフィック素子等の回折素子を用いた表示装置として、画像光生成装置から出射された画像光を回折素子によって観察者の眼に向けて偏向するものが提案されている。回折素子では、特定波長で最適な回折角度と回折効率が得られるように干渉縞が最適化されている。しかしながら、画像光は、特定波長を中心にして所定のスペクトル幅を有していることから、特定波長からずれた周辺波長の光は、画像の解像度を低下させる原因となる。そこで、画像光生成装置から出射された画像光を反射型の第 1 回折素子によって、前方に配置された第 2 回折素子に向けて出射し、第 1 回折素子から出射された画像光を第 2 回折素子によって観察者の眼に向けて偏向する表示装置が提案されている。かかる構成によれば、第 1 回折素子によって周辺波長の光を補償して色収差をキャンセルすることができ、特定波長からずれた周辺波長の光に起因する画像の解像度の低下を抑制することができる（例えば、下記特許文献 1 参照）。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2002 - 139695 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0004】

上記表示装置において、画像光は、観察者の眼の前に配置された第 2 回折素子に対して斜入射するため、第 2 回折素子における画像光の入射形状が歪な形となる。上記特許文献 1 には、第 2 回折素子に入射する画像光の形状を補正することについて開示も示唆もされないため、十分な波長補償を行うことができず、画像の解像度が低下してしまう。

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題を解決するために、本発明の第一態様に係る表示装置は、第 1 光線と第 2 光線とを含む画像光を出射する画素を有する画像光生成装置と、前記画像光の光路において、正のパワーを有し、前記画像光生成装置と第 1 中間像との間に設けられる第 1 光学部と、

50

正のパワーを有し、前記第 1 光学部と瞳との間に設けられる第 1 回折素子を有する第 2 光学部と、正のパワーを有し、前記第 2 光学部と第 2 中間像との間に設けられる第 3 光学部と、正のパワーを有し、前記第 3 光学部と射出瞳との間に設けられる第 2 回折素子を有する第 4 光学部と、前記第 2 光学部と前記第 4 光学部との間に設けられ、前記画像光の前記第 1 光線が通過する領域の厚さが前記画像光の前記第 2 光線が通過する領域の厚さよりも厚いプリズム部材と、を備え、前記第 2 回折素子において、前記画像光の前記第 1 光線の入射角度は、前記画像光に含まれる光線において相対的に大きく、前記画像光の前記第 2 光線の入射角度は、前記画像光に含まれる光線において相対的に小さい、ことを特徴とする。

【 0 0 0 6 】

本発明の第二態様に係る表示装置は、画像光生成装置から出射された画像光の光路に沿って、正のパワーを有し、複数のレンズを含む第 1 光学部と、第 1 回折素子を含み、正のパワーを有する第 2 光学部と、正のパワーを有する第 3 光学部と、第 2 回折素子を含み、正のパワーを有する第 4 光学部と、備え、前記光路において、前記第 1 光学部における前記複数のレンズのうち最も前記画像光生成装置側に位置する第 1 レンズと前記第 3 光学部との間に前記画像光の第 1 中間像が形成され、前記第 2 光学部と前記第 4 光学部の間に瞳が形成され、前記第 3 光学部と前記第 4 光学部との間に前記画像光の第 2 中間像が形成され、前記第 4 光学部の前記第 3 光学部とは反対側に射出瞳が形成されており、前記第 2 光学部と前記第 4 光学部との間に、前記画像光の光線形状を補正するプリズム部材が設けられていることを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

上記第二態様に係る表示装置において、前記第 1 中間像は、前記第 1 光学部の中に形成されることが好ましい。

【 0 0 0 8 】

上記態様に係る表示装置において、前記プリズム部材は、前記第 3 光学部と前記第 4 光学部との間に設けられていることが好ましい。

【 0 0 0 9 】

上記態様に係る表示装置において、前記第 1 光学部、前記第 2 光学部、前記第 3 光学部および前記第 4 光学部は所定の曲線の一方側に沿って配置されており、前記曲線の前記一方側において該曲線から離れていく方向を外側とし、前記一方側において該曲線に近づいていく方向を内側としたとき、前記プリズム部材は、前記第 2 中間像の前記第 3 光学部側に設けられ、前記外側の厚みが前記内側の厚みよりも大きいことが好ましい。

【 0 0 1 0 】

上記態様に係る表示装置において、前記プリズム部材は、前記第 2 回折素子と一体に設けられることが好ましい。

【 0 0 1 1 】

上記態様に係る表示装置において、前記第 1 光学部、前記第 2 光学部、前記第 3 光学部および前記第 4 光学部は所定の曲線の一方側に沿って配置されており、前記曲線の前記一方側において該曲線から離れていく方向を外側とし、前記一方側において該曲線に近づいていく方向を内側としたとき、前記プリズム部材は、前記内側の厚みが前記外側の厚みよりも大きいことが好ましい。

【 0 0 1 2 】

上記態様に係る表示装置において、前記プリズム部材は曲率を有する面を含むことが好ましい。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 3 】

【図 1】第一実施形態の表示装置の外観の一態様を示す外観図。

【図 2】表示装置の別の外観の一態様を示す外観図。

【図 3】表示装置の光学系の一態様を示す説明図。

【図 4 A】回折素子の干渉縞の説明図である。

10

20

30

40

50

- 【図 4 B】回折素子の干渉縞の別の形態の説明図。
- 【図 5】第 1、第 2 回折素子を構成する体積ホログラムにおける回折特性の説明図。
- 【図 6】第 2 回折素子で発生する色収差をキャンセルする原理の説明図。
- 【図 7 A】第 1、第 2 回折素子が共役関係にある場合の説明図。
- 【図 7 B】第 1、第 2 回折素子が共役関係にない場合の説明図。
- 【図 7 C】第 1、第 2 回折素子が共役関係にない場合の説明図。
- 【図 8 A】第 1、第 2 回折素子の共役関係からのずれの許容差を示す説明図。
- 【図 8 B】第 1、第 2 回折素子の共役関係からのずれの許容差を示す別形態の説明図。
- 【図 9】光学系における光線図。
- 【図 10】斜入射を考慮した場合の画像光の光束形状の一例を示す図。
- 【図 11】第二実施形態の光学系の構成を示す図。
- 【図 12】第三実施形態の光学系の構成を示す図。
- 【図 13】第一変形例に係る光学系の光線図。
- 【図 14】第二変形例に係る光学系の光線図。
- 【図 15】第三変形例に係る光学系の光線図。
- 【図 16】第四変形例に係る光学系の光線図。
- 【図 17】本変形例に係る第 1 光学部の説明図。
- 【図 18】第五変形例に係る光学系の説明図。
- 【図 19】第六変形例に係る表示装置の説明図。
- 【図 20】第七変形例に係る表示装置の説明図。
- 【図 21】水平方向および垂直方向における中間像の位置が異なる場合の光線図。
- 【図 22】第八変形例に係る表示装置の説明図。
- 【図 23】第九変形例に係る表示装置の説明図。
- 【図 24】第十変形例に係る表示装置の説明図。
- 【図 25】第十変形例に係る第 1、第 2 回折素子との略共役関係を示す説明図。
- 【図 26】略共役関係のときに第 2 回折素子から出射される光の説明図。
- 【図 27】光が眼に入射する様子を示す説明図。
- 【発明を実施するための形態】

【0014】

(第一実施形態)

以下、本発明の実施形態について、図面を参照して説明する。なお、以下の各図においては、各層や各部材を認識可能な程度の大きさにするため、各層や各部材の尺度や角度を実際とは異ならせしめている。

【0015】

図 1 は、本実施形態の表示装置 100 の外観の一態様を示す外観図である。図 2 は、表示装置 100 の別の外観の一態様を示す外観図である。図 3 は、図 1 に示す表示装置 100 の光学系 10 の一態様を示す説明図である。なお、以下に示す図面においては必要に応じて、表示装置を装着した観察者に対する前後方向を Z 軸に沿う方向とし、前後方向の一方側として表示装置を装着した観察者の前方を前側 Z1 とし、前後方向の他方側として表示装置を装着した観察者の後方を後側 Z2 としてある。また、表示装置を装着した観察者に対する左右方向を X 軸に沿う方向とし、左右方向の一方側として表示装置を装着した観察者の右方を右側 X1 とし、左右方向の他方側として表示装置を装着した観察者の左方を左側 X2 としてある。また、表示装置を装着した観察者に対する上下方向を Y 軸方向に沿う方向とし、上下方向の一方側として表示装置を装着した観察者の上方を上側 Y1 とし、上下方向の他方側として表示装置を装着した観察者の下方を下側 Y2 としてある。

【0016】

図 1 に示す表示装置 100 は、頭部装着型の表示装置であり、画像光 L0a を右眼 E a に入射させる右眼用光学系 10a と、画像光 L0b を左眼 E b に入射させる左眼用光学系 10b とを有している。表示装置 100 は、例えば、眼鏡のような形状に形成される。具体的に、表示装置 100 は、右眼用光学系 10a と左眼用光学系 10b とを保持する筐体

10

20

30

40

50

９０をさらに備えている。表示装置１００は、筐体９０によって観察者の頭部に装着される。

【００１７】

表示装置１００は、筐体９０として、フレーム９１と、フレーム９１の右側に設けられ、観察者の右耳に係止されるテンプル９２ａと、フレーム９１の左側に設けられ、観察者の左耳に係止されるテンプル９２ｂと、を備えている。フレーム９１は、両側部に収納空間９１ｓを有しており、収納空間９１ｓ内に、後述する光学系１０を構成する画像光投射装置等の各部品が収容されている。テンプル９２ａ、９２ｂは、ヒンジ９５によってフレーム９１に対して折り畳み可能に連結されている。

【００１８】

右眼用光学系１０ａと左眼用光学系１０ｂとは基本的な構成が同一である。従って、以下の説明では、右眼用光学系１０ａと左眼用光学系１０ｂとを区別せずに光学系１０として説明する。

【００１９】

また、図１に示す表示装置１００では、画像光Ｌ０をＸ軸に沿う左右方向に進行させたが、図２に示すように、画像光Ｌ０を上側Ｙ１から下側Ｙ２に進行させて観察者の眼Ｅに出射させる場合や、頭頂部から眼Ｅの前にわたって光学系１０が配置されるように構成される場合もある。

【００２０】

図３を参照して表示装置１００の光学系１０の基本的な構成を説明する。図３は、図１に示す表示装置１００の光学系１０の一態様を示す説明図である。

【００２１】

図３に示すように、光学系１０では、画像光生成装置３１から出射された画像光Ｌ０の光路方向に沿って、正のパワーを有する第１光学部Ｌ１０と、正のパワーを有する第２光学部Ｌ２０と、正のパワーを有する第３光学部Ｌ３０と、正のパワーを有する第４光学部Ｌ４０とが配置されている。

【００２２】

かかる光学系１０において、画像光Ｌ０の進行方向に着目すると、画像光生成装置３１は、投射光学系３２に向けて画像光Ｌ０を出射し、投射光学系３２は入射した画像光Ｌ０をミラー４０に向けて出射する。ミラー４０は反射面４０ａを有し、画像光Ｌ０を第１回折素子５０に向けて反射する。ミラー４０の反射面４０ａで反射された画像光Ｌ０は第１回折素子５０に入射する。第１回折素子５０で回折された画像光Ｌ０は導光系６０に向けて出射される。導光系６０は、入射した画像光Ｌ０を第２回折素子７０に出射し、第２回折素子７０は、入射した画像光Ｌ０を観察者の眼Ｅに向けて出射する。

【００２３】

本実施形態において、画像光生成装置３１は画像光Ｌ０を生成する。

画像光生成装置３１は、有機エレクトロルミネッセンス表示素子等の表示パネル３１０を備えている態様を採用することができる。かかる態様によれば、小型で高画質な画像表示が可能な表示装置１００を提供することができる。また、画像光生成装置３１は、照明光源（図示せず）と、照明光源から出射された照明光を変調する液晶表示素子等の表示パネル３１０とを備えている態様を採用してもよい。かかる態様によれば、照明光源の選択が可能なため、画像光Ｌ０の波長特性の自由度が広がるという利点がある。ここで、画像光生成装置３１は、カラー表示可能な１枚の表示パネル３１０を有する態様を採用することができる。また、画像光生成装置３１は、各色に対応する複数の表示パネル３１０と、複数の表示パネル３１０から出射された各色の画像光を合成する合成光学系とを有する態様を採用してもよい。さらに、画像光生成装置３１は、レーザー光をマイクロミラーデバイスで変調する態様を採用してもよい。

【００２４】

投射光学系３２は画像光生成装置３１が生成した画像光Ｌ０を投射する光学系であって、第１レンズ３０１、第２レンズ３０２および第３レンズ３０３によって構成されている

10

20

30

40

50

。第1レンズ301、第2レンズ302および第3レンズ303は自由曲面レンズや回転対称のレンズで構成される。また、投射光学系32は偏心光学系であってもよい。図3では、投射光学系32におけるレンズの数を3枚とした場合を例に挙げたが、レンズの枚数はこれに限定されることはなく、投射光学系32が5枚以上のレンズを備えていてもよい。また、各レンズは貼り合わせて投射光学系32を構成してもよい。

【0025】

導光系60は、周辺部より中央が凹んだ反射面62aを有するミラー62で構成されており、正のパワーを有している。ミラー62は、前後方向に向けて斜めに傾いた反射面62aを有している。なお、反射面62aは球面、非球面、または自由曲面からなる。本実施形態において、ミラー62は自由曲面からなる反射面62aを有した全反射ミラーである。但し、ミラー62をハーフミラーとしてもよく、この場合、外光を視認できる範囲を広くすることができる。

10

【0026】

続いて、第1回折素子50および第2回折素子70の構成について説明する。

本実施形態において、第1回折素子50および第2回折素子70は基本的な構成が同一である。以下では、第2回折素子70の構成を例に挙げて説明する。

【0027】

図4Aは、図3に示す第2回折素子70の干渉縞751の説明図である。図4Aに示すように、第2回折素子70は、反射型体積ホログラフィック素子75を備えており、反射型体積ホログラフィック素子75は部分反射型回折光学素子である。このため、第2回折素子70は、部分透過反射性のコンバイナーを構成している。従って、外光も第2回折素子70を介して眼Eに入射するため、観察者は、画像光生成装置31で形成した画像光L0と外光（背景）とが重畳した画像を認識することができる。

20

【0028】

第2回折素子70は、観察者の眼Eと対向しており、画像光L0が入射する第2回折素子70の入射面71は、眼Eから離れる方向に凹んだ凹曲面になっている。換言すれば、入射面71は、画像光L0の入射方向において、周辺部に対して中央部が凹んで湾曲した形状となっている。このため、画像光L0を観察者の眼Eに向けて効率良く集光させることができる。

【0029】

30

第2回折素子70は、特定波長に対応するピッチを有した干渉縞751を有している。干渉縞751は屈折率等の差としてホログラム感光層に記録されており、干渉縞751は特定の入射角度に対応するように、第2回折素子70の入射面71に対して一方方向に傾いている。従って、第2回折素子70は、画像光L0を所定方向に回折して偏向する。特定波長および特定の入射角度とは、画像光L0の波長と入射角度に対応する。かかる構成の干渉縞751は、参照光Lrおよび物体光Lsを用いてホログラフィック感光層に干渉露光を行うことにより形成することができる。

【0030】

本実施形態では、画像光L0がカラー表示用であるため、後述する赤色光LR、緑色光LGおよび青色光LBを含む。このため、第2回折素子70は、特定波長に対応するピッチで形成された干渉縞751R、751G、751Bを有している。例えば、干渉縞751Rは、580nmから700nmの波長範囲のうち、例えば、波長615nmの赤色光LRに対応するピッチで形成される。干渉縞751Gは、500nmから580nmの波長範囲のうち、例えば、波長535nmの緑色光LGに対応するピッチで形成される。干渉縞751Bは、400nmから500nmの波長範囲のうち、例えば、波長460nmの青色光LBに対応するピッチで形成される。かかる構成は、各波長に対応する感度を有するホログラフィック感光層を形成した状態で、各波長の参照光LrR、LrG、LrB、および物体光LsR、LsG、LsBを用いてホログラフィック感光層に干渉露光を行うことにより形成することができる。

40

【0031】

50

なお、各波長に対応する感度を有する感光材料をホログラフィック感光層に分散させておき、各波長の参照光 $L_r R$ 、 $L_r G$ 、 $L_r B$ および物体光 $L_s R$ 、 $L_s G$ 、 $L_s B$ を用いてホログラフィック感光層に干渉露光を行うことによって、図 4 B に示すように 1 つの層に干渉縞 $751 R$ 、 $751 G$ 、 $751 B$ を重畳した干渉縞 751 を形成してもよい。また、参照光 $L_r R$ 、 $L_r G$ 、 $L_r B$ および物体光 $L_s R$ 、 $L_s G$ 、 $L_s B$ として球面波の光を用いてもよい。

【0032】

第 2 回折素子 70 と基本的な構成が同一である第 1 回折素子 50 は、反射型体積ホログラフィック素子 55 を備えている。第 1 回折素子 50 は、画像光 L_0 が入射する入射面 51 が、凹んだ凹曲面になっている。換言すれば、入射面 51 は、画像光 L_0 の入射方向において、周辺部に対して中央部が凹んで湾曲した形状となっている。そのため、画像光 L_0 を導光系 60 に向けて効率良く偏向させることができる。

10

【0033】

図 5 は、図 3 に示す第 1 回折素子 50 および第 2 回折素子 70 を構成する体積ホログラムにおける回折特性を説明した図である。図 5 は、体積ホログラム上の 1 点に光線が入射したときの、特定波長と周辺波長の回折角の差を示したものである。図 5 には、特定波長を 531 nm としたとき、波長が 526 nm の周辺波長の光の回折角度のずれを実線 L_{526} で示し、波長が 536 nm の周辺波長の光の回折角度のずれを点線 L_{536} で示してある。図 5 に示すように、ホログラムに記録された同じ干渉縞に光線が入射した場合でも、長波長の光線程、大きく回折し、短波長の光線程、回折しにくい。そのため、本実施形態のように 2 つの回折素子、すなわち第 1 回折素子 50 および第 2 回折素子 70 を用いた際、特定波長に対する長波長の光および短波長の光における光線角度をそれぞれ考慮して入射させないと適正に波長補償できない。すなわち第 2 回折素子 70 で発生する色収差をキャンセルできなくなる。また、干渉縞の本数によって回折角が異なるので、干渉縞を考慮する必要がある。

20

【0034】

図 3 に示す光学系 10 では、特開 2017-167181 号公報に記載されているように、第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 との間での中間像の形成回数と、ミラー 62 での反射回数の和が奇数か偶数かに対応して、第 2 回折素子 70 への入射方向等を適正化してあるため、波長補償、すなわち色収差をキャンセル可能である。

30

【0035】

図 6 は第 2 回折素子 70 で発生する色収差をキャンセルする原理について説明した図である。なお、図 6 には、画像光 L_0 の特定波長の光 L_1 (実線) に加えて、長波長側の光 L_2 (一点鎖線)、および特定波長に対して短波長側の光 L_3 (点線) も図示してある。

【0036】

具体的に、第 1 回折素子 50 に入射した画像光 L_0 は、図 6 に示すように、第 1 回折素子 50 によって回折されることで偏向する。このとき、特定波長に対して長波長側の光 L_2 の回折角度 θ_2 は、特定波長の光 L_1 の回折角度 θ_1 より大きくなる。また、特定波長に対して短波長側の光 L_3 の回折角度 θ_3 は、特定波長の光 L_1 の回折角度 θ_1 より小さくなる。従って、第 1 回折素子 50 を出射した画像光 L_0 は、波長毎に偏向されて分散することとなる。

40

【0037】

第 1 回折素子 50 を出射した画像光 L_0 は、導光系 60 を介して第 2 回折素子 70 に入射し、第 2 回折素子 70 によって回折されることで偏向する。その際、第 1 回折素子 50 から第 2 回折素子 70 までの光路において、中間像の形成が 1 回行われるとともに、ミラー 62 での反射が 1 回行われる。従って、画像光 L_0 と第 2 回折素子 70 の入射面法線との間の角度を入射角とすると、特定波長に対して長波長側の光 L_2 は、特定波長の光 L_1 における入射角 θ_{11} よりも大きな入射角 θ_{12} となり、特定波長に対して短波長側の光 L_3 は、特定波長の光 L_1 における入射角 θ_{11} よりも小さな入射角 θ_{13} となる。また、上述したように特定波長に対して長波長側の光 L_2 の回折角度 θ_2 は、特定波長の光 L_1 の

50

回折角度 θ_1 よりも大きくなり、特定波長に対して短波長側の光 L 3 の回折角度 θ_3 は、特定波長の光 L 1 の回折角度 θ_1 よりも小さくなる。

【 0 0 3 8 】

従って、特定波長に対して長波長側の光 L 2 は、特定波長の光 L 1 よりも大きな入射角で第 1 回折素子 5 0 に入射するが、特定波長に対して長波長側の光 L 2 の回折角度が、特定波長の光 L 1 の回折角度よりも大きいため、結果として第 2 回折素子 7 0 から出射するときには、特定波長に対して長波長側の光 L 2 と特定波長の光 L 1 は略平行な光となる。これに対して、特定波長に対して短波長側の光 L 3 は、特定波長の光 L 1 よりも小さな入射角で第 1 回折素子 5 0 に入射するが、特定波長に対して短波長側の光 L 3 の回折角度が、特定波長の光 L 1 の回折角度よりも小さいため、結果として第 2 回折素子 7 0 から出射するときには、特定波長に対して短波長側の光 L 3 と特定波長の光 L 1 は略平行な光となる。このようにして、図 6 に示すように、第 2 回折素子 7 0 を出射した画像光 L 0 は、略平行な光として観察者の眼 E に入射するので、波長毎の網膜 E 0 での結像位置ずれが抑制される。従って、第 2 回折素子 7 0 で発生する色収差をキャンセルできる。

10

【 0 0 3 9 】

続いて、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 との共役関係について説明する。

図 7 A は、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とが共役関係にある場合の説明図である。図 7 B および図 7 C は第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とが共役関係にない場合の説明図である。図 8 A および図 8 B は、図 7 B および図 7 C に示す第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 との共役関係からのずれの許容差を示す説明図である。図 8 A および図 8 B には、特定波長の光を実線 L e で示し、波長が特定波長 - 10 nm の光を一点鎖線 L f で示し、波長が特定波長 + 10 nm の光を二点鎖線 L g で示してある。なお、図 7 A ~ C および図 8 A および図 8 B では、光の進行が分かりやすいように、第 1 回折素子 5 0、第 2 回折素子 7 0 および導光系 6 0 を透過型として示し、第 1 回折素子 5 0、第 2 回折素子 7 0 および導光系 6 0 を矢印で示してある。

20

【 0 0 4 0 】

図 7 A に示すように、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とを共役の関係とした場合、第 1 回折素子 5 0 の A 点（第 1 の位置）から出射した発散光は正パワーを持つ導光系 6 0（レンズ）によって集光され、第 2 回折素子 7 0 の B 点（第 1 の位置に対応する第 2 の位置）に入射する。従って、B 点で発生する回折による色収差を A 点で補償することができる。

30

【 0 0 4 1 】

これに対して、図 7 B および図 7 C に示すように、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とが共役の関係にない場合、第 1 回折素子 5 0 の A 点から出射した発散光は、中央の正パワーを持つ導光系 6 0 によって集光されるが、第 2 回折素子 7 0 上の B 点よりも遠い位置、あるいは近い位置で交わり入射する。このため、A 点と B 点とが 1 対 1 の関係になっていない。ここで、領域内の干渉縞が一樣の場合に補償効果が高まることから、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とが共役の関係にない場合、補償効果が弱くなる。一方、第 1 回折素子 5 0 によって、第 2 回折素子 7 0 の投影領域全体を補償することは困難である。それ故、図 7 B および図 7 C に示す態様の場合、十分な波長補償を行うことができないので、解像度の劣化が発生する。

40

【 0 0 4 2 】

なお、特定波長に対して ± 10 nm の波長の光では、特定波長の光が到達する B 点から ± 0.4 mm 程度の誤差が存在するが、解像度の低下は目立たない。かかる許容範囲を検討した結果、図 8 A に示すように、特定波長の光が到達する理想的な第 2 回折素子 7 0 上の B 点よりも手前で交わり ± 0.8 mm の範囲内に入射する場合には、解像度の低下は目立たない。また、図 8 B に示すように、特定波長の光が到達する理想的な第 2 回折素子 7 0 上の B 点よりも後方で交わり ± 0.8 mm の範囲内に入射する場合には、解像度の低下は目立たない。従って、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とにおいては、完全な共役関係になくても、略共役関係にあつて、理想的な B 点から ± 0.8 mm の範囲内に到達す

50

る場合には、解像度の低下を許容することができる。すなわち、本実施形態において、第1回折素子50と第2回折素子70とが共役関係を有するとは、特定波長の光の入射位置が理想的な入射点から $\pm 0.8\text{ mm}$ の誤差範囲に収まることをいう。

【0043】

図9は、本実施形態の光学系10における光線図である。図9、および後で参照する図では、光軸に沿って配置された各光学部を太い矢印で示してある。また、画像光生成装置31の1つの画素から出射した光線を実線Laで示し、画像光生成装置31の端部から出射される主光線を一点鎖線Lbで示し、第1回折素子50と共役関係となる位置を長い破線Lcで示してある。ここで、「中間像」とは、1画素から出射された光線（実線La）が集まる個所であり、「瞳」とは、各画角の主光線（一点鎖線Lb）が集まる個所である。また、図9は、画像光生成装置31から出射された光の進行を示すものである。なお、図9においては、図を簡略化するため、すべての光学部を透過型として図示している。

10

【0044】

図9に示すように、本実施形態の光学系10では、画像光生成装置31から出射された画像光の光路に沿って、正のパワーを有する第1光学部L10と、第1回折素子50を備え、正のパワーを有する第2光学部L20と、正のパワーを有する第3光学部L30と、第2回折素子70を備え、正のパワーを有する第4光学部L40とが設けられている。

【0045】

第1光学部L10の焦点距離は $L/2$ であり、第2光学部L20、第3光学部L30、および第4光学部L40の焦点距離はいずれもLである。従って、第2光学部L20から第3光学部L30までの光学距離と第3光学部L30から第4光学部L40までの光学距離とが等しい。

20

【0046】

かかる光学系10では、第1光学部L10と第3光学部L30との間に画像光の第1中間像P1が形成され、第2光学部L20と第4光学部L40との間に瞳R1が形成され、第3光学部L30と第4光学部L40との間に画像光の第2中間像P2が形成され、第4光学部L40は、画像光を平行光化して射出瞳R2を形成する。その際、第3光学部L30は、第2光学部L20から射出された画像光を発散光あるいは収束光あるいは平行光と自在に制御して第4光学部L40に入射させる。第2光学部L20は、第1光学部L10から射出された画像光を収束光として第3光学部L30に入射させる。本実施形態の光学系10において、瞳R1は、第2光学部L2と第4光学部L40との間のうち、第3光学部L30の近傍に形成される。第3光学部L30の近傍とは、第2光学部L20と第3光学部L30の間のうち、第2光学部L20より第3光学部L30に近い位置、または第3光学部L30と第4光学部L40の間のうち、第4光学部L40より第3光学部L30に近い位置を意味する。

30

【0047】

また、第3光学部L30は、画像光生成装置31の1点からの画像光について、第1回折素子50により偏向されて特定波長からずれた周辺波長の光を第2回折素子70の所定の範囲に入射させる。すなわち、第1回折素子50と第2回折素子70は共役あるいは略共役の関係にある。ここで、第1回折素子50の第3光学部L30による第2回折素子70上の射影の倍率の絶対値は0.5倍から10倍までであり、かかる倍率の絶対値は1倍から5倍までであることが好ましい。

40

【0048】

従って、本実施形態の光学系10によれば、投射光学系32と導光系60との間に画像光の第1中間像P1が形成され、導光系60の近傍に瞳R1が形成され、導光系60と第2回折素子70との間に画像光の第2中間像P2が形成され、第2回折素子70は、画像光を平行光化して射出瞳R2を形成する。

【0049】

本実施形態の光学系10において、第1中間像P1は、第1光学部L10（投射光学系32）と第2光学部L20（第1回折素子50）との間に形成される。

50

【 0 0 5 0 】

ここで、上述のように第 1 回折素子 5 0 および第 2 回折素子 7 0 が共役関係或いは略共役関係を満たすためには、第 1 回折素子 5 0 における画像光の入射状態と第 2 回折素子 7 0 における画像光の入射状態とを同じにする必要がある。つまり、観察者の眼 E に入射する画像光の光線形状が例えば円形である場合、第 1 回折素子 5 0 および第 2 回折素子 7 0 に入射する画像光の結像光線も円形にする必要がある。

【 0 0 5 1 】

図 3 に示したように、本実施形態の光学系 1 0 では、第 2 回折素子 7 0 を観察者の眼 E の前に配置する構造を採用するため、画像光 L 0 が第 2 回折素子 7 0 に対して斜め方向から入射する。以下、画像光 L 0 が斜め方向から入射する状態を単に「斜入射」と呼ぶ。

10

【 0 0 5 2 】

図 3 に示される画像光は、主光線および光軸を含む面であるメリジオナル平面内を通過するメリジオナル光線である。

【 0 0 5 3 】

以下、図 3 の説明において、画像光の主光線に直交し観察者の顔の輪郭から離間する方向を y 軸とし、該 y 方向および図 3 の紙面に直交する方向を x 軸とする x y 座標系を用いる。

【 0 0 5 4 】

図 3 において画像光を示す複数のメリジオナル光線のうち、画像形成装置 3 1 から右側 X 1 に出射され、第 2 中間像 P 2 の形成位置を通過して第 2 回折素子 7 0 に入射する光線を「マイナス側光線 M K」と呼ぶ。

20

【 0 0 5 5 】

また、図 3 において画像光を示す複数のメリジオナル光線のうち、画像形成装置 3 1 から左側 X 2 側に出射され、第 2 中間像 P 2 の形成位置を通過して第 2 回折素子 7 0 に入射するメリジオナル光線を「プラス側光線 P K」と呼ぶ。

【 0 0 5 6 】

図 3 に示されるように、マイナス側光線 M K は第 2 中間像 P 2 の形成位置に対してより + y 側から入射する光線ほど第 2 中間像 P 2 から第 2 回折素子 7 0 までの光路長が長くなる。すなわち、マイナス側光線 M K は第 2 回折素子 7 0 に対する入射角度が相対的に大きくなる。

30

【 0 0 5 7 】

一方、図 3 に示されるように、プラス側光線 P K は第 2 中間像 P 2 の形成位置に対してより - y 側から入射する光線ほど第 2 中間像 P 2 から第 2 回折素子 7 0 までの光路長が短くなる。すなわち、プラス側光線 P K は第 2 回折素子 7 0 に対する入射角度が相対的に小さくなる。

【 0 0 5 8 】

このように画像光が第 2 回折素子 7 0 に対して斜入射する場合、第 2 回折素子 7 0 上における画像光の光線形状が歪な形状となって円形と異なる形状にならなくなる。すると、観察者の眼 E に入射する画像光の光線形状と、第 1 回折素子 5 0 および第 2 回折素子 7 0 に入射する画像光の結像光線の形状とが異なってしまう。よって、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とは共役関係或いは略共役関係を満たすことができず、波長補償を適正に行うことができなくなる。

40

【 0 0 5 9 】

そのため、第 2 回折素子 7 0 に対して画像光を斜入射させる場合において、上述したように第 2 回折素子 7 0 上における画像光の光線形状が円形となるように、斜入射によって生じる歪みを考慮して予め画像光の光束形状を所望の形に補正する必要がある。

ここで、斜入射によって生じる歪みを考慮して予め画像光の光束形状を補正するとは、斜入射する画像光の光線形状が第 2 回折素子 7 0 上において例えば円形等の所望形状となるように画像光の光線形状を補正することを意味する。

【 0 0 6 0 】

50

図 10 は斜入射を考慮した場合の画像光の光束形状の一例を示す図である。図 10 は図 3 の符号 A で示した位置における画像光の x y 平面に沿う断面に相当し、第 2 中間像 P 2 の近傍における画像光の光束断面形状を示す。

【 0 0 6 1 】

図 10 に示すように、画像光における光線形状の $+y$ 側はマイナス側光線 M K で形成され、画像光における光線形状の $-y$ 側はプラス側光線 P K で形成される。

ここで、マイナス側光線 M K は第 2 回折素子 7 0 に対する入射角度が相対的に大きい、つまり中間像位置から対象物までの距離が長いことから、第 2 回折素子 7 0 上に形成する照明領域の面積が広がる。一方、プラス側光線 P K は第 2 回折素子 7 0 に対する入射角度が相対的に小さい、つまり中間像位置から対象物までの距離が短いことから、第 2 回折素子 7 0 上に形成する照明領域の面積がマイナス側光線 M K よりも広がらない。

10

【 0 0 6 2 】

このような理由から、斜入射を考慮した場合における画像光の光線形状は、第 2 回折素子 7 0 上で照明領域が大きく広がるマイナス側光線 M K を含む $+y$ 側ほど光線を細くし、第 2 回折素子 7 0 上で照明領域が広がり難いプラス側光線 P K を含む $-y$ 側ほど光線を太くしている。従って、図 10 に示すように斜入射を考慮した場合における画像光の光線形状は、 x 方向における幅が $+y$ 側ほど狭くなっただけの形状となる。このように斜入射を考慮した場合の画像光の光束形状はマイナス側光線 M K およびプラス側光線 P K の入射状況に応じて決まる。

【 0 0 6 3 】

20

ところで、第 2 回折素子 7 0 上における画像光の光線形状の補正は、第 1 光学部 L 1 0 から第 3 光学部 L 3 0 までの間で行う必要がある。上述のように第 1 回折素子 5 0 および第 2 回折素子 7 0 が共役関係或いは略共役関係を満たすためには、第 1 回折素子 5 0 および第 2 回折素子 7 0 は画像光の入射形状を一致させる必要がある。そのため、画像光の光線形状の補正に第 1 回折素子 5 0 および第 2 回折素子 7 0 を利用することはできない。そこで、第 3 光学部 L 3 0 を用いることで画像光の光線形状を図 10 に示した形状に補正することも考えられる。

【 0 0 6 4 】

しかしながら、第 3 光学部 L 3 0 を用いて画像光の光線形状を補正する場合、瞳径が大きくなったり、画面サイズが大きくなることで収差の増大へと繋がる。その結果、画像の解像度の低下という新たな問題が生じてしまう。

30

【 0 0 6 5 】

これに対し、本実施形態の光学系 1 0 では、図 3 に示したように、第 2 光学部 L 2 0 と第 4 光学部 L 4 0 との間に、画像光 L 0 の光線形状を補正するプリズム部材 4 5 を設けている。本実施形態において、プリズム部材 4 5 は、第 3 光学部 L 3 0 と第 4 光学部 L 4 0 との間に設けられており、第 2 回折素子 7 0 に斜入射する画像光 L 0 の光線形状を予め補正することで、画像光 L 0 が第 2 回折素子 7 0 上において例えば円形等といった所望の光線形状に形成することができる。

【 0 0 6 6 】

図 3 に示したように、本実施形態の光学系 1 0 において、第 1 光学部 L 1 0、第 2 光学部 L 2 0、第 3 光学部 L 3 0 および第 4 光学部 L 4 0 は観察者の輪郭の曲線 M C (所定の曲線) の一方側に沿って配置されている。

40

【 0 0 6 7 】

本実施形態のプリズム部材 4 5 は、第 2 中間像 P 2 の第 3 光学部 L 3 0 側に設けられている。プリズム部材 4 5 における入射面および出射面は曲率を有する曲面を含んでいる。曲面としては、例えば、球面、非球面、シリンドリカル面あるいは自由曲面のいずれでもよい。このように入射面および出射面を曲面で構成することで画像光の補正自由度を向上させることができる。なお、プリズム部材 4 5 における入射面および出射面は平面で構成されていてもよい。

【 0 0 6 8 】

50

図 10 に示した斜入射を考慮した場合の画像光の光束形状はマイナス側光線 M K およびプラス側光線 P K の入射状況に応じて変化する。つまり、プリズム部材 45 の形状はマイナス側光線 M K およびプラス側光線 P K の入射状況によって一意に決まる。

【0069】

本実施形態のプリズム部材 45 は、第 2 回折素子 70 に対して大きい入射角度で入射するマイナス側光線 M K における補正力を相対的に強め、第 2 回折素子 70 に対して小さい入射角度で入射するプラス側光線 P K における補正力を相対的に弱める形状を有する。

【0070】

より具体的に、本実施形態のプリズム部材 45 は、図 3 に示したように、プラス側光線 P K が通過する - y 側の厚みよりもマイナス側光線 M K が通過する + y 側の厚みを厚くする形状を有している。プリズム部材 45 は、マイナス側光線 M K が通過する領域の厚みが大きいため、マイナス側光線 M K を強く曲げることができる。よって、マイナス側光線 M K をプラス側光線 P K よりも細くすることで画像光の光線形状を図 10 に示した形状に予め補正することができる。

10

【0071】

図 3 に示すように本実施形態のプリズム部材 45 は、輪郭の曲線 M C から離れるにつれて厚みを増す形状を有する。ここで、曲線 M C の一方側、つまり曲線 M C における光学系 10 が配置される側において該曲線 M C から離れていく方向を外側とし、曲線 M C に近づいていく方向を内側とする。すなわち、プリズム部材 45 は、観察者の顔に近い側である曲線 M C の内側における厚みよりも観察者の顔から遠い側である曲線 M C の外側における厚みが大きくなる形状を有すると換言できる。

20

【0072】

なお、プリズム部材 45 の形状は、該プリズム部材 45 を配置する位置によっても変化する。例えば、図 3 において、第 2 中間像 P 2 の形成位置よりも第 3 光学部 L 30 側にプリズム部材 45 を配置したが、プリズム部材 45 は第 2 中間像 P 2 の形成位置よりも第 4 光学部 L 40 側に配置してもよい。この場合、プリズム部材 45 に対するマイナス側光線 M K およびプラス側光線 P K の入射位置の関係が図 3 に示した場合と逆になるため、プリズム部材 45 における形状は + y 側よりも - y 側を厚くした形状となる。

【0073】

本実施形態の光学系 10 によれば、以下に示す 4 つの条件（条件 1、2、3、4）を満たすことができる。

30

条件 1：画像光生成装置 31 の 1 つの点から出射した光線は、網膜 E 0 に 1 つの点として結像される。

条件 2：光学系の入射瞳と眼球の瞳が共役である。

条件 3：周辺波長を補償するように第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とを適正に配置する。

条件 4：第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とが共役または略共役の関係にある。

【0074】

より具体的には、図 9 に示した実線 L a から分かるように、画像光生成装置 31 の 1 つの点から出射した光線は、網膜 E 0 に 1 つの点として結像されるという条件 1 を満たすので、観察者は 1 画素を視認することができる。また、図 9 に示した実線 L a から分かるように、光学系 10 の入射瞳と眼 E の瞳 E 1 とが共役（瞳の共役）の関係にあるという条件 2 を満たすので、画像光生成装置 31 で生成した画像の全域を視認することができる。また、周辺波長を補償するように第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とを適正に配置するという条件 3 を満たすため、波長補償を行うことによって第 2 回折素子 70 で発生する色収差をキャンセル可能である。

40

【0075】

本実施形態の光学系 10 によれば、第 3 光学部 L 30 と第 4 光学部 L 40 との間に設けられたプリズム部材 45 によって第 2 回折素子 70 に斜入射する画像光 L 0 の光線形状を予め補正することで、第 1 回折素子 50 における画像光の入射状態と第 2 回折素子 70 に

50

おける画像光の入射状態とを同じにすることができる。よって、本実施形態の光学系 10 によれば、画像光が第 2 回折素子 70 に対して斜入射する場合であっても、図 9 の長い破線 Lc で示される第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とが共役または略共役の関係にあるという条件 4 を満たすことができる。よって、第 1 回折素子 50 および第 2 回折素子 70 は、光線を干渉縞が同一な個所に入射させることが可能となるので、上述の波長補償を適正に行うことができる。よって、画像光の解像度の劣化を良好に抑えることができる。

【0076】

本実施形態の光学系 10 は、第 2 光学部 L20 および第 3 光学部 L30 を覆うカバー部材を設けてもよい。この場合において、プリズム部材 45 をカバー部材の一部で形成しても良い。このようにすれば、プリズム部材 45 とカバー部材とを一体化することで、組立公差の低減を図ることができる。

【0077】

(第二実施形態)

続いて、第二実施形態に係る光学系について説明する。本実施形態と上記実施形態との違いはプリズム部材を配置する位置であり、それ以外の構成を共通する。そのため、上記実施形態と共通の部材については同じ符号を付し、その詳細については説明を省略する。

【0078】

図 11 は本実施形態の光学系の構成を示す図である。

図 11 に示すように、本実施形態の光学系 11 は、第 2 光学部 L20 と第 4 光学部 L40 との間にプリズム部材 145 を設けている。プリズム部材 145 は、光入射側と反対の裏面にミラー 62 を設けることで、第 3 光学部 L30 を構成する導光系 60 の役割を兼ねている。

【0079】

プリズム部材 145 は第 2 回折素子 70 に斜入射する画像光 L0 の光線形状を予め補正することで、第 2 回折素子 70 上において画像光 L0 を所望の光線形状とすることができる。

プリズム部材 145 は、第 2 回折素子 70 に対して大きい入射角度で入射するマイナス側光線 MK における補正力を相対的に強め、第 2 回折素子 70 に対して小さい入射角度で入射するプラス側光線 PK における補正力を相対的に弱める形状を有する。

具体的に、本実施形態のプリズム部材 145 は、図 11 に示すように、プラス側光線 PK が通過するミラー 62 の後側 Z2 における厚みよりもマイナス側光線 MK が通過するミラー 62 の前側 Z1 における厚みを大きくした形状を有する。これにより、プリズム部材 145 は、マイナス側光線 MK が通過する領域の厚みが大きいため、マイナス側光線 MK を強く曲げることができる。よって、マイナス側光線 MK をプラス側光線 PK よりも細くすることで画像光の光線形状を図 10 に示した形状に予め補正することができる。

【0080】

本実施形態の光学系 11 においても、上述した 4 つの条件を満たすことができる。

また、本実施形態の光学系 11 によれば、第 3 光学部 L30 と第 4 光学部 L40 との間に設けられたプリズム部材 145 によって第 2 回折素子 70 に斜入射する画像光 L0 の光線形状を予め補正することで、第 1 回折素子 50 における画像光の入射状態と第 2 回折素子 70 における画像光の入射状態とを同じにすることができる。よって、本実施形態の光学系 11 によれば、画像光が第 2 回折素子 70 に対して斜入射する場合であっても、上述の波長補償を適正に行うことで、画像光の解像度の劣化を良好に抑えることができる。

また、本実施形態の光学系 11 では、プリズム部材 145 がミラー 62 を有することで第 3 光学部 L30 の役割を兼ねるので、組立公差を低減するとともに部品点数の増加を抑えることができる。

【0081】

(第三実施形態)

続いて、第三実施形態に係る光学系について説明する。本実施形態と上記実施形態との違いはプリズム部材を配置する位置であり、それ以外の構成を共通する。そのため、上記

10

20

30

40

50

実施形態と共通の部材については同じ符号を付し、その詳細については説明を省略する。

【0082】

図12は本実施形態の光学系の構成を示す図である。図12では、画像光生成装置31の3つの画素から出射した光線を示しており、各光線をそれぞれ3本の線で図示した。

図12に示すように、本実施形態の光学系12は、画像光L0の光路上における第2光学部L20と第4光学部L40との間にプリズム部材245を設けている。また、本実施形態の光学系12において、プリズム部材245は、画像光L0の光路上における第1光学部L10と第2光学部L20との間に設けられていると換言できる。より具体的に、プリズム部材245は、第2光学部L20を構成する第1回折素子50の光入射面側に設けられている。

10

【0083】

プリズム部材245は第2光学部L2と第3光学部L30との間に設けられることで、第2回折素子70に斜入射する画像光L0の光線形状を予め補正して、第2回折素子70上において画像光L0を所望の光線形状とする機能を有している。プリズム部材245は、第2回折素子70に対して大きい入射角度で入射するマイナス側光線MKに対する補正力を相対的に強くし、第2回折素子70に対して小さい入射角度で入射するプラス側光線PKに対する補正力を相対的に弱くした形状を有する。

【0084】

本実施形態の光学系12において、第1光学部L10、第2光学部L20、第3光学部L30および第4光学部L40は観察者の輪郭の曲線MC（所定の曲線）の一方側に沿って配置されている。

20

【0085】

具体的に本実施形態のプリズム部材245は、図12に示すように、点線で示されるプラス側光線PKに相当する光線が通過する第1回折素子50の投射光学系32側における厚みよりも一点鎖線で示されるマイナス側光線MKに相当する光線が通過する第1回折素子50の投射光学系32と反対側における厚みを大きくした形状を有する。

【0086】

本実施形態のプリズム部材245は、マイナス側光線MKが通過する領域の厚みが大きいいため、マイナス側光線MKを強く曲げることができる。よって、マイナス側光線MKをプラス側光線PKよりも細くすることで画像光の光線形状を図10に示した形状に予め補正することができる。

30

【0087】

また、本実施形態のプリズム部材245は、観察者の顔における輪郭の曲線MCから離れる外側の厚みが曲線MCに近づく内側における厚みよりも小さい。すなわち、本実施形態のプリズム部材245は、観察者の顔に近い側である曲線MCの内側の厚みよりも観察者の顔から遠い側である曲線MCの外側の厚みを小さくした形状を有すると換言できる。

【0088】

本実施形態の光学系12においても、上述した4つの条件を満たすことができる。

また、本実施形態の光学系12によれば、第1回折素子50と一体に設けられたプリズム部材245によって第2回折素子70に斜入射する画像光L0の光線形状を予め補正することで、第1回折素子50における画像光の入射状態と第2回折素子70における画像光の入射状態とを同じにすることができる。よって、本実施形態の光学系12によれば、画像光が第2回折素子70に対して斜入射する場合であっても、上述の波長補償を適正に行うことで、画像光の解像度の劣化を良好に抑えることができる。

40

【0089】

ところで、本実施形態の光学系12は、例えば、第1回折素子50における干渉縞を形成する際の物体光の照射位置および参照光の集光位置を概ね瞳位置に対応させるように設計している。これにより、画像光の画角を決める瞳位置の効率を高くすることで観察者の眼に均一な光を入射させるようにしている。

【0090】

50

第 1 回折素子 5 0 はブラッグの回折条件を満たす場合、第 2 回折素子 7 0 に向けて画像光を最も効率よく回折可能である。ここで、ブラッグの回折条件を満たすには、第 1 回折素子 5 0 の物体点に相当する瞳 R と画像光の中間像とを一致させるように配置すればよい。

【 0 0 9 1 】

しかしながら、本実施形態の光学系 1 2 では、図 1 2 に示すように、画像光の中間像 P 1 , P 2 の位置と瞳 R , R 1 の位置とが異なっている。具体的に、第 1 回折素子 5 0 の物体点に相当する瞳 R に対して、画像光の第 1 中間像 P 1 は第 1 回折素子 5 0 の近くに位置する。そのため、本実施形態の光学系 1 2 において、第 1 回折素子 5 0 はブラッグの回折条件から外れるため、所謂ブラッグのミスマッチ光が発生することで回折効率が低下してしまう。

10

【 0 0 9 2 】

そこで本実施形態の光学系 1 2 では、上述のようにプリズム部材 2 4 5 を第 1 回折素子 5 0 の光入射面側に一体に設けることで、プリズム部材 2 4 5 を第 1 光学部 L 1 0 と第 2 光学部 L 2 0 との間に配置している。これにより、プリズム部材 2 4 5 は、後述のように第 1 回折素子 5 0 の回折効率を向上させる機能を有する。

【 0 0 9 3 】

本実施形態の光学系 1 2 において、ミラー 4 0 で反射された画像光はプリズム部材 2 4 5 を介して第 1 回折素子 5 0 に入射する。画像光はプリズム部材 2 4 5 に入射する際に屈折される。

【 0 0 9 4 】

20

ここで、第 1 回折素子 5 0 から見て、第 1 回折素子 5 0 に対する画像光の入射角度がプリズム形状によって補正されることから、より物体点に近い位置から画像光が出射されたとみなせる。そのため、画像光がプリズム部材 2 4 5 を透過することで、画像光は見掛け上、物体点に近い位置から出射されるというよりブラッグの回折条件を満たす状態で第 1 回折素子 5 0 に入射するので、ブラッグのミスマッチ光が低減される。

【 0 0 9 5 】

従って、本実施形態の光学系 1 2 によれば、プリズム部材 2 4 5 を第 1 回折素子 5 0 と一体に設けることで部品点数を増やすことなく、上述した第 2 回折素子 7 0 に斜入射する場合における画像光の解像度の劣化の抑制と第 1 回折素子 5 0 の回折効率の向上とを両立させることができる。また、本実施形態の光学系 1 2 では、プリズム部材 2 4 5 と第 1 回折素子 5 0 と一体化することで、組立公差を低減するとともに部品点数の増加を抑えることができる。

30

【 0 0 9 6 】

(第一変形例)

図 1 3 は、第一変形例に係る光学系 1 0 A の光線図である。図 1 3 に示すように、本変形例の光学系 1 0 A では、画像光生成装置 3 1 から出射された画像光の光路に沿って、正のパワーを有する第 1 光学部 L 1 0 (投射光学系 3 2) と、第 1 回折素子 5 0 を備え、正のパワーを有する第 2 光学部 L 2 0 と、正のパワーを有する第 3 光学部 L 3 0 (導光系 6 0) と、反射型の第 2 回折素子 7 0 を備え、正のパワーを有する第 4 光学部 L 4 0 とが設けられている。

40

【 0 0 9 7 】

第 1 光学部 L 1 0 の焦点距離は $4L/11$ であり、第 2 光学部 L 2 0 の焦点距離は $6L/11$ であり、第 3 光学部 L 3 0 の焦点距離は $3L/4$ であり、第 4 光学部 L 4 0 の焦点距離は L である。従って、第 2 光学部 L 2 0 から第 3 光学部 L 3 0 までの光学距離と第 3 光学部 L 3 0 から第 4 光学部 L 4 0 までの光学距離との比は $1:2$ であり、第 2 光学部 L 2 0 から第 3 光学部 L 3 0 までの光学距離は、第 3 光学部 L 3 0 から第 4 光学部 L 4 0 までの光学距離より短い。従って、光学系 1 0 を小型化した場合でも、視界が第 3 光学部 L 3 0 によって遮られにくい。

【 0 0 9 8 】

本変形例でも、図 9 を参照して説明した第一実施形態の構成と同様、第 1 光学部 L 1 0

50

と第3光学部L30との間に画像光の第1中間像P1が形成され、第3光学部L30近傍に瞳R1が形成され、第3光学部L30と第4光学部L40との間に画像光の第2中間像P2が形成され、第4光学部L40は、画像光を平行光化して射出瞳R2を形成する。本変形例において、第一実施形態の構成と同様、第1中間像P1は、第1光学部L10（投射光学系32）と第2光学部L20（第1回折素子50）との間に形成される。

【0099】

また、本変形例の光学系10Aにおいても、第一実施形態の構成と同様、画像光生成装置31の1つの点から出射した光線は、網膜E0に1つの点として結像されるという条件1を満たす。また、光学系10Aの入射瞳と眼Eの瞳E1とが共役（瞳の共役）の関係にあるという条件2を満たす。また、第1回折素子50と第2回折素子70とを適正に配置するという条件3を満たす。また、第1回折素子50と第2回折素子70とが共役または略共役の関係にあるという条件4を満たすため、第1回折素子50と第2回折素子70とでは、光線を干渉縞が同一な個所に入射させることが可能であり、波長補償を適正に行うことで色収差をキャンセルできる。よって、画像光の解像度の劣化を抑えることができる。

【0100】

本変形例の光学系10Aにおいても、上述した実施形態に係る光学系10, 11, 12と同様、プリズム部材45, 145, 245のいずれかを備えることで、画像光L0における光線形状を斜入射を考慮した形状に補正できる。よって、第2回折素子70に対して画像光が斜入射することに起因する解像度の低下を抑制できる。従って、本変形例の光学系10Aによれば、高い画質を得ることができる。

【0101】

（第二変形例）

図14は、第二変形例に係る光学系10Bの光線図である。図14に示すように、本変形例の光学系10Bでは、画像光生成装置31から出射された画像光の光路に沿って、正のパワーを有する第1光学部L10（投射光学系32）と、第1回折素子50を備え、正のパワーを有する第2光学部L20と、正のパワーを有する第3光学部L30（導光系60）と、反射型の第2回折素子70を備え、正のパワーを有する第4光学部L40とが設けられている。本変形例では、画像光生成装置31と投射光学系32との間に第5光学部L50が設けられている。

【0102】

本変形例でも、図9を参照して説明した第一実施形態の構成と同様、第1光学部L10と第3光学部L30との間に画像光の第1中間像P1が形成され、第3光学部L30近傍に瞳R1が形成され、第3光学部L30と第4光学部L40との間に画像光の第2中間像P2が形成され、第4光学部L40は、画像光を平行光化して射出瞳R2を形成する。本変形例においても、第一実施形態の構成と同様、第1中間像P1は、第1光学部L10（投射光学系32）と第2光学部L20（第1回折素子50）との間に形成される。すなわち、図9を参照して説明した第一実施形態の構成において、画像光生成装置31が配置されていた位置を仮想パネル位置とした場合、図14に示す構成では、画像光生成装置31を仮想パネル位置より第1光学部L10とは反対側に配置されており、画像光生成装置31と第1光学部L10との距離は、図9を参照して説明した第一実施形態の構成における画像光生成装置31と第1光学部L10との距離より長い。このような場合でも、画像光生成装置31と投射光学系32との間に第5光学部L50が設けられているため、画像光生成装置31から出射された光線は、第1光学部L10に到達した以降、図9を参照して説明した第一実施形態の構成と同様となる。

【0103】

それ故、本変形例の光学系10Bにおいても、第一実施形態の構成と同様、画像光生成装置31の1つの点から出射した光線は、網膜E0に1つの点として結像されるという条件1を満たす。また、光学系10Bの入射瞳と眼Eの瞳E1とが共役（瞳の共役）の関係にあるという条件2を満たす。また、第1回折素子50と第2回折素子70とを適正に配置するという条件3を満たす。また、第1回折素子50と第2回折素子70とが共役また

は略共役の関係にあるという条件 4 を満たすため、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とでは、光線を干渉縞が同一な個所に入射させることが可能であり、波長補償を適正に行うことで色収差をキャンセルできる。よって、画像光の解像度の劣化を抑えることができる。

【 0 1 0 4 】

本変形例の光学系 1 0 B においても、上述した実施形態に係る光学系 1 0 , 1 1 , 1 2 と同様、プリズム部材 4 5 , 1 4 5 , 2 4 5 のいずれかを備えることで、画像光 L 0 における光線形状を斜入射を考慮した形状に補正できる。よって、第 2 回折素子 7 0 に対して画像光が斜入射することに起因する解像度の低下を抑制できる。従って、本変形例の光学系 1 0 B によれば、高い画質を得ることができる。

10

【 0 1 0 5 】

(第三変形例)

図 1 5 は、第三変形例に係る光学系 1 0 C の光線図である。図 1 5 に示すように、本変形例の光学系 1 0 C では、画像光生成装置 3 1 から出射された画像光の光路に沿って、正のパワーを有する第 1 光学部 L 1 0 (投射光学系 3 2) と、第 1 回折素子 5 0 を備え、正のパワーを有する第 2 光学部 L 2 0 と、正のパワーを有する第 3 光学部 L 3 0 (導光系 6 0) と、反射型の第 2 回折素子 7 0 を備え、正のパワーを有する第 4 光学部 L 4 0 とが設けられている。

【 0 1 0 6 】

本変形例でも、第一実施形態、第一変形例および第二変形例の構成と同様、第 1 光学部 L 1 0 と第 3 光学部 L 3 0 との間に画像光の第 1 中間像 P 1 が形成され、第 3 光学部 L 3 0 近傍に瞳 R 1 が形成され、第 3 光学部 L 3 0 と第 4 光学部 L 4 0 との間に画像光の第 2 中間像 P 2 が形成され、第 4 光学部 L 4 0 は、画像光を平行光化して射出瞳 R 2 を形成する。

20

【 0 1 0 7 】

本変形例では、第一実施形態、第一変形例および第二変形例の構成と異なり、第 1 中間像 P 1 は、第 2 光学部 L 2 0 (第 1 回折素子 5 0) と第 3 光学部 L 3 0 (導光系 6 0) との間に形成される。

【 0 1 0 8 】

かかる光学系 1 0 C でも、第一実施形態の構成と同様、画像光生成装置 3 1 の 1 つの点から出射した光線は、網膜 E 0 に 1 つの点として結像されるという条件 1 を満たす。また、光学系 1 0 C の入射瞳と眼 E の瞳 E 1 とが共役 (瞳の共役) の関係にあるという条件 2 を満たす。また、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とを適正に配置するという条件 3 を満たす。なお、本変形例の光学系 1 0 C では、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とが共役または略共役の関係にあるという条件 4 を満たさない。この場合でも、第 3 光学部 L 3 0 は、画像光生成装置 3 1 の 1 点からの画像光について、第 1 回折素子 5 0 により偏向されて特定波長からずれた光を第 2 回折素子 7 0 の所定の範囲に入射させることができる。このため、干渉縞が異なる場所に入射するという問題は、第 3 光学部 L 3 0 によって補償される。従って、波長が特定波長の周辺波長の光も特定波長の光の近傍に入射可能となり、波長補償を行うことで色収差を概ねキャンセルできる。よって、解像度の劣化を抑えることができる。すなわち、本変形例の光学系 1 0 C によれば、第一実施形態の構成等と比較して、波長補償効果は弱い、開口率が小さい場合は一定の波長補償効果が得られる。

30

40

【 0 1 0 9 】

本変形例の光学系 1 0 C においても、上述した実施形態に係る光学系 1 0 , 1 1 , 1 2 と同様、プリズム部材 4 5 , 1 4 5 , 2 4 5 のいずれかを備えることで、画像光 L 0 における光線形状を斜入射を考慮した形状に補正できる。よって、第 2 回折素子 7 0 に対して画像光が斜入射することに起因する解像度の低下を抑制できる。従って、本変形例の光学系 1 0 C によれば、高い画質を得ることができる。

【 0 1 1 0 】

50

(第四変形例)

図16は、第四変形例に係る光学系10Dの光線図である。図17は、本変形例に係る第1光学部L10の説明図である。図16に示すように、本変形例の光学系10Dでは、図9を参照して説明した第一実施形態の構成と同様、正のパワーを有する第1光学部L10(投射光学系32)と、第1回折素子50を備え、正のパワーを有する第2光学部L20と、正のパワーを有する第3光学部L30(導光系60)と、反射型の第2回折素子70を備え、正のパワーを有する第4光学部L40とが設けられている。ここで、画像光生成装置31は、レーザー光源316と、コリメートレンズ317と、マイクロミラーデバイス318とを有しており、マイクロミラーデバイス318を駆動することによりレーザー光源316を走査することにより、画像を生成する。従って、画像光生成装置31自身

10

【0111】

このため、図17に示すように、図9を参照して説明した第一実施形態の構成において、第1光学部L10に用いたレンズL11、L12の間に瞳を形成する場合と比較すると、画像光生成装置31とレンズL11とが上述したレーザー光源316、コリメートレンズ317およびマイクロミラーデバイス318で置き換えられる。

【0112】

かかる光学系10Dによれば、表示装置100を装着した際、体温や表示装置100自身の熱によって温度変化が発生してレーザー光のスペクトラム幅等が変動した場合でも、波長補償によって画像の画質を向上させることができる。

20

【0113】

本変形例の光学系10Dにおいても、上述した実施形態に係る光学系10, 11, 12と同様、プリズム部材45, 145, 245のいずれかを備えることで、画像光L0における光線形状を斜入射を考慮した形状に補正できる。よって、第2回折素子70に対して画像光が斜入射することに起因する解像度の低下を抑制できる。従って、本変形例の光学系10Dによれば、高い画質を得ることができる。

【0114】

(第五変形例)

図18は、第五変形例に係る光学系10Eの説明図である。図18に示す光学系10Eは、図2に示したように上下方向に沿って配置されており、頭頂部に配置された画像光生成装置31から眼Eの前の第2回折素子70までの間に投射光学系32、第1回折素子50、および導光系60が配置されている。本変形例において、導光系60は、周辺部より中央が凹んだ反射面620を有するミラー62によって構成されており、正のパワーを有している。反射面620は、球面、非球面、または自由曲面からなる。本変形例において、反射面620は自由曲面からなる。第1回折素子50は、透過型体積ホログラフィック素子とレンズとが一体化されており、正のパワーを有している。なお、第1回折素子50自身が正のパワーを有するように構成されることもある。

30

【0115】

本変形例の光学系10Eでは、図13を参照して説明した第一変形例と同様、画像光生成装置31から出射された画像光の光路に沿って、正のパワーを有する第1光学部L10(投射光学系32)と、第1回折素子50を備え、正のパワーを有する第2光学部L20と、正のパワーを有する第3光学部L30(導光系60のミラー62)と、反射型の第2回折素子70を備え、正のパワーを有する第4光学部L40とが設けられている。従って、第1光学部L10と第3光学部L30との間に画像光の第1中間像P1が形成され、第3光学部L30近傍に瞳R1が形成され、第3光学部L30と第4光学部L40との間に画像光の第2中間像P2が形成され、第4光学部L40は、画像光を平行光化して射出瞳R2を形成する。

40

【0116】

また、本変形例の光学系10Eでは、第一実施形態に係る光学系10と同様、プリズム部材45を第3光学部L30と第4光学部L40との間に設けている。これにより、画像

50

光 L 0 における光線形状を斜入射を考慮した形状に補正することができる。

【 0 1 1 7 】

ここで、第 3 光学部 L 3 0 は、正のパワーを有するミラー 6 2 によって構成されている。従って、第 2 光学部 L 2 0 で回折した発散光は、ミラー 6 2 によって集光される。また、集光された光は、第 4 光学部 L 4 0 (第 2 回折素子 7 0) の特定波長の光が入射する点および近傍に入射する。

【 0 1 1 8 】

本変形例の光学系 1 0 E でも、図 1 3 を参照して説明した第一変形例 1 と同様、画像光生成装置 3 1 の 1 つの点から出射した光線は、網膜 E 0 に 1 つの点として結像されるという条件 1 を満たす。また、光学系 1 0 E の入射瞳と眼 E の瞳 E 1 とが共役 (瞳の共役) の関係にあるという条件 2 を満たす。また、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とを適正に配置するという条件 3 を満たす。また、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とが共役または略共役の関係にあるという条件 4 を満たすため、第 1 回折素子 5 0 と第 2 回折素子 7 0 とでは、光線を干渉縞が同一な個所に入射させることが可能であり、波長補償を適正に行うことで色収差をキャンセルできる。よって、画像光の解像度の劣化を抑えることができる。

【 0 1 1 9 】

また、本変形例の光学系 1 0 E によれば、プリズム部材 4 5 を備えるため、第 2 回折素子 7 0 に対して画像光が斜入射することに起因する解像度の低下を抑制することで、より高い画質を得ることができる。

なお、本変形例では、プリズム部材 4 5 を備える場合を例に挙げたが、プリズム部材 1 4 5 , 2 4 5 を組み合わせてもよい。

【 0 1 2 0 】

(第六変形例)

図 1 9 は、第六変形例に係る表示装置の説明図である。図 1 8 に示した光学系 1 0 E は、第 1 光学部 L 1 0 (投射光学系 3 2) と第 2 光学部 L 2 0 (第 1 回折素子 5 0) とが別体であったが、本変形例の光学系 1 0 F は、図 1 9 に示すように、第 1 光学部 L 1 0 (投射光学系) と第 2 光学部 L 2 0 (第 1 回折素子 5 0) とが一体である。より具体的には、第 1 光学部 L 1 0 (投射光学系 3 2) は、複数の反射面 1 8 5 a、1 8 5 b を備えたプリズム 1 8 5 によって構成されており、プリズム 1 8 5 の出射面 1 8 5 c に第 2 光学部 L 2 0 (透過型の第 1 回折素子 5 0) が構成されている。

【 0 1 2 1 】

その他の構成は、図 1 8 を参照して説明した第五変形例と共通である。従って、図 1 8 に示す態様と同様、波長補償を適正に行うことで色収差をキャンセルできる。よって、画像光の解像度の劣化を抑えることができる。また、プリズム 1 8 5 を用いることにより、第 1 光学部 L 1 0 (投射光学系 3 2) と第 2 光学部 L 2 0 (第 1 回折素子 5 0) とを一体化したため、組立公差の低減や頭部前後方向の小型化等を図ることができる。また、第 2 回折素子 7 0 に対して画像光が斜入射することに起因する解像度の低下を抑制できる。よって、より高い画質を得ることができる。

【 0 1 2 2 】

(第七変形例)

図 2 0 は、第七変形例に係る表示装置の説明図である。図 2 0 に示す光学系 1 0 G は、図 1 および図 3 を参照して説明した態様と同様、側頭部に配置された画像光生成装置 3 1 から眼 E の前の第 2 回折素子 7 0 までの間に、投射光学系 3 2、第 1 回折素子 5 0、および導光系 6 0 が配置されている。本変形例において、投射光学系 3 2 は、回転対称のレンズ 3 2 6 と、自由曲面のレンズ 3 2 7 とを有している。導光系 6 0 は、周辺部より中央が凹んだ反射面 6 2 0 を有するミラー 6 2 によって構成されており、正のパワーを有している。反射面 6 2 0 は、球面、非球面、または自由曲面からなる。本変形例において、反射面 6 2 0 は自由曲面からなる。第 1 回折素子 5 0 は、反射型体積ホログラムからなる。投射光学系 3 2 から第 1 回折素子 5 0 に到る光路の途中位置にミラー 4 0 が配置されており

、投射光学系 3 2 は、ミラー 4 0 の反射面またはその近傍に中間像（第 1 中間像 P 1）を形成する。ミラー 4 0 は、反射面 4 0 0 が凹曲面になっており、正のパワーを有している。ミラー 4 0 の反射面 4 0 0 が正のパワーを有する場合、ミラー 4 0 を投射光学系 3 2 の構成要素に含めるようにしてもよい。すなわち、ミラー 4 0 が正のパワーを有する場合、第 1 光学部 L 1 0 がミラー 4 0 を含むようにしてもよい。なお、ミラー 4 0 の反射面 4 0 0 が、平面になっており、パワーを有しないように構成してもよい。

【0 1 2 3】

このように構成した光学系 1 0 G では、図 1 3 を参照して説明した第一変形例と同様、画像光生成装置 3 1 から出射された画像光の光路に沿って、正のパワーを有する第 1 光学部 L 1 0（投射光学系 3 2）と、第 1 回折素子 5 0 を備え、正のパワーを有する第 2 光学部 L 2 0 と、正のパワーを有する第 3 光学部 L 3 0（導光系 6 0 のミラー 6 2）と、反射型の第 2 回折素子 7 0 を備え、正のパワーを有する第 4 光学部 L 4 0 とが設けられている。

10

【0 1 2 4】

また、本変形例の光学系 1 0 G では、第一実施形態に係る光学系 1 0 と同様、プリズム部材 4 5 を第 3 光学部 L 3 0 と第 4 光学部 L 4 0 との間に設けている。これにより、画像光における光線形状を斜入射を考慮した形状に補正することができる。

【0 1 2 5】

本変形例の光学系 1 0 G において、第 1 光学部 L 1 0 は複数のレンズ 3 2 6，3 2 7 を含む。複数のレンズ 3 2 6，3 2 7 のうちレンズ 3 2 6 は、最も画像光生成装置 3 1 側に位置するレンズである。

20

本変形例の光学系 1 0 G において、第 1 光学部 L 1 0 におけるレンズ 3 2 6 とレンズ 3 2 7 との間に瞳 R 0 が形成され、第 3 光学部 L 3 0 近傍に瞳 R 1 が形成され、第 3 光学部 L 3 0 と第 4 光学部 L 4 0 との間に画像光の第 2 中間像 P 2 が形成され、第 4 光学部 L 4 0 は、画像光を平行光化して射出瞳 R 2 を形成する。

【0 1 2 6】

本変形例の光学系 1 0 G において、第 1 中間像 P 1 は、第 1 光学部 L 1 0（投射光学系 3 2）の中に形成される。図 2 0 に示す第 1 中間像 P 1 および第 2 中間像 P 2 は、紙面に沿う水平方向に拡がった画像光における中間像である。画像光生成装置 3 1 から出射された画像光は、水平方向のみならず図 2 0 の紙面に直交する垂直方向にも拡がることから、垂直方向に拡がった画像光の中間像も存在する。本変形例において、垂直方向の中間像が水平方向の中間像の近傍に存在している。

30

なお、本実施形態の光学系 1 4 において、第 1 中間像 P 1 はミラー 4 0 の近傍に形成されるが、第 1 光学部 L 1 0（投射光学系 3 2）の中に形成されても良い。

【0 1 2 7】

また、水平方向の中間像と垂直方向の中間像とは異なる位置に存在していてもよい。図 2 1 は水平方向および垂直方向における中間像の位置が異なる場合の光線図であり、図 2 1 は水平方向および垂直方向の画像光における光線図である。図 2 1 において、符号 L_H は水平方向の画像光を示し、符号 P_{1H} は水平方向の画像光 L_H における第 1 中間像を示し、符号 L_V は垂直方向の画像光を示し、符号 P_{1V} は垂直方向の画像光 L_V における第 1 中間像を示す。また、図 2 1 では、光軸に沿って配置される、画像光生成装置 3 1、第 1 光学部 L 1 0（投射光学系 3 2）およびミラー 4 0 を模式化して示している。また、図 2 1 では、投射光学系 3 2 を構成するレンズ 3 2 6，3 2 7 の形状も簡略化している。

40

【0 1 2 8】

図 2 1 に示すように、水平方向の第 1 中間像 P_{1H} はミラー 4 0 の近傍に位置しており、垂直方向の第 1 中間像 P_{1V} は水平方向の第 1 中間像 P_{1H} よりも第 1 光学部 L 1 0 の近傍に位置している。

【0 1 2 9】

図 2 1 では、第 1 中間像 P 1 において水平方向と垂直方向とで中間像の位置が異なる場合を示したが、第 2 中間像においても水平方向と垂直方向とで位置が異なってもよい。また、第 1 中間像 P 1 において水平方向と垂直方向とで中間像の位置が異なる場合にお

50

いて、第 1 中間像 $P1_H$ および第 1 中間像 $P1_V$ の一方が第 1 光学部 $L10$ の中に形成され、第 1 中間像 $P1_H$ および第 1 中間像 $P1_V$ の他方が第 1 光学部 $L10$ の外側に形成されてもよい。

【0130】

本変形例の光学系 $10G$ においても、図 13 を参照して説明した第一変形例と同様、画像光生成装置 31 の 1 つの点から出射した光線は、網膜 $E0$ に 1 つの点として結像されるという条件 1 を満たす。また、光学系 10 の入射瞳と眼 E の瞳 $E1$ とが共役（瞳の共役）の関係にあるという条件 2 を満たす。また、第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とを適正に配置するという条件 3 を満たす。また、第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とが共役または略共役の関係にあるという条件 4 を満たすため、第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とでは、光線を干渉縞が同一な個所に入射させることが可能であり、波長補償を適正に行うことで色収差をキャンセルできる。よって、画像光の解像度の劣化を抑えることができる。

10

【0131】

また、本変形例の光学系 $10G$ によれば、プリズム部材 45 を備えるため、第 2 回折素子 70 に対して画像光が斜入射することに起因する解像度の低下を抑制することで、より高い画質を得ることができる。

なお、本変形例では、プリズム部材 45 を備える場合を例に挙げたが、プリズム部材 145, 245 を組み合わせてもよい。

【0132】

20

また、図 20 に示す部材のうち、透光性部材を構成するプラスチック、ガラス等には、高分散と低分散を組合せた光学部材を使用している。また、第 3 光学部 $L30$ にミラー 62 を用いているため、第 1 光学部 $L10$ で色消し状態としている。このため、光学系 $10G$ の重心位置が後側 $Z2$ に移るため、使用者の鼻への負担を軽減できる等の利点がある。また、ミラー 62 については、透明樹脂もしくはガラスなどの透明部材にスパッター法等により半透過型ミラー層や角度選択性のミラー層を形成すれば、ミラー 62 を介して外界を視認することができる。

【0133】

（第八変形例）

図 22 は、第八変形例に係る表示装置の説明図である。図 22 に示す光学系 $10H$ は、図 20 を参照して説明した第七変形例と同様、側頭部に配置された画像光生成装置 31 から眼 E の前の第 2 回折素子 70 （第 4 光学部 $L40$ ）までの間に投射光学系 32（第 1 光学部 $L10$ ）、ミラー 40、第 1 回折素子 50 （第 2 光学部 $L20$ ）、および導光系 60 のミラー 62（第 3 光学部 $L30$ ）が配置されている。

30

【0134】

本変形例では、ミラー 40 とミラー 62 とが、共通の部材 181 の異なる面に構成されている。その他の構成は、図 20 に示す第七変形例と共通である。従って、図 20 に示す第七変形例と同様、波長補償を適正に行うことができる。また、ミラー 40 とミラー 62 とが、共通の部材 181 に構成されているため、組立公差の低減等を図ることができる。また、ミラーを製造する金型の種類を減らすことができるので、コストの削減を図ることができる。

40

【0135】

（第九変形例）

図 23 は、第九変形例に係る表示装置の説明図である。図 23 に示す光学系 $10I$ は、図 16 を参照して説明した第七変形例と同様、側頭部に配置された画像光生成装置 31 から眼 E の前の第 2 回折素子 70 （第 4 光学部 $L40$ ）までの間に投射光学系 32（第 1 光学部 $L10$ ）、ミラー 40、第 1 回折素子 50 （第 2 光学部 $L20$ ）、および導光系 60 のミラー 62（第 3 光学部 $L30$ ）が配置されている。

【0136】

本変形例では、ミラー 62 と第 2 回折素子 70 とが、共通の部材 182 の異なる面に構

50

成されている。その他の構成は、図 20 に示す第七変形例と共通である。従って、図 20 に示す第七変形例と同様、波長補償を適正に行うことができる。また、ミラー 62 と第 2 回折素子 70 とが、共通の部材 182 に構成されているため、組立公差の低減等を図ることができる。また、ミラーを製造する金型の種類を減らすことができるので、コストの削減を図ることができる。

なお、本変形例において、プリズム部材 45 が部材 182 と一体に形成されていてもよい。これにより、組立公差の低減等を図ることができる。

【0137】

(第十変形例)

図 24 は、第十変形例に係る表示装置の説明図である。図 24 に示す光学系 10J は、図 20 を参照して説明した第七変形例と同様、側頭部に配置された画像光生成装置 31 から眼 E の前の第 2 回折素子 70 (第 4 光学部 L40) までの間に投射光学系 32 (第 1 光学部 L10)、ミラー 40、第 1 回折素子 50 (第 2 光学部 L20)、および導光系 60 のミラー 62 (第 3 光学部 L30) が配置されている。

【0138】

本変形例では、ミラー 40、ミラー 62、および第 2 回折素子 70 が、共通の部材 183 の異なる面に構成されている。その他の構成は、図 20 に示す第七変形例と共通である。従って、図 20 に示す第七変形例と同様、波長補償を適正に行うことができる。また、ミラー 40、ミラー 62、および第 2 回折素子 70 が共通の部材 183 に構成されているため、組立公差の低減等を図ることができる。また、ミラーを製造する金型の種類を減らすことができるので、コストの削減を図ることができる。

なお、本変形例において、プリズム部材 45 が部材 183 と一体に形成されていてもよい。これにより、組立公差の低減等を図ることができる。

【0139】

(第十一変形例)

続いて、第十一変形例に係る光学系について説明する。本変形例の光学系では、第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とが略共役関係となっている。以下、第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 との略共役関係について説明する。

【0140】

図 25 は、本変形例の光学系 10K における第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 との略共役関係を示す説明図である。図 26 は、図 25 に示す略共役関係のときに第 2 回折素子 70 から出射される光の説明図である。図 27 は、図 26 に示す光が眼 E に入射する様子を示す説明図である。なお、図 21 には、特定波長の光を実線 Le で示し、波長が特定波長 - 10 nm の光を一点鎖線 Lf で示し、波長が特定波長 + 10 nm の光を二点鎖線 Lg で示してある。図 27 には、図面に向かって最も左側に、波長が特定波長 - 10 nm の光 (図 26 に一点鎖線 Lf で示す光) が眼 E に入射する様子を示し、図面に向かって最も右側に、波長が特定波長 + 10 nm の光 (図 26 に二点鎖線 Lg で示す光) が眼 E に入射する様子を示し、その間には、特定波長 - 10 nm から特定波長 + 10 nm まで波長を変化させた光が眼 E に入射する様子を示してある。なお、図 27 には、特定波長の光が眼 E に入射する様子をしていないが、特定波長の光が眼 E に入射する様子は、左から 3 番目に示す様子と左から 4 番目に示す様子との中間の様子となる。

【0141】

上記実施形態および変形例等では、第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とを共役関係にすることが好ましかったが、本変形例では、上述したように第 1 回折素子 50 と第 2 回折素子 70 とを略共役の関係としている。この場合、図 25 に示すように、特定波長からずれた周辺波長の光では、第 2 回折素子 70 に入射する状態が異なる。ここで、第 2 回折素子 70 では、光軸に近づくほど干渉縞数が少なくなり、光を曲げる力が弱い。このため、長波長側の光を光軸側に入射させ、短波長側の光を端の方に入射させれば、特定波長の光、および周辺波長の光は平行光化されるため、波長補償と同様な効果を得ることができる。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 2 】

この場合、波長によって光線位置がずれるため、図 2 6 に示すように、瞳に入射する光線径が径 a から径 b へと大きくなる。その時の瞳孔に入射する光線強度の様子を示したのが図 2 7 である。図 2 7 から分かるように、特定波長近傍では瞳孔を満たす事ができないが、周辺波長の光は、特定波長の光とずれた位置に入射するため、瞳孔径を満たすことができる。その結果、観察者は画像を見やすくなる等の利点を得ることができる。

【 0 1 4 3 】

[他の表示装置への適用]

上記実施形態および変形例では、頭部装着型の表示装置 1 0 0 を例示したが、ヘッドアップディスプレイやハンドヘルドディスプレイやプロジェクター用光学系等に対して本発明を適用してもよい。

【 符号の説明 】

【 0 1 4 4 】

3 1 ... 画像光生成装置、4 5 , 1 4 5 , 2 4 5 ... プリズム部材、5 0 ... 第 1 回折素子、7 0 ... 第 2 回折素子、1 0 0 ... 表示装置、R 1 ... 瞳、L 0 ... 画像光、L 1 0 ... 第 1 光学部、L 2 0 ... 第 2 光学部、L 3 0 ... 第 3 光学部、L 4 0 ... 第 4 光学部、M C ... 曲線、P 1 ... 第 1 中間像、P 2 ... 第 2 中間像、R 2 ... 射出瞳。

10

20

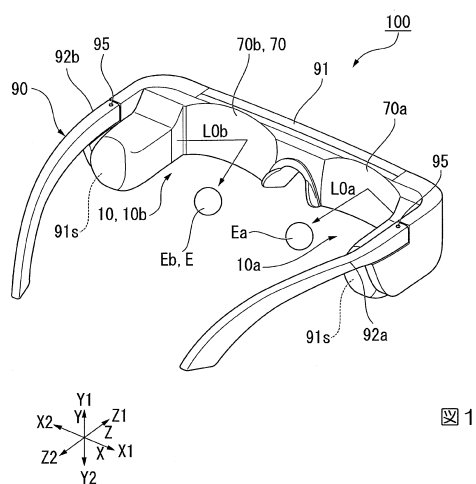
30

40

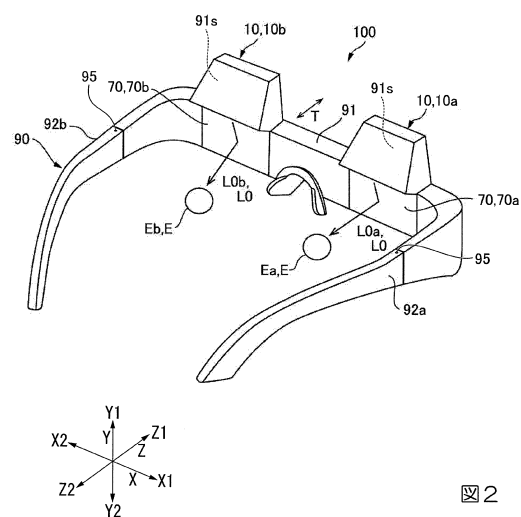
50

【図面】

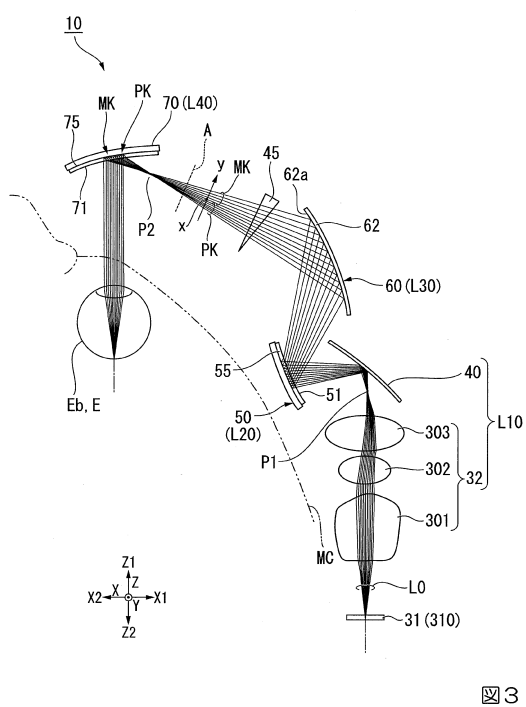
【 図 1 】



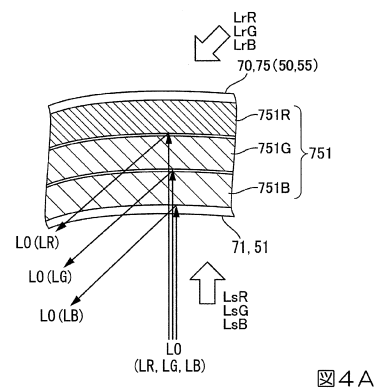
【圖 2】



【 図 3 】



【圖 4 A】



【図 4 B】

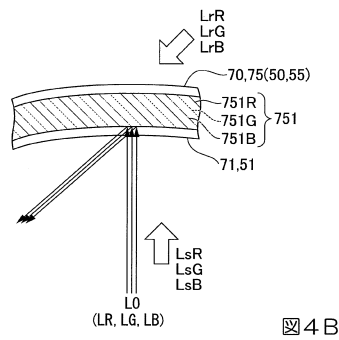


図4B

【図 5】

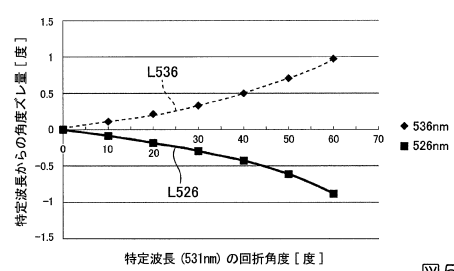


図5

10

【図 6】

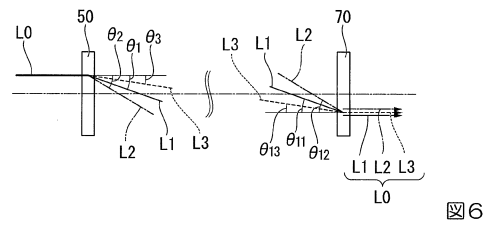


図6

【図 7 A】

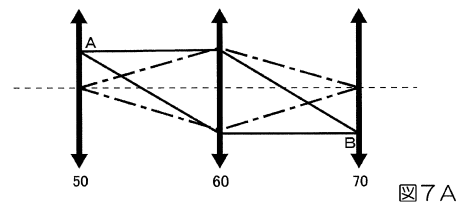


図7A

20

【図 7 B】

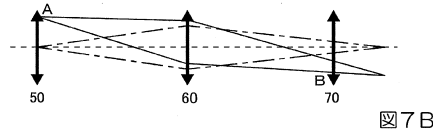


図7B

【図 7 C】

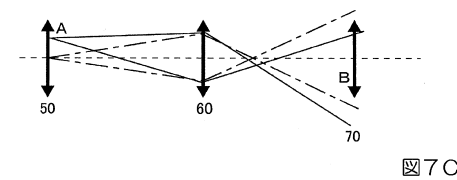


図7C

30

40

50

【図 8 A】

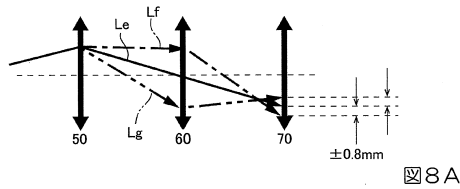


図8A

【図 8 B】

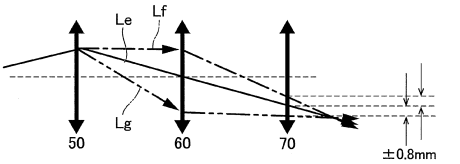


図8B

【図 9】

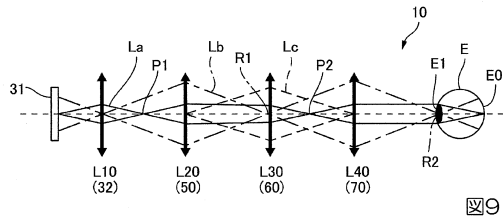


図9

【図 10】

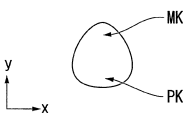


図10

【図 11】

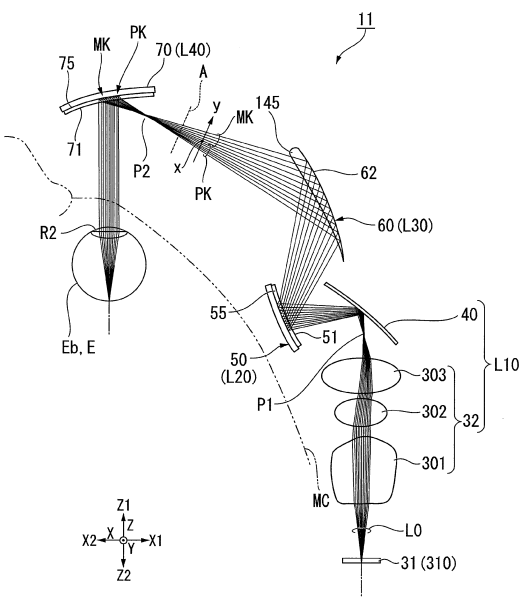


図11

【図 12】

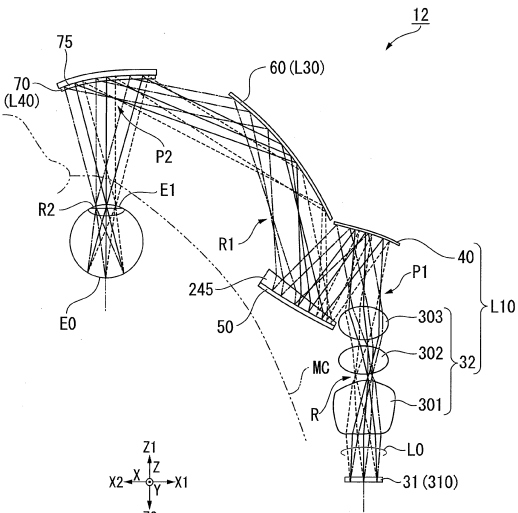


図12

10

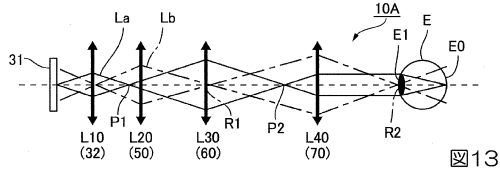
20

30

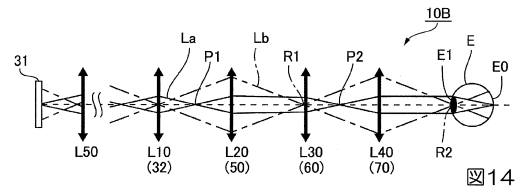
40

50

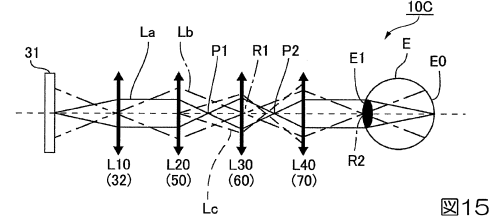
【図 13】



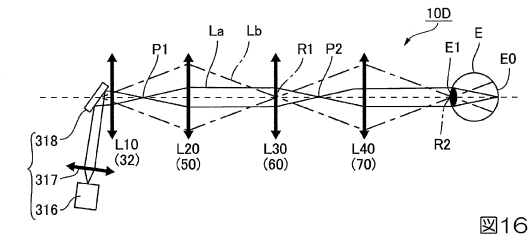
【図 14】



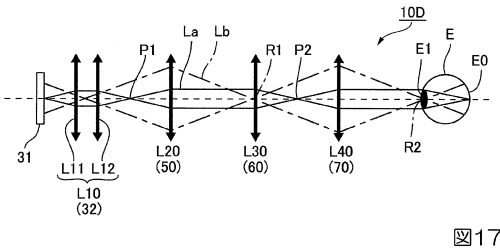
【図 15】



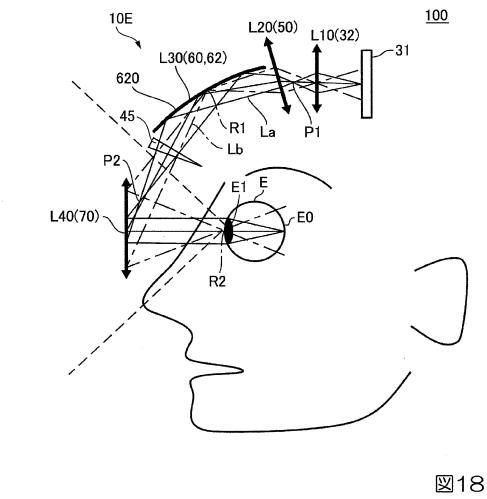
【図 16】



【図 17】



【図 18】



10

20

30

40

50

【図 19】

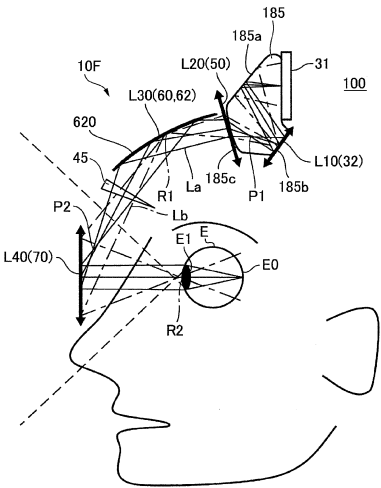


図19

【図 20】

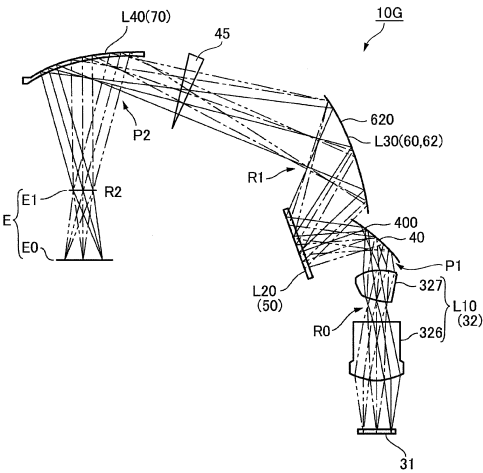


図20

10

【図 21】

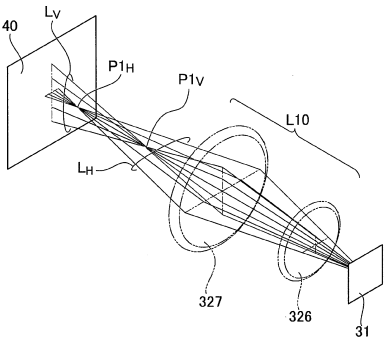


図21

【図 22】

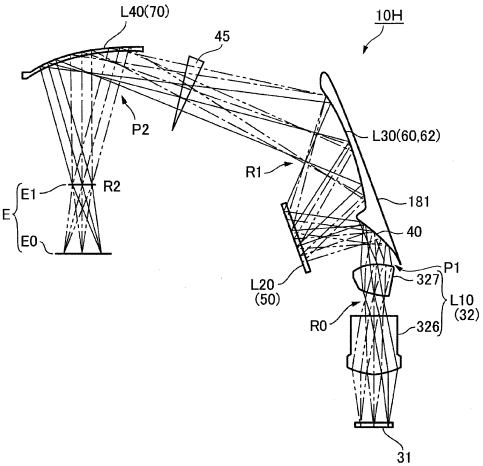


図22

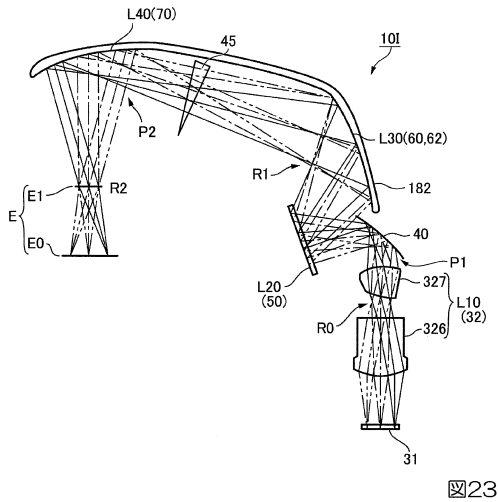
20

30

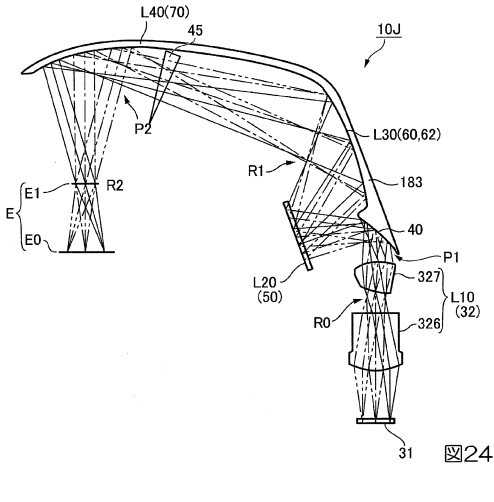
40

50

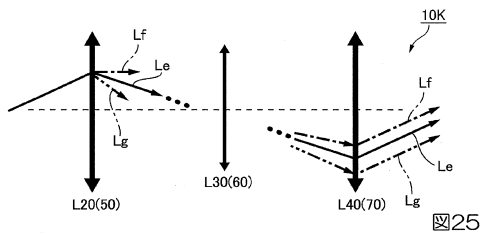
【図 2 3】



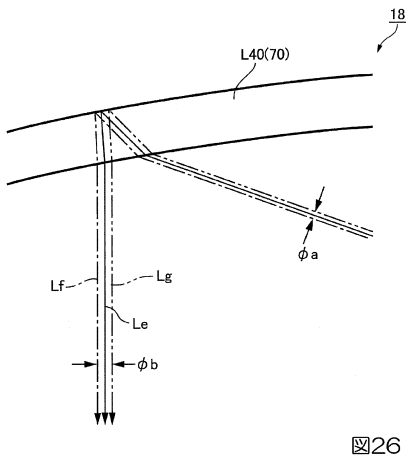
【図 2 4】



【図 2 5】



【図 2 6】



10

20

30

40

50

【図 27】

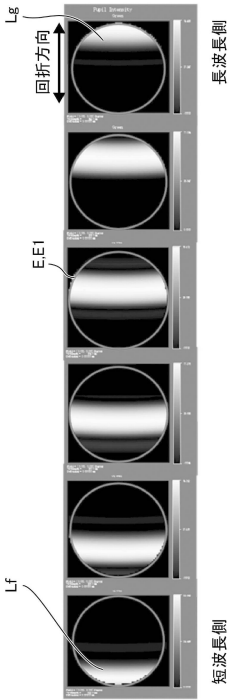


図27

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (56)参考文献 米国特許第06788442(US, B1)
特開2017-167181(JP, A)
特開2011-022530(JP, A)
米国特許第05684634(US, A)
特開2018-141874(JP, A)
特開2018-054977(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G02B 27/01 - 27/02
H04N 5/64
H04N 13/344