

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2017-49511
(P2017-49511A)

(43) 公開日 平成29年3月9日(2017.3.9)

(51) Int.Cl. F I テーマコード(参考)
GO2B 27/02 (2006.01) GO2B 27/02 Z 2H199
HO4N 5/64 (2006.01) HO4N 5/64 511A

審査請求 未請求 請求項の数 18 O L (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2015-174442 (P2015-174442)
 (22) 出願日 平成27年9月4日(2015.9.4)

(71) 出願人 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 100116665
 弁理士 渡辺 和昭
 (74) 代理人 100164633
 弁理士 西田 圭介
 (74) 代理人 100179475
 弁理士 仲井 智至
 (72) 発明者 小松 朗
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
 (72) 発明者 ▲高▼木 将行
 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

最終頁に続く

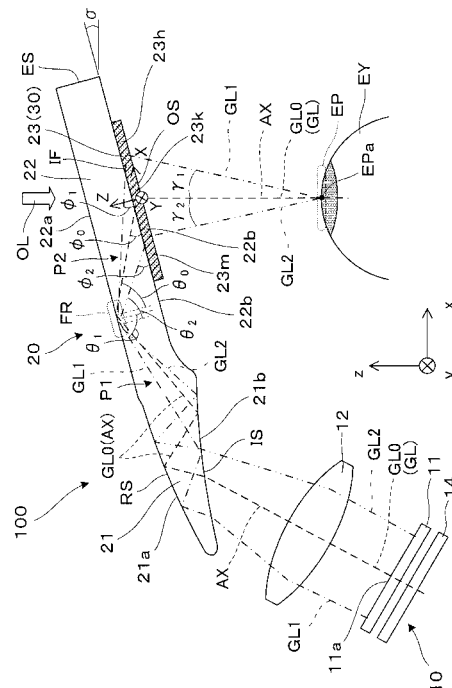
(54) 【発明の名称】 導光装置及び虚像表示装置

(57) 【要約】

【課題】映像光及び外光にムラが生じにくく、ゴーストが形成されにくい導光装置及びこれを組み込んだ虚像表示装置を提供すること。

【解決手段】導光装置20は、平行導光体22と、入射部21と、射出部23とを備える。ここで、複数のハーフミラー31の配列間隔SPが、入射部21に近い入射側から反入射側にかけてアイポイントEP又は視線ELを基準として複数のハーフミラー31が略連続して繋がるように変化するので、反射ユニット30を構成する複数のハーフミラー31がアイポイントEP又は視線ELの前方において重ならない状態で略一様に配置されることになる。これにより、外界光OLを観察する際にハーフミラー31に沿って延びる筋状のムラが観察されることを防止できる。

【選択図】図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

観察者側及び外界側に対応して対向し略平行に延びる一対の面を有する導光体と、
前記導光体の一端側に設けられた入射部と、
前記導光体の他端側に設けられた射出部とを備え、
前記射出部は、前記導光体の外界側で反射された映像光を反射することによって観察者側にそれぞれ向かわせる複数のミラーを配列してなる反射ユニットを有し、
前記複数のミラーは、外界側に向かって前記入射部側に傾斜し、
前記複数のミラーの配列間隔が、前記入射部に近い入射側から反入射側にかけて、アイポイントを基準として前記複数のミラーが略連続して繋がるように変化する、導光装置。

10

【請求項 2】

前記反射ユニットの配列間隔は、前記入射部に近い入射側から反入射側にかけて徐々に増加する、請求項 1 に記載の導光装置。

【請求項 3】

前記入射部は、観察者の耳側に配置され、前記射出部は、観察者の鼻側に配置される、請求項 2 に記載の導光装置。

【請求項 4】

前記複数のミラーは、前記アイポイントを基準として隙間無く配置されている、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の導光装置。

【請求項 5】

全ての画角の映像光は、前記導光体の内部において、同一回数反射された後に前記複数のミラーで反射されて前記アイポイントに至る、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項に記載の導光装置。

20

【請求項 6】

前記入射部は、曲面の入射面及び反射面の少なくとも一方を有する、請求項 5 のいずれか一項に記載の導光装置。

【請求項 7】

前記複数のミラーは、平行に配置されている、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項に記載の導光装置。

【請求項 8】

前記複数のミラーは、0.5 mm ~ 2.0 mm の間隔で配置されている、請求項 1 ~ 7 までのいずれか一項に記載の導光装置。

30

【請求項 9】

映像光のうち像形成に用いられる光が前記反射ユニットの前記ミラーに入射する角度は、入射側から反入射側にかけて徐々に減少する、請求項 1 ~ 8 までのいずれか一項に記載の導光装置。

【請求項 10】

像形成に用いられる光線束は、前記導光体の外界側の所定面領域で反射されて前記反射ユニットに入射し、光軸を含む断面において、当該所定面領域で反射される前後の直進光路のいずれかで幅が絞られる、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載の導光装置。

40

【請求項 11】

光軸を含む断面において、像形成に用いられる光線束が前記反射ユニットに入射する入射幅は、像形成に用いられる光線束が前記所定面領域に入射する入射幅よりも広い、請求項 10 に記載の導光装置。

【請求項 12】

前記複数のミラーは、ハーフミラーで構成されている、請求項 1 ~ 11 のいずれか一項に記載の導光装置。

【請求項 13】

前記反射ユニットは、前記導光体の観察者側に設けられた面に沿うように配置されている、請求項 1 ~ 12 のいずれか一項に記載の導光装置。

50

【請求項 14】

前記反射ユニットの配列間隔を SP とし、ミラーの占有幅を MW とし、ミラーの間隔調整量を g とし、前記反射ユニットの厚みを TI とし、前記導光体及び前記反射ユニットの傾斜角を θ とし、前記アイポイントから前記反射ユニットの任意の着目点まで延ばした光路の光軸に対する角度を α とし、前記反射ユニットの屈折率を n としたとき、以下の関係

$$SP = MW + g$$

$$g = TI \times \{ \sin(\alpha) / [n^2 - \sin^2(\theta)] \}$$

を満たす、請求項 13 に記載の導光装置。

【請求項 15】

前記反射ユニットは、反入射側の部分が入射側の部分よりも相対的に外界寄りとなるように傾斜して配置されている、請求項 1 ~ 12 いずれか一項に記載の導光装置。 10

【請求項 16】

前記導光体は、前記一对の対向する面として平行に延びる第 1 及び第 2 の全反射面を有し、前記入射部から取り込まれた映像光を前記第 1 及び第 2 の全反射面での全反射により導く、請求項 1 ~ 15 のいずれか一項に記載の導光装置。

【請求項 17】

前記入射部に在る面は、非軸対称曲面である、請求項 1 ~ 16 のいずれか一項に記載の導光装置。

【請求項 18】

映像光を生じさせる映像素子と、請求項 1 ~ 17 のいずれか一項に記載の導光装置とを備える虚像表示装置。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、頭部に装着して使用するヘッドマウントディスプレイ等に用いられる導光装置及びこれを組み込んだ虚像表示装置に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、ヘッドマウントディスプレイのように虚像の形成及び観察を可能にする虚像表示装置として、導光板によって表示素子からの映像光を観察者の瞳に導くタイプのものが種々提案されている。 30

【0003】

例えば、視準像等を観察者の視野に導入する装置として、平行平面状の導光板の中に多数のハーフミラー（以下、「HM」とも呼ぶ）を配列し、このHMで映像光を反射して、観察者に提示するものが公知となっている（特許文献 1 ~ 6 参照）。

特許文献 1 の装置では、導光板の一端側から導入された映像光が、導光板を斜めに横切る複数のHMを次々と透過しつつ反射されて観察者に届く。特許文献 2 の装置では、導光板に導入された映像光が、導光板の中を全反射しながら伝搬し、外側の表面で反射された後に、導光板を斜めに横切る複数のHMで反射されて観察者に向かう。特許文献 3、4 の装置では、導光板に導入された映像光が、導光板の中を全反射しながら伝搬し、観察者側の表面で反射された後に、導光板を斜めに横切る複数のHMで反射されて観察者に向かう。この際、例えば効率を上げるため、HMに入射する光のうち、大きな入射角度（50度 ~ 70度）の光線については反射率をほぼゼロにし、小さな角度（40度以下）の光線については、所定の反射率となる様に設定される。特許文献 5 の図 1 に示す装置では、導光板に導入された映像光が、導光板の中を全反射しながら伝搬し、外界側の表面で反射された後、HMで反射され、観察者に向かう。ここで、HMを設けた領域は、導光板と同じ厚みがあり、ディスプレイから離れるに従って、HMの反射率が順次高くなるのが特徴となっている。特許文献 6 の装置では、導光板に導入された映像光が、導光板の中を全反射しながら伝搬し、観察者側の表面で反射された後に、複数のHMで反射されて観察者に向かう。ここで、HMを設けた領域又は層の厚さは、導光板より薄く設定されており、HM 40 50

を透過させることなく映像光を観察することができる。

【0004】

別の表示装置として、平行平板状の導光板の片側に、薄いマイクロミラーアレイを貼り付けるように付加したものが存在する（特許文献7参照）。この装置では、画像を形成するため、走査ビームイメージ源を使用しており、縦方向にも瞳拡大をしている。導光板に導入された走査光は、導光板及びハーフミラーアレイの中を伝搬し、外界側の表面で反射され、観察者側のハーフミラーアレイのHMで反射され、観察者に向かう。

【0005】

上記特許文献1～5に記載の装置では、映像光がHMを透過する度に輝度が減るため、視野の中でムラが生じ、これを解消又は抑制することは容易でない。このような輝度ムラを解消するために、例えば奥側又は反光源側のHMの反射率を順次上げると、これに対応してHMの透過率が下がり外光（シースルー光）にムラが生じてしまう。なお、特許文献4には、HM間の隙間や重複を回避する方法について開示があるが（Fig. 15等参照）、これらの手法も、映像光がHMを他数回通過することに起因して映像光の輝度ムラや外光のムラが発生するといった深刻な問題を解決できてこそ、意義があると言える。

上記特許文献6に記載の装置では、HMを配列して成る反射ユニットの厚みが、導光体よりも薄いので、奥側のHMにも他のHMを透過せずに光が到達するため、光量ムラが生じない。しかし、反射ユニットの中で、2つの小面を一組とするHM部が配置されており、映像光はHMで2回反射されるため、反射効率が下がる傾向がある。

上記特許文献7に記載の装置でも、光線束の横幅を広げる為、HMで光線束を分割しており、映像光が、奥側に伝搬するにつれ、輝度が下がり、視野の中でムラが生じ、これを解消又は抑制することは容易でない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平3 15815号公報

【特許文献2】特開2013 210633号公報

【特許文献3】特開2010 164988号公報

【特許文献4】米国特許第7,724,443号

【特許文献5】国際公開WO2007/062098号

【特許文献6】特開2012 88588号公報

【特許文献7】国際公開WO2009/009268号

【発明の概要】

【0007】

本発明は、上記背景技術に鑑みてなされたものであり、映像光の輝度を確保しながら映像光及び外光にムラが生じにくい導光装置及びこれを組み込んだ虚像表示装置を提供することを目的とする。

【0008】

上記目的を達成するため、本発明に係る導光装置は、観察者側及び外界側に対応して対向し略平行に延びる一对の面を有する導光体と、導光体の一端側に設けられた入射部と、導光体の他端側に設けられた射出部とを備え、射出部は、導光体の外界側で反射された映像光を反射することによって観察者側にそれぞれ向かわせる複数のミラーを配列してなる反射ユニットを有し、複数のミラーは、外界側に向かって入射部側に傾斜し、複数のミラーの配列間隔が、入射部に近い入射側から反入射側にかけて、アイポイントを基準として複数のミラーが略連続して繋がるように変化する。ここで、アイポイントは、導光装置に設定された射出瞳の位置を意味し、射出瞳は、観察者の眼を想定したものであり、射出部から射出された様々な画角の映像光が集まる箇所を意味する。アイポイントが広がりを持つ場合、アイポイントの中心を基準とすればよい。

【0009】

上記導光装置によれば、複数のミラーの配列間隔が、入射側から反入射側にかけて、ア

イポイントを基準として複数のミラーが略連続して繋がるように変化するので、反射ユニットを構成する複数のミラーがアイポイントの前方において略切れ目のない状態で略一様に配置される。つまり、反射ユニットを構成する複数のミラーは、アイポイントに観察者の眼を配置した場合、その視線の前方において略切れ目のない状態で略一様に配置されることになる。これにより、外光等を観察する際にミラーに沿って延びる筋状のムラが観察されることを防止できる。

なお、上記導光装置では、導光体の外界側で反射された映像光を反射することによって反射ユニットに入射した映像光を観察者側に向わせるように設定しているので、映像光が、導光体と反射ユニットとの境界面で反射されることなく射出部に入射する位置又はその近傍のミラーのみを経由する構成とできる。これにより、観察されるべき映像光がミラーを経由する回数を減らして輝度ムラや減光を防止でき、その一方で、意図しない映像光の射出を防止してゴースト光の発生を抑えることができる。

10

【0010】

本発明の具体的な側面では、上記導光装置において、反射ユニットの配列間隔は、入射部に近い入射側から反入射側にかけて徐々に増加する。複数のミラーが外界側に向かって入射部側に一様に傾斜している場合、ミラーに対してアイポイントから延ばした視線又は逆進光路のミラーへの入射角が反入射側で相対的に小さくなるので、配列間隔を反入射側で増加させることにより、複数のミラーが連続して繋がる状態を確保することができる。

【0011】

本発明の別の側面では、入射部は、観察者の耳側に配置され、射出部は、観察者の鼻側に配置される。この場合、映像光の供給源を目尻から耳にかけての部分又はその周辺に配置することができ、導光装置を組み込んだ虚像表示装置を顔面にフィットするデザインとしやすくなる。

20

【0012】

本発明のさらに別の側面では、複数のミラーは、アイポイントを基準として隙間無く配置されている。外光のムラへの影響は、ミラーに若干の隙間が生じるよりもミラーに同程度の重複が生じる方が抑えられる。この観点で、複数のミラーをアイポイント基準で隙間無く配置することが望ましい。

【0013】

本発明のさらに別の側面では、全ての画角の映像光は、導光体の内部において、同一回数反射された後に複数のミラーで反射されてアイポイントに至る。

30

【0014】

本発明のさらに別の側面では、入射部は、曲面の入射面及び反射面の少なくとも一方を有する。

【0015】

本発明のさらに別の側面では、複数のミラーは、平行に配置されている。この場合、反射ユニットにおける入射位置によらず角度情報が保持され、映像光の形成が容易になり、高精度の画像を表示することができる。

【0016】

本発明のさらに別の側面では、複数のミラーは、0.5mm～2.0mmの間隔又はピッチで配置されている。複数のミラーを上記のような間隔で配置することにより、ミラーの間隔を比較的狭くした際の映像光の干渉による波長分散や、ミラーの幅を比較的広くした際の光の透過量の違いによる黒スジの発生を抑える効果がある。

40

【0017】

本発明のさらに別の側面では、映像光のうち像形成に用いられる光が反射ユニットのミラーに入射する角度は、入射側から反入射側にかけて徐々に減少する。つまり、映像光源に近い入射側又は入口側で、観察される映像光がミラーに入射する角度が大きくなり、映像光源から離れた反入射側又は奥側で、観察される映像光がミラーに入射する角度が小さくなる。見方を変えれば、アイポイントからミラーへ延ばした視線（導光装置を適正に装着した観察者の実際の視線に相当）のミラーへの入射角は、入射側から反入射側にかけて

50

徐々に減少する。

【0018】

本発明のさらに別の側面では、像形成に用いられる光線束は、導光体の外界側の所定面領域で反射されて反射ユニットに入射し、光軸を含む断面において、当該所定面領域で反射される前後の直進光路のいずれかで幅が絞られる。この場合、像形成に用いられる光線束を所定面領域の周辺で一旦絞るので、視野角を比較的広くすることが容易になる。また、光軸を含む断面方向に関して、導光体を薄くして入射部を小さくできるとともに、導光体に映像光を入射させる投射レンズを小型化することができ、投射レンズを製造しやすくすることができる。

【0019】

本発明のさらに別の側面では、光軸を含む断面において、像形成に用いられる光線束が反射ユニットに入射する入射幅は、像形成に用いられる光線束が上記所定面領域に入射する入射幅よりも広い。このように、像形成に用いられる光線束が所定面領域に入射する入射幅を相対的に狭くすることにより、導光体と反射ユニットとの境界面において映像光を反射させないで反射ユニットに直接的に入射させ、その入射位置から映像光を取り出すことが容易になる。

【0020】

本発明のさらに別の側面では、複数のミラーは、ハーフミラーで構成されている。この場合、外界光の透過性を高めてシースルー視を容易にすることができる。

【0021】

本発明のさらに別の側面では、反射ユニットは、導光体の観察者側に設けられた面に沿うように配置されている。この場合、導光体の外界側の面で反射された映像光を複数のミラーで反射させることが容易となる。

【0022】

本発明のさらに別の側面では、反射ユニットの配列間隔を SP とし、ミラーの占有幅を MW とし、ミラーの間隔調整量を g とし、反射ユニットの厚みを TI とし、導光体及び反射ユニットの傾斜角を θ とし、アイポイントから反射ユニットの任意の着目点まで延ばした光路の光軸に対する角度を α とし、反射ユニットの屈折率を n としたとき、以下の関係

$$SP = MW + g$$

$$g = TI \times \left\{ \sin(\alpha) / \left[n^2 - \sin^2(\theta) \right] \right\}$$

を満たす。この場合、ミラー傾斜角や配置に応じて反射ユニットの配列間隔を適正に設定することができる。

【0023】

本発明のさらに別の側面では、反射ユニットは、反入射側の部分が入射側の部分よりも相対的に外界寄りとなるように傾斜して配置されている。この場合、導光体の外界側の面で反射された映像光を複数のミラーで観察者側に反射させることが容易になる。

【0024】

本発明のさらに別の側面では、導光体は、一对の対向する面として平行に延びる第1及び第2の全反射面を有し、入射部から取り込まれた映像光を第1及び第2の全反射面での全反射により導く。

【0025】

本発明のさらに別の側面では、入射部に在る面は、非軸対称曲面である。このように非軸対称曲面とすることで、設計上の自由度が増し、良好な光学性能を実現できる。

【0026】

上記目的を達成するため、本発明に係る虚像表示装置は、映像光を生じさせる映像素子と、上述した導光装置とを備える。

【0027】

上記虚像表示装置によれば、上述した導光装置を用いることにより、観察される映像や外光のムラを防止し、高品位の画像を観察可能にすることができる。

【図面の簡単な説明】

10

20

30

40

50

【 0 0 2 8 】

【図 1】(A)は、第 1 実施形態に係る虚像表示装置を示す断面図であり、(B)は、導光装置の裏面図である。

【図 2】導光装置等における映像光の光路を光軸を含む断面で説明する図である。

【図 3】反射ユニットにおけるミラーの配置や光路の変化を説明する部分拡大図であり、眼の正面方向に対応する。

【図 4】反射ユニットにおけるミラーの配置や光路の変化を説明する部分拡大図であり、眼の正面に対して耳寄り方向に対応する。

【図 5】反射ユニットの一作製例を説明する図である。

【図 6】映像光の光路の射出側における変形例を説明する断面図である。

10

【図 7】(A)は、映像光の光路の射出側における別の変形例を説明する断面図であり、(B)は、(A)の一部を拡大した説明図である。

【図 8】第 2 実施形態に係る虚像表示装置を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 9 】

〔第 1 実施形態〕

以下、本発明の第 1 実施形態に係る導光装置を組み込んだ虚像表示装置について説明する。

【 0 0 3 0 】

〔 1 A . 導光装置及び虚像表示装置の構造 〕

20

図 1 (A) に示す虚像表示装置 100 は、ヘッドマウントディスプレイに適用されるものであり、画像形成装置 10 と、導光装置 20 とを一組として備える。なお、図 1 (A) は、図 1 (B) に示す導光装置 20 の A - A 断面に対応する。

【 0 0 3 1 】

虚像表示装置 100 は、観察者に虚像としての映像を認識させるとともに、観察者に外界像をシースルーで観察させるものである。虚像表示装置 100 において、画像形成装置 10 と導光装置 20 とは、通常観察者の右眼及び左眼に対応して一組ずつ設けられるが、右眼用と左眼用とでは左右対称であるので、ここでは左眼用のみを示し、右眼用については図示を省略している。なお、虚像表示装置 100 は、全体としては、例えば一般の眼鏡のような外観（不図示）を有するものとなっている。

30

【 0 0 3 2 】

画像形成装置 10 は、映像素子である液晶デバイス 11 と、光結合用の投射レンズ 12 とを備える。液晶デバイス（映像素子）11 は、光源 14 からの照明光を空間的に変調して、動画像その他の表示対象となるべき映像光 GL を形成する。投射レンズ 12 は、縦の y 方向に関して液晶デバイス 11 上の各点から射出された映像光 GL を略平行光線にするコリメートレンズとして機能し、横の x z 断面に関して導光装置 20 の一部と協働してコリメートレンズとして機能する。なお、投射レンズ 12 は、ガラス又はプラスチックで形成され、1 枚に限らず複数枚の構成とすることができる。投射レンズ 12 は、球面レンズに限らず、非球面レンズ、非軸対称曲面を含む自由曲面レンズ等とすることができる。

【 0 0 3 3 】

40

導光装置 20 は、平板状の部分を有し、画像形成装置 10 で形成された映像光 GL を虚像光として観察者の眼 EY に向けて射出するとともに、外界像に対応する外界光 OL を実質的にそのまま透過させる。導光装置 20 は、映像光を取り込む入射部 21 と、導光用の平行導光体 22 と、映像光を取り出すための射出部 23 とを備える。本実施形態の場合、入射部 21 は、観察者の耳側に配置され、射出部 23 は、観察者の鼻側に配置される。平行導光体 22 と入射部 21 の本体とは、高い光透過性を有する樹脂材料により成形された一体品である。第 1 実施形態の場合、導光装置 20 を通す映像光 GL の光路は、同一回数反射される 1 種類の光路からなり、複数種類の光路を合成するタイプとなっていない。

なお、平行導光体 22 は、観察者の眼 EY を基準とする光軸 AX に対して傾けて配置されており、その法線方向 Z は、光軸 AX に対して角 だけ傾いている。この場合、平行導

50

光体 22 を顔の曲線に沿って配置できるが、平行導光体 22 の法線は、光軸 AX に対して傾きを有するものとなる。このように、平行導光体 22 の法線を光軸 AX に平行な x 方向に対して角度 θ だけ傾ける場合、反射ユニット 30 から射出させる光軸 AX 上及びその近傍の映像光 GL0 は、光射出面 OS の法線に対して角度 θ を成すものとなる。

【0034】

入射部 21 は、画像形成装置 10 からの映像光 GL を取り込む光入射面 IS と、取り込んだ映像光 GL を反射して平行導光体 22 内に導く反射面 RS とを有する。光入射面 IS は、投射レンズ 12 側に凹の曲面 21b から形成されており、この曲面 21b は、反射面 RS で反射された映像光 GL を内面側で全反射する機能も有する。反射面 RS は、投射レンズ 12 側に凹の曲面 21a から形成されている。すなわち、反射面 RS は、曲面 21a 上にアルミ蒸着等の成膜を施すことにより形成され、光入射面 IS から入射した映像光 GL を反射し光路を所定方向に折り曲げ、曲面 21b は、反射面 RS で反射された映像光 GL を内側で全反射し光路を所定方向に折り曲げる。つまり、入射部 21 は、光入射面 IS から入射した映像光 GL を 2 回の反射によって折り曲げることで、映像光 GL を平行導光体 22 内に確実に結合させる。

なお、曲面 21b や曲面 21a は、球面又は非球面に限らず、非軸対称曲面とすることができる。これにより、導光装置 20 の光学性能を向上させることができる。

【0035】

平行導光体 22 は、y 軸に平行で z 軸に対して傾斜した平板部分であり、導光体とも呼ぶ。平行導光体 (導光体) 22 は、光透過性の樹脂材料等により形成され、平行な一対の平面 22a, 22b を有する。両平面 22a, 22b は、平行平面であるため、外界像に関して拡大やフォーカズズレを生じさせない。また、+z 側又は Z 側の一方の平面 22a は、入射部 21 からの映像光を全反射させる全反射面として機能し、映像光を少ない損失で射出部 23 に導く役割を有する。+z 側の平面 22a は、平行導光体 22 の外界側に配置されて第 1 の全反射面として機能し、本明細書中では外界側面とも呼ぶ。また、-z 側の平面 22b は、本明細書中では観察者側面とも呼ぶ。裏側の平面 (観察者側面) 22b は、射出部 23 の一端まで延びている。ここで、裏側の平面 22b の延長平面は、平行導光体 22 と射出部 23 との境界面 IF となっている。

平行導光体 22 において、入射部 21 の反射面 RS や光入射面 IS の内側で反射された映像光 GL は、全反射面である平面 22a に入射し、ここで全反射され、導光装置 20 の奥側すなわち射出部 23 を設けた +x 側又は X 側に導かれる。

なお、平行導光体 22 は、導光装置 20 の外形のうち +x 側又は X 側の端面を画成する側面として終端面 ES を有する。また、平行導光体 22 は、±y 側の端面を画成する上面及び底面として上端面 TP と下端面 BP とをそれぞれ有している。

【0036】

図 2 に示すように、射出部 23 は、平行導光体 22 の奥側 (+X 側) において、裏側の平面 22b に沿ってその延長上に層状に形成され、或いは境界面 IF に沿うように層状に形成されている。射出部 23 は、平行導光体 22 の外界側の平面 (全反射面) 22a において所定面領域 FR で全反射された映像光 GL を通過させる際に、入射した映像光 GL を所定角度で反射して光射出面 OS 側へ折り曲げる。ここでは、射出部 23 にこれまで射出部 23 を透過することなく最初に入射する映像光 GL が虚像光としての取出し対象である。つまり、射出部 23 において光射出面 OS の内面や境界面 IF で反射される光があっても、これは映像光として利用されない。射出部 23 は、透過性を有する複数のミラー (すなわち複数のハーフミラー) を配列してなる反射ユニット 30 を有するが、その詳しい構造については、図 3 等を参照して後に詳述する。

【0037】

導光装置 20 が以上のような構造を有することから、画像形成装置 10 から射出され光入射面 IS から導光装置 20 に入射した映像光 GL は、入射部 21 で複数回の反射によって折り曲げられ、平行導光体 22 の平面 22a の所定面領域 FR において全反射されて光軸 AX に略沿って進む。+z 側又は +Z 側の平面 22a の所定面領域 FR で反射された映

像光 G L は、射出部 2 3 に入射する。この際、X Y 面内において、所定面領域 F R の長手方向の幅は、射出部 2 3 の長手方向の幅よりも狭くなっている。つまり、映像光 G L の光線束が射出部 2 3 (又は反射ユニット 3 0) に入射する入射幅は、映像光 G L の光線束が所定面領域 F R に入射する入射幅よりも広い。このように、映像光 G L の光線束が所定面領域 F R に入射する入射幅を相対的に狭くすることにより、光路の干渉が生じにくくなり、境界面 I F を導光に利用しないで(つまり、境界面 I F で映像光 G L を反射させずに)、所定面領域 F R からの映像光 G L を射出部 2 3 又は反射ユニット 3 0 に直接的に入射させることが容易になる。射出部 2 3 に入射した映像光 G L は、射出部 2 3 又は反射ユニット 3 0 において適度な角度で折り曲げられることで取出し可能な状態となり、最終的に光射出面 O S から射出される。光射出面 O S から射出された映像光 G L は、虚像光として観察者の眼 E Y に入射する。当該虚像光が観察者の網膜において結像することで、観察者は虚像による映像光 G L を認識することができる。

10

ここで、像形成に用いられる映像光 G L が射出部 2 3 に入射する角度は、光源側の入射部 2 1 から離れるに従って大きくなっている。つまり、射出部 2 3 の奥側には、外界側の平面 2 2 a に平行な Z 方向又は光軸 A X に対して傾きの大きな映像光 G L が入射して比較的大きな角度で折り曲げられ、射出部 2 3 の前側には、Z 方向又は光軸 A X に対して傾きの小さな映像光 G L が入射して比較的小さな角度で折り曲げられる。

【0038】

〔1B. 映像光の光路〕

以下、映像光の光路について詳しく説明する。図 2 に示すように、液晶デバイス 1 1 の射出面 1 1 a 上からそれぞれ射出される映像光のうち、破線で示す射出面 1 1 a の中央部分から射出される成分を映像光 G L 0 とし、図中一点鎖線で示す射出面 1 1 a の周辺のうち紙面左側 (+ z 寄りの - x 側) から射出される成分を映像光 G L 1 とし、図中二点鎖線で示す射出面 1 1 a の周辺のうち紙面右側 (- z 寄りの + x 側) から射出される成分を映像光 G L 2 とする。これらのうち映像光 G L 0 の光路は光軸 A X に沿って延びるものとなっている。

20

【0039】

投射レンズ 1 2 を経た各映像光 G L 0, G L 1, G L 2 の主要成分は、導光装置 2 0 の光入射面 I S からそれぞれ入射した後、入射部 2 1 を経て平行導光体 2 2 内を通過して射出部 2 3 に至る。

30

具体的には、映像光 G L 0, G L 1, G L 2 のうち、射出面 1 1 a の中央部分から射出された映像光 G L 0 は、入射部 2 1 で折り曲げられて平行導光体 2 2 内に結合された後、標準反射角 θ_0 で一方の平面 2 2 a の所定面領域 F R に入射して全反射され、平行導光体 2 2 と射出部 2 3 (又は反射ユニット 3 0) との境界面 I F で反射されないでこれを通過し、射出部 2 3 の中央の部分 2 3 k に直接的に入射する。映像光 G L 0 は、部分 2 3 k において所定の角度で反射され、光射出面 O S から光射出面 O S を含む X Y 面に対して傾いた光軸 A X 方向 (Z 方向に対して角 θ_0 の方向) に平行光束として射出される。

また、射出面 1 1 a の一端側 (- x 側) から射出された映像光 G L 1 は、入射部 2 1 で折り曲げられて平行導光体 2 2 内に結合された後、最大反射角 θ_1 で一方の平面 2 2 a の所定面領域 F R に入射して全反射され、平行導光体 2 2 と射出部 2 3 (又は反射ユニット 3 0) との境界面 I F で反射されないでこれを通過し、射出部 2 3 のうち奥側 (+ X 側) の部分 2 3 h において所定の角度で反射され、光射出面 O S から所定の角度方向に向けて平行光束として射出される。この際の射出角 (光軸 A X を基準とした場合の角 θ_1 に対応) は、入射部 2 1 側に戻される程度が相対的に大きくなっている。

40

一方、射出面 1 1 a の他端側 (+ x 側) から射出された映像光 G L 2 は、入射部 2 1 で折り曲げられて平行導光体 2 2 内に結合された後、最小反射角 θ_2 で一方の平面 2 2 a の所定面領域 F R に入射して全反射され、平行導光体 2 2 と射出部 2 3 (又は反射ユニット 3 0) との境界面 I F で反射されないでこれを通過し、射出部 2 3 のうち入口側 (- X 側) の部分 2 3 m において所定の角度で反射され、光射出面 O S から所定の角度方向に向けて平行光束として射出される。この際の射出角 (光軸 A X を基準とした場合の角 θ_2 に対

50

応)は、入射部 2 1 側に戻される程度が相対的に小さくなっている。

つまり、様々な画角の映像光 G L 0 , G L 1 , G L 2 は、観察者の眼 E Y を想定したアイポイント E P に集まる。アイポイント E P は、導光装置 2 0 に設定された射出瞳の位置を意味し、ここに眼 E Y を置けば明るい欠けの無い画像が得られる。

なお、映像光 G L 0 , G L 1 , G L 2 は、映像光 G L の光線全体の一部を代表して説明したものであるが、他の映像光 G L を構成する光線成分についても映像光 G L 0 等と同様に導かれ光射出面 O S から射出されるため、これらについては図示及び説明を省略している。

【 0 0 4 0 】

ここで、入射部 2 1 及び平行導光体 2 2 に用いられる透明樹脂材料の屈折率 n の値の一例として、 $n = 1.4$ とすると、その臨界角 c の値は $c = 45.6^\circ$ となる。各映像光 G L 0 , G L 1 , G L 2 の反射角 θ_0 , θ_1 , θ_2 のうち最小である反射角 θ_2 を臨界角 c よりも大きな値とすることで、必要な映像光について平行導光体 2 2 内での平面 2 2 a における全反射条件を満たすものにできる。

なお、中央向けの映像光 G L 0 は、仰角 $\theta_0 (= 90^\circ - \alpha_0)$ で射出部 2 3 の部分 2 3 k に入射し、周辺向け映像光 G L 1 は、仰角 $\theta_1 (= 90^\circ - \alpha_1)$ で射出部 2 3 の部分 2 3 h に入射し、周辺向け映像光 G L 2 は、仰角 $\theta_2 (= 90^\circ - \alpha_2)$ で射出部 2 3 の部分 2 3 m に入射する。ここで、仰角 θ_0 , θ_1 , θ_2 間には、反射角 θ_0 , θ_1 , θ_2 の大小関係を反映して $\theta_2 > \theta_0 > \theta_1$ の関係が成り立っている。つまり、反射ユニット 3 0 のハーフミラー 3 1 への入射角 (図 3 及び 4 参照) は、仰角 θ_2 に対応する部分 2 3 m、仰角 θ_0 に対応する部分 2 3 k、仰角 θ_1 に対応する部分 2 3 h の順で徐々に小さくなる。換言すれば、ハーフミラー 3 1 への入射角 又はハーフミラー 3 1 での反射角 (逆進光路を考えた場合には視線の入射角でもある) は、入射部 2 1 から離れるに従って小さくなる。

【 0 0 4 1 】

平行導光体 2 2 の外界側の平面 2 2 a で反射されて射出部 2 3 に向かう映像光 G L の光線束の全体的な挙動について説明する。映像光 G L の光線束は、光軸 A X を含む断面において、平行導光体 2 2 の外界側の所定面領域 F R で反射される前後の直進光路 P 1 , P 2 のいずれかで幅が絞られる。具体的には、映像光 G L の光線束は、光軸 A X を含む X Z 断面において、所定面領域 F R 近辺、つまり直進光路 P 1 , P 2 の境界付近で両直進光路 P 1 , P 2 に跨るような位置で全体として幅が絞られてビーム幅が細くなっている。これにより、映像光 G L の光線束を射出部 2 3 の手前で絞ることになり、横方向の視野角を比較的広くすることが容易になる。

なお、図示の例では、映像光 G L の光線束が両直進光路 P 1 , P 2 に跨るような位置で幅が絞られてビーム幅が細くなっているが、直進光路 P 1 , P 2 のいずれか片側のみで幅が絞られてビーム幅が細くなってもよい。

【 0 0 4 2 】

[1 C . 射出部の構造及び射出部による光路の折曲げ]

以下、図 2 ~ 4 等を参照して、射出部 2 3 の構造及び射出部 2 3 による映像光の光路の折曲げについて詳細に説明する。なお、図 3 は、眼 E Y の正面方向における射出部 2 3 の拡大図であり、図 4 は、眼 E Y の正面よりも耳寄りに傾いた方向における射出部 2 3 の拡大図である。

【 0 0 4 3 】

まず、射出部 2 3 の構造について説明する。射出部 2 3 は、映像光 G L をそれぞれ反射する複数のハーフミラー 3 1 を配列してなる反射ユニット 3 0 を有する。反射ユニット 3 0 は、光軸 A X に対して角 β だけ傾いた X Y 平面に沿って延びる矩形板状の部材であり、細い帯状のハーフミラー 3 1 をストライプパターンとなるように多数埋め込んだ構造を有する。つまり、反射ユニット 3 0 は、y 方向又は Y 方向に延びる細長いハーフミラー 3 1 を平行導光体 2 2 の延びる方向すなわち X 方向に多数配列させることで構成されている。より具体的には、ハーフミラー 3 1 は、図 2 等に示す平行導光体 2 2 の平面 2 2 a , 2 2

10

20

30

40

50

bに平行でハーフミラー31の配列されるX方向に対して垂直に延びる方向のうち、上下のy方向又はY方向を長手方向として、線状に延びている。さらに、ハーフミラー31は、平行導光体22の観察者側よりも外界側に向かって入射部21側に傾斜している。より具体的には、ハーフミラー31は、その長手方向(Y方向)を軸として、平面22a, 22bに直交するYZ面を基準として上端(+Z側)が反時計方向に回転するように傾斜している。つまり、各ハーフミラー31は、XZ断面で見て-X方向及び+Z方向の間の方向に延びている。さらに、全ハーフミラー31は、精密に互いに平行に配置されている。

【0044】

反射ユニット30は、多数のブロック部材32を接合した構造を有し、ハーフミラー31は、隣接する一对のブロック部材32間に挟まれた薄膜状のものとなっている。ここで、ブロック部材32の屈折率は、平行導光体22の屈折率と略等しくなっているが、両者の屈折率を相違させることもできる。両者の屈折率を相違させる場合、ハーフミラー31を傾斜させる角度を調整又は修正する必要がある。ハーフミラー31の映像光GLに対する反射率は、シースルーによる外界光OLの観察を容易にする観点で、想定される映像光GLの入射角範囲において10%以上50%以下とする。具体的な実施例のハーフミラー31の映像光GLに対する反射率は、例えば20%に設定され、映像光GLに対する透過率は、例えば80%に設定される。

10

【0045】

ここで、反射ユニット30の厚みTI(すなわちハーフミラー31のZ軸方向の幅)は、0.7mm~3.0mm程度に設定される。なお、反射ユニット30を支持する平行導光体22の厚みは、例えば数mm~10mm程度、好ましくは4mm~6mm程度となっている。平行導光体22の厚みが反射ユニット30の厚みに比較して十分大きいと、反射ユニット30又は境界面IFへの映像光GLの入射角を小さくしやすく、映像光GLが眼EYに取り込まれない位置にあるハーフミラー31での反射を抑えやすい。一方、平行導光体22の厚みを比較的薄くすると、平行導光体22や導光装置20の軽量化を図りやすくなる。

20

【0046】

ハーフミラー31は、すべて同一の傾きに設定され、平行導光体22の観察者側の平面22bを基準として時計回りで例えば48°~70°程度の傾斜角度をなすものとして、具体的には例えば60°の傾斜角度をなしている。ここで、映像光GL0の仰角0が例えば30°に設定され、映像光GL1の仰角1が例えば22°に設定され、映像光GL2の仰角2が例えば38°に設定されているものとする。この場合、映像光GL1と映像光GL2とは、光軸AXを基準として角度 $\theta_1 = \theta_2 - 12.5^\circ$ をなして観察者の眼EYに入射する。

30

【0047】

これにより、上記映像光GLのうち全反射角度の比較的大きい成分(映像光GL1)を反射ユニット30のうち反入射側である+X側の部分23h側に主に入射させ、全反射角度の比較的小さい成分(映像光GL2)を射出部23のうち入射側である-X側の部分23m側に主に入射させた場合において、映像光GLを全体として観察者の眼EYに集めるような角度状態で効率的に取り出すことが可能となる。このような角度関係で映像光GLを取り出す構成であるため、導光装置20は、映像光GLを反射ユニット30において原則として複数回経路させず、1回だけ経路させることができ、映像光GLを少ない損失で虚像光として取り出すことを可能にする。

40

【0048】

なお、反射ユニット30のハーフミラー31を通過する非利用光は、外界側の平面22aに再度入射する可能性があるが、ここで全反射された場合、多くは反射ユニット30の奥側の部分23h又はさらに奥側であって有効領域外に入射させることができ、眼EYに入射する可能性が低減される。

【0049】

また、反射ユニット30の中央側や奥側の部分23k, 23h等において、映像光GL

50

の一部は、ハーフミラー 31 を複数回経由（具体的には、1 回の反射と 1 回以上の透過を含む通過）している。この場合、ハーフミラー 31 の経由回数が複数になるが、複数のハーフミラー 31 からの反射光が、映像光 GL として観察者の眼 EY にそれぞれ入射するので、光量の損失はあまり大きくはならない。

【0050】

以下、図 3、4 等を参照して、反射ユニット 30 を構成する複数のハーフミラー 31 の配列間隔について説明する。

複数のハーフミラー 31 の配列方向又は反射ユニット 30 が延びる Z 方向に関する配列間隔 SP は、入射部 21 に近い入射側から終端面 ES に近い反入射側にかけて、観察者の眼 EY を想定して設定されたアイポイント EP の中心 Epa（図 2 参照）から任意の着目点に延びる視線 EL を基準として複数のハーフミラー 31 が略連続して繋がるように変化している。結果的に、反射ユニット 30 における複数のハーフミラー 31 の配列間隔 SP は、入射部 21 に近い入射側から反入射側にかけて徐々に増加している。具体的には、図 3 に示すように正面方向に視線 EL が延びる正面位置（反射ユニット 30 のうち中央側の部分 23k）における配列間隔 SP は、図 4 に示すように耳寄りに傾いた方向に視線 EL が延びる入射側位置（反射ユニット 30 のうち入口側の部分 23m）における配列間隔 SP よりも、相対的に広がっている。ハーフミラー 31 の具体的な配列間隔 SP は、反射ユニット 30 内で大小の差があるものの、各部で 0.5 mm ~ 2.0 mm 程度の範囲内となっている。

なお、以上で説明した視線 EL は、虚像表示装置 100 を装着した観察者の実際の視線に相当するものであるが、実際の観察者を必要としない一種仮想的なものであることは言うまでもない。また、アイポイント EP は実用上光軸 AX に垂直な方向に関して眼 EY の瞳の直径以上の広がり有するが、このようにアイポイント EP が広がりを有する場合、アイポイント EP の中心 Epa を基準とすればよい。つまり、視線 EL は、アイポイント EP の中心 Epa から任意のハーフミラー 31 上の点（着目点）へ向けて延ばした線（映像光 GL を逆進させた光路）となる。

【0051】

図 4 を参照してハーフミラー 31 の配列間隔 SP について詳細に考察する。上述のように反射ユニット 30 の厚みが TI で、反射ユニット 30 の傾斜角が θ である場合において、アイポイント EP から反射ユニット 30 における任意の着目点まで延ばした光路の光軸 AX に対する角度（つまり視線 EL の角度）を α とし、ハーフミラー 31 の占有幅を MW とし、ハーフミラー 31 の間隔調整量を g とし、反射ユニット 30 の屈折率を n とする。ここで、視線 EL の角度 α は、光軸 AX に平行な光軸方向線 AX' に対する視線 EL の角度と同じになっており、眼 EY が正面方向よりも耳寄りに向いて着目点が光軸 AX よりも -x 側にあれば正の値となり（図示の場合）、眼 EY が正面方向よりも鼻寄りに向いて着目点が光軸 AX よりも +x 側にあれば負の値となるとする。ハーフミラー 31 の占有幅を MW は、ハーフミラー 31 を反射ユニット 30 の法線方向から見た場合のハーフミラー 31 の幅を意味する。また、ハーフミラー 31 の間隔調整量 g は、視線 EL が反射ユニット 30 の法線方向に対して傾いている場合に、入射側に隣接するハーフミラー 31 の観察者端 e2 と着目するハーフミラー 31 の外界端 e1 とが一致するための値である。つまり、ハーフミラー 31 の配列間隔 SP は、以下の関係式（1）

$$SP = MW + g \quad \dots \quad (1)$$

で与えられる。図 4 に示すように、視線 EL が反射ユニット 30 の法線方向を基準（正面）として相対的に若干鼻寄りに向かう場合、間隔調整量 g は正の値となる。なお、詳細な図示を省略するが、反射ユニット 30 の中央側の部分 23k（図 3 に対応）では、間隔調整量 g が比較的大きな正の値となり、反射ユニット 30 の奥側の部分 23h では、間隔調整量 g がさらに大きな正の値となる。

【0052】

眼 EY を基準とした光路について考えると、視線 EL が着目するハーフミラー 31 の外界端 e1 と入射側に隣接するハーフミラー 31 の観察者端 e2 とを通る場合、両ハーフミ

10

20

30

40

50

ラ-31が連続して繋がるように見える。視線ELの観察側から光射出面OSへの入射角をθ₁とし、視線ELの光射出面OSから外界側への射出角をθ₂とすると、両角θ₁, θ₂は、光射出面OSの法線に対して視線ELの成す角である。入射角θ₁は、反射ユニット30の傾斜角αと視線ELの傾き角度εとの差α-εで表される。射出角θ₂は、スネルの法則によって入射角θ₁を用いてn×sin(θ₂)=sin(θ₁)で与えられる。つまり、角θ₂は以下のように表現することができる。

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left\{ \frac{\sin(\alpha - \epsilon)}{n} \right\}$$

ここで、幾何的な関係からg = TI × tan(θ₂)なる関係が成り立っており、間隔調整量gは、以下の関係式(2)

$$g = TI \times \tan(\theta_2) \quad \dots \quad (2)$$

で与えられ、以下の関係式(2)'に置き換えることができる。

$$g = TI \times \left\{ \frac{\sin(\theta_2)}{[n^2 - \sin^2(\theta_2)]} \right\} \quad \dots \quad (2)'$$

【0053】

以上は、反射ユニット30を構成する複数のハーフミラー31がX方向に関して視線ELを基準として全く重なりも切れ目もない場合、つまり複数のハーフミラー31が視線ELを基準として重複も隙間もない状態で配置されている場合を説明しているが、目立たない範囲内での僅かな重複や隙間であれば、複数のハーフミラー31が略連続して繋がる状態と言える。つまり、以下の関係式(3)

$$g = TI \times \left\{ \frac{\sin(\theta_2)}{[n^2 - \sin^2(\theta_2)]} \right\} \quad \dots \quad (3)$$

又は以下の関係式(4)

$$\frac{SP}{MW} = \frac{TI \times \tan(\theta_2)}{MW + TI \times \left\{ \frac{\sin(\theta_2)}{[n^2 - \sin^2(\theta_2)]} \right\}} \quad \dots \quad (4)$$

を満たされれば足る。特に、視線ELの方向を基準として隣接するハーフミラー31間に重複があっても隙間が無ければ外界光OLに関して観察されるムラを比較的少なく抑えることができる。一方、視線ELの方向を基準として隣接するハーフミラー31間に隙間がある場合、この隙間を極力狭くすることがムラ発生を防止する観点で望ましい。

【0054】

図5を参照して、反射ユニット30の製造方法の一例について説明する。予め、ガラス製の平行平板である多数のガラス板91を準備する。各ガラス板91の厚みは、ハーフミラー31の配列間隔SPを考慮したものとなっており、反射ユニット30のうち中央側の部分23kに対応するガラス板91の厚みを標準として、入射側又は入口側の部分23mに対応するガラス板91は相対的に薄く、反入射側又は奥側の部分23hに対応するガラス板91は相対的に厚くなっている。図5の場合、下側のガラス板91が薄く上側のガラス板91が厚くなっている。その後、準備した多数のガラス板91の一面に金属反射膜や誘電体多層膜である反射膜92を成膜することにより多数の要素板90を準備する。その後、形成された多数の要素板90を厚みの順に接着剤で接合しつつ積層し、切断線C1、C2に沿って全体を斜めにカットする。これにより、平行平板を斜めに分割した細長いプリズム片であるブロック部材32の間に金属反射膜や誘電体多層膜からなるハーフミラー31を挟んだ構造の反射ユニット30であって、一端側でハーフミラー31の配置間隔が狭く他端側でハーフミラー31の配置間隔が広がったものを得ることができる。この反射ユニット30を、平行導光体22の観察者側の適所に接着剤を介して貼り付け、接着剤を硬化させることによって固定する。

【0055】

〔1D. 第1実施形態のまとめ〕

以上で説明した第1実施形態の導光装置20によれば、複数のハーフミラー31の配列

間隔 SP が、入射部 21 に近い入射側から反入射側にかけてアイポイント EP を基準として複数のハーフミラー 31 が略連続して繋がるように変化するので、反射ユニット 30 を構成する複数のハーフミラー 31 がアイポイント EP の前方において略切れ目も重なりもない状態で略一様に配置されることになる。つまり、複数のハーフミラー 31 は、アイポイント EP に観察者の眼 EY を配置した場合、その視線 EL の前方において略切れ目も重なりもない状態で略一様に配置されることになる。これにより、外界光 OL を観察する際にハーフミラー 31 に沿って延びる筋状のムラが観察されることを防止できる。

なお、本実施形態の導光装置 20 では、平行導光体 22 の外界側の平面 22a で反射された映像光 GL を反射することによって反射ユニット 30 に入射した映像光 GL を観察者の眼 EY に向わせるように設定しているので、映像光 GL は、平行導光体 22 と反射ユニット 30 との境界面 IF で反射されることなく射出部 23 又は反射ユニット 30 に入射する位置又はその近傍のハーフミラー 31 を経由するのみとなる。見方を変えれば、本実施形態の導光装置 20 では、反射ユニット 30 が光軸 AX 方向に関して平行導光体 22 の半分程度以下に薄く、反射ユニット 30 を構成するハーフミラー 31 が平行導光体 22 の観察者側よりも外界側で入射部 21 に近づくように傾斜するとともに、反射ユニット 30 のうち少なくとも入射部 21 に近い部分が平行導光体 22 の観察者側に配置されている。これにより、反射ユニット 30 のうち入射部 21 から離れた奥側において、観察されるべき映像光 GL の光軸 AX に対する傾きを比較的大きくして、入射部 21 からの映像光 GL を反射ユニット 30 の目標箇所に直接的に入射させることが容易となる。これにより、観察されるべき映像光 GL がハーフミラー 31 を経由する回数を減らして輝度ムラや減光を防止でき、その一方で、意図しない映像光 GL の射出を防止してゴースト光の発生を抑えることができる。

【0056】

図 6 は、上記第 1 実施形態に係る導光装置 20 のうち射出部 23 の構造等に関する変形例を説明する図である。この場合、反射ユニット 30 の厚みが、入射部 21 に近い入射側で厚く入射部 21 から遠い反入射側で薄くなっている。入射部 21 から遠い側では、映像光 GL の仰角 θ_2 が小さくなっており、反射ユニット 30 を薄くすることで、ハーフミラー 31 を経由する回数が増加することを抑制できる。ここで、反射ユニット 30 の観察側の光射出面 OS と、平行導光体 22 の外界側の平面 22a とは平行であることが望ましい。つまり、平行導光体 22 のうち反射ユニット 30 に隣接する部分は原則として僅かな楔角を有することになる。

なお、上記のように反射ユニット 30 の厚みが X 方向の位置によって変化する場合も、ハーフミラー 31 に関する間隔調整量 g の関係式 (2) やハーフミラー 31 に関する配列間隔 SP の関係式 (4) がそのまま当てはまる。つまり、関係式 (2) ~ (4) 中における反射ユニット 30 の厚み TI が位置 X に応じて例えば線形的に増加する変数であるとして扱えばよい。

【0057】

図 7 (A) は、上記第 1 実施形態に係る導光装置 20 のうち射出部 23 の構造等に関する別の変形例を説明する図である。この場合、射出部 23 に設けた反射ユニット 30 が傾斜した状態で組み込まれている。具体的には、反射ユニット 30 は、入射部 21 から遠い奥側の部分 23h が入射部 21 に近い前側の部分 23m よりも外界寄りとなるように傾斜している。つまり、反射ユニット 30 の入射面 30a 及び出射面 30b は、平行導光体 22 の平面 22b を基準として、反時計回りに 90° 未満で適宜傾斜したものとなっている。

なお、射出部 23 は、反射ユニット 30 を挟んで平行導光体 22 の反対側に、反射ユニット 30 の出射面 30b に接合される断面楔状のプリズム部材 23f を有する。これにより、平行導光体 22 の外界側の平面 22a と、この平面 22a に対向する光射出面 OS とが平行になって、外界光 OL の自然な観察が可能になる。反射ユニット 30 が傾斜した状態で配置されていても、角度条件を図 2 ~ 4 に示す例と同様とすれば、平行導光体 22 の外界側の平面 22a で反射された映像光 GL を複数のハーフミラー 31 で反射させて、観

10

20

30

40

50

察側の光射出面 O S を通過させることができ、図 2 等の場合と同様に虚像を形成することができる。

【 0 0 5 8 】

図 7 (B) は、図 7 (A) に示す一部を拡大したものである。この場合、反射ユニット 3 0 が平行導光体 2 2 に対して傾いて配置されているので角度関係が変化しており、ハーフミラー 3 1 の配列間隔 S P は、図 2 ~ 4 に示す場合を修正したものとする必要がある。ここで、反射ユニット 3 0 の厚みを T I とし、平行導光体 2 2 の傾斜角を θ とし、プリズム部材 2 3 f の楔角を α とし、アイポイント E P から任意の着目点まで延ばした光路の光軸 A X に対する角度 (つまり視線 E L の角度) を β とし、ハーフミラー 3 1 の占有幅を M W とし、ハーフミラー 3 1 の間隔調整量を g とする。さらに、反射ユニット 3 0 の屈折率を n とし、プリズム部材 2 3 f の屈折率を n 1 とする。この場合、ハーフミラー 3 1 の配列間隔 S P は、反射ユニット 3 0 が傾斜していない場合と同じ関係式 (1)

$$S P = M W + g \quad \dots \quad (1)$$

で与えられる。光射出面 O S を挟んでの視線 E L の入射角を θ_3 とし射出角を θ_4 とするとともに、出射面 3 0 b を挟んでの視線 E L の入射角を θ_1 とし射出角を θ_2 とすると、角 θ_3 , θ_4 間と角 θ_1 , θ_2 間とにスネルの法則が成り立つ。つまり、角 θ_2 は、詳細な説明を省略するが、以下のように表現することができる。

$$\theta_2 = \sin^{-1} \left\{ \frac{n1}{n} \cdot \sin \left[\sin^{-1} \left(\frac{\sin(\sigma - \varepsilon)}{n1} \right) + \rho \right] \right\}$$

この角 θ_2 を利用すれば、間隔調整量 g は、既述の関係式 (2)

$$g = T I \times \tan (\theta_2) \quad \dots \quad (2)$$

で与えられる。

【 0 0 5 9 】

以上は、反射ユニット 3 0 を構成する複数のハーフミラー 3 1 が X 方向に関してアイポイント E P 又は視線 E L を基準として全く重なりも切れ目もない場合、つまり複数のハーフミラー 3 1 がアイポイント E P 又は視線 E L を基準として重複も隙間もない状態で配置されている場合を説明しているが、目立たない範囲内での僅かな重複や隙間であれば許容される。つまり、以下の関係式 (4)'

$$S P \geq M W + T I \times \tan (\theta_2) \quad \dots \quad (4)'$$

が満たされれば足る。

【 0 0 6 0 】

以上で説明した第 1 実施形態やその変形例において、入射部 2 1 を曲面 2 1 a , 2 1 b で構成しているが、その一方又は双方を平面で構成することもできる。この場合、曲面 2 1 b に対応する部分を平行導光体 2 2 の平面 2 2 b を延長した平面とすることができる。

また、入射部 2 1 において、光入射面 I S から入射させた映像光 G L を内面で反射させないで、そのまま平行導光体 2 2 に結合する構成とすることもできる。

さらに、平行導光体 2 2 は、完全な平行平板に限らず、若干の湾曲や楔角を持たせることができる。つまり、平行導光体 2 2 の平面 2 2 a , 2 2 b を非球面その他の湾曲面としたり、相互に傾き角を形成したりすることができる。ただし、平面 2 2 a , 2 2 b を湾曲させた場合、視度や倍率変化が発生するので、湾曲は少ない方がよい。また、平面 2 2 a , 2 2 b 間に傾きを設けた場合、色分散が生じるので、傾き角は小さい方が望ましい。

反射ユニット 3 0 の製造方法は、図 5 に例示するものに限定されない。鋸歯状の断面を設けた樹脂基板であって、鋸歯の斜面に対応して平行に延びる多数の斜面を有するものを準備し、その多数の斜面にハーフミラー 3 1 を形成し、樹脂基板の斜面を含む溝を硬化可能な液体又は固体の樹脂で充填することによっても、図 3 等に示される光学的な構造を得ることができる。

【 0 0 6 1 】

〔 第 2 実施形態 〕

以下、本発明の第 2 実施形態に係る導光装置を組み込んだ虚像表示装置について説明す

10

20

30

40

50

る。なお、第2実施形態に係る導光装置は、第1実施形態に係る導光装置を部分的に変更したものであり、共通部分については説明を省略する。

【0062】

図8に示すように、本実施形態の導光装置20は、映像光を取り込む入射部21と、導光用の平行導光体22と、映像光を取り出すための射出部23とを備える点で、第1実施形態の導光装置20と基本的に同一の構造を有する。ただし、第2実施形態の場合、導光装置20を通ず映像光GLの光路は、反射回数が異なる複数種類の光路を含んでおり、これら複数種類の光路を合成するタイプとなっている。また、第2実施形態の場合、平行導光体22を傾けないでxy面に平行に配置している。

【0063】

なお、射出部23を構成する反射ユニット30は、詳細な説明を省略するが、第1実施形態の場合と同様の構造を有しており、多数のブロック部材32を接合した構造を有し、ハーフミラー31は、隣接する一対のブロック部材32間に挟まれた薄膜状のものとなっている。そして、複数のハーフミラー31の配列間隔SPは、入射部21に近い入射側から終端面ESに近い反入射側にかけて、観察者のアイポイントEP又は視線ELを基準として複数のハーフミラー31が略連続して繋がるように変化している。結果的に、反射ユニット30における複数のハーフミラー31の配列間隔SPは、入射部21に近い入射側から反入射側にかけて徐々に増加している。

【0064】

以下、映像光の光路について説明する。液晶デバイス11の射出面11a上からそれぞれ射出される映像光のうち、破線で示す射出面11aの中央部分から射出される成分を映像光GL0とし、図中一点鎖線で示す射出面11aの周辺のうち紙面左側(-x側)から射出される成分を映像光GL1とし、図中二点鎖線で示す射出面11aの周辺のうち紙面右側(+x側)から射出される成分を映像光GL2とする。

【0065】

投射レンズ12を経た各映像光GL0, GL1, GL2の主要成分は、導光装置20の光入射面ISからそれぞれ入射した後、これに対向する反射面RSで反射され、第1及び第2の全反射面に対応する平面22a, 22bにおいて互いに異なる角度で全反射を繰り返す。

具体的には、映像光GL0, GL1, GL2のうち、射出面11aの中央部分から射出された映像光GL0は、平行光束として入射部21の反射面RSで反射された後、標準反射角 θ_0 で平行導光体22の観察者側の平面22bに入射し、全反射される。その後、映像光GL0は、標準反射角 θ_0 を保った状態で、一対の平面22a, 22bで全反射を繰り返す。映像光GL0は、平面22a, 22bにおいて偶数回全反射され、平行導光体22と射出部23又は反射ユニット30との境界面IFでは反射されないでこれを通過し、射出部23の中央の部分23kに入射する。映像光GL0は、部分23kにおいて所定の角度で反射され、光射出面OSから光射出面OSを含むxy面に対して垂直な光軸AX方向に平行光束として射出される。

また、射出面11aの一端側(-x側)から射出された映像光GL1は、平行光束として入射部21の反射面RSで反射された後、最大反射角 θ_1 で平行導光体22の観察者側の平面22bに入射し、全反射される。映像光GL1は、平面22a, 22bにおいて複数回全反射され、平行導光体22と射出部23又は反射ユニット30との境界面IFでは反射されないでこれを通過し、射出部23のうち奥側(+x側)の部分23hにおいて所定の角度で反射され、光射出面OSから所定の角度方向に向けて平行光束として射出される。この際の射出角 θ_1 は、入射部21側に戻されるようなものになっており、+x軸に対して鋭角の光線となる。

一方、射出面11aの他端側(+x側)から射出された映像光GL2は、平行光束として入射部21の反射面RSで反射された後、最小反射角 θ_2 で平行導光体22の観察者側の平面22bに入射し、全反射される。映像光GL2は、平面22a, 22bにおいて複数回全反射され、平行導光体22と射出部23又は反射ユニット30との境界面IFでは

10

20

30

40

50

反射されないでこれを通過し、射出部 2 3 のうち入口側 (- x 側) の部分 2 3 m において所定の角度で反射され、光射出面 O S から所定の角度方向に向けて平行光束として射出される。この際の射出角 θ_2 は、入射部 2 1 側から離れるようなものになっており、+ x 軸に対して鈍角の光線となる。

以上において、映像光 G L 0 , G L 1 , G L 2 が射出部 2 3 に達するまでの全反射回数は、必ずしも一致していない。つまり、図示の例では、映像光 G L 2 との全反射回数が映像光 G L 1 の全反射回数よりも 1 回以上多くなっており、映像光 G L 0 の全反射回数は、両映像光 G L 1 , G L 2 の全反射回数と一致する場合を含む。ただし、平面 2 2 a , 2 2 b での全反射による光の反射効率は非常に高いものであるため、上記のように映像光 G L 0 , G L 1 , G L 2 間で反射回数が異なっても、これによって輝度ムラが生じることは殆どない。また、映像光 G L 0 , G L 1 , G L 2 は、映像光 G L の光線全体の一部を代表して説明したものであるが、他の映像光 G L を構成する光線成分についても映像光 G L 0 等と同様に導かれ光射出面 O S から射出されるため、これらについては図示及び説明を省略している。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 6 】

なお、中央向けの映像光 G L 0 は、仰角 θ_0 (= $90^\circ - \theta_0$) で射出部 2 3 の部分 2 3 k に入射し、周辺向け映像光 G L 1 は、仰角 θ_1 (= $90^\circ - \theta_1$) で射出部 2 3 の部分 2 3 h に入射し、周辺向け映像光 G L 2 は、仰角 θ_2 (= $90^\circ - \theta_2$) で射出部 2 3 の部分 2 3 m に入射する。ここで、仰角 θ_0 , θ_1 , θ_2 間には、反射角 θ_0 , θ_1 , θ_2 の大小関係を反映して $\theta_2 > \theta_0 > \theta_1$ の関係が成り立っている。つまり、反射ユニット 3 0 のハーフミラー 3 1 への入射角は、仰角 θ_2 に対応する部分 2 3 m、仰角 θ_0 に対応する部分 2 3 k、仰角 θ_1 に対応する部分 2 3 h の順で徐々に小さくなる。換言すれば、ハーフミラー 3 1 への入射角又はハーフミラー 3 1 での反射角は、入射部 2 1 から離れるに従って小さくなる。

【 0 0 6 7 】

平行導光体 2 2 の外界側の平面 2 2 a で反射されて射出部 2 3 に向かう映像光 G L の光線束の全体的な挙動について説明する。映像光 G L の光線束は、光軸 A X を含む断面において、平行導光体 2 2 の外界側の所定面領域 F R で反射される前後の直進光路 P 1 , P 2 のいずれかで幅が絞られる。具体的には、映像光 G L の光線束は、光軸 A X を含む断面において、所定面領域 F R での反射後の直進光路 P 2 で全体として幅が絞られてビーム幅が細くなる。これにより、映像光 G L の光線束を射出部 2 3 の手前で絞ることになり、横方向の視野角を比較的広くすることが容易になる。

【 0 0 6 8 】

〔その他〕

以上各実施形態に即して本発明を説明したが、本発明は、上記の実施形態に限られるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々の態様において実施することが可能であり、例えば次のような変形も可能である。

【 0 0 6 9 】

反射ユニット 3 0 に設けた多数のハーフミラー 3 1 の反射率は、原則として一致させるが、これらハーフミラー 3 1 の反射率を入射部 2 1 に近い入射側から反入射側にかけて徐々に変化させることもできる。

【 0 0 7 0 】

以上の説明では、映像素子として、透過型の液晶デバイス 1 1 を用いているが、映像素子としては、透過型の液晶デバイスに限らず種々のものを利用可能である。例えば、反射型の液晶パネルを用いた構成も可能であり、液晶デバイス 1 1 に代えてデジタル・マイクロミラー・デバイス等を用いることもできる。また、有機 E L、L E D アレイや有機 L E D などに代表される自発光型素子を用いた構成も可能である。さらに、レーザー光源とポリゴンミラーその他のスキャナとを組み合わせたレーザスキャナを用いた構成も可能である。

【 0 0 7 1 】

以上の説明では、虚像表示装置 100 として、右眼及び左眼の双方に対応して一組ずつ画像形成装置 10 及び導光装置 20 設ける構成としているが、右眼又は左眼のいずれか一方に対してのみ画像形成装置 10 と導光装置 20 とを設け画像を片眼視する構成にしてもよい。

【0072】

以上の説明では、実施形態の虚像表示装置 100 がヘッドマウントディスプレイであるとして具体的な説明を行ったが、実施形態の虚像表示装置 100 は、ヘッドアップディスプレイ、双眼鏡型のハンドヘルドディスプレイ等に適用することもできる。

【0073】

以上の説明では、平行導光体 22 の平面 22 a , 22 b 又は曲面 21 b において、表面上にミラーやハーフミラー等を施すことなく空気との界面により映像光を全反射させて導くものとしているが、本願発明における全反射については、平面 22 a , 22 b 上の全体又は一部にミラーコートや、ハーフミラー膜が形成されてなされる反射も含むものとする。例えば、映像光 GL の入射角度が全反射条件を満たした上で、平面 22 a , 22 b の一部にミラーコート等が施され、実質的に全ての映像光を反射する場合も含まれる。

10

【0074】

以上の説明では、平行導光体 22 を X 方向又は x 方向に横長とし、光入射面 IS を眼の横方向外側に位置するように形成しているが、映像光 GL を導光装置 20 内に適切に導くことができれば、光入射面 IS の位置はこれに限らず、例えば導光装置 20 の上下にある上端面 TP や下端面 BP の一部等に設けることも可能である。この場合、反射ユニット 30 は、眼前の光軸 AX のまわりに 90° 回転させる。

20

【0075】

以上では触れていないが、平行導光体 22 において外形を画定する外周部のうち上端面 TP や下端面 BP 等を黒色塗料塗布面やサンドブラスト加工面とすることができる。さらに、上端面 TP や下端面 BP 以外の箇所に黒色塗装塗布やサンドブラスト加工を施してもよい。上端面 TP や下端面 BP 等の一部にのみ黒色塗装やサンドブラスト加工を施すものとしてもよい。

【0076】

また、反射ユニット 30 を構成するハーフミラー 31 としては、反射率を適宜低下させるものに限らず、ホログラムミラーを用いることができる。この際のホログラムミラーは、RGB の各色を一括処理する多層型とできるが、各色用の単層膜とすることもできる。

30

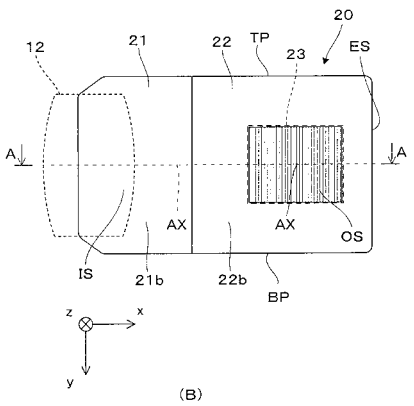
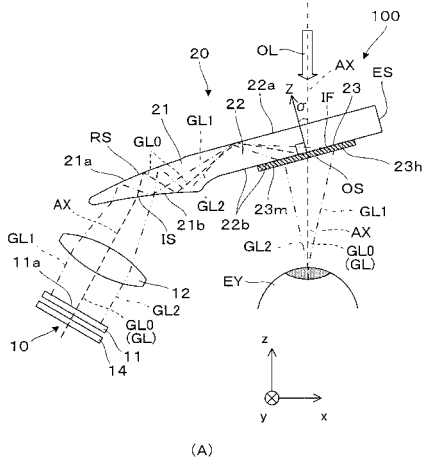
【符号の説明】

【0077】

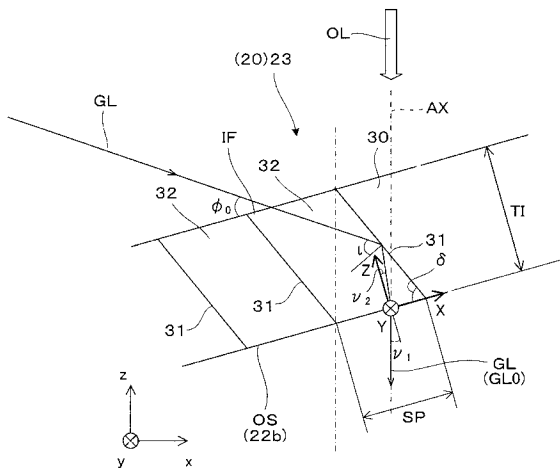
10 ... 画像形成装置、 11 ... 液晶デバイス、 11 a ... 射出面、 12 ... 投射レンズ、 14 ... 光源、 20 ... 導光装置、 21 ... 入射部、 22 ... 平行導光体、 22 a , 22 b ... 平面 (全反射面)、 23 ... 射出部、 23 h , 23 k , 23 m ... 部分、 30 ... 反射ユニット、 31 ... ハーフミラー、 32 ... ブロック部材、 100 ... 虚像表示装置、 AX ... 光軸、 EY ... 眼、 GL ... 映像光、 GL0 , GL1 , GL2 ... 映像光、 IS ... 光入射面、 OS ... 光射出面、 RS ... 反射面、 IF ... 境界面、 FR ... 所定面領域

40

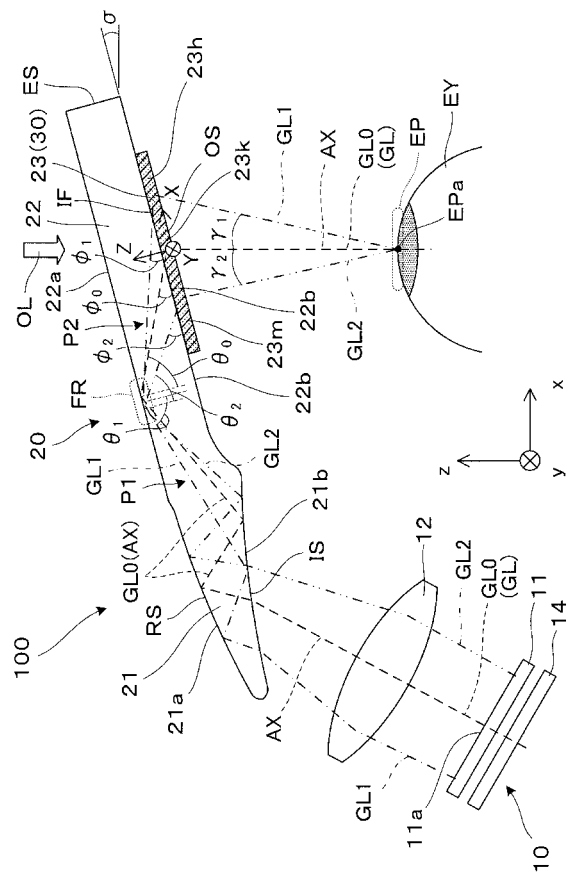
【 図 1 】



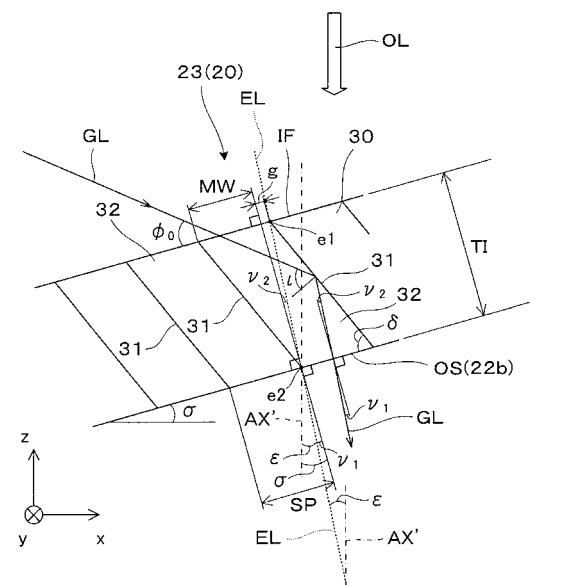
【 図 3 】



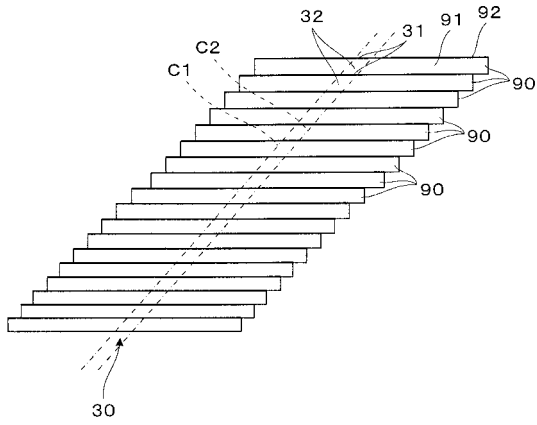
【 図 2 】



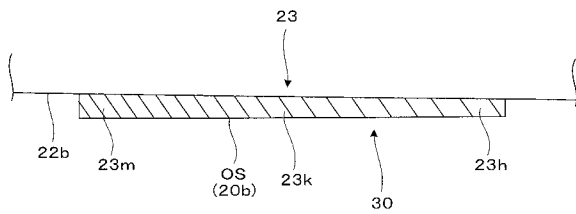
【 図 4 】



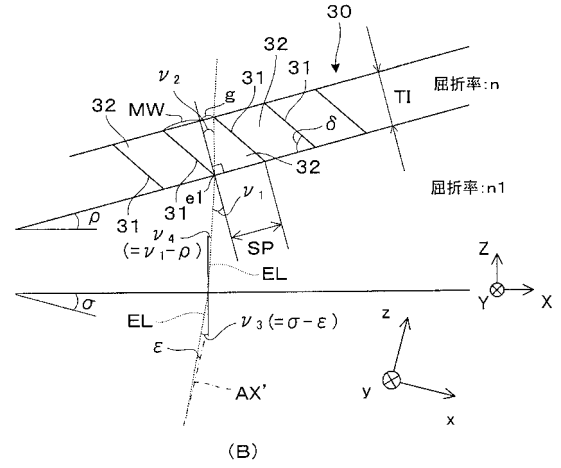
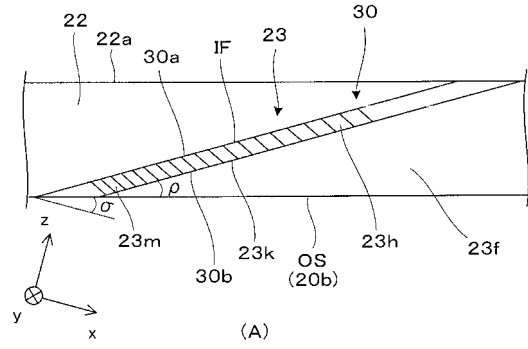
【 図 5 】



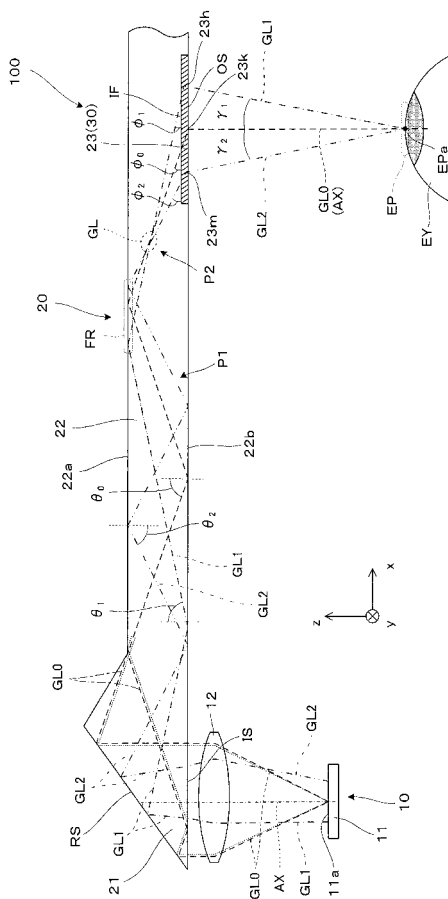
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 宮尾 敏明

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 戸谷 貴洋

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(72)発明者 武田 高司

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

Fターム(参考) 2H199 CA02 CA03 CA12 CA23 CA24 CA25 CA27 CA29 CA32 CA42
CA47 CA50 CA52 CA53 CA54 CA58 CA59 CA66 CA68 CA82
CA84 CA86