

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5119667号  
(P5119667)

(45) 発行日 平成25年1月16日 (2013. 1. 16)

(24) 登録日 平成24年11月2日 (2012. 11. 2)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 27/02 (2006. 01)

G O 2 B 27/02 Z

G O 2 B 27/18 (2006. 01)

G O 2 B 27/18 Z

請求項の数 7 (全 38 頁)

(21) 出願番号 特願2006-519459 (P2006-519459)  
 (86) (22) 出願日 平成17年3月28日 (2005. 3. 28)  
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2005/005761  
 (87) 国際公開番号 W02005/093493  
 (87) 国際公開日 平成17年10月6日 (2005. 10. 6)  
 審査請求日 平成19年9月4日 (2007. 9. 4)  
 (31) 優先権主張番号 特願2004-97222 (P2004-97222)  
 (32) 優先日 平成16年3月29日 (2004. 3. 29)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000002185  
 ソニー株式会社  
 東京都港区港南1丁目7番1号  
 (74) 代理人 100067736  
 弁理士 小池 晃  
 (74) 代理人 100086335  
 弁理士 田村 榮一  
 (74) 代理人 100096677  
 弁理士 伊賀 誠司  
 (72) 発明者 武川 洋  
 日本国東京都品川区北品川6丁目7番35  
 号 ソニー株式会社内  
 (72) 発明者 阿久津 克之  
 日本国東京都品川区北品川6丁目7番35  
 号 ソニー株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光学装置及び虚像表示装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内部全反射条件を満たす平行光束群を内部全反射して導光する導光板と、  
 前記導光板に外部から入射された互いに入射角の異なる平行光束群を、平行光束群のまま前記導光板の前記内部全反射条件を満たすように回折反射する第1の反射型体積ホログラムグレーティングと、  
 前記導光板で内部全反射して導光される前記平行光束群を、前記導光板の前記内部全反射条件から外れるように回折反射して、平行光束群のまま前記導光板から射出させる第2の反射型体積ホログラムグレーティングとを備え、  
 前記導光板を内部全反射して導光される前記平行光束群は、前記導光板に外部から入射され、前記導光板内部を全反射しながら進行する互いに画角の異なる平行光束群が、各画角の違いにより、前記導光板から射出されるまでの期間における全反射回数が互いに異なることを特徴とする光学装置。

【請求項 2】

前記第1の反射型体積ホログラムグレーティングに記録されている干渉縞のホログラム表面における干渉縞ピッチと、前記第2の反射型体積ホログラムグレーティングに記録されている干渉縞のホログラム表面における干渉縞ピッチとは、互いに等しいことを特徴とする請求項1記載の光学装置。

【請求項 3】

前記第1の反射型体積ホログラムグレーティング及び前記第2の反射型体積ホログラム

10

20

グレーティングは、前記導光板で前記平行光束群を内部全反射させる全反射面に対して、それぞれのホログラム面が平行となるように配置されていることを特徴とする請求項 1 記載の光学装置。

【請求項 4】

前記第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングは、入射された前記平行光束群の一部の平行光束を複数回、回折反射し、前記回折反射の度に、前記平行光束の一部の光量を前記導光板外へ射出することを特徴とする請求項 1 記載の光学装置。

【請求項 5】

画像表示素子と、

前記画像表示素子の各画素から射出された光束を互いに進行方位の異なる平行光束群にするコリメート光学系と、

当該導光板の内部全反射条件を満たす平行光束群を内部全反射して導光する導光板と、

前記導光板にコリメート光学系から入射された互いに入射角の異なる前記平行光束群を、平行光束群のまま前記導光板の前記内部全反射条件を満たすように回折反射する第 1 の反射型体積ホログラムグレーティングと、

前記導光板で内部全反射して導光される前記平行光束群を、前記導光板の前記内部全反射条件から外れるように回折反射して、平行光束群のまま前記導光板から射出させる第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングとを備え、

前記導光板を内部全反射して導光される前記平行光束群は、前記導光板に外部から入射され、前記導光板内部を全反射しながら進行する互いに画角の異なる平行光束群が、各画角の違いにより、前記導光板から射出されるまでの期間における全反射回数が互いに異なることを特徴とする虚像表示装置。

【請求項 6】

前記第 1 の反射型体積ホログラムグレーティングに記録されている干渉縞のホログラム表面における干渉縞ピッチと、前記第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングに記録されている干渉縞のホログラム表面における干渉縞ピッチとは、互いに等しいことを特徴とする請求項 5 記載の虚像表示装置。

【請求項 7】

前記第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング及び前記第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングは、前記導光板で前記平行光束群を内部全反射させる全反射面に対して、それぞれのホログラム面が平行となるように配置されていることを特徴とする請求項 5 記載の虚像表示装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、2次元画像を、虚像光学系により拡大虚像として観察者に観察させるように表示する虚像表示装置に関し、詳しくは、ホログラム光学素子、特に、反射型体積ホログラムグレーティングを用いた表示画像光を観察者の瞳へと導光する薄型の光学装置及びこの光学装置を備えた虚像表示装置に関する。

本出願は、日本国において2004年3月29日に提出された日本特許出願番号2004-097222を基礎として優先権を主張するものであり、この出願は参照することにより、本出願に援用される。

【背景技術】

【0002】

従来、観察者に拡大虚像を観察させるために、図1に示すような虚像観察光学系が提案されている。

図1に示す虚像観察光学系は、まず、画像表示装置301に表示された画像光を導光板302に入射し、この画像光を導光板302内部に設けられた透過型ホログラムレンズ303にて平行光としながら、導光板302内で内部全反射されるような角度に偏向する。

この画像光は、導光板302内を全反射しながら伝搬した後、導光板302内部に、上

10

20

30

40

50

述した透過型ホログラムレンズ303から所定の距離を隔てて、同じ直線上に設けられた透過型ホログラムグレーティング304に入射し、再び回折されて平行光のまま、導光板302外へ射出され、観察者の瞳に導かれる。

また、観察者に拡大虚像を観察させるために、図2に示すような虚像観察光学系も提案されている。

図2に示す虚像観察光学系は、画像表示装置401に表示された画像光を、自由曲面プリズム402を介して、導光板403に入射させる。図3に示すように、導光板403は、その入射側の入射領域Z1に、第1のHOE(Holographic Optical Element:ホログラフィック光学素子)404と、第2のHOE405とを有し、その射出側の射出領域Z2に、第3のHOE405と、第4のHOE406とを有する。導光板403に入射された画像光は、導光板403の光線入射側と、対向する面に設けられた第1のHOE404と、光線入射側に設けられた第2のHOE405とに、続けて回折反射され、導光板403内で、内部全反射するための臨界角以上とされる。すなわち、導光板403に入射された入射画像光L1は、第1のHOE404の第1の入射側反射回折部D1で回折反射され、第2のHOE405の第2の入射側反射回折部D2で回折反射されることで臨界角以上の角度 $\theta_2$ とされる。なお、第1の反射回折部D1で回折反射されたときは、臨界角以下の角度 $\theta_1$ とされている。

10

この導光板403内で、臨界角以上とれた画像光L2は、導光板403内を全反射しながら伝搬した後、第4のHOE407の第1の射出側反射回折部D3と、第3のHOE406の第2の射出側反射回折部D4とに、続けて回折反射されることで、臨界角以下の角度 $\theta_3$ とされ、導光板403外の観察者の光学瞳へ向けて射出される。

20

上述した、図1に示す虚像観察光学系には、以下のような問題点がある。

まず、図1に示す虚像観察光学系では、画像表示素子301から射出された拡散光を、直接、導光板302内の透過型ホログラムレンズ303に入射するため、光学系の倍率を大きくとろうとして画像表示素子301と、透過型ホログラムレンズ303との距離、すなわち、透過型ホログラムレンズ303の焦点距離を短くすると、後で説明するように透過型ホログラムレンズ303の回折受容角が比較的小さいことから、瞳径305を大きくとることができない。

そして、透過型ホログラムレンズ303の干渉縞は、非球面位相成分を有する複雑な構造であることから、回折受容角を広くするために、干渉縞を多重化又は積層化することが困難であり、同一波長、同一入射角において、等しい回折角度を有しながら、異なる回折効率を発生させる構成とすることができない。

30

また、図1に示す虚像観察光学系では、導光板302に設けられた透過型ホログラムレンズ303が、画像表示素子301から射出された画像光を、平行光としながら、すなわち、光学的パワーを発生させながら同時に偏向させるため、大きな単色偏心収差を発生してしまうことになる。これは、瞳に表示される表示画像の解像力を低下させてしまうといった問題を発生させてしまう。

さらに、この虚像観察光学系は、透過型ホログラムレンズ303にて発生する色収差を、透過型ホログラムグレーティング304で補正するように構成されているが、透過型ホログラムグレーティング304の入射光線偏向方向は、図1の紙面内に限られるため、少なくとも紙面に垂直方向に発生する収差については打ち消すことができない。この回折による色収差は、導光板302に設けられた2つの透過型ホログラム(透過型ホログラムレンズ303、透過型ホログラムグレーティング304)がそれぞれ異なっているために発生する問題であり、狭い波長帯域を有する光源しか実質上使用できないといった大きな制約条件となっている。

40

実際、図1に示す虚像観察光学系に対して、瞳からの逆光線追跡によるシミュレーションを行うと、2つの透過型ホログラムで色収差を補正した場合でも、 $\pm 2\text{ nm}$ の波長シフト時に画像表示素子上301で $\pm 30\text{ }\mu\text{ m}$ の変位となっていることが分かる。

仮に、2つの透過型ホログラムが光学的パワーを持たない全く等しい透過型体積ホログラムグレーティングであったとしても、以下に説明するような別の問題が発生することに

50

なる。

一般に、一定の入射角度において、透過型体積ホログラムの回折受容波長帯域は、反射型体積ホログラムと比較すると広くなることが分かっている。したがって、光源の波長帯域が広い場合、若しくは、光の3原色であるRGB(R:赤色光、G:緑色光、B:青色光)の各光源波長間隔が狭い場合(各色光の波長帯域がブロードである場合)、膨大な回折による色分散、つまり回折色分散が発生することになる。

例えば、緑色(中心波長550nm)用に作成された透過型体積ホログラムであっても、400~630nm程度の波長帯域にて、10%程度の回折効率を有し、青色LED(Light Emitting Diode)(発光波長帯域410~490nm)や、赤色LED(発光波長帯域600~660nm)の一部の光を回折してしまうことになる。

10

この回折色分散による色収差は、2つの等しい格子ピッチを有するホログラムを用いることで打ち消すことができるが、一つ目のホログラムで発生する色分散が大きい場合、導光板内を伝搬する光束の広がりが大きくなるため、以下に示すような問題が発生する。一つ目のホログラムで回折され、導光板内を伝搬した広がりが大きくなった光束は、二つ目のホログラムで回折されることで導光板より射出されると、波長によって大きく伝搬方向に広がってしまい、観察者の瞳に表示される虚像の色の均一性を低下させてしまう。

一方、反射型体積ホログラムは、一つの干渉縞の持つ回折受容波長帯域が狭い。したがって、カラー化した場合には、RGBごとにホログラム層を積層化又はRGB毎の干渉縞を多重化することで、各色の回折角(導光板内部の全反射角)をほぼ等しくすることができる。

20

また、逆に、一定の入射波長において、透過型体積ホログラムの回折受容角は、反射型体積ホログラムの回折受容角と比較すると小さく、瞳径305又は画角を大きくとることが困難となってしまう。

また、図2及び図3に示す虚像観察光学系では、導光板403内部で、画像表示素子401の像が中間結像されるため、第1のHOE404、第2のHOE405、第3のHOE406、第4のHOE407が、偏心レイアウト中で光学的パワーを持つ必要がある。したがって、この虚像観察光学系においても、図1に示す虚像観察光学系と同様に、偏心収差が発生してしまうことになる。

そして、図2及び図3に示す虚像観察光学系では、この偏心収差を緩和するために自由曲面プリズム402や、第1のHOE404、第2のHOE405、第3のHOE406、第4のHOE407を非軸対称面としている。しかし、各HOEの回折効率は、実質的に、70~80%程度が上限であるため、4枚のHOEの回折効率をトータルすると、70~80%の4乗となり大幅に、回折効率が低下してしまうことになる。

30

上述したように、複雑な干渉縞を備えたホログラムでは、回折受容角を広げるために、ホログラムを積層化するか、干渉縞の多重化を行うことが困難である。したがって、瞳径を大きくとることはできない。

また、導光板403内部は、収束光(中間結像まで)、又は拡散光(中間結像以降)が伝搬するため、第1の反射回折によって回折されずに導光板403の平面にて再度全反射した光束は、もはや画像表示光として用いることはできない。したがって、光利用効率も上げられず、観察可能範囲を拡大することもできないといった問題がある。

40

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

そこで、本発明は、上述したような従来に技術が有する問題点を解決するために提案されたものであり、単色偏心収差と回折色収差の排除低減による高解像力化、ホログラム素子の枚数低減による高効率化、表示画像の色均一化と、広瞳径化を実現する光学装置及び虚像観察光学系を提供することを目的とする。

本発明に係る光学装置は、当該導光板の内部全反射条件を満たす平行光束群を内部全反射して導光する導光板と、導光板に外部から入射された互いに進行方位の異なる平行光束

50

群を、平行光束群のまま導光板の内部全反射条件を満たすように回折反射する第1の反射型体積ホログラムグレーティングと、導光板で内部全反射して導光される平行光束群を、導光板の内部全反射条件から外れるように回折反射して、平行光束群のまま導光板から射出させる第2の反射型体積ホログラムグレーティングとを備え、導光板を内部全反射して導光される平行光束群の一部の平行光束を、導光板に外部から入射し、導光板から射出されるまでの期間における全反射回数を互いに異なるようにしたものである。

また、本発明に係る虚像表示装置は、画像表示素子と、画像表示素子の各画素から射出された光束を互いに進行方位の異なる平行光束群にするコリメート光学系と、当該導光板の内部全反射条件を満たす平行光束群を内部全反射して導光する導光板と、導光板にコリメート光学系から入射された互いに進行方位の異なる平行光束群を、平行光束群のまま導光板の内部全反射条件を満たすように回折反射する第1の反射型体積ホログラムグレーティングと、導光板で内部全反射して導光される平行光束群を、導光板の内部全反射条件から外れるように回折反射して、平行光束群のまま導光板から射出させる第2の反射型体積ホログラムグレーティングとを備え、導光板を内部全反射して導光される平行光束群の一部の平行光束を、導光板に外部から入射し、導光板から射出されるまでの期間における全反射回数を互いに異なるようにしたものである。

10

本発明に係る他の虚像表示装置は、光束を射出する光源と、光源から射出された光束を平行光束とするコリメート光学系と、平行光束を水平走査及び垂直走査することで、互いに進行方位の異なる平行光束群とする走査光学系と、当該導光板の内部全反射条件を満たす平行光束群を内部全反射して導光する導光板と、導光板に走査光学系から入射された互いに進行方位の異なる平行光束群を、平行光束群のまま導光板の内部全反射条件を満たすように回折反射する第1の反射型体積ホログラムグレーティングと、導光板で内部全反射して導光される平行光束群を、導光板の内部全反射条件から外れるように回折反射して、平行光束群のまま導光板から射出させる第2の反射型体積ホログラムグレーティングとを備え、導光板を内部全反射して導光される平行光束群の一部の平行光束を、導光板に外部から入射し、導光板から射出されるまでの期間における全反射回数を互いに異なるようにしたものである。

20

本発明は、第1の反射型体積ホログラムグレーティングで、導光板に外部から入射された互いに進行方位の異なる平行光束群を、平行光束群のまま導光板の内部全反射条件を満たすように回折反射し、第2の反射型体積ホログラムグレーティングで導光板で内部全反射して導光される平行光束群を、導光板の内部全反射条件から外れるように回折反射して、平行光束群のまま導光板から射出させる。

30

このとき、導光板を内部全反射して導光される平行光束群の一部の平行光束が、導光板に外部から入射され、導光板から射出されるまでの期間における全反射回数が互いに異なるため、導光板が非常に薄型化され、導光板の長手方向の長さも十分稼ぐことができる。

したがって、本発明を適用した虚像光学装置を軽量化、小型化することができ、さらには、コストダウンを計ることも可能となる。また、この虚像光学装置を頭部装着型のHMD(Head Mounted Display)とした場合にも装着者の、装置装着時の不快感を大幅に軽減させることが可能となる。

また、本発明は、ホログラムとして、第1の反射型体積ホログラムグレーティング及び第2の反射型体積ホログラムグレーティングの2枚のみを使用しているため枚数低減による高効率化を実現する。さらに、透過型体積ホログラムグレーティングと比較して回折受容波長が狭く、回折受容角の大きい反射型体積ホログラムグレーティングを用いることで、表示画像の色を均一化させ、広瞳径化を可能とする。

40

さらに、本発明において、第1の反射型体積ホログラムグレーティング及び第2の反射型体積ホログラムグレーティングはレンズ効果がないため、単色偏心収差が排除され、回折受容波長が狭いことから回折色収差を低減することができるため、高解像力の画像を、観察者の瞳に表示させることを可能とする。

さらにまた、本発明において、第1の反射型体積ホログラムグレーティングに記録されている干渉縞のホログラム表面における干渉縞ピッチと、第2の反射型体積ホログラムグ

50

レーティングに記録されている干渉縞のホログラム表面における干渉縞ピッチとが互いに等しくされていることにより、同一波長同一入射角で入射される平行光線が、異なる回折角で回折反射されることを防止し、高い解像力の虚像を観察者の瞳に表示させることを可能とする。

また、本発明において、第1の反射型体積ホログラムグレーティング及び第2の反射型体積ホログラムグレーティングに記録する干渉縞が単純な単純回折格子であるため、容易に干渉縞の多重化、干渉縞を記録したホログラム層の積層化を行うことができるため、回折受容角を大きくし、回折色収差を発生させずに、色域も下げることなく複数の波長帯域の平行光束、例えば、光の3原色であるRGB（R：赤色光、G：緑色光、B：青色光）を回折反射することを可能とする。

10

本発明のさらに他の目的、本発明によって得られる具体的な利点は、以下において図面を参照して説明される実施に形態から一層明らかにされるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0004】

〔図1〕図1は、従来提案されている虚像観察光学系を示す側面図である。

〔図2〕図2は、従来提案されている虚像観察光学系の他の例を示す側面図である。

〔図3〕図3は、図2に示す虚像観察光学系の導光板を示す側面図である。

〔図4〕図4は、透過型体積ホログラムグレーティングの回折効率分布を示した図である。

。

〔図5〕図5は、反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率分布を示した図である。

20

。

〔図6〕図6は、透過型体積ホログラムグレーティング及び反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率の入射角依存性を示した図である。

〔図7〕図7は、透過型体積ホログラムグレーティング及び反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率の入射波長依存性を示した図である。

〔図8〕図8は、本発明の第1の実施の形態として示す虚像表示装置の側面図である。

〔図9〕図9は、像表示装置が備える第1の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

〔図10〕図10は、虚像表示装置が備える第2の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

30

〔図11〕図11は、本発明の第2の実施の形態として示す虚像表示装置の側面図である。

。

〔図12〕図12は、虚像表示装置が備える第1の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

〔図13〕図13は、虚像表示装置が備える第2の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

〔図14〕図14は、本発明の第3の実施の形態として示す虚像表示装置の側面図である。

。

〔図15〕図15は、虚像表示装置が備える第1の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

40

〔図16〕図16は、虚像表示装置が備える第1の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

〔図17〕図17は、本発明の第4の実施の形態として示す虚像表示装置の側面図である。

。

〔図18〕図18は、虚像表示装置が備える第1の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

〔図19〕図19は、虚像表示装置が備える第2の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

〔図20〕図20は、虚像表示装置が備える第2の反射型体積ホログラムグレーティングの他の例を示す側面図である。

50

【図 2 1】図 2 1 は、本発明の第 5 の実施の形態として示す虚像表示装置の側面図である。

【図 2 2】図 2 2 は、本発明の第 6 の実施の形態として示す虚像表示装置の側面図である。

【図 2 3】図 2 3 は、虚像表示装置が備える第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングでの回折反射の様子を示す側面図である。

【図 2 4】図 2 4 は、虚像表示装置が備える第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングを示す側面図である。

【図 2 5】図 2 5 は、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングを構成するホログラム層のうちの一つを示す側面図である。

【図 2 6】図 2 6 は、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングを構成するホログラム層の他の例を示す側面図である。

【図 2 7】図 2 7 は、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングに記録する干渉縞のスラント角と、入射する平行光束の入射角との関係について説明するための図である。

【図 2 8】図 2 8 は、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングに入射する平行光束の入射角に対する回折効率を最大にする干渉縞のスラント角の変位を示す図である。

【図 2 9】図 2 9 は、本発明の第 7 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 0】図 3 0 は、本発明の第 8 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 1】図 3 1 は、本発明の第 9 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 2】図 3 2 は、本発明の第 1 0 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 3】図 3 3 は、本発明の第 1 1 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 4】図 3 4 は、本発明の第 1 2 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 5】図 3 5 は、本発明の第 1 3 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 6】図 3 6 は、本発明の第 1 4 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

【図 3 7】図 3 7 は、本発明の第 1 5 の実施の形態として示す画像表示装置の側面図である。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0005】

以下、本発明に係る光学装置及び虚像表示装置の実施の形態を図面を参照にして詳細に説明をする。

本発明の実施の形態について説明する前に、各実施の形態で使用される反射型体積ホログラムグレーティングの特性について、従来の技術でも使用されていた透過型体積ホログラムグレーティングの特性と比較しながら説明をする。

従来の技術でも説明したように、反射型体積ホログラムグレーティングは、透過型体積ホログラムグレーティングと比較して、回折受容波長帯域が狭く、回折受容角が大きいといった特性を有している。

これについて、図 4 乃至図 7 を用いて具体的に説明をする。図 4 及び図 5 に、垂直に入射する波長 550 nm の平行光を、屈折率 1.52 の媒質中で、45 度に回折透過する透過型体積ホログラムグレーティングと、45 度に回折反射する反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率分布（入射波長：400～700 nm、入射角：垂直入射に対して ±5 度）をそれぞれ示す。

図 4 及び図 5 中斜線を施した部分が回折効率の存在する入射波長、入射角度の領域を示

10

20

30

40

50

している。それぞれのホログラムの屈折率変調度は、0.05、ホログラム層の厚さは、それぞれのピーク回折効率が99%以上になるような厚さを選んだ。

これにより、図5に示した反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率分布の方が、図4に示した透過型体積ホログラムグレーティングの回折効率分布よりも、同じ入射角度範囲において、回折可能な波長変動が少ない、又は、同じ入射波長範囲において回折受容角が広いことが分かる。

図6及び図7に、図4及び図5に示す結果を別な形で示した。図6は、入射波長550nmでの透過型体積ホログラムグレーティング、反射型体積ホログラムグレーティング、それぞれにおける回折効率の入射角依存性を示す。なお、図6中実線が透過型体積ホログラムグレーティングの回折効率の入射角依存性を示し、一点鎖線が反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率の入射角依存性を示す。図6からも明らかなように、反射型体積ホログラムグレーティングの方が、透過型体積ホログラムグレーティングよりも回折受容角が広いことが分かる。

10

また、図7は、入射角0度での透過型体積ホログラムグレーティング、反射型体積ホログラムグレーティング、それぞれにおける回折効率の入射波長依存性を示す。なお、図7中実線が透過型体積ホログラムグレーティングの回折効率の入射波長依存性を示し、一点鎖線が反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率の入射波長依存性を示す。図7からも明らかなように、反射型体積ホログラムグレーティングの方が、透過型体積ホログラムグレーティングよりも回折受容波長が狭いことが分かる。

以上のような、反射型体積ホログラムグレーティングの一般的特性を踏まえて、以下に、本発明を実施するための最良の形態として示す第1乃至第6の実施の形態について説明をする。

20

#### { 第1の実施の形態 }

図8に、第1の実施の形態として示す虚像表示装置10を示す。虚像表示装置10は、画像を表示する画像表示素子11と、画像表示素子11で表示された表示光を入射して、観察者の瞳16へと導く虚像光学系とを備えている。

画像表示素子11は、例えば、有機EL(Electro Luminescence)ディスプレイ、無機ELディスプレイや、液晶ディスプレイ(LCD: Liquid Crystal Display)などである。

虚像光学系は、コリメート光学系12と、導光板13と、導光板13に設けられた第1の反射型体積ホログラムグレーティング14と、第2の反射型体積ホログラムグレーティング15とを備える。

30

コリメート光学系12は、画像表示素子11の各画素から射出された光束を入射して、互いに画角の異なる平行光束群とする光学系である。コリメート光学系12から射出された、互いに画角の異なる平行光束群は、それぞれ導光板13に入射される。

導光板13は、コリメート光学系12から射出された互いに画角の異なる平行光束群を入射する光入射口13a1を一方端部に有し、他方端部に光を射出する光射出口13a2を有する光学面13aと、この光学面13aに対向する光学面13bとを主面とする薄型の平行平板な導光板である。

導光板13の光学面13bには、光学面13aの光入射口13a1と対向する位置に第1の反射型体積ホログラムグレーティング14が設けられ、光学面13aの光射出口13a2と対向する位置に第2の反射型体積ホログラムグレーティング15が設けられている。

40

図9及び図10に、干渉縞が記録された反射型体積ホログラムグレーティング14、反射型体積ホログラムグレーティング15の様子をそれぞれ示す。図9及び図10に示すように、反射型体積ホログラムグレーティング14、15には、干渉縞の傾きであるスラント角が異なる3種類の干渉縞が、ホログラム表面14S、15Sにおいて、それぞれ同一ピッチとなるように多重して記録されている。反射型体積ホログラムグレーティング14、15は、回折受容波長帯域が20nm程度の単色用のホログラムグレーティングであり、上述したスラント角がそれぞれ異なる3種類の干渉縞を記録することで、回折受容角を

50



広げている。

図 9 に示すように反射型体積ホログラムグレーティング 14 には、干渉縞 14 a , 14 b , 14 c がスラント角  $\alpha$  ,  $\beta$  ,  $\gamma$  で、それぞれ同一ピッチ、つまり位置に関わらず均等なピッチで複数記録されている。図 10 に示す反射型体積ホログラムグレーティング 15 も同様に、干渉縞 15 a , 15 b , 15 c がスラント角  $\alpha$  ,  $\beta$  ,  $\gamma$  でそれぞれ同一ピッチにて複数記録されている。したがって、反射型体積ホログラムグレーティング 14 , 15 は、それぞれの干渉縞が光学面 13 b と垂直な平面に対して対称となるように、導光板 13 の光学面 13 b 上に配置されていることになる。

導光板 13 の光入射口 13 a 1 から入射した互いに画角の異なる平行光束群は、上述した反射型体積ホログラムグレーティング 14 に入射され、それぞれの平行光束群が平行光束群のまま回折反射される。回折反射された平行光束群は、導光板 13 の光学面 13 a , 13 b との間で全反射を繰り返しながら進行し、上述した反射型体積ホログラムグレーティング 15 に入射することになる。

10

導光板 13 の長手方向の長さ及び光学面 13 a - 光学面 13 b 間の厚みは、このときに内部を全反射しながら進行する互いに画角の異なる平行光束群が、各画角によって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 15 に到達するまでの全反射回数に違いがでるような光路長となるように、薄型化され、長手方向の長さも十分な長さとなるように設計されている。

具体的には、導光板 13 に入射する平行光束群のうち、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 15 側へ傾きながら入射する平行光束、つまり入射角が大きな平行光束の反射回数は、それとは、逆に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 15 側へあまり傾かずに入射する平行光束、つまり入射角が小さな平行光束の反射回数と比較して少なくなる。これは、導光板 13 に入射した平行光束群は、それぞれ画角の異なる平行光束となって入射されるためである。つまり、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 14 への入射角度も異なることから、それぞれ異なる回折角で射出されることで、各平行光束の全反射角も異なっているため、導光板 13 を、薄型化し、長手方向の長さを十分確保することで、全反射する回数に違いが顕著にでることになる。

20

第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 15 に入射した各画角の平行光束群は、回折反射されることで全反射条件からはずれ、導光板 13 の光射出口 13 a 2 から射出され、観察者の瞳 16 に入射する。

30

このように、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 15 は、記録された干渉縞が、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 14 の干渉縞をホログラム面内で 180 度回転させた形状と同じになるように、導光板 13 の光学面 13 b 上に設置されている。したがって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 15 で反射される平行光束群は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 14 への入射角と等しい角度で反射されることになるため、表示画像がぼけることなく高い解像度で瞳 16 へ表示されることになる。

この虚像表示装置 10 は、レンズ効果のない第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 14 , 第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 25 を備えることで、単色偏心収差、回折色収差を排除低減することができる。

なお、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 14 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 15 とは、導光板 13 の光学面 13 b に対して各ホログラム面 14 S , 15 S が平行となるように配置されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、ホログラム面 14 S , 15 S が、それぞれ光学面 13 b に対して所定の角度を持つように配置させることもできる。

40

{ 第 2 の実施の形態 }

図 11 に、第 2 実施の形態として示す虚像表示装置 20 を示す。第 2 の実施の形態として示す虚像表示装置 20 は、カラー画像の虚像を表示する。なお、図 11 に示す本実施の形態では、図面の見やすさを優先させるために中心画角光線のみを図示している。

虚像表示装置 20 は、光源を構成する照明光学系 30 と、照明光学系 30 から照射された照明光を入射して、観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

50

照明光学系 30 は、赤色光を射出する LED (Light Emitting Diode) 光源 31R と、緑色光を射出する LED 光源 31G と、青色光を射出する LED 光源 31B と、色合成プリズム 32 とを備えている。

LED 光源 31R, 31G, 31B から射出された赤色光、緑色光、青色光は、クロスプリズムである色合成プリズム 32 によって白色光へと混色され、虚像光学系へ射出される。

虚像光学系は、照明光学系 30 から照射された照明光を平行光束とするコリメート光学系 22 と、コリメート光学系 22 から射出された平行光束を空間変調する回転ミラー 21A, 21B と、回転ミラー 21A, 21B で空間変調された照明光を入射する導光板 23 と、導光板 23 に設けられた第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 24 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 25 とを備える。

10

コリメート光学系 22 は、この照明光を平行光束とし、後段の空間変調器として機能する回転ミラー 21A に射出する。

回転ミラー 21A, 21B は、コリメート光学系 22 から射出された平行光束を空間変調する空間変調器として機能する。図 11 に示すように、回転ミラー 21A は、紙面に平行な回転軸 A を回転中心とする矢印 A1 方向に回転する。また、回転ミラー 21B は、回転軸 A に直交し、紙面に垂直な回転軸 B を回転中心とする矢印 B1 方向に回転する。

回転ミラー 21A, 21B は、図示しないマイクロコンピュータによって、表示させる画像に応じて回転が制御されることになる。

コリメート光学系 22 から回転ミラー 21A に射出された平行光束は、回転ミラー 21A によって、平行光のまま紙面に垂直な方向に走査されながら、回転ミラー 21B に向けて反射される。回転ミラー 21B に入射した平行光束は、回転ミラー 21B によって、平行光のまま紙面に平行な方向に走査されながら、互いに進行方位の異なる平行光束群として導光板 23 に向けて反射される。

20

なお、回転ミラー 21A, 21B は、具体的には、コリメート光学系 22 から射出された平行光束を水平走査及び垂直走査することで互いに進行方位の異なる平行光束群とする走査光学系を構成する。

導光板 23 は、回転ミラー 21B で反射され射出された平行光束群を入射する光入射口 23a1 を一方端部に有し、他方端部に光を射出する光射出口 23a2 を有する光学面 23a と、この光学面 23a に対向する光学面 23b とを主面とする薄型の平行平板な導光板である。

30

導光板 23 の光学面 23b には、光学面 23a の光入射口 23a1 と対向する位置に第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 24 が設けられ、光学面 23a の光射出口 23a2 と対向する位置に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 25 が設けられている。

また、導光板 23 は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 24、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 25 を設置した側に、透明基板 26 が設けられている。導光板 23 の光学面 23b は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 24、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 25 とが設置されていない個所では、透明基板 26 との間に空気層 Air を介することになる。

40

この透明基板 26 を設けることで、全反射面である光学面 23b、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 24、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 25 を保護することができる。

図 12 及び図 13 に、干渉縞が記録された反射型体積ホログラムグレーティング 24、反射型体積ホログラムグレーティング 25 の様子をそれぞれ示す。

図 12 及び図 13 に示すように、反射型体積ホログラムグレーティング 24, 25 には、赤色光、緑色光、青色光を主に回折反射する 3 種類の干渉縞、すなわち、赤色光用干渉縞 24R, 緑色光用干渉縞 24G, 青色光用干渉縞 24B が、多重化して記録されている。この 3 種類の干渉縞は、ホログラム表面 24S, 25S におけるグレーティングピッチが、それぞれ種類別に均等なピッチとなり、相互には異なるピッチとなるように記録され

50

ている。

なお、反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 , 2 5 は、図 1 2 及び図 1 3 に示すように 3 種類の干渉縞が 1 層のホログラム層に多重化するように記録されていてもよいが、図示しないが、種類毎に、つまり、赤色光用干渉縞 2 4 R、緑色光用干渉縞 2 4 G、青色光用干渉縞 2 4 B をそれぞれ 1 層のホログラム層に記録し、干渉縞が記録された 3 層のホログラム層を積層するように構成することもできる。

図 1 2 に示すように反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 には、干渉縞 2 4 R , 2 4 G , 2 4 B が同一のスラント角で、それぞれ同一ピッチ、つまり位置に関わらず均等なピッチで複数記録されている。図 1 3 に示す反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 も同様に、干渉縞 2 5 R , 2 5 G , 2 5 B が同一のスラント角で、それぞれ同一ピッチにて複数記録されている。したがって、反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 , 2 5 は、それぞれの干渉縞が光学面 2 3 b と垂直な平面に対して対称となるように、導光板 2 3 の光学面 2 3 b 上に配置されていることになる。

10

導光板 2 3 の光入射口 2 3 a 1 から入射した平行光束群は、上述した反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 に入射され、それぞれの平行光束が平行光束のまま、各色光とも、ほぼ同一角度で回折反射される。回折反射された平行光束群は、導光板 2 3 の光学面 2 3 a , 2 3 b との間で全反射を繰り返しながら進行し、上述した反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 に入射することになる。

導光板 2 3 の長手方向の長さ及び光学面 2 3 a - 光学面 2 3 b 間の厚みは、このときに内部を全反射しながら進行する平行光束群が、各画角によって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 に到達するまでの全反射回数に違いがでるような光路長となるように、薄型化され、長手方向の長さも十分な長さとなるように設計されている。

20

具体的には、導光板 2 3 に入射する平行光束群のうち、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 側へ傾きながら入射する平行光束、つまり入射角が大きな平行光束の反射回数は、それとは、逆に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 側へあまり傾かずに入射する平行光束、つまり入射角が小さな平行光束の反射回数と比較して少なくなっている。これは、導光板 2 3 に入射した平行光束群は、それぞれ画角の異なる平行光束となって入射されるためである。つまり、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 への入射角度も異なることから、それぞれ異なる回折角で射出されることで、各平行光束の全反射角も異なっているため、導光板 1 3 を、薄型化し、長手方向の長さを十分確保することで、全反射する回数に違いが顕著にでることになる。

30

第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 に入射した各画角の平行光束は、回折反射されることで全反射条件からはずれ、導光板 2 3 の光射出口 2 3 a 2 から射出され、観察者の瞳 1 6 に入射する。

このように、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 は、記録された干渉縞が、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 の干渉縞をホログラム面内で 1 8 0 度回転させた形状と同じになるように、導光板 2 3 の光学面 2 3 b 上に設置されている。したがって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 で反射される平行光束群は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 への入射角と等しい角度で反射されることになるため、表示画像がぼけることなく高い解像度で瞳 1 6 へ表示されることになる。

40

この虚像表示装置 2 0 は、レンズ効果のない第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 , 第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 を備えることで、単色偏心収差、回折色収差を排除低減することができる。

なお、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 4 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 2 5 とは、導光板 2 3 の光学面 2 3 b に対して各ホログラム面 2 4 S , 2 5 S が平行となるように配置されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、ホログラム面 2 4 S , 2 5 S が、それぞれ光学面 2 3 b に対して所定の角度を持つように配置させることもできる。

{ 第 3 の実施の形態 }

図 1 4 に、第 3 実施の形態として示す虚像表示装置 4 0 を示す。第 3 の実施の形態とし

50

て示す虚像表示装置 40 は、第 2 の実施の形態として示す虚像表示装置 20 と同様にカラー画像の虚像を表示する。なお、図 14 に示す本実施の形態では、図面の見やすさを優先させるために中心画角光線のみを図示している。

虚像表示装置 40 は、第 2 の実施の形態でも用いた照明光学系 30 と、照明光学系 30 から照明された照明光を入射して観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

虚像光学系は、コリメート光学系 22 と、コリメート光学系 22 から射出された平行光束を反射する反射ミラー 45 と、反射ミラー 45 で反射された平行光束を空間変調する MEMS (Micro Electro Mechanical System) ミラー 41 と、MEMS ミラー 41 で空間変調された照明光を入射する導光板 43 と、導光板 43 に設けられた第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 44 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 45 とを備える。なお、照明光学系 30、コリメート光学系 22 については、既に説明をしたので詳細な説明を省略する。

ここで、MEMS ミラー 41 は、具体的に平行光束を水平走査及び垂直走査することで、互いに進行方位の異なる平行光束群とする走査光学系として機能する。

照明光学系 30 から射出された白色光は、虚像光学系への照明光としてコリメート光学系 22 へ射出され、平行光束とされて反射ミラー 45 に射出される。

反射ミラー 45 は、固定的に設置されており、コリメート光学系 22 から射出された平行光束を、MEMS ミラー 41 に射出する。

MEMS ミラー 41 は、半導体製造技術を用いて作成された機能素子であり、入射された平行光束を空間変調する空間変調素子である。MEMS ミラー 41 は、2 次元方向に自在に可動し、紙面に垂直な方向、紙面に平行な方向へ平行光を走査するように入射された平行光束を反射することで空間変調を行い、画像を形成する。MEMS ミラー 41 は、図示しないマイクロコンピュータによって、表示させる画像に応じて駆動制御される。

MEMS ミラー 41 に射出された平行光束は、平行光束のまま、紙面に垂直な方向、紙面に平行な方向に走査されながら、互いに進行方位の異なる平行光束群として導光板 43 に向けて反射される。

導光板 43 は、MEMS ミラー 41 で反射され射出された平行光束群を入射する光入射口 43b1 を一方端部に有する光学面 43b と、この光学面 43b に対向する面であり、光学面 43b が有する光入射口 43b1 と逆側の端部に光を射出する光射出口 43a1 を有する光学面 43a とを主面とする薄型の平行平板な導光板である。

導光板 43 の光学面 43a には、光学面 43b の光入射口 43b1 と対向する位置に第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 44 が設けられ、光学面 43b には、光学面 43a の光射出口 43a1 と対向する位置に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 45 が設けられている。

図 15 及び図 16 に、干渉縞が記録された第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 44、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 45 の様子をそれぞれ示す。この第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 44、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 45 は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 44 の導光板 43 への設置位置が異なるだけで、図 12 及び図 13 を用いて説明した、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 24、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 25 と全く同じ構成である。

図 15 及び図 16 に示すように、反射型体積ホログラムグレーティング 44、45 には、赤色光、緑色光、青色光を主に回折反射する 3 種類の干渉縞である赤色光用干渉縞 44R、緑色光用干渉縞 44G、青色光用干渉縞 44B が、多重化して記録されている。この 3 種類の干渉縞は、ホログラム表面におけるグレーティングピッチが、それぞれ種類別には均等なピッチとなり、相互には異なるピッチとなるように記録されている。

なお、反射型体積ホログラムグレーティング 44、45 は、図 15 及び図 16 に示すように 3 種類の干渉縞が 1 層のホログラム層に多重化するように記録されていてもよいが、種類毎に、つまり、赤色光用干渉縞 44R、緑色光用干渉縞 44G、青色光用干渉縞 44B をそれぞれ 1 層のホログラム層に記録し、干渉縞が記録された 3 層のホログラム層を積層するように構成することもできる。

10

20

30

40

50

図 1 5 に示すように第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 4 には、干渉縞 4 4 R , 4 4 G , 4 4 B が同一のスラント角で、それぞれ同一ピッチ、つまり位置に関わらず均等なピッチで複数記録されている。図 1 6 に示す第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 も同様に、干渉縞 4 5 R , 4 5 G , 4 5 B が同一のスラント角で、それぞれ同一ピッチにて複数記録されている。

導光板 4 3 の光入射口 4 3 b 1 から入射した平行光束群は、上述した第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 4 に入射され、それぞれの平行光束が平行光束のまま、各色光とも、ほぼ同一角度で回折反射される。回折反射された平行光束群は、導光板 4 3 の光学面 4 3 a , 4 3 b との間で全反射を繰り返しながら進行し、上述した第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 に入射することになる。

10

導光板 4 3 の長手方向の長さ及び光学面 4 3 a - 光学面 4 3 b 間の厚みは、このときに内部を全反射しながら進行する平行光束群が、各画角によって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 に到達するまでの全反射回数に違いがでるような光路長となるように、薄型化され、長手方向の長さも十分な長さとなるように設計されている。

具体的には、導光板 4 3 に入射する平行光束群のうち、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 側へ傾きながら入射する平行光束、つまり入射角が大きな平行光束の反射回数は、それとは、逆に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 側へあまり傾かずに入射する平行光束、つまり入射角が小さな平行光束の反射回数と比較して少なくなっている。これは、導光板 4 3 に入射する平行光束群は、それぞれ画角の異なる平行光束となって入射されるためである。つまり、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 4 への入射角度も異なることから、それぞれ異なる回折角で射出されることで、各平行光束の全反射角も異なっているため、導光板 1 3 を、薄型化し、長手方向の長さを十分確保することで、全反射する回数に違いが顕著にでることになる。

20

第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 に入射した各画角の平行光束は、回折反射されることで全反射条件からはずれ、導光板 4 3 の光射出口 4 3 a 1 から射出され、観察者の瞳 1 6 に入射する。

このように、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 は、記録された干渉縞が、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 4 の干渉縞をホログラム面内で 3 6 0 度回転させた形状と同じになるように、導光板 4 3 の光学面 4 3 b 上に設置されている。したがって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 で反射される平行光束群は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 4 への入射角と等しい角度で反射されることになるため、表示画像がぼけることなく高い解像度で瞳 1 6 へ表示されることになる。

30

この虚像表示装置 4 0 は、レンズ効果のない第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 4 , 第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 を備えることで、単色偏心収差、回折色収差を排除低減することができる。

なお、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 4 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 4 5 とは、導光板 4 3 の光学面 4 3 a , 4 3 b に対して各ホログラム面 4 4 S , 4 5 S がそれぞれ平行となるように配置されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、ホログラム面 4 4 S , 4 5 S が、それぞれ光学面 4 3 a , 4 3 b に対して所定の角度を持つように配置させることもできる。

40

#### { 第 4 の実施の形態 }

図 1 7 に、第 4 の実施の形態として示す虚像表示装置 6 0 を示す。第 4 の実施の形態として示す虚像表示装置 6 0 は、カラー画像の虚像を表示する。なお、図 1 7 に示す本実施の形態では、図面の見やすさを優先させるために中心画角光線のみを図示している。

虚像表示装置 6 0 は、照明光学系 7 0 と、照明光学系 7 0 からの照明光を空間変調する空間変調素子 6 1 と、空間変調素子 6 1 で空間変調された照明光を入射して、観察者の瞳 1 6 へと導く虚像光学系とを備えている。

照明光学系 7 0 は、赤色光を射出するレーザ光源 7 1 R と、緑色光を射出するレーザ光源 7 1 G と、青色光を射出するレーザ光源 7 1 B と、色合成プリズム 7 2 と、カップリング光学系 7 3 と、スペckル低減手段 7 4 と、光ファイバ 7 5 と、コンデンサレンズ 7 6

50

とを備えている。

レーザ光源 7 1 R , 7 1 G , 7 1 B から射出された赤色光、緑色光、青色光は、クロスプリズムである色合成プリズム 3 2 によって白色光へと混色され、スペックル低減手段 7 4 を介し、カップリング光学系 7 3 によって光ファイバ 7 5 内に取り込まれる。光ファイバ 7 5 内を伝送され射出された白色光は、コンデンサレンズ 7 6 を介して、空間変調素子 6 1 を照明する。

空間変調素子 6 1 は、例えば、透過型の液晶ディスプレイなどであり、入射された照明光を画素毎に空間変調することになる。この空間変調された照明光は、虚像光学系へ入射される。

虚像光学系は、コリメート光学系 6 2 と、導光板 6 3 と、導光板 6 3 に設けられた第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 4 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 とを備える。

コリメート光学系 6 2 は、空間変調素子 6 1 で空間変調された照明光を入射して、互いに画角の異なる平行光束群とする光学系である。コリメート光学系 6 2 から射出された平行光束群は、それぞれ導光板 6 3 に入射される。

導光板 6 3 は、コリメート光学系 6 2 から射出された平行光束群を入射する光入射口 6 3 a 1 を一方端部に有し、他方端部に光を射出する光射出口 6 3 a 2 を有する光学面 6 3 a と、この光学面 6 3 a に対向する光学面 6 3 b とを主面とする薄型の平行平板な導光板である。

導光板 6 3 の光学面 6 3 b には、光学面 6 3 a の光入射口 6 3 a 1 と対向する位置に第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 4 が設けられ、光学面 6 3 a の光射出口 6 3 a 2 と対向する位置に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 が設けられている。

図 1 8 及び図 1 9 に、干渉縞が記録された反射型体積ホログラムグレーティング 6 4 、反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 の様子をそれぞれ示す。

図 1 8 及び図 1 9 に示すように、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 4 、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 は、それぞれ 3 層のホログラム層 6 4 A , 6 4 B , 6 4 C 、ホログラム層 6 5 A , 6 5 B , 6 5 C が積層されて形成されている。この反射型体積ホログラムグレーティングを形成する各ホログラム層は、それぞれ主に赤色光、緑色光、青色光を回折反射する干渉縞を記録している。例えば、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 4 のホログラム層 6 4 A には、主に赤色光を回折反射する干渉縞が記録され、ホログラム層 6 4 B には、主に緑色光を回折反射する干渉縞が記録され、ホログラム層 6 4 C には、主に青色光を回折反射する干渉縞が記録されている。第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 も同様である。

また、各ホログラム層に記録された干渉縞は、第 1 の実施の形態で示した第 1 の反射型ホログラムグレーティング 1 4 、第 2 の反射型ホログラムグレーティング 1 5 に記録された干渉縞のように、各ホログラム層が回折反射を担う波長帯域の平行光束に対して、回折受容角が広がるようにするため、スラント角が異なる 3 種類の干渉縞を、ホログラム表面において、それぞれ同一ピッチとなるように多重化して記録している。

また、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 4 、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 は、以下に示すような構成であってもよい。これを、図 2 0 に示す第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 を用いて説明をする。なお、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 4 については図示しないが全く同様の構成となる。

図 2 0 に示す、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 は、3 層のホログラム層 6 5 D , 6 5 E , 6 5 F が積層されて形成されている。この第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 を形成する各ホログラム層は、それぞれ回折受容波長範囲を広くするために、波長帯域の異なる光を回折反射する 3 種類の干渉縞が多重化して記録されている。この 3 種類の干渉縞は、ホログラム表面におけるグレーティングピッチが、それぞれ種類別には、均等なピッチとなり、相互には異なるピッチとなるように記録されている。つまり、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 6 5 の各ホログラム層には、上述し

10

20

30

40

50

た第2の実施の形態で用いられている第1の反射型体積ホログラムグレーティング24, 25と同様な干渉縞が記録されている。

また、ホログラム層65D, 65E, 65Fに記録された干渉縞のスラント角 d, e, f は、ホログラム層内では全く同一であるが、回折受容角を広げるために、ホログラム層間では、互いに異なる角度となっている。

導光板63の光入射口63a1から入射した平行光束群は、上述した第1の反射型体積ホログラムグレーティング64に入射され、回折反射される。回折反射された平行光束群は、導光板63の光学面63a, 63bとの間で全反射を繰り返しながら進行し、上述した第2の反射型体積ホログラムグレーティング65に入射することになる。

導光板63の長手方向の長さ及び光学面63a - 光学面63b間の厚みは、このときに内部を全反射しながら進行する平行光束が、各画角によって、第2の反射型体積ホログラムグレーティング65に到達するまでの全反射回数に違いがでるような光路長となるように、薄型化され、長手方向の長さも十分な長さとなるように設計されている。

具体的には、導光板63に入射する平行光束のうち、第2の反射型体積ホログラムグレーティング65側へ傾きながら入射する平行光束、つまり入射角が大きな平行光束の反射回数は、それとは、逆に第2の反射型体積ホログラムグレーティング65側へあまり傾かずに入射する平行光束、つまり入射角が小さな平行光束の反射回数と比較して少なくなっている。これは、導光板63に入射した平行光束は、それぞれ画角の異なる平行光束となって入射されるためである。つまり、第1の反射型体積ホログラムグレーティング64への入射角度も異なることから、それぞれ異なる回折角で射出されることで、各平行光束の全反射角も異なっているため、導光板63を、薄型化し、長手方向の長さを十分確保することで、全反射する回数に違いが顕著にでることになる。

第2の反射型体積ホログラムグレーティング65に入射した各画角の平行光束は、回折反射されることで全反射条件からはずれ、導光板63の光射出口63a2から射出され、観察者の瞳16に入射する。

このように、第2の反射型体積ホログラムグレーティング65は、記録された干渉縞が、第1の反射型体積ホログラムグレーティング64の干渉縞をホログラム面内で180度回転させた形状と同じになるように、導光板63の光学面63b上に設置されている。したがって、第2の反射型体積ホログラムグレーティング65で反射される平行光束群は、第1の反射型体積ホログラムグレーティング64への入射角と等しい角度で反射されること

になるため、表示画像がぼけることなく高い解像度で瞳16へ表示されることになる。この虚像表示装置60は、レンズ効果のない第1の反射型体積ホログラムグレーティング64, 第2の反射型体積ホログラムグレーティング65を備えることで、単色偏心収差、回折色収差を排除低減することができる。

なお、第1の反射型体積ホログラムグレーティング64と、第2の反射型体積ホログラムグレーティング65とは、導光板63の光学面63bに対して各ホログラム面64S, 65Sがそれぞれ平行となるように配置されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、ホログラム面64S, 65Sが、それぞれ光学面43bに対して所定の角度を持つように配置させることもできる。

{ 第5の実施の形態 }

図21に、第5の実施の形態として示す虚像表示装置80を示す。虚像表示装置80は、画像を表示する画像表示素子81と、画像表示素子81で表示された表示光を入射して、観察者の瞳16へと導く虚像光学系とを備えている。

画像表示素子81は、例えば、有機EL (Electro Luminescence) ディスプレイ、無機ELディスプレイや、液晶ディスプレイ (LCD: Liquid Crystal Display) などである。

虚像光学系は、コリメート光学系82と、ホログラム層84を内部に有する導光板83とを備える。

コリメート光学系82は、画像表示素子81の各画素から射出された光束を入射して、互いに画角の異なる平行光束群とする光学系である。コリメート光学系82から射出され

10

20

30

40

50

た、互いに画角の異なる平行光束群は、それぞれ導光板 8 3 に入射される。

導光板 8 3 は、ホログラム層 8 4 を透明基板 8 3 A、8 3 B で挟み込んだ構造となっている。導光板 8 3 は、コリメート光学系 8 2 から射出された互いに画角の異なる平行光束群を入射する光入射口 8 3 a 1 を一方端部に有し、他方端部に光を射出する光射出口 8 3 a 2 を有する光学面 8 3 a と、この光学面 8 3 a に対向する光学面 8 3 b とを主面とする薄型の平行平板な導光板である。

導光板 8 3 の光学面 8 3 a、8 3 b には、当該光学面 8 3 a、8 3 b をそれぞれ保護するための保護シート 8 5、8 6 が設けられている。また、光学面 8 3 b に設けられた保護シート 8 6 には、導光板 8 3 の光入射口 8 3 a 1 と同じ位置に、画像表示素子 8 1 で表示されコリメート光学系 8 1 で拡大された拡大像が導光板 8 3 外への漏れ出て、光利用効率が低下するのを防止するための遮光板 8 7 が設けられている。

10

ホログラム層 8 4 は、光入射口 8 3 a 1 に対応する位置に第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 a が形成され、光射出口 8 3 a 2 に対応する位置に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c が形成されている。それ以外の部分は、干渉縞が記録されていない干渉縞無記録領域 8 4 b である。

第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 a、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c には、ホログラム表面のピッチが均等である干渉縞が記録されている。また、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c は、位置によって回折効率が異なっている。第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c は、光入射口 8 3 a 1 に近い側の位置の回折効率を低くし、光入射口 8 3 a 2 から遠い側の位置の回折効率を高くし、複数回回折反射をできるようにしている。

20

導光板 8 3 の光入射口 8 3 a 1 から入射した互いに画角の異なる平行光束群は、上述した第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 a に入射され、それぞれの平行光束が平行光束のまま回折反射される。回折反射された平行光束群は、導光板 8 3 の光学面 8 3 a、8 3 b との間で全反射を繰り返しながら進行し、上述した第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c に入射することになる。

導光板 8 3 の長手方向の長さ及び光学面 8 3 a - 光学面 8 3 b 間の厚みは、このときに内部を全反射しながら進行する互いに画角の異なる平行光束群が、各画角によって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c に到達するまでの全反射回数に違いがでるような光路長となるように、薄型化され、長手方向の長さも十分な長さとなるように設計されている。

30

具体的には、導光板 8 3 に入射する平行光束群のうち、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c 側へ傾きながら入射する平行光束群、つまり入射角が大きな平行光束群の反射回数は、それとは、逆に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c 側へあまり傾かずに入射する平行光束群、つまり入射角が小さな平行光束群の反射回数と比較して少なくなっている。これは、導光板 8 3 に入射した平行光束群は、それぞれ画角の異なる平行光束群となって入射されるためである。つまり、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 a への入射角度も異なることから、それぞれ異なる回折角で射出されることで、各平行光束群の全反射角も異なっているため、導光板 8 3 を、薄型化し、長手方向の長さを十分確保することで、全反射する回数に違いが顕著にでることになる。

40

第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c に入射した各画角の平行光束は、回折反射されることで全反射条件からはずれ、導光板 8 3 の光射出口 8 3 a 2 から射出され、観察者の瞳 1 6 に入射する。

本実施の形態に示すように、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 a の回折効率を位置によって変化させると、瞳径、つまり観察者の虚像観察可能範囲を拡大することができる。

具体的には、例えば、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 8 4 c の回折効率を光入射口 8 3 a 1 に近い側の位置 8 4 c 1 で 40% とし、光入射口 8 3 a 2 に遠い側の位置 8 4 c 2 で 70% とすると、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティングに 1 回目に入射する平行光束群は、位置 8 4 c 1 で 40% が回折反射され、60% が透過することにな

50



る。透過した平行光束群は、導光板 83 で内部全反射をして、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 84c の位置 84c2 に入射することになる。

位置 84c2 の回折効率は、70% であるため、1 回目の第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 84c への入射で、60% の平行光束群が透過していることから  $0.6 \times 0.7 = 0.42$ 、つまり、位置 84c2 では、42% の平行光束群が回折反射されることになる。このように、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 84c の位置によって回折効率を適切に変化させることで、光射出口 83a2 から射出される射出光の光量バランスを保つことができる。したがって、ホログラム層 84 において、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 84c の干渉縞を記録する領域を増加させれば容易に虚像観察可能範囲を拡大することができる。

10

また、この虚像表示装置 80 は、レンズ効果のない第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 84a、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 84c を備えることで、単色偏心収差、回折色収差を排除低減することができる。

#### { 第 6 の実施の形態 }

図 22 に、第 6 の実施の形態として示す虚像表示装置 90 を示す。虚像表示装置 90 は、画像を表示する画像表示素子 91 と、画像表示素子 91 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

画像表示素子 91 は、例えば、有機 EL (Electro Luminescence) ディスプレイ、無機 EL ディスプレイや、液晶ディスプレイ (LCD: Liquid Crystal Display) などである。

20

虚像光学系は、コリメート光学系 92 と、導光板 93 と、導光板 93 に設けられた第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 とを備える。

コリメート光学系 92 は、画像表示素子 91 の各画素から射出された光束を入射して、互いに画角の異なる平行光束群とする光学系である。コリメート光学系 92 から射出された、互いに画角の異なる平行光束群は、それぞれ導光板 93 に入射される。

導光板 93 は、コリメート光学系 92 から射出された互いに画角の異なる平行光束群を入射する光入射口 93a1 を一方端部に有し、他方端部に光を射出する光射出口 93a2 を有する光学面 93a と、この光学面 93a に対向する光学面 93b とを主面とする薄型の平行平板な導光板である。

30

導光板 93 の光学面 93b には、光学面 93a の光入射口 93a1 と対向する位置に第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94 が設けられ、光学面 93a の光射出口 93a2 と対向する位置に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 が設けられている。

第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 については、後で詳細に説明をする。

導光板 93 の光入射口 93a1 から入射した互いに画角の異なる平行光束群は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94 に入射され、それぞれの平行光束が平行光束のまま回折反射される。回折反射された平行光束群は、導光板 93 の光学面 93a、93b との間で全反射を繰り返しながら進行し、上述した第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 に入射することになる。

40

導光板 93 の長手方向の長さ及び光学面 93a - 光学面 93b 間の厚みは、このときに内部を全反射しながら進行する互いに画角の異なる平行光束群が、各画角によって、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 に到達するまでの全反射回数に違いがでるような光路長となるように、薄型化され、長手方向の長さも十分な長さとしてされている。

具体的には、導光板 93 に入射する平行光束群のうち、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 側へ傾きながら入射する平行光束群、つまり入射角が大きな平行光束群の反射回数は、それとは、逆に第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 側へあまり傾かずに入射する平行光束群、つまり入射角が小さな平行光束群の反射回数と比較して少なくなっている。これは、導光板 93 に入射した平行光束群は、それぞれ画角の異なる

50

平行光束群となって入射されるためである。つまり、第1の反射型体積ホログラムグレーティング94への入射角度も異なることから、それぞれ異なる回折角で射出されることで、各平行光束群の全反射角も異なっているため、導光板93を、薄型化し、長手方向の長さを十分確保することで、全反射する回数に違いが顕著にでることになる。

第2の反射型体積ホログラムグレーティング95に入射した各画角の平行光束は、回折反射されることで全反射条件からはずれ、導光板93の光射出口93a2から射出され、観察者の瞳16に入射する。

続いて、第1の反射型体積ホログラムグレーティング94、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95について説明をする。

第1の反射型体積ホログラムグレーティング94は、図示しないが、上述した第4の実施の形態において、図18を用いて説明した第1の反射型体積ホログラムグレーティング64と全く同じ構成となっている。したがって、第1の反射型体積ホログラムグレーティング94は、広画角化のために、互いにスラント角は異なるが、ホログラム表面では、均等な干渉縞ピッチを有する3つの干渉縞を多重化したホログラム層を、赤色光、緑色光、青色光を回折反射するために干渉縞のピッチを変えて、3層に積層してなる。

これにより、第1の反射型体積ホログラムグレーティング94は、画像表示素子91から射出され、コリメート光学系92でコリメートされた水平画角 $\pm 10$ 度程度の平行光束を、導光板93の全反射条件を満たすように回折反射することができる。

第1の反射型体積ホログラム94で回折反射された平行光束群は、それぞれ異なる全反射角度で導光板93内を導光することになる。その結果、上述したように、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95に入射する平行光束の入射角は、それぞれ異なることになる。

図23に、第1の反射型体積ホログラムグレーティング94で回折反射され、導光板93内を内部全反射し、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95に入射された平行光束群の様子を示す。第2の反射型体積ホログラムグレーティング95に入射される各平行光束は、図23に示すように、入射位置によって異なる入射角となっている。

具体的には、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95において、第1の反射型体積ホログラムグレーティング94に近い側の位置には、大きな全反射角で内部全反射をして導光された平行光束LLである内部全反射回数が少ない画角の平行光束と、小さな全反射角で内部全反射して導光された平行光束LSである内部反射回数が多い画角の平行光束とが共に入射している。

なお、図23中破線で示す平行光束は、大きな全反射角で内部全反射をして導光された平行光束LLと小さな全反射角で内部全反射して導光された平行光束LSとの中間の全反射角で内部全反射して導光された平行光束LMを示す。

一方、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95において、第1の反射型体積ホログラムグレーティング94から遠い側の位置には、小さな全反射角で内部全反射をして導光された平行光束LSが主に入射している。

つまり、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95は、平行光束の入射位置毎に入射される平行光束の入射角がある程度決まることになる。例えば、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95において、第1の反射型ホログラムグレーティング94のように、ある程度の角度範囲を持って入射される平行光束を、どの位置でも均等に回折反射するような干渉縞を記録した構成とすると、瞳径を拡大する場合には有効であるが、ある程度の大きさの瞳径で固定させた場合には、観察者の瞳16に入射される光量が少なくなり、非常に暗い表示画像が観察者に提供されてしまうといった問題がある。

そこで、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95は、平行光束の入射位置に応じて入射される平行光束の入射角が異なることを利用して、入射位置に対応する入射角で入射された平行光束の回折効率が最も高くなるような干渉縞を記録する構成としている。

例えば、第2の反射型体積ホログラムグレーティング95は、図24に示すような干渉縞がそれぞれ記録された、3層のホログラム層95A、95B、95Cを積層して構成されている。この3層のホログラム層95A、95B、95Cは、それぞれ主に赤色光、緑

10

20

30

40

50

色光、青色光のいずれかを回折反射するように、干渉縞のグレーティングピッチが異なる干渉縞が記録されている。

続いて、図 25 を用いて、図 24 で示した第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 のホログラム層 95C に記録された干渉縞について詳細に説明をする。なお、ホログラム層 95A, 95B に記録された干渉縞は、ホログラム層 95C に記録された干渉縞と、グレーティングピッチが異なっているだけなので、説明を省略する。図 25 に示すホログラム層 95C では、導光板 93 に設置した際に、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94 に近くなる側を R 側とし、逆側を L 側とする。

ホログラム層 95C の R 側は、入射角が大きな平行光束に対して、回折効率が大きくなるように、スラント角 R が小さい干渉縞 95R が R 領域まで記録されている。また、L 側は、入射角が小さな平行光束に対して、回折効率が大きくなるように、スラント角 L が大きい干渉縞 95L が L 領域まで記録されている。また、R 側と、L 側の間である M 領域には、スラント角 R と、スラント角 L との中間の角度のスラント角 M である干渉縞 95M が記録されている。

干渉縞 95R, 95L, 95M は、それぞれスラント角が異なっているが、ホログラム表面 95CS のグレーティングピッチを必ず全て等しくする。このように、全ての干渉縞のグレーティングピッチを揃えないと、同一波長同一入射角で入射される平行光線は、異なる回折角で回折反射されることになり、このような平行光線が観察者の瞳 16 に到達した場合、解像力の劣化した、ぼやけた映像となってしまう。

ホログラム層 95A, 95B にそれぞれ記録された干渉縞も、ホログラム層 95C に記録された干渉縞と同じように、スラント角の異なる 3 種類の干渉縞が記録されており、グレーティングピッチだけが、ホログラム層 95C で主に回折反射をする波長帯域とは、異なる波長帯域の平行光束を回折反射するために変更されている。

図 25 に示したホログラム層 95C は、1 つのホログラム層に 3 種類の干渉縞が多重化されて記録されていたが、図 26 に示すように、干渉縞 95R, 95L, 95M をそれぞれ単独のホログラム層に記録し、それを積層化するようにしても全く同じ効果を得ることができる。

図 26 に示すホログラム層 95C は、ホログラム層 95CR, 95CL, 95CM に、それぞれ干渉縞 95R, 95L, 95M が単独で記録されており、左右に並べられたホログラム層 95CR と、ホログラム層 95CL の中間位置にホログラム層 95CM が積層されている。

上述したように、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 を構成する各ホログラム層の領域 R、領域 L、領域 M にそれぞれ記録する干渉縞のスラント角を変えることで、入射される平行光束の入射角に応じて回折効率を最大にすることができる。そこで、平行光束の入射角に応じて、回折効率を最大とする干渉縞のスラント角について、図 27 に示すような反射型体積ホログラムグレーティング 96 を一例として示し、詳細に説明をする。

なお、説明にあたっては、図 27 に示す反射型体積ホログラムグレーティング 96 を、図 25 に示す虚像表示装置 90 の第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 に代えて設置し、反射型体積ホログラムグレーティングが可逆の性質を有することを利用して、観察者の瞳 16 側から光線追跡をしたとして説明を行う。つまり、仮想的に設けた画像表示素子から射出され表示光を、コリメート光学系によって水平画角  $\pm 10$  度程度の平行光束にコリメートし、図 27 に示す反射型体積ホログラムグレーティング 96 に入射させたとして説明を行う。この場合、反射型体積ホログラムグレーティング 96 の入射光が、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 の回折反射光に相当し、反射型体積ホログラムグレーティング 96 の回折反射光が、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 の入射光に相当する。

このように、水平画角  $\pm 10$  度程度の平行光束が、反射型体積ホログラムグレーティング 96 に入射された場合において、入射された全ての平行光束を導光板 93 の内部全反射条件を満たすように回折反射させるためには、入射角が 0 度である中心画角の平行光束 L

10

20

30

40

50

pを入射させた場合に、回折反射角が55～60度となる必要がある。

つまり、入射角が0度の平行光束Lpが入射された場合の回折反射角を55～60度以外とすると、±10度程度の範囲内で0度以外の角度で入射された一部の平行光束は、導光板93の全反射条件を満たさないような角度で回折反射されてしまうことになる。

図27に示す、反射型体積ホログラムグレーティング96のホログラム領域96Mには、このように入射角が0度である平行光束Lpが入射された場合に、回折反射角kが55～60度となるような回折反射を行う干渉縞が記録されているとする。なお、回折反射角kは、図27に示すように、座標定義上、射出回折角sとして表され、120～125度となる。

このような干渉縞が記録されているホログラム領域96Mの入射角rと、射出回折角sとは、入射される平行光束の波長をλ、干渉縞のホログラム表面におけるグレーティングピッチをpとした場合に、(1)式のように表すことができる。

$$\sin s = \sin r + \lambda / p \cdots (1)$$

また、記録された干渉縞のグレーティングピッチpが、(1)式を満たす場合に、平行光束が入射角rで入射され、射出回折角sで回折反射されるとき回折効率を最大とするような干渉縞のスラント角θは、ブラッグ条件から、(2)式のように表すことができる。

$$\theta = (s + r) / 2 \cdots (2)$$

入射角rで入射されて、射出回折角sで回折反射された平行光束の回折効率が最大となるのは、干渉縞で鏡面反射された場合であるので、スラント角θは、(2)式に示すようになる。

ところで、図6に示したように、一般に反射型体積ホログラムグレーティングの回折効率を最大に保つ入射角許容範囲は、0±3度程度である。したがって、それ以上、又はそれ以下の入射角で入射される平行光束に対しても、最大の回折効率で回折反射させるためには、異なるスラント角を有する干渉縞を新たに記録させる必要がある。

このとき、新たに記録させる干渉縞のグレーティングピッチは、あらかじめ記録されている干渉縞のグレーティングピッチと同じにする必要がある。それぞれの干渉縞でグレーティングピッチを変えてしまうと、同一入射角、同一波長の平行光束が入射された場合に、それぞれの干渉縞で射出回折角が異なり、解像度を低下させてしまうことになる。

ここで、反射型体積ホログラムグレーティング96に、ホログラム領域96Mに記録されている干渉縞以外の干渉縞を記録させる場合を考える。具体的には、入射角c(±10度程度の範囲内)で、波長λの平行光束が入射された場合に、射出回折角c'とするような干渉縞を新たに記録させるとする。新たに記録させる干渉縞のグレーティングピッチは、上述したようにあらかじめホログラム領域96Mに記録されている干渉縞のグレーティングピッチpに合わせる必要がある。

このとき、射出回折角c'は、上述した(1)式より、 $\sin c' = \sin c + \lambda / p$  :  $(\lambda / p = C)$  となり、(3)式のように表すことができる。

$$c' = \arcsin(\sin c + C) \cdots (3)$$

このとき、回折効率を最大にするスラント角θは、(2)式より、 $\theta = (c' + c) / 2$  となるため、(3)式を用いて、(4)式のように表すことができる。

$$\theta = \{ \arcsin(\sin c + C) + c \} / 2 \cdots (4)$$

但し、 $C = \lambda / p$

図28に、(4)式を用いて、入射角cを±10度の角度範囲で変化させた際に、回折効率を最大とするスラント角θの値をプロットした図を示す。グレーティングピッチpは、(1)式から求めることができる。図28に示す点線Aは、入射角r=0度、射出回折角s=125度としてグレーティングピッチpを決めた際の、入射角cに対する回折効率を最大にするスラント角θの様子を示している。また、図28に示す実線Bは、入射角r=0度、射出回折角s=120度としてグレーティングピッチpを決めた際の、入射角cに対する回折効率を最大にするスラント角θの様子を示している。

図 28 に示すように、回折効率を最大にするスラント角  $c$  は、マイナス方向の画角で入射された平行光束では大きくなり、プラス方向の画角で入射された平行光束では小さくなっていることが分かる。

例えば、図 27 に示すように、反射型体積ホログラムグレーティング 96 のホログラム領域 96R に、ホログラム領域 96M に記録させた干渉縞よりもスラント角  $c$  を小さくした干渉縞を、グレーティングピッチ  $p$  で記録させると、プラス方向の画角で入射された平行光束の回折効率を最大にすることができる。

また、反射型体積ホログラムグレーティング 96 のホログラム領域 96L に、ホログラム領域 96M に記録させた干渉縞よりもスラント角  $c$  を大きくした干渉縞を、グレーティングピッチ  $p$  で記録させると、マイナス方向の画角で入射された平行光束の回折効率を最大にすることができる。

10

したがって、図 24 に示す虚像表示装置 90 に設けられた第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 は、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94 に近い側の干渉縞のスラント角を小さくし、遠い側の干渉縞のスラント角を大きくすることで、非常に高い回折効率で回折反射をさせることができるため、所定の瞳径に対して虚像として提供される画像の光量を大幅に増加させることができる。

この虚像表示装置 90 は、レンズ効果のない第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 を備えることで、単色偏心収差、回折色収差を排除低減することができる。

なお、第 1 の反射型体積ホログラムグレーティング 94 と、第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 95 とは、導光板 93 の光学面 93b に対して各ホログラム面がそれぞれ平行となるように配置されているが、本発明はこれに限定されるものではなく、ホログラム面が、それぞれ光学面 93b に対して所定の角度を持つように配置させることもできる。

20

このように、第 1 乃至第 6 の実施の形態として示した各虚像表示装置は、それぞれが有する導光板を薄型化することができるため、頭部装着型の HMD (Head Mounted Display) とした場合にも装着者の、装置装着時の不快感を大幅に軽減させることができる。

なお、上述した第 1 乃至第 6 の実施の形態においては、導光板 13, 23, 43, 63, 83, 93 を全て薄型の平行平板として説明をしたが、本発明は、このような導光板の形状に限定されるものではなく、導光板を緩やかな曲面形状とした場合でも、平行平板と同等の効果をを得ることができる。

30

また、上述した第 1 乃至第 6 の実施の形態において、装置の小型化、軽量化を実現するためにコリメータ光学系を、例えば、反射型光学素子と光学レンズとを組み合わせるように構成してもよい。以下に、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、画像表示装置の解像力の向上、並びに装置全体の小型化、軽量化を実現する第 7 乃至第 15 の実施の形態について説明する。

#### { 第 7 の実施の形態 }

図 29 に、第 7 の実施の形態として示す画像表示装置 100 を示す。

画像表示装置 100 は、照明光源 101 と、照明光源 101 から出射された照明光を反射するとともに空間変調する反射型空間光変調素子 104 と、反射型空間光変調素子 104 で空間変調された照明光を入射して、観察者の瞳 16 へ導く虚像光学系とを備えている。

40

反射型空間光変調素子 104 は、例えば、反射型の液晶ディスプレイなどであり、入射された照明光を画素毎に空間変調する。この空間変調された照明光は、虚像光学系へ入射される。

虚像光学系は、コリメータ光学系と、導光板 120 と、導光板 120 に設けられた第 1 の反射型ホログラム素子 123 と、第 2 の反射型ホログラム素子 124 とを備える。

第 1 及び第 2 の反射型ホログラム素子 123, 124 は、例えば、上述した図 5, 図 6 及び図 7 に示す、第 1 及び第 2 の反射型体積ホログラムグレーティング 14, 15 と同様

50

の構成とされている。

なお、第１及び第２の反射型体積ホログラムグレーティング１２３，１２４は、上述した図８，図９及び図１０に示す、第１及び第２の反射型体積ホログラムグレーティング２４，２５と同様の構成としてもよく、また、上述した図１１，図１２及び図１３に示す、第１及び第２の反射型体積ホログラムグレーティング４４，４５と同様の構成としてもよく、さらに、上述した図１４，図１５及び図１６に示す、第１及び第２の反射型体積ホログラムグレーティング６４，６５と同様の構成としてもよく、また、上述した図２０，図２１及び図２４に示す、第１及び第２の反射型体積ホログラムグレーティング９４，９５，９６と同様の構成としてもよい。

コリメータ光学系は、反射型空間光変調素子１０４の反射光を反射する反射型光学素子として非球面凹面鏡１０７と、非球面凹面鏡１０７の反射する反射光を屈折する光学レンズとして非球面光学レンズ１０８と、反射型空間光変調素子１０４と非球面凹面鏡１０７との間に配置される偏光ビームスプリッタ（PBS）１１０と、偏光ビームスプリッタ１１０と非球面凹面鏡１０７との間に配置される１／４波長板１０５とを備え、反射型空間光変調素子１０４の反射面の任意の位置からの反射光を、平行光束群として光学レンズ１０８から射出する光学系である。

偏光ビームスプリッタ１１０は、例えば、Ｐ偏光を透過し、Ｓ偏光を反射する偏光選択手段として高分子フィルムからなる偏光選択性反射面１０３を有する。

照明光源１０１、反射型空間光変調素子１０４、非球面凹面鏡１０７及び非球面光学レンズ１０８は、それぞれ偏光ビームスプリッタ１１０の４つの光学面近傍又は密着して配置される。照明光源１０１と偏光ビームスプリッタ１１０の間には、偏光板１０２が設けられる。

照明光源１０１から射出した照明光は、偏光板１０２によって偏光ビームスプリッタ１１０の偏光選択性反射面１０３に対してＳ偏光となるように検波され、偏光選択性反射面１０３によってそのほとんどが反射される。反射された照明光は、反射型空間光変調素子１０４を照明し、ここで入射偏光方向がそのまま保存されて反射されるか、又は９０度回転されて反射される。

偏光方向が保存されて反射された場合には、この光束は再び偏光選択性反射面１０３によって反射され、照明光源１０１に向けて戻る。一方、偏光方向が９０度回転され、偏光選択性反射面１０３にとってＰ偏光となった光束は、偏光選択性反射面１０３を透過し、非球面凹面鏡１０７によって反射される。

このとき、非球面凹面鏡１０７と偏光ビームスプリッタ１１０の間には１／４波長板１０５が設けられており、非球面凹面鏡１０７によって反射された光束の偏光方向は９０度回転され、Ｓ偏光となって再び偏光選択性反射面１０３に入射するため、この偏光選択性反射面１０３にて反射される。この光束は、偏光ビームスプリッタ１１０を射出して非球面光学レンズ１０８を通して、導光板１２０に入射する。

導光板１２０に入射した光束は、第１の反射型ホログラム素子１２３にて導光板１２０内で全反射となるように回折反射され、導光板１２０内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた第２の反射型ホログラム素子１２４によって、全反射条件からはずれるように回折反射され導光板１２０から射出し、観察者の瞳１６に入射する。

このとき、反射型空間光変調素子１０４から射出した発散光は、非球面凹面鏡１０７と非球面光学レンズ１０８との組合せによって、像面湾曲の非常に少ない平行光束群となされている。

本発明を適用した画像表示装置１００は、反射型空間光変調素子１０４と、反射型空間光変調素子１０４で反射された光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として非球面凹面鏡１０７と光学レンズとして非球面光学レンズ１０８とを組み合わせる構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

10

20

30

40

50

## { 第 8 の実施の形態 }

図 30 に、第 8 の実施の形態として示す画像表示装置 130 を示す。

画像表示装置 130 は、照明光源 101 と、照明光源 101 から出射された照明光を画素毎に空間変調して画像を表示する画像表示素子として透過型液晶画像表示素子 134 と、透過型液晶画像表示素子 134 で空間変調された照明光を入射して、観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

透過型液晶画像表示素子 134 は、例えば、透過型の液晶ディスプレイなどであり、入射された照明光を画素毎に空間変調することになる。この空間変調された照明光は、虚像光学系へ入射される。

虚像光学系は、コリメート光学系と、導光板 120 と、導光板 120 に設けられた第 1 の反射型ホログラム素子 123 と、第 2 の反射型ホログラム素子 124 とを備える。

コリメート光学系は、透過型液晶画像表示素子 134 からの射出光を反射する第 1 の反射型光学素子として平面ミラー 139 と、平面ミラー 139 の反射する反射光を再び反射する第 2 の反射型光学素子として非球面凹面鏡 107 と、非球面凹面鏡 107 の反射する反射光を屈折する光学レンズとして非球面光学レンズ 108 と、平面ミラー 139 と非球面凹面鏡 107 と間に設けられる偏光ビームスプリッタ 110 と、平面ミラー 139 と偏光ビームスプリッタ 110 との間に設けられる第 1 の 1/4 波長板 135 と、偏光ビームスプリッタ 110 と非球面凹面鏡 107 との間に設けられる第 2 の 1/4 波長板 136 とを備え、透過型液晶画像表示素子 134 の画像表示面の任意の位置からの射出光を、平行光束群として光学レンズ 108 から射出する光学系である。

透過型液晶画像表示素子 134、平面ミラー 139、非球面凹面鏡 107 及び非球面光学レンズ 108 は、それぞれ偏光ビームスプリッタ 110 の 4 つの光学面近傍又は密着して配置される。透過型液晶画像表示素子 134 と偏光ビームスプリッタ 110 との間には、偏光板 102 が設けられる。

照明光源 101 から射出した照明光は、透過型液晶画像表示素子 134 を照明し、この透過型液晶画像表示素子 134 から射出した光束は、偏光板 102 によって偏光ビームスプリッタ 110 の偏光選択性反射面 103 に対して S 偏光となるように検波され、偏光選択性反射面 103 によってそのほとんどが反射される。

反射された照明光は、第 1 の 1/4 波長板 135 が密着された平面ミラー 139 によって反射され再び偏光選択性反射面 103 に入射する。このとき、第 1 の 1/4 波長板 135 によって P 偏光に変換されているため、このときには偏光選択性反射面 103 を透過し、非球面凹面鏡 107 によって反射される。

このとき、非球面凹面鏡 107 と偏光ビームスプリッタ 110 との間には第 2 の 1/4 波長板 136 が設けられており、非球面凹面鏡 107 によって反射された光束の偏光方向は 90 度回転され、S 偏光となって再び偏光選択性反射面 103 に入射するため、偏光選択性反射面 103 にて反射される。この光束は、偏光ビームスプリッタ 110 を射出して非球面光学レンズ 108 を通して、導光板 120 に入射する。

導光板 120 に入射した光束は、第 1 の反射型ホログラム素子 123 にて導光板 120 内で全反射となるように回折反射され、導光板 120 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた第 2 の反射型ホログラム素子 124 によって、全反射条件からはずれるように回折反射され導光板 120 から射出し、観察者の瞳 16 に入射する。

このとき、透過型液晶画像表示素子 134 から射出した発散光は、非球面凹面鏡 107 と非球面光学レンズ 108 との組合せによって、像面湾曲の非常に少ない平行光束群となされている。

本発明を適用した画像表示装置 130 は、画像表示素子として透過型液晶画像表示素子 134 と、透過型液晶画像表示素子 134 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として非球面凹面鏡 107 と光学レンズとして非球面光学レンズ 108 とを組み合わせ構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示

10

20

30

40

50

装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

{ 第 9 の実施の形態 }

図 3 1 に、第 9 の実施の形態として示す画像表示装置 1 4 0 を示す。

画像表示装置 1 4 0 は、画像を表示する画像表示素子 1 4 4 と、画像表示素子 1 4 4 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 1 6 へと導く虚像光学系とを備えている。

画像表示素子 1 4 4 は、例えば、有機 E L ( E l e c t r o L u m i n e s c e n c e ) ディスプレイ、無機 E L ディスプレイや、液晶ディスプレイ ( L C D : L i q u i d C r y s t a l D i s p l a y ) などである。

虚像光学系は、コリメート光学系と、導光光学系とを備える。導光光学系は、導光板 1 5 0 と、導光板 1 5 0 の一端側に設けられた反射ミラー 1 5 3 と、他端側に設けられた複数の互いに平行な半透過ミラー群 1 5 4 とを備え、入射された平行光束群を内部で全反射したのち平行光束群のまま外部に射出する。

コリメート光学系は、画像表示素子 1 4 4 からの射出光を反射する反射型光学素子として非球面凹面鏡 1 0 7 と、非球面凹面鏡 1 0 7 の反射する反射光を屈折する光学レンズとして非球面光学レンズ 1 0 8 と、画像表示素子 1 4 4 と非球面凹面鏡 1 0 7 との間に配置される偏光ビームスプリッタ 1 1 0 と、偏光ビームスプリッタ 1 1 0 と非球面凹面鏡 1 0 7 との間に配置される 1 / 4 波長板 1 0 5 とを備え、画像表示素子 1 4 4 の画像表示面の任意の位置からの射出光を、平行光束群として光学レンズ 1 0 8 から射出する光学系である。

画像表示素子 1 4 4 、非球面凹面鏡 1 0 7 、非球面光学レンズ 1 0 8 は、それぞれ偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の 3 つの光学面近傍又は密着して配置される。画像表示素子 1 4 4 と偏光ビームスプリッタ 1 1 0 との間には、偏光板 1 0 2 が設けられる。

画像表示素子 1 4 4 から射出した光束は、偏光板 1 0 2 によって偏光ビームスプリッタ 1 1 0 の偏光選択性反射面 1 0 3 に対して P 偏光となるように検波され、偏光選択性反射面 1 0 3 によってそのほとんどが透過される。この透過光は、1 / 4 波長板 1 0 5 が密着された非球面凹面鏡 1 0 7 によって反射され再び偏光選択性反射面 1 0 3 に入射する。このとき、1 / 4 波長板 1 0 5 によって S 偏光に変換されているため、このときには偏光選択性反射面 1 0 3 を反射する。本光束は、偏光ビームスプリッタ 1 1 0 を射出して非球面光学レンズ 1 0 8 を通して、導光板 1 5 0 に入射する。

導光板 1 5 0 に入射した光束は、反射ミラー 1 5 3 にて導光板 1 5 0 内で全反射となるように反射され、導光板 1 5 0 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた複数の互いに平行な半透過ミラー群 1 5 4 によって、全反射条件からはずれるように反射され導光板 1 5 0 から射出し、観察者の瞳 1 6 に入射する。

このとき、画像表示素子 4 から射出した発散光は、非球面凹面鏡 1 0 7 と非球面光学レンズ 1 0 8 との組合せによって、像面湾曲の非常に少ない平行光束群となされている。

本発明を適用した画像表示装置 1 4 0 は、画像表示素子 1 4 4 と、画像表示素子 1 4 4 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として非球面凹面鏡 1 0 7 と光学レンズとして非球面光学レンズ 1 0 8 とを組み合わせて構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

{ 第 1 0 の実施の形態 }

図 3 2 に、第 1 0 の実施の形態として示す画像表示装置 1 6 0 を示す。

画像表示装置 1 6 0 は、画像を表示する画像表示素子 1 4 4 と、画像表示素子 1 4 4 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 1 6 へと導く虚像光学系とを備えている。

虚像光学系は、コリメート光学系と、導光光学系とを備える。導光光学系は、導光板 1 2 0 と、導光板 1 2 0 に設けられた第 1 の反射型ホログラム素子 1 2 3 と、第 2 の反射型ホログラム素子 1 2 4 とを備える。

コリメート光学系は、画像表示素子 1 4 4 からの射出光を反射する反射型光学素子とし



て非球面凹面鏡 107 と、非球面凹面鏡 107 の反射する反射光を屈折する光学レンズとして非球面光学レンズ 108 と、画像表示素子 144 と非球面凹面鏡 107 との間に配置される偏光ビームスプリッタ 110 と、偏光ビームスプリッタ 110 と非球面凹面鏡 107 との間に配置される 1/4 波長板 105 とを備え、画像表示素子 144 の画像表示面の任意の位置からの射出光を、平行光束群として光学レンズ 108 から射出する光学系である。

画像表示素子 144、非球面凹面鏡 107、非球面光学レンズ 108 は、それぞれ偏光ビームスプリッタ 110 の 3 つの光学面近傍又は密着して配置される。画像表示素子 144 と偏光ビームスプリッタ 110 との間には、偏光板 102 が設けられる。

画像表示素子 144 から射出した光束は、偏光板 102 によって偏光ビームスプリッタ 110 の偏光選択性反射面 103 に対して P 偏光となるように検波され、偏光選択性反射面 103 によってそのほとんどが透過される。この透過光は、1/4 波長板 105 が密着された非球面凹面鏡 107 によって反射され再び偏光選択性反射面 103 に入射する。このとき、1/4 波長板 105 によって S 偏光に変換されているため、このときには偏光選択性反射面 103 を反射する。本光束は、非球面光学レンズ 108 を通して導光板 120 に入射する。

導光板 120 に入射した光束は、第 1 の反射型ホログラム素子 123 にて導光板 120 内で全反射となるように反射され、導光板 120 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた第 2 の反射型ホログラム素子 124 によって、全反射条件からはずれるように反射され導光板 120 から射出し、観察者の瞳 16 に入射する。

このとき、反射型空間光変調素子 104 から射出した発散光は、非球面凹面鏡 107 と非球面光学レンズ 108 との組合せによって、像面湾曲の非常に少ない平行光束群となされている。

本発明を適用した画像表示装置 160 は、画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として非球面凹面鏡 107 と光学レンズとして非球面光学レンズ 108 とを組み合わせて構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

{ 第 11 の実施の形態 }

図 33 に、第 11 の実施の形態として示す画像表示装置 170 を示す。

画像表示装置 170 は、画像を表示する画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

虚像光学系は、コリメータ光学系と、導光光学系とを備える。導光光学系は、導光板 150 と、導光板 150 の一端側に設けられた反射ミラー 153 と、他端側に設けられた複数の互いに平行な半透過ミラー群 154 とを備え、入射された平行光束群を内部で全反射したのち平行光束群のまま外部に射出する。

コリメータ光学系は、少なくとも 1 つの全反射面を有するプリズム 180 からなり、画像表示素子 144 の画像表示面の任意の位置からの射出光を、平行光束群として射出する光学系である。

プリズム 180 は、画像表示素子 144 からの表示光を入射する入射側に設けられ、回転対称軸を有しない第 1 の光学面 181 と、出射側に設けられ、内部全反射作用と屈折作用を同一面で行う第 2 の光学面 182 と、全反射する第 3 の光学面としてアルミ反射面 183 とを有する。

画像表示素子 144 から射出した光束は、各光学面が回転対称軸を持たない光学面にて構成されるプリズム 180 に第 1 の光学面 181 から入射する。プリズム 180 内に入射した光束は、第 2 の光学面 182 にて内部全反射され、続いてアルミ反射面 183 にて反射された後、再び第 2 の光学面 182 に入射する。このとき入射光束は内部全反射条件を満たさないため屈折透過し導光板 120 に入射する。

導光板 150 に入射した光束は、反射ミラー 153 にて導光板 150 内で全反射となるように反射され、導光板 150 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた複数の互いに平行な半透過ミラー群 154 によって、全反射条件からはずれるように反射され導光板 150 から射出し、観察者の瞳 16 に入射する。

このとき、画像表示素子 144 から射出した発散光は、反射面としての第 2 の光学面 182 及びアルミ反射面 183 と、屈折面としての第 1 及び第 2 の光学面 181, 182 との組合せによって、像面湾曲の非常に少ない平行光束群となされている。

本発明を適用した画像表示装置 170 は、画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として機能するアルミ反射面 183 と光学レンズとして機能する第 1 及び第 2 の光学面 181、182 とを組み合わせる構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

また、本発明を適用した画像表示装置 170 は、コリメータ光学系内に少なくとも 1 つの全反射面を有するプリズム 180 を設けることにより、コリメータ光学系の長さを短く、コンパクトにでき、装置全体のさらなる小型化を実現する。

#### { 第 12 の実施の形態 }

図 34 に、第 12 の実施の形態として示す画像表示装置 190 を示す。

画像表示装置 190 は、画像を表示する画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

虚像光学系は、コリメータ光学系と、導光光学系とを備える。導光光学系は、導光板 120 と、導光板 120 に設けられた第 1 の反射型ホログラム素子 123 と、第 2 の反射型ホログラム素子 124 とを備える。

コリメータ光学系は、少なくとも 1 つの全反射面を有するプリズム 200 と、光学レンズ 191 とからなり、画像表示素子 144 の画像表示面の任意の位置からの射出光を、平行光束群として射出する光学系である。

光学レンズ 191 は、プリズム 200 側に設けられる第 1 の光学面 192 と、導光板 120 側に設けられる第 2 の光学面 193 とを有する。

プリズム 200 は、画像表示素子 144 からの表示光を入射する入射側に設けられ、回転対称軸を有しない第 1 の光学面 201 と、出射側に設けられ、回転対称軸を有しない第 2 の光学面 202 と、全反射する第 3 の光学面としてアルミ反射面 203 とを有する。

画像表示素子 144 から射出した光束は、各光学面が回転対称軸を持たない光学面にて構成されるプリズム 200 に第 1 の光学面 201 から入射する。プリズム 200 内に入射した光束は、アルミ反射面 203 にて反射された後、第 2 の光学面 202 を屈折透過し、光学レンズ 191 の第 1 及び第 2 の光学面 192, 193 を経て導光板 120 に入射する。

導光板 120 に入射した光束は、第 1 の反射型ホログラム素子 123 にて導光板 120 内で全反射となるように反射され、導光板 120 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた第 2 の反射型ホログラム素子 124 によって、全反射条件からはずれるように反射され導光板 120 から射出し、観察者の瞳 16 に入射する。

このとき、画像表示素子 144 から射出した発散光は、反射面としてのアルミ反射面 203 と、屈折面としての第 1 及び第 2 の光学面 201、202、光学レンズ 191 の第 1 及び第 2 の光学面 192、193 との組合せによって、像面湾曲の非常に少ない平行光束群となされている。

本発明を適用した画像表示装置 190 は、画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として機能するアルミ反射面 203 と光学レンズとして機能する第 1 及び第 2 の光学面 201、202 及び光学レンズ 191 とを組み合わせ

て構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

また、本発明を適用した画像表示装置 190 は、コリメータ光学系内に少なくとも 1 つの全反射面を有するプリズム 200 を設けることにより、コリメータ光学系の長さを短く、コンパクトにでき、装置全体のさらなる小型化を実現する。

{ 第 13 の実施の形態 }

図 35 に、第 13 の実施の形態として示す画像表示装置 210 を示す。

画像表示装置 210 は、画像を表示する画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

虚像光学系は、コリメータ光学系と、導光光学系とを備える。

導光光学系は、導光板 120 と、導光板 120 に設けられた第 1 の反射型ホログラム素子 123 と、第 2 の反射型ホログラム素子 124 とを備える。

コリメータ光学系は、少なくとも 1 つの全反射面を有する三角プリズム 220 と、画像表示素子 144 と三角プリズム 220 との間に配置される第 1 の光学レンズ 211 と、三角プリズム 220 と導光板 120 との間に配置される第 2 の光学レンズ 212 とからなり、画像表示素子 144 の画像表示面の任意の位置からの射出光を、平行光束群として射出する光学系である。

三角プリズム 220 は、画像表示素子 144 からの表示光を入射する入射側に設けられる第 1 の光学面 221 と、光束を全反射する第 2 の光学面として反射面 222 と、出射側に設けられる第 3 の光学面 223 とを有する。

画像表示素子 144 から射出した光束は、第 1 の光学レンズ 211 を経て、平面にて構成される三角プリズム 220 に第 1 の光学面 221 より入射する。三角プリズム 220 内に入射した光束は、アルミ反射面 222 にて反射された後、第 3 の光学面 223 を透過し、第 2 の光学レンズ 212 を経て、導光板 120 に入射する。

導光板 120 に入射した光束は、第 1 の反射型ホログラム素子 123 にて導光板 120 内で全反射となるように反射され、導光板 120 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた第 2 の反射型ホログラム素子 124 によって、全反射条件からはずれるように反射され導光板 120 から射出し、観察者の瞳 16 に入射する。

本発明を適用した画像表示装置 210 は、画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として機能する反射面 222 と光学レンズとして機能する第 1 及び第 3 の光学面 221, 223 並びに第 1 及び第 2 の光学レンズ 211, 212 とを組み合わせて構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

また、本発明を適用した画像表示装置 210 は、コリメータ光学系内に少なくとも 1 つの全反射面を有する三角プリズム 220 を設けることにより、コリメータ光学系の長さを短く、コンパクトにでき、装置全体のさらなる小型化を実現する。

{ 第 14 の実施の形態 }

図 36 に、第 14 の実施の形態として示す画像表示装置 230 を示す。

画像表示装置 230 は、画像を表示する画像表示素子 144 と、画像表示素子 144 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 16 へと導く虚像光学系とを備えている。

虚像光学系は、コリメータ光学系と、導光光学系とを備える。導光光学系は、導光板 120 と、導光板 120 に設けられた第 1 の反射型ホログラム素子 123 と、第 2 の反射型ホログラム素子 124 とを備える。

コリメータ光学系は、入射する光束を全反射する平面ミラー 235 と、画像表示素子 144 と平面ミラー 235 との間に配置される第 1 及び第 2 の光学レンズ 231, 232 と、平面ミラー 235 と導光板 120 との間に配置される第 3 の光学レンズ 233 とを有す

10

20

30

40

50

る。

画像表示素子 1 4 4 から射出した光束は、第 1 及び第 2 の光学レンズ 2 3 1 , 2 3 2 を経て、平面ミラー 2 3 5 にて反射された後、第 3 の光学レンズ 2 3 3 を経て、導光板 1 2 0 に入射する。

導光板 1 2 0 に入射した光束は、第 1 の反射型ホログラム素子 1 2 3 にて導光板 1 2 0 内で全反射となるように反射され、導光板 1 2 0 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた第 2 の反射型ホログラム素子 1 2 4 によって、全反射条件からはずれるように反射され導光板 1 2 0 から射出し、観察者の瞳 1 6 に入射する。

本発明を適用した画像表示装置 2 3 0 は、画像表示素子 1 4 4 と、画像表示素子 1 4 4 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として平面ミラー 2 3 5 と第 1 乃至第 3 の光学レンズ 2 3 1 , 2 3 2 , 2 3 3 を組み合わせて構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

また、本発明を適用した画像表示装置 2 3 0 は、コリメータ光学系内に少なくとも 1 つの全反射面を有する平面ミラー 2 3 5 を設けることにより、コリメータ光学系の長さを短く、コンパクトにでき、装置全体のさらなる小型化を実現する。

{ 第 1 5 の実施の形態 }

図 3 7 に、第 1 5 の実施の形態として示す画像表示装置 2 4 0 を示す。

画像表示装置 2 4 0 は、画像を表示する画像表示素子 1 4 4 と、画像表示素子 1 4 4 で表示された表示光を入射して、観察者の瞳 1 6 へと導く虚像光学系とを備えている。

虚像光学系は、コリメータ光学系と、導光光学系とを備える。導光光学系は、導光板 1 2 0 と、導光板 1 2 0 に設けられた第 1 の反射型ホログラム素子 1 2 3 と、第 2 の反射型ホログラム素子 1 2 4 とを備える。

コリメータ光学系は、少なくとも 1 つの全反射面を有する三角プリズム 2 5 0 と、画像表示素子 1 4 4 と三角プリズム 2 5 0 との間に配置される第 1 の光学レンズ 2 4 1 と、三角プリズム 2 5 0 と導光板 1 2 0 との間に配置される第 2 の光学レンズ 2 4 2 とからなり、画像表示素子 1 4 4 の画像表示面の任意の位置からの射出光を、平行光束群として射出する光学系である。

三角プリズム 2 5 0 は、画像表示素子 1 4 4 からの表示光を入射する入射側に設けられる第 1 の光学面 2 5 1 と、出射側に設けられ、内部全反射作用と屈折作用を同一面で行う第 2 の光学面 2 5 2 と、全反射する第 3 の光学面としてアルミコート反射面 2 5 3 とを有する。

画像表示素子 1 4 4 から射出した光束は、第 1 の光学レンズ 2 4 1 を経て、平面にて構成される三角プリズム 2 5 0 に光学面 2 5 1 より入射する。三角プリズム 2 5 0 内に入射した光束は、内部全反射面としての第 2 の光学面 2 5 2 にて反射された後、アルミコート反射面 2 5 3 にて再び反射される。この反射光は、再び第 2 の光学面 2 5 2 に入射するが今度は全反射条件を満たさないためこれを透過し、第 2 の光学レンズ 2 4 2 を経て、導光板 1 2 0 に入射する。

導光板 1 2 0 に入射した光束は、第 1 の反射型ホログラム素子 1 2 3 にて導光板 1 2 0 内で全反射となるように回折反射され、導光板 1 2 0 内を全反射しながら伝播していく。そして、他端に設けられた第 2 の反射型ホログラム素子 1 2 4 によって、全反射条件からはずれるように反射され導光板 1 2 0 から射出し、観察者の瞳 1 6 に入射する。

本発明を適用した画像表示装置 2 4 0 は、画像表示素子 1 4 4 と、画像表示素子 1 4 4 から射出した光束を平行光束群に変換するコリメータ光学系と、コリメータ光学系から射出した平行光束群を内部で全反射することにより瞳まで導光する導光光学系とを有し、このコリメータ光学系を反射型光学素子として機能するアルミコート反射面 2 5 3 と光学レンズとして機能する第 1 及び第 2 の光学面 2 5 1 , 2 5 2 並びに第 1 及び第 2 の光学レンズ 2 4 1 , 2 4 2 とを組み合わせて構成することにより、コンパクトながら像面湾曲量の

非常に小さいコリメータを実現し、虚像表示装置の表示画像の解像力の向上、ならびに装置全体の小型化、軽量化を実現する。

また、本発明を適用した画像表示装置 240 は、コリメータ光学系内に少なくとも 1 つの全反射面を有する三角プリズム 250 を設けることにより、コリメータ光学系の長さを短く、コンパクトにでき、装置全体のさらなる小型化を実現する。

なお、本発明は、図面を参照して説明した上述の実施例に限定されるものではなく、添付の請求の範囲及びその主旨を逸脱することなく、様々な変更、置換又はその同等のものを行うことができることは当業者にとって明らかである。

【図 1】

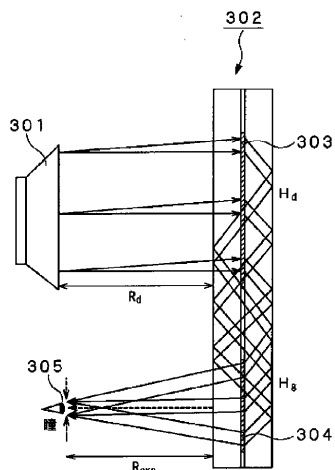


FIG. 1

【図 2】

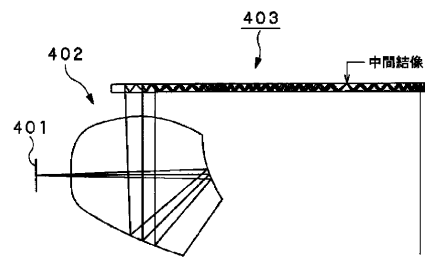


FIG. 2

【図 3】

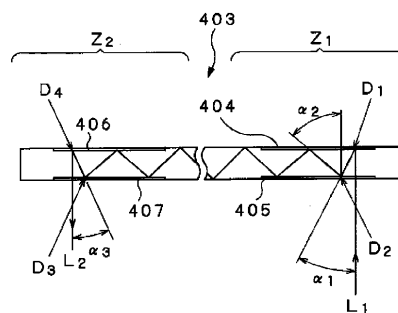


FIG. 3

【図 4】

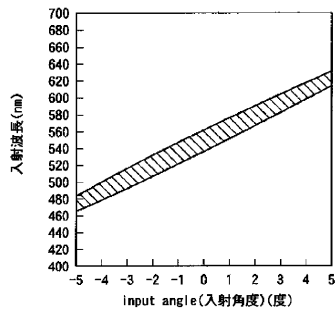


FIG. 4

【図 5】

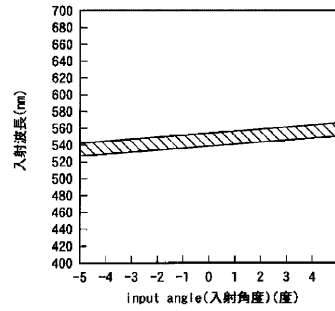


FIG. 5

【図 6】

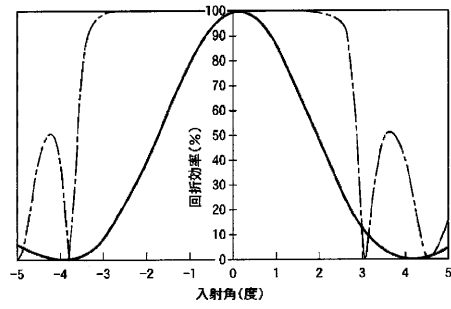


FIG. 6

【図 7】

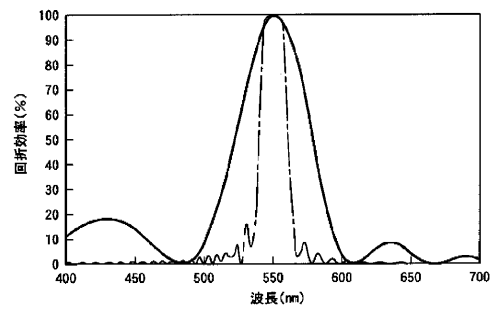


FIG. 7

【図 8】

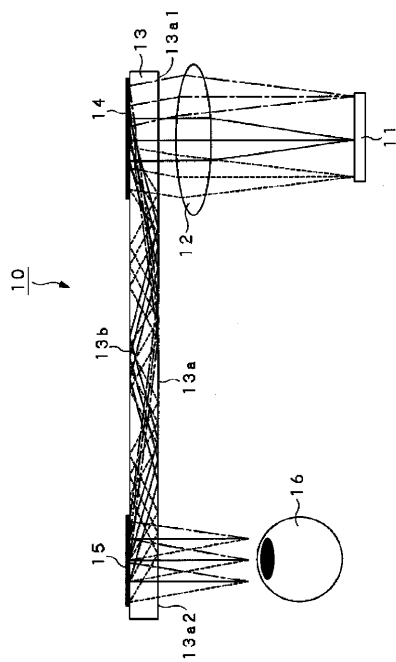


FIG. 8

【図 9】

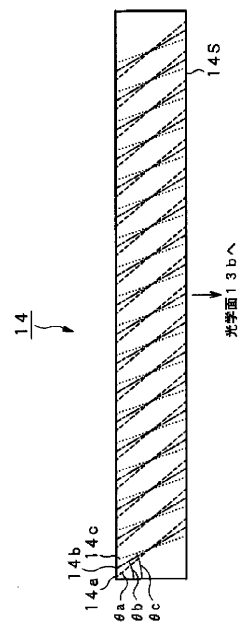


FIG. 9

【図 10】

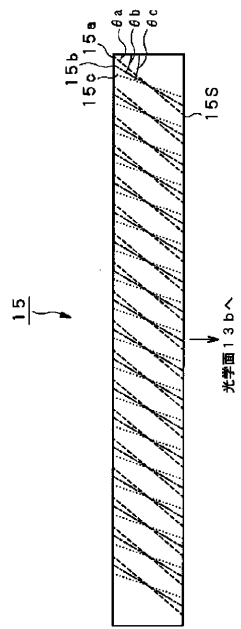


FIG. 10

【図 12】

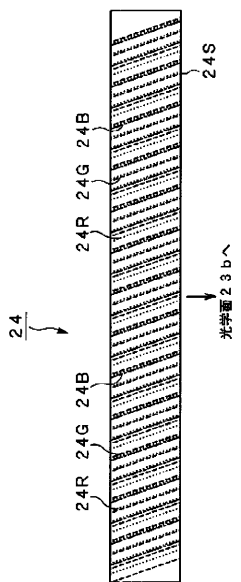


FIG. 12

【図 11】

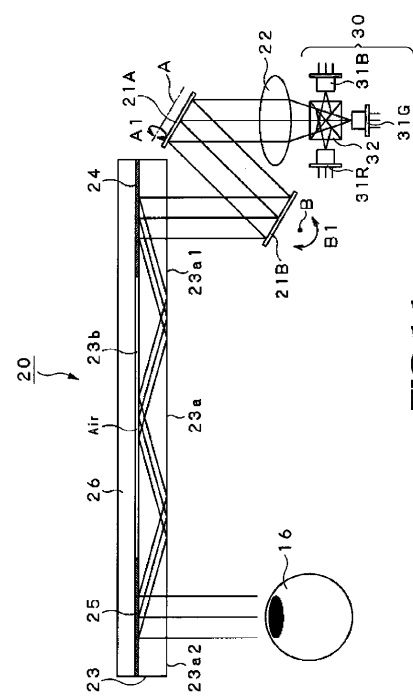


FIG. 11

【図 13】

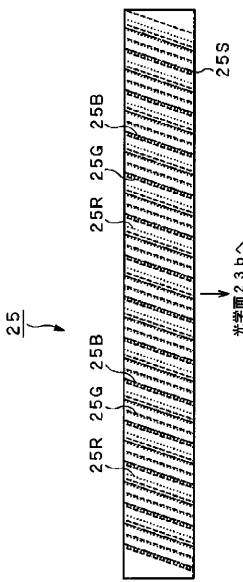


FIG. 13

【図14】

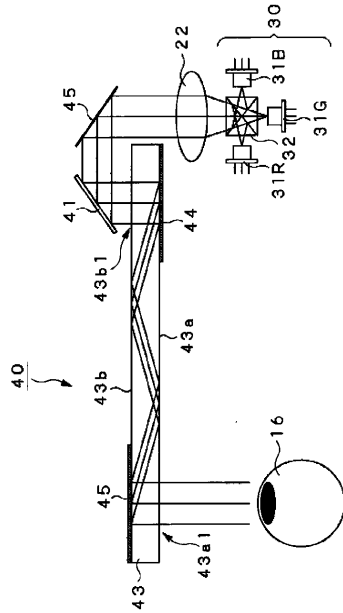


FIG. 14

【図15】

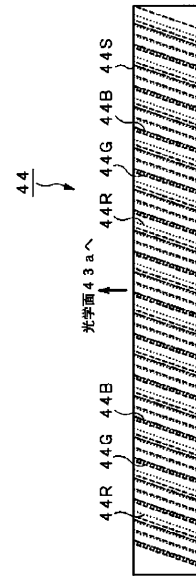


FIG. 15

【図16】

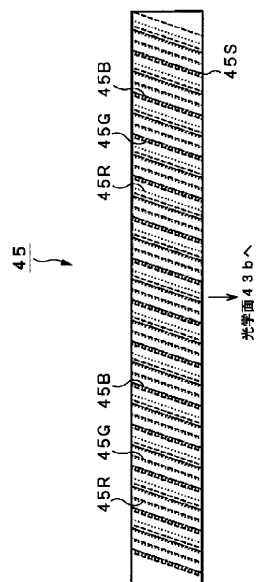


FIG. 16

【図17】

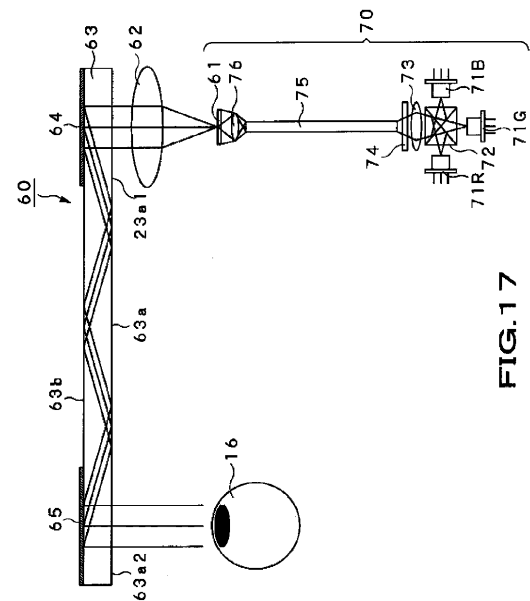


FIG. 17



【図18】

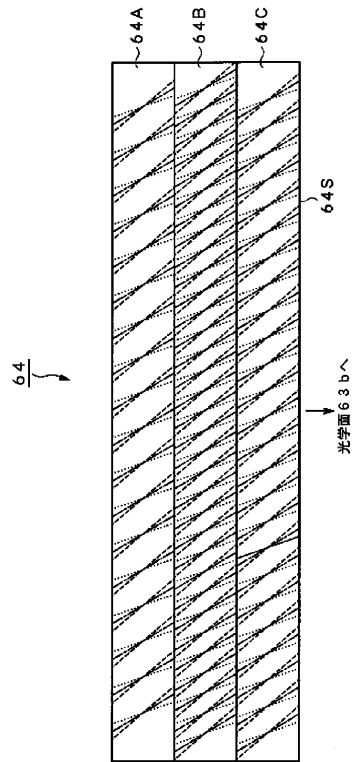


FIG.18

【図19】

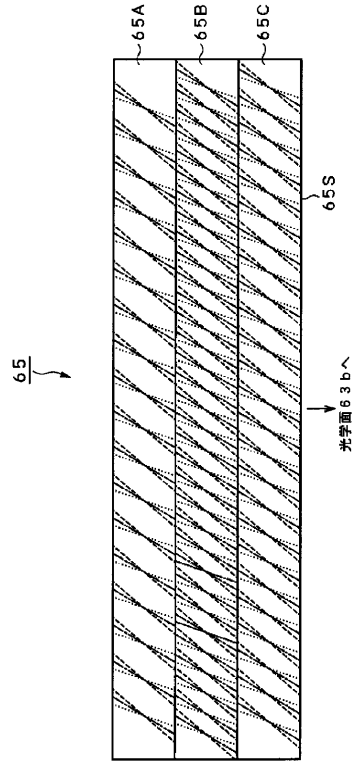


FIG.19

【図20】

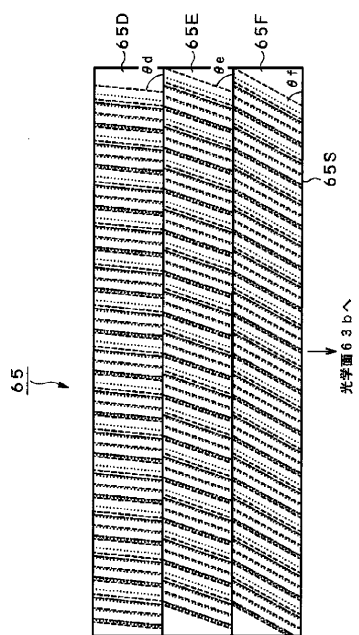


FIG.20

【図21】

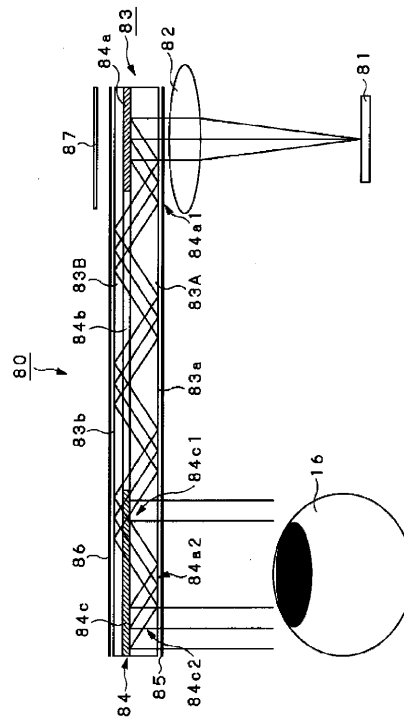


FIG.21



【図26】

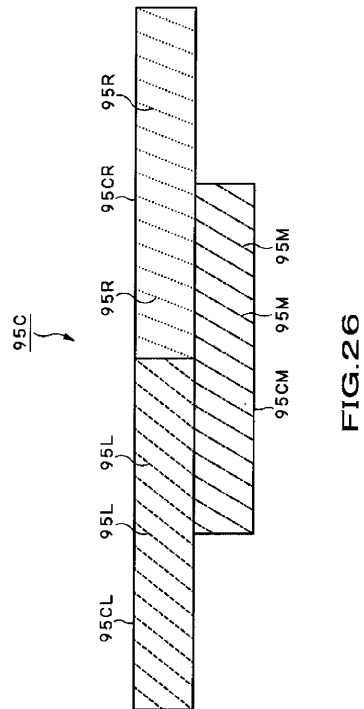


FIG.26

【図27】

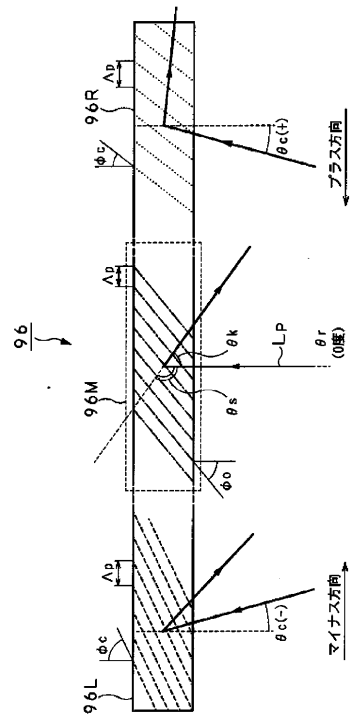


FIG.27

【図28】

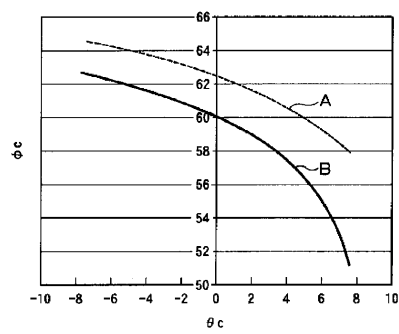


FIG.28

【図29】

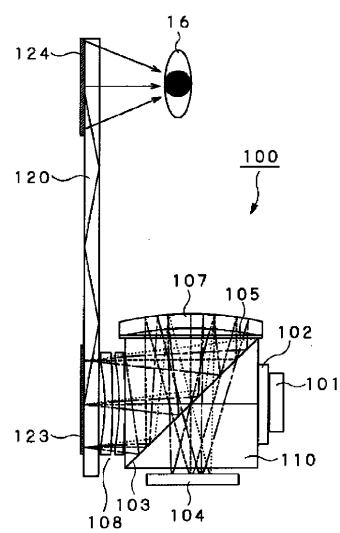


FIG.29

【図 30】

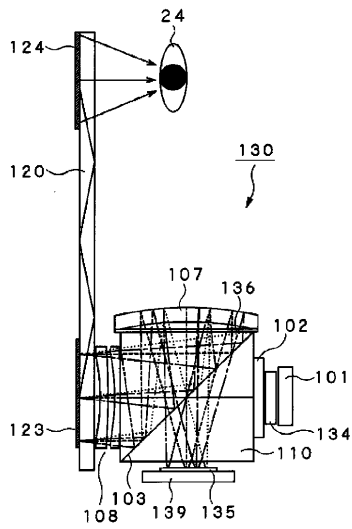


FIG.30

【図 31】

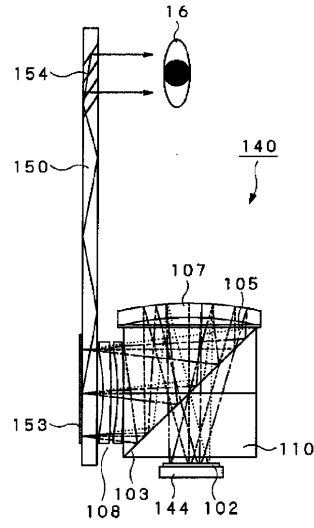


FIG.31

【図 32】

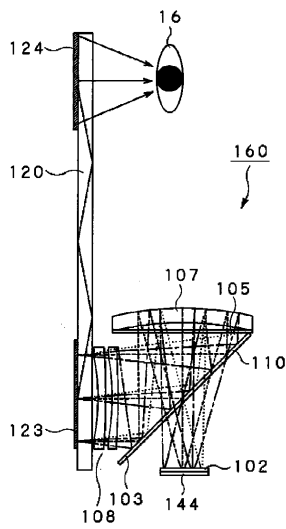


FIG.32

【図 33】

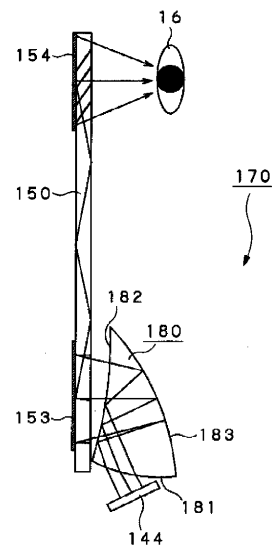


FIG.33

【図 3 4】

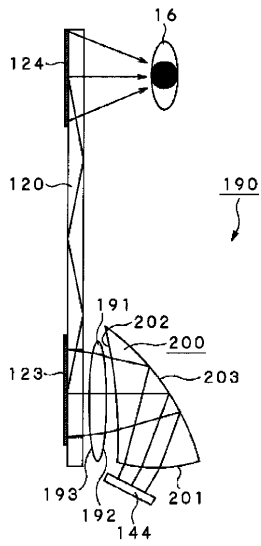


FIG.34

【図 3 5】

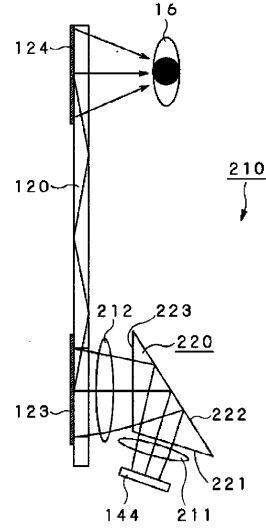


FIG.35

【図 3 6】

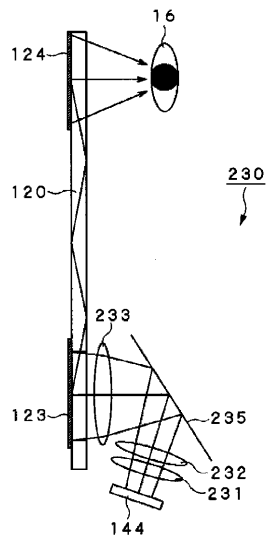


FIG.36

【図 3 7】

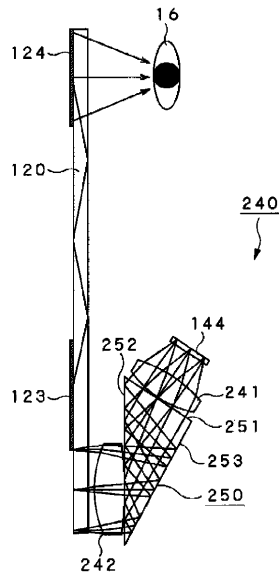


FIG.37

---

フロントページの続き

審査官 河原 正

- (56)参考文献 米国特許第04711512(US,A)  
米国特許出願公開第2003/0067685(US,A1)  
米国特許第06580529(US,B1)  
特開平09-090312(JP,A)  
特開2002-162598(JP,A)  
特開2000-267042(JP,A)  
特開2000-056259(JP,A)  
特開2001-027739(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)  
G02B 27/02  
G02B 27/18