(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7293993号
(P7293993)

(45)発行日　令和5年6月20日(2023.6.20)
(24)登録日　令和5年6月12日(2023.6.12)

(51)国際特許分類
G02B 27/02 (2006.01)
G02B 5/32 (2006.01)

FI
G02B 27/02 Z
G02B 5/32

請求項の数　6　（全14頁）

(21)出願番号　特願2019-156902(P2019-156902)
(22)出願日　令和1年8月29日(2019.8.29)
(65)公開番号　特開2021-33220(P2021-33220A)
(43)公開日　令和3年3月1日(2021.3.1)
審査請求日　令和4年7月28日(2022.7.28)

(73)特許権者　000002369
セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区新宿四丁目１番６号
(74)代理人　100149548
弁理士　松沼　泰史
(74)代理人　100140774
弁理士　大浪　一徳
(74)代理人　100114937
弁理士　松本　裕幸
(74)代理人　100196058
弁理士　佐藤　彰雄
(72)発明者　斎藤　淳
長野県諏訪市大和３丁目３番５号　セイコーエプソン株式会社内
審査官　鈴木　俊光

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　表示装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
画像光生成装置と、
前記画像光生成装置から射出された画像光が入射する光学系と、を備え、
前記光学系は、
前記画像光の光路に沿って順に配置された、
正のパワーを有する第１光学部と、
正のパワーを有する第１回折素子を含む第２光学部と、
正のパワーを有する第３光学部と、
正のパワーを有し、前記画像光による射出瞳を形成する第２回折素子を含む第４光学部と、
を備え、
前記光路において、前記第１光学部と前記第３光学部との間に前記画像光の第１中間像が形成され、
前記光路において、前記第２光学部と前記第４光学部の間に瞳が形成され、
前記光路において、前記第３光学部と前記第４光学部との間に前記画像光の第２中間像が形成され、
前記光路において、前記第４光学部の前記第３光学部とは反対側に射出瞳が形成され、
前記第２回折素子は、体積ホログラムで構成され、前記体積ホログラムの断面視において、前記第２回折素子の一端から他端に向けて干渉縞のピッチと傾きとが連続的に変化し、

前記第２回折素子は、前記体積ホログラムの正面視において、前記第２回折素子の一端から他端に向けて干渉縞の曲率半径が連続的に変化している、表示装置。
【請求項２】
前記第２回折素子は、第１波長帯の第１の光に対応する第１干渉縞と、前記第１波長帯とは異なる第２波長帯の第２の光に対応する第２干渉縞と、前記第１波長帯および前記第２波長帯とは異なる第３波長帯の第３の光に対応する第３干渉縞と、を有する、請求項１に記載の表示装置。
【請求項３】
前記第２回折素子は、前記第１干渉縞を有する第１回折層と、前記第２干渉縞を有する第２回折層と、前記第３干渉縞を有する第３回折層と、が積層された構成を有する、請求項２に記載の表示装置。
【請求項４】
前記第２回折素子は、前記第１干渉縞、前記第２干渉縞、および前記第３干渉縞のうち、少なくとも２つの干渉縞が一つの回折層内に重畳された構成を有する、請求項２に記載の表示装置。
【請求項５】
前記干渉縞のピッチは、前記第３光学部に近い側で相対的に大きく、前記第３光学部から遠い側で相対的に小さい、請求項１から請求項４までのいずれか一項に記載の表示装置。
【請求項６】
前記第１回折素子は、断面視において、前記第１回折素子の一端から他端に向けて干渉縞のピッチと傾きとが連続的に変化している、請求項１から請求項５までのいずれか一項に記載の表示装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、表示装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
複数の反射素子を用いて画像光を反射させつつ観察者の眼に導く形態のヘッドマウントディスプレイが知られている。下記の特許文献１には、光源と、コリメーター光学系と、走査光学系と、導光板と、導光板の光入射領域に設けられた第１反射型体積ホログラムグレーティングと、導光板の光射出領域に設けられた第２反射型体積ホログラムグレーティングと、を備えた虚像表示装置が開示されている。この虚像表示装置において、２つの反射型体積ホログラムグレーティングが有する干渉縞のピッチはホログラム内で一定であり、干渉縞の傾きはホログラム内で連続的または段階的に変化している。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【文献】特開２００６－３５０１２９号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
ヘッドマウントディスプレイ等の表示装置において、画像の輝度ムラおよび色ムラを抑制するために、観察者の眼前に正のパワーを有する回折素子を備えた光学系が必要になる。ところが、この種の光学系に干渉縞のピッチが一定で傾きが変化する特許文献１の回折素子を用いたとしても、画像の輝度ムラおよび色ムラを抑制することが難しい、という問題がある。また、干渉縞の傾きが段階的に変化する回折素子を用いた場合、干渉縞の傾きが変化する領域の境界において画像に筋状のムラが視認される、という問題がある。
【課題を解決するための手段】
【０００５】

上記の課題を解決するために、本発明の一つの態様の表示装置は、画像光生成装置と、前記画像光生成装置から射出された画像光が入射する光学系と、を備え、前記光学系は、前記画像光の光路に沿って順に配置された、正のパワーを有する第１光学部と、正のパワーを有する第１回折素子を含む第２光学部と、正のパワーを有する第３光学部と、正のパワーを有し、前記画像光による射出瞳を形成する第２回折素子を含む第４光学部と、を備え、前記光路において、前記第１光学部と前記第３光学部との間に前記画像光の第１中間像が形成され、前記光路において、前記第２光学部と前記第４光学部の間に瞳が形成され、前記光路において、前記第３光学部と前記第４光学部との間に前記画像光の第２中間像が形成され、前記光路において、前記第４光学部の前記第３光学部とは反対側に射出瞳が形成され、前記第２回折素子は、体積ホログラムで構成され、前記体積ホログラムの断面視において、前記第２回折素子の一端から他端に向けて干渉縞のピッチと傾きとが連続的に変化し、前記第２回折素子は、前記体積ホログラムの正面視において、前記第２回折素子の一端から他端に向けて干渉縞の曲率半径が連続的に変化している。

【０００６】

本発明の一つの態様の表示装置において、前記第２回折素子は、前記体積ホログラムの正面視において、前記第２回折素子の一端から他端に向けて干渉縞の曲率半径が連続的に変化していてもよい。

【０００７】

本発明の一つの態様の表示装置において、前記第２回折素子は、第１波長帯の第１の光に対応する第１干渉縞と、前記第１波長帯とは異なる第２波長帯の第２の光に対応する第２干渉縞と、前記第１波長帯および前記第２波長帯とは異なる第３波長帯の第３の光に対応する第３干渉縞と、を有していてもよい。

【０００８】

本発明の一つの態様の表示装置において、前記第２回折素子は、前記第１干渉縞を有する第１回折層と、前記第２干渉縞を有する第２回折層と、前記第３干渉縞を有する第３回折層と、が積層された構成を有していてもよい。

【０００９】

本発明の一つの態様の表示装置において、前記第２回折素子は、前記第１干渉縞、前記第２干渉縞、および前記第３干渉縞のうち、少なくとも２つの干渉縞が一つの回折層内に重畳された構成を有していてもよい。

【００１０】

本発明の一つの態様の表示装置において、前記干渉縞のピッチは、前記第３光学部に近い側で相対的に大きく、前記第３光学部から遠い側で相対的に小さくてもよい。

【００１１】

本発明の一つの態様の表示装置において、前記第１回折素子は、断面視において、前記第１回折素子の一端から他端に向けて干渉縞のピッチと傾きとが連続的に変化していてもよい。

【００１２】

本発明の一つの態様の表示装置において、前記光路において、前記第１光学部と前記第３光学部との間に前記画像光の第１中間像が形成され、前記第２光学部と前記第４光学部の間に瞳が形成され、前記第３光学部と前記第４光学部との間に前記画像光の第２中間像が形成され、前記第４光学部の前記第３光学部とは反対側に射出瞳が形成される構成であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【００１３】

【図１】第１実施形態の表示装置の外観を示す斜視図である。

【図２】表示装置の光学系を示す概略構成図である。

【図３】光学系の作用を説明するための光線図である。

【図４】第２回折素子の断面図である。

【図５】第２回折素子の作用を説明するための光線図である。

【図６】第２回折素子の正面図である。
【図７】第２実施形態の第２回折素子の断面図である。
【図８】各色光に対する画角と干渉縞ピッチとの関係を示すグラフである。
【図９】第３実施形態の第２回折素子の断面図である。
【図１０】変形例の第２回折素子の断面図である。
【発明を実施するための形態】
【００１４】
［第１実施形態］
以下、本発明の第１実施形態について、図１～図６を用いて説明する。
なお、以下の各図面においては各構成要素を見やすくするため、構成要素によって寸法の縮尺を異ならせて示すことがある。
【００１５】
図１は、本実施形態の表示装置１００の外観を示す斜視図である。図２は、図１に示す表示装置１００の光学系１０を示す概略構成図である。
図１および図２においては、表示装置を装着した観察者に対する前後方向をＺ軸に沿う方向とし、前後方向の一方側として表示装置を装着した観察者の前方を前側Ｚ１とし、前後方向の他方側として表示装置を装着した観察者の後方を後側Ｚ２とする。また、表示装置を装着した観察者に対する左右方向をＸ軸に沿う方向とし、左右方向の一方側として表示装置を装着した観察者の右方を右側Ｘ１とし、左右方向の他方側として表示装置を装着した観察者の左方を左側Ｘ２とする。また、表示装置を装着した観察者に対する上下方向をＹ軸方向に沿う方向とし、上下方向の一方側として表示装置を装着した観察者の上方を上側Ｙ１とし、上下方向の他方側として表示装置を装着した観察者の下方を下側Ｙ２とする。
【００１６】
図１に示すように、表示装置１００は、ヘッドマウントディスプレイであり、画像光Ｌ０ａを右眼Ｅａに入射させる右眼用光学系１０ａと、画像光Ｌ０ｂを左眼Ｅｂに入射させる左眼用光学系１０ｂと、を有している。表示装置１００は、例えば眼鏡のような形状に構成されている。具体的に、表示装置１００は、右眼用光学系１０ａと左眼用光学系１０ｂとを保持する筐体９０をさらに備えている。表示装置１００は、筐体９０によって観察者の頭部に装着される。
【００１７】
表示装置１００は、筐体９０として、フレーム９１と、フレーム９１の右側に設けられ、観察者の右耳に係止されるテンプル９２ａと、フレーム９１の左側に設けられ、観察者の左耳に係止されるテンプル９２ｂと、を備えている。フレーム９１は、両側部に収納空間９１ｓを有しており、収納空間９１ｓ内に、後述する光学系１０を構成する画像光投射装置等の各種部品が収容されている。テンプル９２ａ，９２ｂは、ヒンジ９５によってフレーム９１に対して折り畳み可能に連結されている。
【００１８】
右眼用光学系１０ａと左眼用光学系１０ｂとは基本的な構成が同一である。したがって、以下の説明では、右眼用光学系１０ａと左眼用光学系１０ｂとを区別せず、単に光学系１０として説明する。
【００１９】
図２を参照して、表示装置１００の光学系１０の基本的な構成を説明する。
図２に示すように、表示装置１００は、画像光生成装置３１と、画像光生成装置３１から射出された画像光が入射する光学系１０と、を備えている。
【００２０】
画像光生成装置３１は、画像光Ｌ０を生成する。画像光生成装置３１は、例えば有機エレクトロルミネッセンス素子等の表示パネルを備えた構成を採用することができる。この構成によれば、小型で高画質な画像表示が可能な表示装置１００を実現できる。また、画像光生成装置３１は、照明光源（図示せず）と、照明光源から射出された照明光を変調す

る液晶表示素子等の表示パネルとを備えた構成を採用してもよい。この構成によれば、照明光源の選択が可能なため、画像光Ｌ０の波長特性の自由度が広がるという利点がある。
【００２１】
　また、画像光生成装置３１は、カラー表示が可能な１枚の表示パネルを有していてもよい。また、画像光生成装置３１は、各色に対応する複数の表示パネルと、複数の表示パネルから射出された各色の画像光を合成する合成光学系と、を有する構成を採用してもよい。また、画像光生成装置３１は、レーザー光をマイクロミラーデバイスで変調する構成を採用してもよい。
【００２２】
　光学系１０は、画像光Ｌ０の光路に沿って順に配置された、正のパワーを有する第１光学部Ｌ１０と、正のパワーを有する第１回折素子５０を含む第２光学部Ｌ２０と、正のパワーを有する第３光学部Ｌ３０と、正のパワーを有し、射出瞳を形成する第２回折素子７０を含む第４光学部Ｌ４０と、を備えている。
【００２３】
　本実施形態において、正のパワーを有する第１光学部Ｌ１０は、投射光学系３２と、ミラー４０と、を備えている。投射光学系３２は、第１レンズ３２６と、第２レンズ３２７と、ミラー４０と、を有している。第１レンズ３２６と第２レンズ３２７とは、画像光生成装置３１に近い側からこの順に配置されている。第１レンズ３２６は、回転対称の形状を有している。第２レンズ３２７は、自由曲面形状を有している。なお、図２では、投射光学系３２が２つのレンズ３２６，３２７を有する例を挙げたが、レンズの数はこれに限定されることはなく、投射光学系３２が３つ以上のレンズを備えていてもよい。また、各レンズを貼り合わせて一体化し、投射光学系３２を構成してもよい。
【００２４】
　投射光学系３２から第１回折素子５０に到る光路の途中に、ミラー４０が設けられている。投射光学系３２は、ミラー４０の反射面４００、またはその近傍に中間像（第１中間像Ｐ１）を形成する。ミラー４０は、反射面４００が凹曲面になっており、正のパワーを有している。ミラー４０の反射面４００が正のパワーを有する場合、ミラー４０を投射光学系３２の構成要素に含めるようにしてもよい。なお、ミラー４０の反射面４００が、平面になっており、パワーを有しないように構成してもよい。
【００２５】
　正のパワーを有する第２光学部Ｌ２０は、正のパワーを有する反射型の第１回折素子５０によって構成されている。第１回折素子５０は、反射型体積ホログラムから構成されている。第１回折素子５０の構成については後述する。
【００２６】
　正のパワーを有する第３光学部Ｌ３０は、導光系６０によって構成されている。導光系６０は、周辺部より中央が凹んだ反射面６２０を有するミラー６２によって構成されており、正のパワーを有している。ミラー６２の反射面６２０は、前後方向に向けて斜めに傾いている。反射面６２０は、球面、非球面、または自由曲面から構成されていてもよいが、本実施形態では、自由曲面から構成されている。ミラー６２は、全反射ミラーで構成されていてもよいし、ハーフミラーで構成されていてもよい。ミラー６２がハーフミラーで構成されている場合、外光を視認できる範囲を広くすることができる。
【００２７】
　正のパワーを有する第４光学部Ｌ４０は、正のパワーを有する第２回折素子７０によって構成されている。第２回折素子７０は、反射型体積ホログラムから構成されている。第２回折素子７０の構成については後述する。
【００２８】
　光学系１０において、画像光Ｌ０の進行方向に着目すると、画像光生成装置３１は、投射光学系３２に向けて画像光Ｌ０を射出する。投射光学系３２は、ミラー４０を介して、入射した画像光Ｌ０を第１回折素子５０に向けて射出する。第１回折素子５０は、入射した画像光Ｌ０を導光系６０に向けて射出する。導光系６０は、入射した画像光Ｌ０を第２

回折素子７０に射出する。第２回折素子７０は、入射した画像光Ｌ０を観察者の眼Ｅに向けて射出する。

【００２９】

本実施形態の光学系１０において、第１光学部Ｌ１０におけるレンズ３２６とレンズ３２７との間に瞳Ｒ０が形成され、第３光学部Ｌ３０の近傍に瞳Ｒ１が形成され、第３光学部Ｌ３０と第４光学部Ｌ４０との間に画像光の第２中間像Ｐ２が形成され、第４光学部Ｌ４０は、画像光を平行化して射出瞳Ｒ２を形成する。

【００３０】

図２に示す第１中間像Ｐ１および第２中間像Ｐ２は、紙面に沿う水平方向に拡がった画像光における中間像である。画像光生成装置３１から射出された画像光Ｌ０は、水平方向のみならず図２の紙面に直交する垂直方向にも拡がることから、垂直方向に拡がった画像光Ｌ０の中間像も存在する。本実施形態において、垂直方向の中間像は、水平方向の中間像の近傍に存在している。なお、本実施形態の光学系１０において、第１中間像Ｐ１はミラー４０の近傍に形成されるが、第１光学部Ｌ１０（投射光学系３２）の中に形成されてもよい。

【００３１】

図３は、本実施形態の光学系１０における光線図である。図３では、光軸に沿って配置された各光学部を太い矢印で示している。また、画像光生成装置３１の１つの画素から射出された光線を実線Ｌａで示し、画像光生成装置３１の端部から射出される主光線を一点鎖線Ｌｂで示し、第１回折素子５０と共役関係となる位置を長い破線Ｌｃで示している。ここで、「中間像」は、１画素から射出された光線（実線Ｌａ）が集まる個所であり、「瞳」とは、各画角の主光線（一点鎖線Ｌｂ）が集まる個所である。図３は、画像光生成装置３１から射出された光の進行を示している。図３においては、図面を簡略化するため、全ての光学部を透過型として図示している。

【００３２】

図３に示すように、本実施形態の光学系１０においては、画像光生成装置３１から射出された画像光の光路に沿って、投射光学系３２を備え、正のパワーを有する第１光学部Ｌ１０と、第１回折素子５０を備え、正のパワーを有する第２光学部Ｌ２０と、導光系６０を備え、正のパワーを有する第３光学部Ｌ３０と、第２回折素子７０を備え、正のパワーを有する第４光学部Ｌ４０と、が設けられている。

【００３３】

第１光学部Ｌ１０の焦点距離は、Ｌ／２である。第２光学部Ｌ２０、第３光学部Ｌ３０、および第４光学部Ｌ４０の焦点距離は、いずれもＬである。したがって、第２光学部Ｌ２０から第３光学部Ｌ３０までの光学距離と、第３光学部Ｌ３０から第４光学部Ｌ４０までの光学距離と、は等しい。

【００３４】

光学系１０においては、第１光学部Ｌ１０と第３光学部Ｌ３０との間に画像光の第１中間像Ｐ１が形成され、第２光学部Ｌ２０と第４光学部Ｌ４０との間に瞳Ｒ１が形成され、第３光学部Ｌ３０と第４光学部Ｌ４０との間に画像光の第２中間像Ｐ２が形成され、第４光学部Ｌ４０は、画像光を平行化して射出瞳Ｒ２を形成する。

【００３５】

このとき、第３光学部Ｌ３０は、第２光学部Ｌ２０から射出された画像光を発散光、または収束光、または平行光と自在に制御して第４光学部Ｌ４０に入射させる。第２光学部Ｌ２０は、第１光学部Ｌ１０から射出された画像光を収束光として第３光学部Ｌ３０に入射させる。光学系１０において、瞳Ｒ１は、第２光学部Ｌ２と第４光学部Ｌ４０との間のうち、第３光学部Ｌ３０の近傍に形成される。第３光学部Ｌ３０の近傍は、第２光学部Ｌ２０と第３光学部Ｌ３０の間のうち、第２光学部Ｌ２０よりも第３光学部Ｌ３０に近い位置、または第３光学部Ｌ３０と第４光学部Ｌ４０の間のうち、第４光学部Ｌ４０よりも第３光学部Ｌ３０に近い位置を意味する。

【００３６】

第３光学部Ｌ３０は、画像光生成装置３１の１点からの画像光について、第１回折素子５０により偏向されて、特定波長からずれた周辺波長の光を第２回折素子７０の所定の範囲に入射させる。すなわち、第１回折素子５０と第２回折素子７０は共役または略共役の関係にある。ここで、第１回折素子５０の第３光学部Ｌ３０による第２回折素子７０上の射影の倍率の絶対値は、０．５倍から１０倍までの範囲である。倍率の絶対値は、１倍から５倍までの範囲であることが好ましい。

【００３７】

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

【００３８】

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

【００３９】

本実施形態の光学系１０によれば、以下に示す４つの条件（条件１、２、３、４）を満たしている。

条件１：画像光生成装置３１の１つの点から射出された光線は、網膜Ｅ０に１つの点として結像される。

条件２：光学系１０の入射瞳と眼球の瞳とが共役である。

条件３：周辺波長を補償するように、第１回折素子５０と第２回折素子７０とが適正に配置されている。

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

【００４０】

より具体的には、図３に示す実線Ｌａから分かるように、画像光生成装置３１の１つの点から射出された光線は、網膜Ｅ０に１つの点として結像されるという条件１を満たすため、観察者は１つの画素を視認することができる。また、図３に示す実線Ｌａから分かるように、光学系１０の入射瞳と眼Ｅの瞳Ｅ１とが共役（瞳の共役）の関係にあるという条件２を満たすため、画像光生成装置３１で生成された画像の全域を視認することができる。

【００４１】

また、周辺波長を補償するように第１回折素子５０と第２回折素子７０とが適正に配置されているという条件３を満たすため、波長補償を行うことによって第２回折素子７０で発生する色収差をキャンセルすることができる。また、図３に示す長い破線Ｌｃから分かるように、第１回折素子５０と第２回折素子７０とが共役または略共役関係にあるという条件４を満たすため、第１回折素子５０と第２回折素子７０とでは、光線を干渉縞が同一の個所に入射させることができ、波長補償を適正に行うことができる。よって、画像光の解像度の劣化を抑えることができる。

【００４２】

以下、第２回折素子７０の構成について説明する。

図４は、第２回折素子７０の断面図である。図５は、第２回折素子７０の作用を説明するための光線図である。図６は、第２回折素子７０の正面図である。

図４に示すように、第２回折素子７０は、基材７２と、基材７２の第１面７２ａに形成されたホログラフィック感光層７３と、を有している。第２回折素子７０は、反射型の体積ホログラムで構成された部分反射型の回折光学素子である。したがって、画像光Ｌ０に加えて、外光が第２回折素子７０を介して眼Ｅに入射するため、観察者は、画像光生成装置３１で形成された画像光Ｌ０と外光（背景）とが重畳した画像を認識することができる。

【００４３】

図２に示すように、第２回折素子７０は、観察者の眼Ｅと対向しており、画像光Ｌ０が入射する第２回折素子７０の入射面７０ａは、眼Ｅから離れる方向に凹んだ凹曲面になっている。換言すれば、入射面７０ａは、画像光Ｌ０の入射方向において、周辺部に対して

中央部が凹んで湾曲した形状となっている。これにより、画像光Ｌ０を観察者の眼Ｅに向けて効率良く集光させることができる。なお、図４では、第２回折素子７０を平面状に図示しているが、このように、第２回折素子７０は、平面状であってもよい。

【００４４】

第２回折素子７０は、特定波長に対応するピッチを有する干渉縞７４を有している。干渉縞７４は、互いに屈折率が異なる領域が縞状に形成されたものとしてホログラフィック感光層７３に記録されている。干渉縞７４は、特定の入射角度に対応するように、第１面７２ａに対して一方向に傾いている。本実施形態の場合、干渉縞７４は、図４の左下から右上に向かう方向に傾いている。これにより、第２回折素子７０は、画像光Ｌ０を所定の方向に回折して偏向させ、観察者の眼Ｅに導く。特定波長および特定の入射角度とは、画像光Ｌ０の波長と入射角度とに対応する。干渉縞７４は、参照光および物体光を用いてホログラフィック感光層７３に干渉露光を行うことにより形成することができる。

【００４５】

第２回折素子７０は、体積ホログラムの断面視において、第２回折素子７０の一端から他端に向けて干渉縞７４のピッチと傾きとが連続的に変化している。より具体的には、干渉縞７４のピッチは、画像光Ｌ０の入射側、すなわち、第３光学部Ｌ３０に近い側の第１端部７３ｃで相対的に大きく、第３光学部Ｌ３０から遠い側の第２端部７３ｄで相対的に小さく、第１端部７３ｃから第２端部７３ｄにかけて順次小さくなっている。換言すると、干渉縞７４の密度は、第１端部７３ｃから第２端部７３ｄに向けて粗→密に変化している。なお、体積ホログラムの断面視とは、図１におけるＸＺ平面、すなわち、観察者が表示装置を装着した状態における水平面に沿って体積ホログラムを切断したときの断面を見ていることを意味する。

【００４６】

また、第１面７２ａに対する干渉縞７４の傾きは、第１端部７３ｃ側で相対的に小さく、第２端部７３ｄで相対的に大きく、第１端部７３ｃから第２端部７３ｄに向けて順次大きくなっている。なお、ここで言う「傾き」は、干渉縞７４と第１面７２ａとがなす角度として定義する。

【００４７】

図６に示すように、体積ホログラムの正面視において、干渉縞７４は、第２回折素子７０の外側に中心を有する略同心円状に形成されている。ホログラフィック感光層７３の第１面７３ａに見える干渉縞の模様は、円弧状となっている。また、第２回折素子７０は、体積ホログラムの正面視において、第２回折素子７０の一端から他端に向けて干渉縞７４の曲率半径が連続的に変化している。より具体的には、干渉縞７４の曲率半径は、第１端部７３ｃから第２端部７３ｄに向けて順次大きくなっている。このため、図２および図４の紙面に垂直な方向に拡がる画角を形成する光線についても、小さく絞られた射出瞳が形成され、画像の色ムラや輝度ムラが生じにくい構成となっている。なお、体積ホログラムの正面視とは、図１におけるＺ軸に沿う方向、すなわち、観察者が表示装置を装着した状態における前後方向から体積ホログラムを見ていることを意味する。

【００４８】

本実施形態の場合、第１回折素子５０は、第２回折素子７０と同様の体積ホログラムから構成されている。すなわち、第１回折素子５０は、第１回折素子５０の一端から他端に向けて干渉縞のピッチと傾きとが連続的に変化している。干渉縞のピッチは、ミラー４０からの距離が短い側の第１端部５０ｃ（図２参照）で相対的に小さく、ミラー４０からの距離が長い側の第２端部５０ｄ（図２参照）で相対的に大きく、第１端部５０ｃから第２端部５０ｄにかけて順次大きくなっている。換言すると、干渉縞の密度は、第１端部５０ｃから第２端部５０ｄに向けて密→粗に変化している。

【００４９】

図２に示すように、第２回折素子７０には、第３光学部Ｌ３０から射出された光線が大きな入射角をもって斜めに入射する。そのため、図４に示すように、第３光学部Ｌ３０から遠い第２端部７３ｄ側の干渉縞７４には、第３光学部Ｌ３０に近い第１端部７３ｃ側の

干渉縞７４を透過した光線の一部が入射する。この場合、第２回折素子７０が、干渉縞のピッチが一定の従来の回折素子で構成されていたとすると、第２回折素子７０に入射した光線は、第１端部７３ｃの側で反射する光量が多く、第２端部７３ｄの側で反射する光量が少なくなる結果、画像の輝度ムラが発生しやすい。

【００５０】

これに対して、本実施形態の第２回折素子７０においては、図３に示す作用を有する光学系で図２に示す全体構成の光学系を成り立たせようとすると、干渉縞７４は、画角を形成する全ての画像光Ｌ０に対して、できるだけブラッグの法則に則ることが望ましい。その結果、第２回折素子７０は、干渉縞７４のピッチと傾きの双方が一端から他端に向けて連続的に変化する構成となる。本実施形態の場合、干渉縞７４のピッチが第１端部７３ｃから第２端部７３ｄに向けて順次小さくなっているため、従来の回折素子を用いた場合に比べて、第１端部７３ｃの側で反射する光量と第２端部７３ｄの側で反射する光量とが均等になりやすい。その結果、本実施形態の第２回折素子７０では、画像の輝度ムラが発生しにくくなる。

【００５１】

また、本実施形態の干渉縞７４の構成によれば、従来の干渉縞に比べて、図５に示すように、射出瞳Ｒ２が小さくなり、狭い波長分布を有する光線Ｌ０１が射出瞳Ｒ２を形成することになる。これにより、画像の色ムラを抑制することができる。このように、本実施形態によれば、画像の輝度ムラおよび色ムラの少ない表示装置１００を実現することができる。

【００５２】

［第２実施形態］

以下、本発明の第２実施形態について、図７および図８を用いて説明する。

第２実施形態の表示装置の基本構成は第１実施形態と同様であり、第２回折素子の構成が第１実施形態と異なる。そのため、表示装置の全体構成の説明は省略する。

図７は、第２実施形態の第２回折素子の断面図である。

図７において、第１実施形態で用いた図面と共通の構成要素には同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

【００５３】

図７に示すように、第２回折素子８０は、第１波長帯の第１の光に対応する第１干渉縞８１Ｂと、第１波長帯とは異なる第２波長帯の第２の光に対応する第２干渉縞８１Ｇと、第１波長帯および第２波長帯とは異なる第３波長帯の第３の光に対応する第３干渉縞８１Ｒと、を有している。本実施形態の場合、第２回折素子８０は、第１干渉縞８１Ｂを有する第１回折層８２Ｂと、第２干渉縞８１Ｇを有する第２回折層８２Ｇと、第３干渉縞８１Ｒを有する第３回折層８２Ｒと、が積層された構成を有している。

【００５４】

本実施形態では、画像光Ｌ０はカラー表示用の光であり、表示装置はフルカラーの画像を表示する。このため、第２回折素子８０においては、特定波長に対応するピッチを中心として第１干渉縞８１Ｂ、第２干渉縞８１Ｇ、および第３干渉縞８１Ｒの３つの干渉縞が形成されている。例えば、第１干渉縞８１Ｂは、青色光を回折させる干渉縞であり、青色域の４００～５００ｎｍの第１波長帯のうち、例えば波長４６０ｎｍに対応するピッチを中心として形成されている。第２干渉縞８１Ｇは、緑色光を回折させる干渉縞であり、緑色域の５００～５８０ｎｍの第２波長帯のうち、例えば波長５３５ｎｍに対応するピッチを中心として形成されている。第３干渉縞８１Ｒは、赤色光を回折させる干渉縞であり、赤色域の５８０～７００ｎｍの第３波長帯のうち、例えば波長６１５ｎｍに対応するピッチを中心として形成されている。

【００５５】

図８は、青色光Ｂ、緑色光Ｇおよび赤色光Ｒのそれぞれに対する画角と干渉縞ピッチとの関係の一例を示すグラフである。

図８において、横軸は画角（度）であり、縦軸は干渉縞ピッチ（ｎｍ）である。

図８に示すように、光の波長が長い程、同じ画角の光に対する干渉縞ピッチは長くなり、画角に対する干渉縞ピッチの変化率（グラフの勾配）は大きくなる。したがって、このような関係に基づいて、第１干渉縞８１Ｂ、第２干渉縞８１Ｇ、および第３干渉縞８１Ｒのそれぞれのピッチを設定すればよい。

【００５６】

本実施形態の場合、第１回折層８２Ｂにおいて、第２回折素子８０の一端から他端に向けて第１干渉縞８１Ｂのピッチと傾きとが連続的に変化している。また、第２回折層８２Ｇにおいて、第２回折素子８０の一端から他端に向けて第２干渉縞８１Ｇのピッチと傾きとが連続的に変化している。また、第３回折層８２Ｒにおいて、第２回折素子８０の一端から他端に向けて第３干渉縞８１Ｒのピッチと傾きとが連続的に変化している。

表示装置のその他の構成は、第１実施形態の表示装置と同様である。

【００５７】

本実施形態においても、各干渉縞８１Ｂ，８１Ｇ，８１Ｒのピッチと傾きとが連続的に変化しているため、画像の輝度ムラおよび色ムラが少なく、フルカラー表示に対応した表示装置を実現することができる。

【００５８】

また、本実施形態の場合、ピッチおよび傾きが互いに異なる第１干渉縞８１Ｂ、第２干渉縞８１Ｇ、および第３干渉縞８１Ｒを順次形成できるため、各干渉縞８１Ｂ，８１Ｇ，８１Ｒを精度良く形成することができる。

【００５９】

［第３実施形態］

以下、本発明の第３実施形態について、図９を用いて説明する。

第３実施形態の表示装置の基本構成は第１実施形態と同様であり、第２回折素子の構成が第１実施形態と異なる。そのため、表示装置の全体構成の説明は省略する。

図９は、第３実施形態の第２回折素子の断面図である。

図９において、上記実施形態で用いた図面と共通の構成要素には同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

【００６０】

図９に示すように、本実施形態の第２回折素子８４は、第２実施形態の第２回折素子８０と同様、第１干渉縞８１Ｂと、第２干渉縞８１Ｇと、第３干渉縞８１Ｒと、を有している。本実施形態の場合、第２回折素子８４は、第１干渉縞８１Ｂを有する第１回折層８２Ｂと、第２干渉縞８１Ｇと第３干渉縞８１Ｒとが一つの層内に重畳された第２回折層８２ＧＲと、が積層された構成を有している。

【００６１】

本実施形態の場合、第１回折層８２Ｂにおいて、第２回折素子８４の一端から他端に向けて第１干渉縞８１Ｂのピッチと傾きとが連続的に変化している。また、第２回折層８２ＧＲにおいて、第２回折素子８４の一端から他端に向けて、第２干渉縞８１Ｇのピッチと傾きとが連続的に変化し、第３干渉縞８１Ｒのピッチと傾きとが連続的に変化している。

表示装置のその他の構成は、第１実施形態の表示装置と同様である。

【００６２】

本実施形態においても、各干渉縞８１Ｂ，８１Ｇ，８１Ｒのピッチと傾きとが連続的に変化しているため、画像の輝度ムラおよび色ムラが少なく、フルカラー表示に対応した表示装置を実現することができる。

【００６３】

また、本実施形態の場合、３つの干渉縞８１Ｂ，８１Ｇ，８１Ｒが２つの回折層８２Ｂ，８２ＧＲ内に形成されているため、第２回折素子８４の薄型化を図ることができる。

【００６４】

［変形例］

第２回折素子は、以下の構成を有していてもよい。

図１０は、変形例の第２回折素子の断面図である。

図１０において、上記実施形態で用いた図面と共通の構成要素には同一の符号を付し、詳細な説明を省略する。

【００６５】

図１０に示すように、本変形例の第２回折素子８６は、第３実施形態の第２回折素子８４と同様、第１干渉縞８１Ｂと、第２干渉縞８１Ｇと、第３干渉縞８１Ｒと、を有している。本実施形態の場合、第２回折素子８６は、第１干渉縞８１Ｂと第２干渉縞８１Ｇと第３干渉縞８１Ｒとが一つの回折層８７内に重畳された構成を有している。

【００６６】

本変形例においても、画像の輝度ムラおよび色ムラが少なく、フルカラー表示に対応した表示装置を実現できる、第２回折素子の薄型化を図ることができる、といった第３実施形態と同様の効果が得られる。

【００６７】

なお、第３実施形態および変形例の第２回折素子８４，８６においては、１つの回折層内に２つ以上の干渉縞が重畳されているため、例えば図１０に示すように、重畳された２つ以上の干渉縞８１Ｂ，８１Ｇ，８１Ｒの全体を１つの干渉縞と見なしたとすると、第２回折素子８４，８６の第１端部に近い側の領域であっても、局所的にはピッチが狭い個所がある。したがって、隣り合う全ての縞のピッチと傾きとが、必ずしも連続的に変化しているわけではない。ただし、各波長帯の光に対応した個別の干渉縞８１Ｂ，８１Ｇ，８１Ｒを見れば、ピッチと傾きとが一端から他端に向けて連続的に変化している。

【００６８】

なお、本発明の技術範囲は上記実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲において種々の変更を加えることが可能である。

例えば上記実施形態の表示装置は、干渉縞のピッチと傾きとが一端から他端に向けて連続的に変化した第１回折素子を備えているが、第１回折素子については、干渉縞のピッチと傾きとが必ずしも連続的に変化していなくてもよい。その他、上記実施形態で例示した表示装置の各構成要素の数、配置、形状等の具体的構成は、適宜変更が可能である。

【００６９】

また、上記実施形態で説明した表示装置の例として、ヘッドマウントディスプレイの他、ヘッドアップディスプレイ等を挙げることができる。

【符号の説明】

【００７０】

１０…光学系、３１…画像光生成装置、５０…第１回折素子、７０，８０，８４，８６…第２回折素子、７４…干渉縞、８１Ｂ…第１干渉縞、８１Ｇ…第２干渉縞、８１Ｒ…第３干渉縞、８２Ｂ…第１回折層、８２Ｇ，８２ＧＲ…第２回折層、８２Ｒ…第３回折層、８７…回折層、１００…表示装置、Ｌ０，Ｌ０ａ，Ｌ０ｂ…画像光、Ｌ１０…第１光学部、Ｌ２０…第２光学部、Ｌ３０…第３光学部、Ｌ４０…第４光学部、Ｐ１…第１中間像、Ｐ２…第２中間像、Ｒ０，Ｒ１…瞳、Ｒ２…射出瞳。

【図面】
【図１】

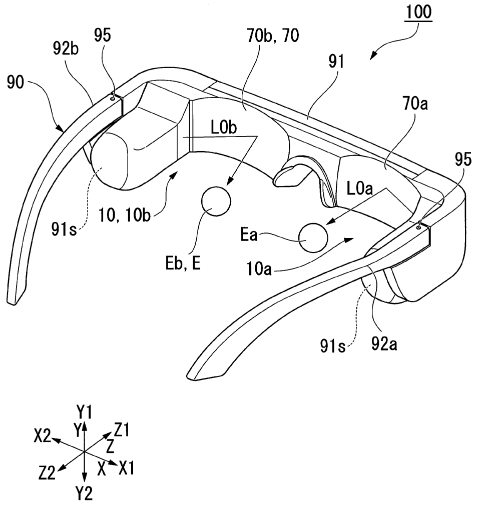

図1

【図２】

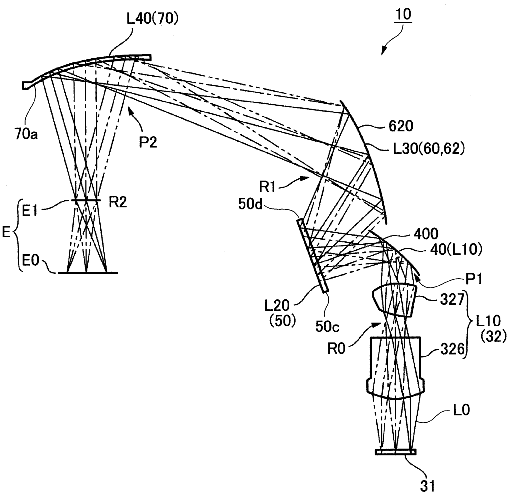

図2

【図３】

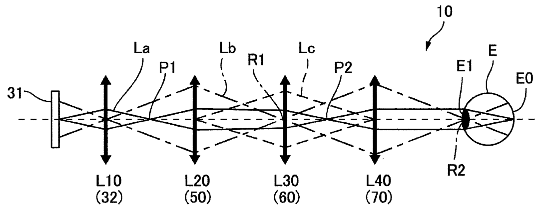

図3

【図４】

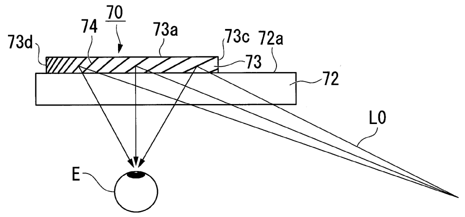

図4

【図５】

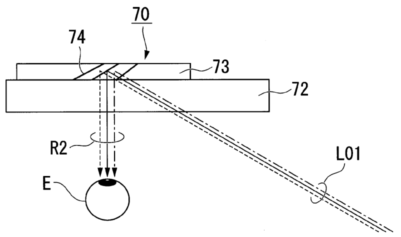

図5

【図６】

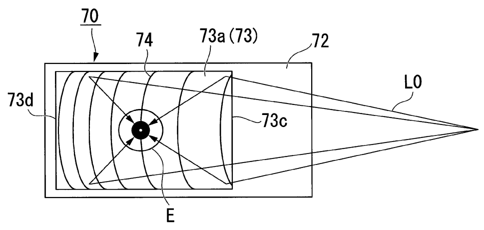

図6

【図７】

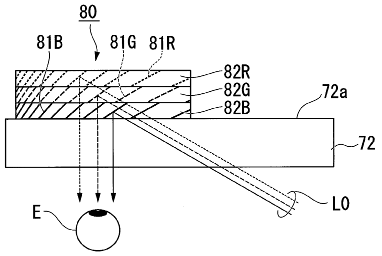

図7

【図８】

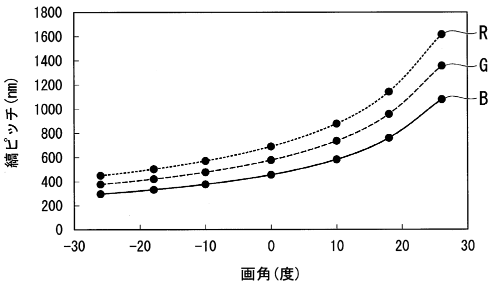

図8

【図９】

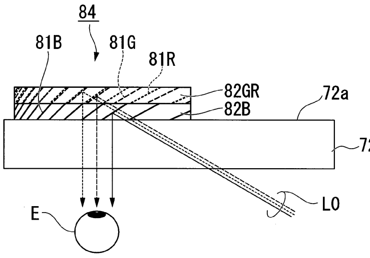

図9

【図１０】

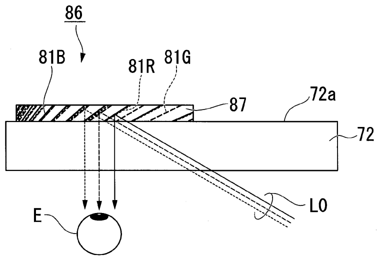

図10

フロントページの続き

(56)参考文献　　特開２０１９－１３３１３２（ＪＰ，Ａ）
特開２０１８－０８７９４９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－１６７１８１（ＪＰ，Ａ）
特開２０１９－１２８５１９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１８－０８４７２５（ＪＰ，Ａ）
特開２０１６－１６１６６９（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０６７８８４４２（ＵＳ，Ｂ１）

(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ　２７／０１　－　２７／０２
Ｇ０２Ｂ　　５／３２