

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6270674号  
(P6270674)

(45) 発行日 平成30年1月31日 (2018. 1. 31)

(24) 登録日 平成30年1月12日 (2018. 1. 12)

(51) Int. Cl.

F 1

G O 2 B 27/22 (2006. 01)

G O 2 B 27/22

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

G O 2 B 27/02 Z

G O 2 B 26/10 (2006. 01)

G O 2 B 26/10 C

H O 4 N 5/64 (2006. 01)

H O 4 N 5/64 5 1 1 A

H O 4 N 13/30 (2018. 01)

H O 4 N 13/04 4 0 0

請求項の数 7 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願2014-191906 (P2014-191906)  
 (22) 出願日 平成26年9月19日 (2014. 9. 19)  
 (65) 公開番号 特開2015-179245 (P2015-179245A)  
 (43) 公開日 平成27年10月8日 (2015. 10. 8)  
 審査請求日 平成29年5月16日 (2017. 5. 16)  
 (31) 優先権主張番号 特願2014-37151 (P2014-37151)  
 (32) 優先日 平成26年2月27日 (2014. 2. 27)  
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000001960  
 シチズン時計株式会社  
 東京都西東京市田無町六丁目1番12号  
 (74) 代理人 100099759  
 弁理士 青木 篤  
 (74) 代理人 100092624  
 弁理士 鶴田 準一  
 (74) 代理人 100114018  
 弁理士 南山 知広  
 (74) 代理人 100119987  
 弁理士 伊坪 公一  
 (74) 代理人 100161089  
 弁理士 萩原 良一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 投影装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

少なくとも赤色、緑色および青色を一組とするレーザ光を走査して立体視が可能な画像を投影する投影装置であって、

前記レーザ光を出射する光源部と、

前記レーザ光により投影領域を2次元状に走査する走査部と、

前記走査部により走査されたレーザ光が入射する複数のマイクロレンズで構成され、当該マイクロレンズへの入射位置に応じて前記レーザ光の出射角度を変化させて、投影される画像に応じて当該マイクロレンズの表面上の各点から位置と向きとが制御された光線の場が出射している状態を作り出すマイクロレンズアレイと、

前記光源部から出射されたレーザ光をコリメート光として前記走査部に入射させる投射レンズと、

前記走査部により走査されたレーザ光が入射し、当該レーザ光を、入射角度に応じた位置を通る集束光に変換して前記マイクロレンズアレイに入射させる第2の投射レンズと、を有し、

前記第2の投射レンズと前記マイクロレンズアレイは、前記第2の投射レンズの後側焦点面と前記マイクロレンズアレイの前側焦点面とが略重なる間隔で配置される

ことを特徴とする投影装置。

【請求項 2】

前記第2の投射レンズと前記マイクロレンズアレイの間で前記レーザ光が集束する仮想

的な投影面上における当該レーザ光による像の位置を、投影される画像の奥行き位置が知覚されるように制御する制御部をさらに有する、請求項 1 に記載の投影装置。

【請求項 3】

前記走査部は、前記レーザ光を反射させて前記投影領域上を走査する MEMS ミラーであり、

前記 MEMS ミラーは、前記第 2 の投射レンズの前側焦点位置の近傍に前記第 2 の投射レンズから離れて配置される、請求項 1 または 2 に記載の投影装置。

【請求項 4】

前記光源部は、複数のファイバの出射端部から前記レーザ光を複数組出射し、

前記走査部は、異なる組の同色のレーザ光による走査像同士が互いに重ならないように前記複数組のレーザ光により前記投影領域を 2 次元状に走査する、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項に記載の投影装置。

【請求項 5】

前記光源部は、

赤色レーザ光を発光する複数の第 1 のレーザ素子と、

前記複数の第 1 のレーザ素子が発光した赤色レーザ光をそれぞれ導波する複数の第 1 のファイバと、

緑色レーザ光を発光する複数の第 2 のレーザ素子と、

前記複数の第 2 のレーザ素子が発光した緑色レーザ光をそれぞれ導波する複数の第 2 のファイバと、

青色レーザ光を発光する複数の第 3 のレーザ素子と、

前記複数の第 3 のレーザ素子が発光した青色レーザ光をそれぞれ導波する複数の第 3 のファイバと、

前記複数の第 1、第 2 および第 3 のファイバの出射端部を固定してファイババンドルを形成するファイババンドルコンバイナと、を有し、

前記複数の第 1、第 2 および第 3 のファイバは、前記出射端部から前記複数組のレーザ光を出射する、請求項 4 に記載の投影装置。

【請求項 6】

前記走査部は、異なる組の同色のレーザ光による走査像同士が互いに重ならない範囲の走査角で、前記投影領域を構成する各部分領域を、前記複数組のレーザ光のうち当該部分領域に対応するレーザ光により走査する、請求項 4 または 5 に記載の投影装置。

【請求項 7】

前記光源部は、各組のレーザ光による走査線が互いにずれるように間隔を空けて前記複数組のレーザ光を出射し、

前記走査部は、前記複数組のレーザ光により前記投影領域の全体を同時に走査する、請求項 4 または 5 に記載の投影装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ光を走査して立体視が可能な画像を投影する投影装置に関する。

【背景技術】

【0002】

複数のマイクロミラーを用いて画像を表示する装置が知られている。例えば、特許文献 1 に記載の画像表示装置では、光源からの光が複数のマイクロミラーで反射し、得られた部分光が焦点距離の異なる複数のレンズを選択的に透過することで、奥行きが表現された画像が表示される。

【0003】

また、光の強度分布だけでなく光の入射方向の情報も取得可能な撮像装置（ライトフィールドカメラ）が知られている（例えば、特許文献 2、3 を参照）。ライトフィールドカメラは、撮像レンズと撮像素子の間にマイクロレンズアレイを有し、撮像素子の複数の画

10

20

30

40

50

素に１つのマイクロレンズを対応させることで、光の入射方向の情報を取得する。

【０００４】

また、ライトフィールドカメラとは逆に、光の強度分布と入射方向の情報に基づきある物体から入射する光線を再現することで立体視が可能な画像を表示するライトフィールドディスプレイが知られている。例えば、非特許文献１には、ＯＬＥＤ（有機発光ダイオード）による拡散光源とマイクロレンズアレイを用いたヘッドマウントのＮＴＥ（near-to-eye）ライトフィールドディスプレイについて記載されている。

【０００５】

非特許文献２では、マイクロレンズではなくファイバスキヤナを複数個並べて、それぞれのファイバスキヤナから様々な角度のレーザ光を出射することにより画像を投影する３次元ディスプレイについて記載されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００６】

【特許文献１】特開２０１０－０８５６２１号公報

【特許文献２】特開２０１２－２０５１１１号公報

【特許文献３】特開２０１３－１４５９８２号公報

【非特許文献】

【０００７】

【非特許文献１】Douglas Lanman and David Luebke, “Near-Eye Light Field Displays,” in SIGGRAPH ASIA 2013, (Hong Kong, China, Nov. 2013).

20

【非特許文献２】Brian T. Schowengerdt, Richard S. Johnston, C. David Melville, Eric J. Seibel, “3D Displays using Scanning Laser Projection,” SID Int. Symp. Digest Tech. Papers, Vol. 43, 641-643 (2012).

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００８】

例えば、携帯機器で高精細の３次元ディスプレイを実現するためには、ピコプロジェクタを２次元状に複数個配列してライトフィールドを形成することが考えられる。しかしながら、これでは装置を小型化することが難しく、製造コストも高くなる。このため、携帯機器に小型で高精細の投影装置を搭載するには、ピコプロジェクタ自体の一層の小型化と高精細化を同時に実現する必要がある。

30

【０００９】

非特許文献１のライトフィールドディスプレイは、比較的小型のヘッドマウントの装置ではあるが、視野（field of view）を大きくするためには、高解像度で表示面積が大きい高性能のマイクロディスプレイが必要となる。また、非特許文献１のライトフィールドディスプレイでは、拡散型の点光源であるＯＬＥＤの各画素から多方向に光が出射されるため、この光がマイクロレンズアレイの隣接する画素のマイクロレンズにも入射することによりクロストークが生じて、表示画像にゴーストが引き起こされる。

【００１０】

40

そこで、本発明は、立体視が可能な画像を投影する投影装置について、本構成を有しない場合と比べて装置をより小型化し、かつ投影画像をより高精細化することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【００１１】

本発明の投影装置は、少なくとも赤色、緑色および青色を一組とするレーザ光を走査して立体視が可能な画像を投影する投影装置であって、レーザ光を出射する光源部と、レーザ光により投影領域を２次元状に走査する走査部と、走査部により走査されたレーザ光が入射する複数のマイクロレンズで構成され、マイクロレンズへの入射位置に応じてレーザ光の出射角度を変化させて、投影される画像に応じてマイクロレンズの表面上の各点から

50

位置と向きとを制御された光線の場合（ライトフィールド）が出射している状態を作り出すマイクロレンズアレイとを有することを特徴とする。

【0012】

上記の投影装置は、光源部から出射されたレーザ光をコリメート光として走査部に入射させる投射レンズをさらに有することが好ましい。

上記の投影装置は、走査部により走査されたレーザ光が入射し、レーザ光を、入射角度に応じた位置を通る集束光に変換してマイクロレンズアレイに入射させる第2の投射レンズをさらに有することが好ましい。

上記の投影装置は、第2の投射レンズとマイクロレンズアレイの間にレーザ光が集束する仮想的な投影面上におけるレーザ光による像の位置を、投影される画像の奥行き位置が知覚されるように制御する制御部をさらに有することが好ましい。

上記の投影装置では、第2の投射レンズとマイクロレンズアレイは、第2の投射レンズの後側焦点面とマイクロレンズアレイの前側焦点面とが略重なる間隔で配置されることが好ましい。

上記の投影装置では、走査部は、レーザ光を反射させて投影領域上を走査するMEMS（Micro Electro Mechanical System）ミラーであり、MEMSミラーは、第2の投射レンズの前側焦点位置に近い距離だけ第2の投射レンズから離れて配置されることが好ましい。

【0013】

上記の投影装置では、光源部は、複数のファイバの出射端部から複数組のレーザ光を出射し、走査部は、異なる組の同色のレーザ光による走査像同士が互いに重ならないように複数組のレーザ光により投影領域を2次元状に走査することが好ましい。

上記の投影装置では、光源部は、赤色レーザ光を発光する複数の第1のレーザ素子と、複数の第1のレーザ素子が発光した赤色レーザ光をそれぞれ導波する複数の第1のファイバと、緑色レーザ光を発光する複数の第2のレーザ素子と、複数の第2のレーザ素子が発光した緑色レーザ光をそれぞれ導波する複数の第2のファイバと、青色レーザ光を発光する複数の第3のレーザ素子と、複数の第3のレーザ素子が発光した青色レーザ光をそれぞれ導波する複数の第3のファイバと、複数の第1、第2および第3のファイバの出射端部を固定してファイババンドルを形成するファイババンドルコンバイナとを有し、複数の第1、第2および第3のファイバは、出射端部から複数組のレーザ光を出射することが好ましい。

上記の投影装置では、走査部は、異なる組の同色のレーザ光による走査像同士が互いに重ならない範囲の走査角で、投影領域を構成する各部分領域を、複数組のレーザ光のうちその部分領域に対応するレーザ光により走査することが好ましい。

上記の投影装置では、光源部は、各組のレーザ光による走査線が互いにずれるように間隔を空けて複数組のレーザ光を出射し、走査部は、複数組のレーザ光により投影領域の全体を同時に走査することが好ましい。

【発明の効果】

【0014】

上記の投影装置によれば、本構成を有しない場合と比べて装置がより小型化され、かつ投影画像がより高精細化される。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】眼鏡型ディスプレイ1の斜視図である。

【図2】眼鏡型ディスプレイ1の投影ユニット3の概略構成図である。

【図3】光源部10およびレーザモジュール11の概略構成図である。

【図4A】図2の等価光学系を示した模式図である。

【図4B】図4Aのレーザ光50のビーム形状について説明するための図である。

【図5】ファイババンドルコンバイナ12で固定される各ファイバの配列と、複数組のレーザ光50を走査する方法の例を説明するための図である。

10

20

30

40

50

【図 6】画像が立体的に見える原理を説明するための図である。

【図 7】複数組のレーザ光 50 を走査する方法の別の例を説明する図である。

【図 8】複数組のレーザ光 50 を走査する方法のさらに別の例を説明する図である。

【図 9】別の投影部 30 A の概略構成図である。

【図 10】図 9 の等価光学系を示した模式図である。

【図 11】投影部 30 A を用いた N T E ライトフィールドディスプレイの動作原理を説明するための図である。

【図 12】投影部 30 A の機構の例を示す斜視図である。

【図 13】投影部 30 A の機構の例を示す側面図である。

【図 14】投影部 30 A の機構の例を示す部分拡大図である。

10

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照しつつ、投影装置について説明する。ただし、本発明が図面または以下に記載される実施形態に限定されるものではないことを理解されたい。

【0017】

この投影装置は、複数のファイバの出射端部から少なくとも赤色レーザ光、緑色レーザ光および青色レーザ光を一組とする複数組のレーザ光を出射し、そのレーザ光を 2 次元状に走査し、マイクロレンズを用いてその走査光の角度を変化させる。これにより、この投影装置は、仮想的なスクリーン上の各点から位置と方向を制御した多数の光線が出射している状態を作り出し、その光線を使用者の網膜に投影させることで、眼のリフォーカシング (refocusing) 特性に対応した立体的な知覚を可能とする画像を投影する。

20

【0018】

この投影装置は、例えば、N T E (near-to-eye) ライトフィールドディスプレイの光学エンジン部に応用可能である。以下では、投影装置の例として、N T E の眼鏡型ディスプレイを説明する。ただし、本発明の投影装置は、N T E のディスプレイに限らず、他の形態の直視型のライトフィールドディスプレイにも応用可能である。

【0019】

図 1 は、眼鏡型ディスプレイ 1 の斜視図である。眼鏡型ディスプレイ 1 は、眼鏡型のフレーム 2、投影ユニット 3、3' およびハーフミラー 4、4' を有する。眼鏡型ディスプレイ 1 は、使用者の頭部に装着され、レーザ光を使用者の網膜に投影させて画像を視認させる。

30

【0020】

フレーム 2 は、一般的な眼鏡と同様に、頭部に装着可能な形状を有する。投影ユニット 3、3' は、略 L 字状の形状を有し、左目用と右目用のレンズ部分にそれぞれ取り付けられている。ハーフミラー 4、4' は、使用者がフレーム 2 を頭部に装着したときに、それぞれ使用者の左目および右目と対向するように、投影ユニット 3、3' の先端部に取り付けられている。自然な立体表示をするには、眼の遠近調整機能に連動するように両眼視差を再生することも必要なため、左目用の投影ユニット 3 と右目用の投影ユニット 3' は、両眼視差を考慮した互いに異なる画像を表示する。投影ユニット 3、3' はどちらも同じ構成を有するため、以下では投影ユニット 3 について説明する。

40

【0021】

図 2 は、眼鏡型ディスプレイ 1 の投影ユニット 3 の概略構成図である。投影ユニット 3 は、内部に、光源部 10、投影部 30 および制御部 40 を有する。

【0022】

光源部 10 は、赤色 (R)、緑色 (G) および青色 (B) のレーザ光を一組とする複数組のレーザ光 50 を出射する。図 2 では、3 組のレーザ光 50 を示している。投影部 30 は、光源部 10 から出射された R G B レーザ光 50 を偏向させて使用者の左目 60 に入射させ、その網膜上に画像を投影する。すなわち、眼鏡型ディスプレイ 1 では、使用者の網膜を投影面として使用する。使用者は、網膜上で走査された光により、画像信号に応じた画像を視認する。制御部 40 は、投影される画像の画像データに応じて、光源部 10 によ

50

る R G B レーザ光の発光タイミングおよび発光強度などを制御する。

【 0 0 2 3 】

図 2 に示すように、使用者の左目 6 0 には、投影部 3 0 から出射されるレーザ光 5 0 がハーフミラー 4 で反射して入射するとともに、外光 5 1 もハーフミラー 4 を透過して入射する。すなわち、眼鏡型ディスプレイ 1 は、外光 5 1 による外景に、レーザ光 5 0 による投影画像を重ねて表示する、いわゆるシースルー型の投影装置である。ただし、これは一例であって、投影装置は必ずしもシースルー型である必要はない。

【 0 0 2 4 】

図 3 ( A ) は、光源部 1 0 の概略構成図である。光源部 1 0 は、レーザモジュール 1 1 R , 1 1 G , 1 1 B およびファイババンドルコンバイナ 1 2 を有する。

10

【 0 0 2 5 】

レーザモジュール 1 1 R は、ファイバアレイ 2 5 R を介して、例えば波長 6 4 0 n m の赤色レーザ光を出射する。レーザモジュール 1 1 G は、ファイバアレイ 2 5 G を介して、例えば波長 5 2 0 n m の緑色レーザ光を出射する。また、レーザモジュール 1 1 B は、ファイバアレイ 2 5 B を介して、例えば波長 4 6 0 n m の青色レーザ光を出射する。このように、光源部 1 0 は、R G B 各色の光源として、各色専用のレーザモジュールを使用する。レーザモジュール 1 1 R , 1 1 G , 1 1 B は同様の構成を有するため、以下ではこれらを区別せず、単に「レーザモジュール 1 1」ともいう。

【 0 0 2 6 】

ファイババンドルコンバイナ 1 2 は、各レーザモジュールからのファイバアレイ 2 5 R , 2 5 G , 2 5 B の端部を束ねて固定し、ファイババンドルを形成する。ファイババンドルコンバイナ 1 2 は、例えば、レーザ光の出射方向に垂直な断面上で各ファイバが正方配列または六方配列になるように、ファイバアレイ 2 5 R , 2 5 G , 2 5 B の端部を固定する。以下では、例えば、ファイバアレイ 2 5 R , 2 5 G , 2 5 B がそれぞれ 9 本のシングルモードの光ファイバで構成され、ファイババンドルコンバイナ 1 2 が計 2 7 本を束ねてファイババンドルを形成するものとして説明する。ファイババンドルコンバイナ 1 2 の端部（各ファイバの出射端部）から、複数組（例えば 9 組）の R G B レーザ光（合波光）が出射される。

20

【 0 0 2 7 】

なお、ファイバアレイ 2 5 R , 2 5 G , 2 5 B からの 1 本ずつのファイバで導波される R G B レーザ光を、融着型ファイバコンバイナにより 1 本のファイバに合波して、複数組の R G B レーザ光（合波光）を出射してもよい。あるいは、ファイババンドルコンバイナ 1 2 が束ねるファイババンドルを、マルチコアファイバに置き換えてもよい。

30

【 0 0 2 8 】

図 3 ( B ) は、レーザモジュール 1 1 の概略構成図である。レーザモジュール 1 1 には、同じ波長（色）の光源を多重化（空間多重）するために、対応する色の L D （レーザダイオード）アレイが設けられている。レーザモジュール 1 1 は、主要な構成要素として、シリコン基板 2 0 、 L D アレイ 2 1 、サブ基板 2 3 、ファイバアレイ 2 5 およびドライバ I C 2 7 を有する。レーザモジュール 1 1 は、S i プラットフォームとも呼ばれるシリコン基板 2 0 の上面に、L D アレイ 2 1 、サブ基板 2 3 、ファイバアレイ 2 5 およびドライバ I C 2 7 が実装された、集積化レーザモジュールである。

40

【 0 0 2 9 】

シリコン基板 2 0 は、例えば十数 m m 角程度の大きさを有する。シリコン基板 2 0 は、例えば、上面から底面に貫通するシリコン貫通電極（through-silicon via : T S V）が設けられ、底面に集中配置された半田バンプを介して図示しない回路基板に電氣的に接続される、T S V 型の基板である。あるいは、シリコン基板 2 0 は、F P C（Flexible printed circuits）で図示しない回路基板に電氣的に接続される構造を持つ基板でもよい。

【 0 0 3 0 】

L D アレイ 2 1 は、レーザモジュール 1 1 に対応する赤色、緑色または青色のレーザ光を出射する複数の（例えば 9 個の）半導体レーザ素子で構成される。すなわち、レーザモ

50

ジュール 1 1 R の L D アレイ 2 1 はすべて赤色の、レーザモジュール 1 1 G の L D アレイ 2 1 はすべて緑色の、レーザモジュール 1 1 B の L D アレイ 2 1 はすべて青色のレーザ光を出射する。なお、レーザモジュール 1 1 B ( およびレーザモジュール 1 1 R , 1 1 G ) の L D アレイ 2 1 は、第 2 次高調波を使用したいわゆる S H G レーザ素子でもよい。また、L D アレイ 2 1 を構成するレーザ素子の個数には、歩留まりを考慮して冗長性をもたせてもよい。

#### 【 0 0 3 1 】

サブ基板 2 3 は、ファイバアレイ 2 5 を保持するための溝が下面に形成された、例えば「コ」の字型のシリコン基板である。サブ基板 2 3 は、シリコン基板 2 0 に接合され、ファイバアレイ 2 5 の端部を固定する。なお、サブ基板 2 3 には、「コ」の字型の基板に代えて V 溝基板を用いてもよい。

10

#### 【 0 0 3 2 】

ファイバアレイ 2 5 は、例えば、L D アレイ 2 1 から出射されたレーザ光をそれぞれ導波するシングルモードの光ファイバである。サブ基板 2 3 がシリコン基板 2 0 に接合された状態で、ファイバアレイ 2 5 の端部は、L D アレイ 2 1 の各レーザ素子に光結合される。ファイバアレイ 2 5 の本数は、例えば、L D アレイ 2 1 を構成するレーザ素子の個数と同じ 9 本である。すなわち、上記の通り、光源部 1 0 は R G B 3 本のファイバを 9 組有し、9 組の R G B レーザ光を出射する。

#### 【 0 0 3 3 】

なお、ファイバアレイ 2 5 を構成する各ファイバの出射端部には、それぞれ G I ( Grad ed Index ) レンズを融着してもよい。シングルモードの各ファイバから出射される R G B レーザ光はガウシアンビームであり、各ファイバの開口数 ( N A : Numerical Aperture ) に応じて広がっていく。G I レンズにより各ファイバの N A を変化させることで、出射される R G B レーザ光の各波長におけるガウシアンビームの広がり角度が制御される。

20

#### 【 0 0 3 4 】

ドライバ I C 2 7 は、L D アレイ 2 1 などを駆動する機構であり、少なくとも、L D アレイ 2 1 の駆動に必要な電流供給を制御する機構を含む。ドライバ I C 2 7 は、デジタルインタフェースを実装していることが好ましく、また制御部として C P U およびメモリなどのコア部分を含んでいればなおよい。

#### 【 0 0 3 5 】

再び図 2 を参照し、投影部 3 0 について説明する。投影部 3 0 は、投射レンズ 3 1 、 M E M S ミラー 3 2 、投射レンズ 3 3 、マイクロレンズアレイ 3 4 、リレーレンズ 3 5 および M E M S ドライバ 3 6 を有する。

30

#### 【 0 0 3 6 】

投射レンズ 3 1 には、光源部 1 0 のファイバアレイ 2 5 R , 2 5 G , 2 5 B を構成する各ファイバの出射端部から出射された複数組の R G B レーザ光 5 0 が入射する。投射レンズ 3 1 は、光源部 1 0 から出射された複数組のレーザ光 5 0 が M E M S ミラー 3 2 上に照射されるように、そのビーム径と入射角度とを調整する作用をする。投射レンズ 3 1 は、同時に光源部 1 0 から出射されたレーザ光をコリメート光として M E M S ミラー 3 2 に入射させる。

40

#### 【 0 0 3 7 】

M E M S ミラー 3 2 は、走査部の一例であり、M E M S ドライバ 3 6 により、互いに直交する 2 軸方向に高速に揺動される。M E M S ミラー 3 2 は、投射レンズ 3 1 を透過した複数組のレーザ光 5 0 をそのミラー面で反射させて、眼鏡型ディスプレイ 1 の使用者の網膜上を 2 次元状に走査する。M E M S ミラー 3 2 のミラー面の大きさは、例えば直径 1 . 2 m m 程度である。

#### 【 0 0 3 8 】

投射レンズ 3 3 は、第 2 の投射レンズの一例であり、M E M S ミラー 3 2 とマイクロレンズアレイ 3 4 の間に配置され、M E M S ミラー 3 2 による複数組のレーザ光 5 0 の走査範囲を調整する。具体的には、投射レンズ 3 3 は、M E M S ミラー 3 2 で反射した複数組

50

のレーザ光 50 のビームを、略平行になるようにマイクロレンズアレイ 34 に入射させる。すなわち、投射レンズ 33 は、MEMS ミラー 32 により走査されたレーザ光を、その入射角度に応じた位置を通るコリメート光に変換（角度位置変換）してマイクロレンズアレイ 34 に入射させる。投射レンズ 33 としては、投射レンズ 31 と焦点距離が同じレンズを使用してもよいし、投射レンズ 31 とは焦点距離が異なるレンズを使用してもよい。

【0039】

マイクロレンズアレイ 34 は、例えば正方配列または六方配列で複数のマイクロレンズ 341 が 2 次元状に連続して繰返し配置された複眼状のレンズである。マイクロレンズアレイ 34 は、MEMS ミラー 32 から投射レンズ 33 を経て入射した複数組のレーザ光 50 の角度をマイクロレンズ 341 への入射位置に応じて変化させて（位置角度変換）、投影される画像に応じてマイクロレンズ 341 の表面上の各点から光線が発散している状態を作り出す。

【0040】

リレーレンズ 35 は、マイクロレンズアレイ 34 を透過した複数組のレーザ光 50 が使用者の目に効率よく入射するように、アイレリーフ（接眼部と目との距離）を延長するために用いることができる。また、リレーレンズ 35 は、レーザ光 50 のビーム径と入射角度とを調整する作用をする。マイクロレンズアレイ 34 を透過した複数組のレーザ光 50 は、リレーレンズ 35 を経て使用者の網膜上に投影される。

【0041】

MEMS ドライバ 36 は、制御部 40 による制御データに応じて、MEMS ミラー 32 を互いに直交する 2 軸方向に高速に揺動させる。この駆動方式は、静電方式、電磁方式、 piezo 方式などのどれを用いてもよい。また、各軸方向の走査で異なる駆動方式を組み合わせてもよい。

【0042】

制御部 40 は、CPU 41、RAM 42、ROM 43 および I/O 44 などを持つマイクロコンピュータおよびその周辺回路で構成される。

【0043】

CPU 41 は、各種演算および処理を行う中央処理部である。RAM 42 は、入力データおよび CPU 41 が処理するデータを一時的に記憶するランダムアクセスメモリである。ROM 43 は、CPU 41 が実行する動作プログラムおよび固定データを格納するリードオンリメモリである。I/O 44 は、光源部 10 および投影部 30 との間でデータの受渡しを行うためのインタフェースである。

【0044】

制御部 40 は、眼鏡型ディスプレイ 1 全体の動作を制御する。制御部 40 は、画像データに応じて、後述するように光源部 10 の発光タイミングを制御し、かつ投影部 30 の MEMS ドライバ 36 を制御して光源部 10 の複数組のレーザ光 50 を使用者の網膜上に投影させる。詳細は後述するが、制御部 40 は、投影される画像の奥行き位置が知覚されるように、投射レンズ 33 とマイクロレンズアレイ 34 の間でレーザ光が集束する仮想的なスクリーン上におけるレーザ光による像の位置を制御することで、目に入射するレーザ光のビームの位置と角度とを変化させる。

【0045】

また、制御部 40 は、例えば、タイムオブフライト（TOF）方式、パタン投射法または画像によるパタン認識などを利用して、図示しないが使用者の眼球の動きを計測することにより、アイトラッキングを行う機能を有する。アイトラッキングには、例えば、アイセーフティの観点から微弱な近赤外光を眼球に照射し、近赤外に感度のある CMOS または CCD センサでその反射光を取得し、画像処理により瞳の位置を検出および捕捉追尾する方法を用いることができる。その他の方法として、制御部 40 は、例えば図示しない検知部が赤外線を照射してからその反射光を受光するまでの光の飛行時間を計測するタイムオブフライト法か、または近赤外光で疑似ランダムドットなどのストラクチャドライトを眼球に照射し、近赤外 CMOS / CCD カメラで構成される画像センサで取得した画像か

10

20

30

40

50



ら深度情報を検出して眼球の動きを計測する方法を用いてもよい。これにより、制御部 40 は、眼球の動きに応じて投影画像を変化させる。また、図示しないジャイロセンサを用いてヘッドトラッキングを行う機能を制御部 40 に追加するとなおよい。

#### 【0046】

図 4 A は、図 2 の等価光学系を示した模式図であり、図 4 B ( A ) ~ ( C ) は、図 4 A のレーザ光 50 のビーム形状について説明するための図である。また、図 5 ( A ) および図 5 ( B ) は、それぞれ、ファイババンドルコンバイナ 12 で固定される各ファイバの配列と、複数組のレーザ光 50 を走査する方法の例を説明するための図である。図 4 A ~ 図 5 ( B ) を用いて、投影ユニット 3 の機能の詳細について説明する。

#### 【0047】

ファイバアレイ 25 を構成する各ファイバの射出端部から、複数組の R G B レーザ光 50 が射出される。図 4 A では 3 組のレーザ光を示す。図 4 A には示していないが、各組のレーザ光は、赤色、緑色および青色の 3 本のレーザ光で構成される。なお、図 4 A では、説明のため、MEMS ミラー 32 はレーザ光 50 を透過する等価回路として図示している。

#### 【0048】

図 5 ( A ) は、ファイバアレイ 25 R , 25 G , 25 B を構成する各ファイバ 251 が正方配列している場合の例を示す。各ファイバ 251 から射出されるレーザ光 50 は、ファイババンドルコンバイナ 12 により束ねられているファイババンドル内の各ファイバ 251 の配置に起因して、進行方向に垂直な面内で、互いにわずかに位置がずれている。例えば、図 5 ( A ) において隣り合うファイバ 251 のコア間が距離 d だけ離れていることから、図 4 A に示すように、各組のレーザ光 50 は、進行方向に垂直な面内で距離 d だけ位置がずれている。

#### 【0049】

この位置ずれは、レーザ光 50 が投射レンズ 31 を透過することにより、角度のずれに変換される。例えば、投射レンズの中央位置を透過するビームとその位置から l だけ離れた位置のビームは、投射レンズの焦点位置を f としたとき、( 1 ) 式で示される角度  $\theta$  をなす。

#### 【数 1】

$$\theta = \tan^{-1} \frac{l}{f} \quad \dots (1)$$

#### 【0050】

投射レンズ 31 は、MEMS ミラー 32 のミラー面の大きさ (例えば 1 . 2 mm ) に合ったビーム径になるように、複数組のレーザ光 50 を略コリメートする。一般に、平行に配置したビームをレンズに入射させると各ビームはレンズの焦点を通るため、眼鏡型ディスプレイ 1 では、MEMS ミラー 32 は、投射レンズ 31 の焦点距離 f だけ投射レンズ 31 から離れた位置に配置される。これにより、ミラー面が小さくても、複数組のレーザ光 50 は MEMS ミラー 32 で反射される。

#### 【0051】

なお、MEMS ミラー 32 として空気中で振動させるものを使用する場合には、空氣のダンピングファクタなどで決まる MEMS ミラー 32 の共振周波数から決まる大きさの制約条件があるため、MEMS ミラー 32 でのビーム径を網膜の投影領域上で必要となる小さなビーム径に調整するために必要な面積を確保できない場合がある。その場合には、例えば、真空シール型 MEMS を用いて空氣ダンピングの影響をなくし、MEMS ミラー 32 を大型化することで、高 N A の投射レンズと組み合わせてビームウェストを絞り高精細化することも可能である。

#### 【0052】

M E M Sミラー 3 2 は、複数組のレーザ光 5 0 の投射点で例えば網膜上の 4 角形の投影領域を覆うように、レーザ光 5 0 を走査する。この走査は、ラスタスキャンでもベクトルスキャンでもよい。ただし、M E M Sミラー 3 2 は、異なる組の同色のレーザ光 5 0 による走査像同士が互いに重ならないような走査角で、レーザ光 5 0 を 2 次元状に走査する。このため、M E M Sミラー 3 2 は、1 組の R G B レーザ光で投影領域全体を走査する場合と比べてより微小な走査角で（すなわち、より高い共振周波数を持つ M E M Sミラーを用いて）駆動することが可能である。

#### 【 0 0 5 3 】

図 5 ( B ) は、複数組のレーザ光 5 0 を走査する方法の例を示す。図 5 ( B ) では、マイクロレンズ上の投影領域 6 1 が 9 個の 4 角形の部分領域 6 2 に分割されている。投影ユニット 3 では、部分領域 6 2 と 1 組の R G B レーザ光 5 0 を対応させる。M E M Sミラー 3 2 が 2 軸方向に揺動することにより、各部分領域 6 2 では、1 組の R G B レーザ光 5 0 の投射点 5 2 が、例えば矢印で示すように双方向に移動する。そして、M E M Sミラー 3 2 の走査角を小さく抑えて、異なる組の同色のレーザ光 5 0 による走査像同士が互いに重ならないように 9 組のレーザ光 5 0 によりそれぞれ対応する部分領域 6 2 を走査することで、投影領域 6 1 全体が走査される。なお、図 5 ( B ) でも、M E M Sミラー 3 2 はレーザ光 5 0 を透過するものとして図示している。

#### 【 0 0 5 4 】

投射レンズ 3 3 として、投射レンズ 3 1 より有効径の大きなレンズを使用すれば、走査範囲を広げることができる。ただし、図 4 A では簡単のため、投射レンズ 3 1 と投射レンズ 3 3 の倍率が 1 対 1 であり、投射レンズ 3 3 の焦点距離が投射レンズ 3 1 と同じ  $f$  であるとして説明する。そして、この配置には限定されないが、ファイバアレイ 2 5 の出射端部、投射レンズ 3 1、M E M Sミラー 3 2、投射レンズ 3 3 およびマイクロレンズアレイ 3 4 の前側焦点位置が互いに同じ焦点距離  $f$  だけ離れた位置に配置されているものとして説明する。

#### 【 0 0 5 5 】

このとき、図 4 A に示した光学系は  $4 f$  の光学系（1 対 1 の投影システム）になるため、投射レンズ 3 1 に平行に入射した複数組のレーザ光 5 0 は、投射レンズ 3 3 から互いに平行に出射する。実際には、レーザ光 5 0 はガウシアンビームであるため、図 4 A に示すようにビームの広がりがあるが、投射レンズ 3 1 を透過するとコリメートされて、略平行になる。このとき、略平行光は、投射レンズ 3 1 の入射位置に応じた入射角で M E M Sミラー 3 2 に入射し、M E M Sミラー 3 2 により角度変調される。M E M Sミラー 3 2 で反射された略平行光は、投射レンズ 3 3 により角度変調量に応じた出射位置に変換される。すなわち、レーザ光 5 0 が M E M Sミラー 3 2 で角度変調を受けた上でさらに投射レンズ 3 3 を透過することにより、ビーム間の角度のずれは、各光軸が平行な制御された所定の位置のずれに変換される。

#### 【 0 0 5 6 】

そして、投射レンズ 3 3 の後側焦点面上で、各ファイバから出射されたレーザ光 5 0 は再び焦点を結ぶ。この焦点位置は、マイクロレンズアレイ 3 4 の入射側の前側焦点面に略等しい位置とする。図 4 A には示していないが、リレーレンズ 3 5 を用いる場合には、マイクロレンズ 3 4 1 の前側焦点位置より若干マイクロレンズアレイ 3 4 側に投射レンズ 3 3 の後側焦点面を合わせることで、マイクロレンズアレイ 3 4 からの各出射ビームを拡散光として制御し、後述するリレーレンズ 3 5 を用いた観察光学系で略コリメートすることが好ましい。

#### 【 0 0 5 7 】

こうして、マイクロレンズアレイ 3 4 の上には、互いに重ならない複数組の前側焦点面付近で集束したレーザ光 5 0 が投射レンズ 3 3 から入射する。M E M Sミラー 3 2 がレーザ光 5 0 を走査すると、マイクロレンズアレイ 3 4 への各組のレーザ光 5 0 の入射位置が、図 4 A に矢印 A で示したように変化する。マイクロレンズアレイ 3 4 に略垂直に入射した各組のレーザ光 5 0 は、マイクロレンズアレイ 3 4 を構成する各マイクロレンズ 3 4 1

10

20

30

40

50

(分割領域)上の照射位置に応じて、図4Aに矢印Bで示したように角度の異なる光に変換される。すなわち、レーザ光50がマイクロレンズアレイ34を透過することにより、レーザ光50間の位置ずれは、微細な角度ずれに変換される。また、マイクロレンズ34は、透過する各レーザ光50のビームを略コリメートする作用を同時に持つ。

【0058】

そして、マイクロレンズアレイ34を透過したレーザ光50は、対応するマイクロレンズ341の後側焦点面を通るため、各マイクロレンズ341の後側焦点は、角度分布をもったマルチビームのプロジェクタの等価的なピンホール状の光源とみなすことができる。すなわち、各マイクロレンズアレイ34とリレーレンズ35は、見かけ上マイクロレンズ341ごとに独立に制御可能なマイクロプロジェクタアレイとして機能する。

10

【0059】

なお、図4Aにおける各組のレーザ光50について、RGBの3本のビーム形状を示すと図4B(A)のようになる。この図では、1個のマイクロレンズ341に入射するRGBレーザ光50のビーム形状を示している。また、例えばレーザ光50の2本のビームの伝播を示すと図4B(B)のようになる。ここで、 $f_1$ 、 $f_2$ は、それぞれ、投射レンズ33、マイクロレンズ341の焦点距離である。MEMSミラー32で異なる角度に反射された各ビームは、投射レンズ33を透過することにより平行ビームに変換され、さらにマイクロレンズ341を透過することにより、マイクロレンズ341の後側焦点を通る角度に変換される。なお、個々のビームの形状は図4B(C)のようになる。MEMSミラー32からの個々のビームはコリメート光であり、投射レンズ33を透過することにより

20

【0060】

また、簡単のため、図4Aでは1本のレーザ光50に1個のマイクロレンズ341を対応させて図示しているが、実際にはその必要はなく、ファイバアレイ25の1つのファイバから出力される1本のレーザ光50に複数のマイクロレンズ341を対応させてもよい。

【0061】

使用者の目の位置がマイクロレンズアレイ341から近い位置に固定されていれば、各マイクロレンズ341から出射した光を目に入射させることができる。ただし、各マイクロレンズ341からの出射光が使用者が離れて使用する場合には、その出射光をそのまま使用すると、全体のビームが広がってしまい効率が悪くなる。このため、図4Aには示していないが、レーザ光50が使用者の目に効率よく入射するように、リレーレンズ35とマイクロレンズ341との組合せにより観察光学系を構成し、マイクロレンズアレイ34からの出射光を略コリメートさせるとともに出射光の方向を目に向くように制御するとよい。

30

【0062】

こうして、マイクロレンズアレイ34からリレーレンズ35を介して出射されるレーザ光をNTEディスプレイの光学系に入力することで、人間の目がリフォーカス可能なライトフィールド(light field)を再現し、立体的に知覚可能な画像を投影することが可能になる。

40

【0063】

図6は、画像が立体的に見える原理を説明するための図である。レンズLは人間の目のレンズを模式化したものである。

【0064】

出射点Sを見ようとする場合、人間の目は、結像点S'が網膜上に来るようにレンズ(水晶体)Lを制御する。目がレンズの焦点距離を変えて像を網膜上に結像させる動作のことを、ここでは便宜的に、「焦点を合わせる」と表現する。一般に、目が出射点Sに焦点を合わせた状態で、出射点SをレンズLにより近い位置Cとすると、出射点Sからの光のうちレンズLの光軸を通過する光はより大きな角度でレンズLに入るため、より遠くの位

50

置C'に結像する。したがって、網膜位置のS'では、ぼけた画像になる。逆に、出射点SをレンズLからより遠い位置Dとすると、出射点Sからの光のうちレンズLの光軸を通過する光はより小さな角度でレンズLに入るため、網膜位置のS'より近くの位置D'に結像する。その結果、網膜位置のS'では、ぼけた画像になる。したがって、出射点Sの位置をレンズLに対して前後させるとそれに応じて結像位置も前後するので、人間の目は、焦点を合わせる動作により、網膜位置のS'に結像する画像を選択し、レンズLの調整によって出射点までの距離を測ることができる。

#### 【0065】

上記したように、人間が物体を見るとき、物体の1点から出た光が網膜上で結像すると、その物体の像がはっきり見える。一方、物体からの光が網膜上とは異なる位置で結像すると、その物体はぼけて見える。眼鏡型ディスプレイ1では、マイクロレンズアレイ34から出射するレーザ光により、異なる位置にある物体からの複数の光線を再現するライトフィールドを発生させる。これにより、眼鏡型ディスプレイ1は、使用者の目が焦点を合わせる動作に応じて網膜上に結像させる像を変えることができる。すなわち、目のリフォーカス(refocus)に対応することができる。

#### 【0066】

眼鏡型ディスプレイ1では、複数組のRGBレーザ光を出射し、上記のように各レーザ光の位置ずれをマイクロレンズ341により微小な角度ずれに変換する。そして、眼鏡型ディスプレイ1は、これにより仮想的なスクリーン上(各マイクロレンズ341上)の複数の点から物体が発した光線が発散しているのと等価な状態を作り出すことで、その物体の画像を使用者の目に投影する。その際、眼鏡型ディスプレイ1の制御部40は、レイトレーシング(ray tracing)と同じように各プロジェクタの光を制御する。レイトレーシングでは、表示する物体、光源、視点などの位置データを計算することで、人間の目に届く光線を逆にたどって、その先から光が出ているように物体を描画する。眼鏡型ディスプレイ1でも同じように、制御部40が、表示対象の物体、光源、視点などの位置データを計算し、そのデータとアイトラッキングにより取得した目の位置情報とを用いて、目が認識するのに必要最小限なライトフィールドをリアルタイムで再生するように、光源部10が出射する各光線の発光タイミング、位置および方向を制御することで、物体が立体的に見えるような光線を使用者の目に入射させる。

#### 【0067】

上記のような投影ユニット3を右目用と左目用の2つに分けて眼鏡型にすることで、眼の遠近調整だけでなく、視差による輻輳を再現できる小型の双眼型ライトフィールドディスプレイを実現することができ、高精細の画像を投影することが可能になる。一般に、ライトフィールドディスプレイを実現するには色々な角度から見た画像を表示しなければならず、描画のためのデータ量が多くなる。しかしながら、眼鏡型であれば、アイトラッキングおよびジャイロセンサなどを応用したヘッドトラッキングシステムを併用し、眼球に対して正面から見た画像だけを表示すればよいので、必要なデータ量が少なくなるという利点がある。

#### 【0068】

また、眼鏡型に限らず、投影ユニット3自体をアレイ状に配置することで、直視型の高精細かつコンパクトなピコプロジェクションシステムを実現することも可能である。

#### 【0069】

なお、上記のようにMEMSミラーの走査角を小さく抑えなくても、異なる組の同色のレーザ光50による走査像同士が互いに重ならないようにすることは可能である。以下では、その方法の例を2つ説明する。

#### 【0070】

1つ目の方法として、例えば、MEMSミラーを用いた走査の1周期のうち、複数組のレーザ光50の点灯範囲を狭くする方法がある。以下では、この方法を、複数組のレーザ光の走査範囲が狭くなるようにMEMSミラーの走査角を抑える(水平走査範囲を狭くする)方法と比較して説明する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 7 1 】

図 7 ( A ) および図 7 ( B ) は、複数組のレーザ光 5 0 を走査する方法の別の例を説明する図である。図 7 ( A ) は、MEMSミラーの水平走査範囲を狭くする方法を示し、図 7 ( B ) は、MEMSミラーの水平走査範囲を狭くせずにレーザ光の点灯時間により描画範囲を制限する方法を示す。図 7 ( B ) の方法では、走査角を小さく抑えない従来型の MEMSミラーを使用しても、異なる組の同色のレーザ光 5 0 による走査像同士が互いに重ならないという効果が得られる。

## 【 0 0 7 2 】

図 7 ( A ) と図 7 ( B ) のどちらの方法でも、投影領域 6 1 A , 6 1 B における水平方向の描画範囲と垂直方向の走査線数は同じであると仮定する。これらの図では、片方向走査を仮定し、走査線 5 3 を矢印で示す。また、MEMSミラーの水平走査には共振モードを使用し、垂直走査は強制振動方式とする。垂直走査は外部から強制的に制御できるため、垂直走査範囲 V は図 7 ( A ) と図 7 ( B ) のどちらの方法でも同じにできる。一方、水平走査は MEMSミラーの共振特性で決まるため、走査範囲を狭くする図 7 ( A ) の方法では水平走査範囲  $H_1$  と水平描画範囲 I とを近づけられるが、水平走査範囲が広い図 7 ( B ) の方法では、光源のレーザ素子の点灯時間を制御して水平描画範囲 I を走査すると、水平走査範囲  $H_2$  に対する水平描画範囲 I の割合が小さくなる。

## 【 0 0 7 3 】

描画範囲の解像度が同じ場合、MEMSミラーの水平走査範囲に対して水平描画範囲が狭いほど、レーザ素子に要求される 1 ドットあたりの点灯時間が短くなる。このため、図 7 ( B ) の方法では、高い周波数で駆動できるレーザ素子および駆動回路が必要となる。一般に、高速動作が必要な回路はコスト高を招くことが多いため、できるだけ低周波数での駆動が好ましい。

## 【 0 0 7 4 】

2 つ目の方法として、例えば、各組のレーザ光による走査線が互いにずれるように間隔を空けて光源部 1 0 から複数組のレーザ光 5 0 を出射し、従来型の MEMSミラーを用いて複数組のレーザ光 5 0 により投影領域の全体を同時に走査する方法がある。図 8 を用いて、この走査方法を説明する。

## 【 0 0 7 5 】

図 8 は、複数組のレーザ光 5 0 を走査する方法のさらに別の例を説明する図である。図 8 では、3 組のレーザ光の走査線 5 3 a , 5 3 b , 5 3 c をそれぞれ実線、破線および一点鎖線で示している。図 8 に示すように、各組のレーザ光同士が互いに重ならないように各ビームの間隔を正確に揃えることにより、投影領域 6 1 の全体（あるいはマイクロレンズアレイ 3 4 の領域全体）を覆うように複数組のレーザ光 5 0 を同時に走査してもよい。なお、図 8 では各組のレーザ光のビームで投影領域全体を単方向に走査する方法を示しているが、図 5 ( B ) の各部分領域 6 2 における走査のように、双方向の走査を行ってもよい。

## 【 0 0 7 6 】

眼鏡型ディスプレイの場合には、マイクロレンズアレイ 3 4 から使用者の目までの距離（アイレリーフ）は例えば 2 5 mm 程度と比較的短いため、マイクロレンズアレイ 3 4 と目の間のリレーレンズ 3 5 はなくてもよい。また、これまでは、光源部 1 0 から投影部 3 0 に複数組の RGB レーザ光 5 0（合波光）を入射させる場合の例を説明してきたが、合波光は 1 本（シングルビーム）でも複数本（マルチビーム）でもよい。そこで、以下では、リレーレンズ 3 5 がない別の投影部（接眼型）において、1 組の RGB レーザ光（シングルビーム）を使用する場合の例を詳しく説明する。

## 【 0 0 7 7 】

図 9 は、別の投影部 3 0 A の概略構成図である。投影部 3 0 A は、例えば眼鏡型ディスプレイ 1 の左目用の投影ユニット 3 内で、図 2 に示した投影部 3 0 に代えて使用可能である。投影部 3 0 A を使用する場合には、図示しないが、右目用の投影ユニット 3' 内にも投影部 3 0 A と同様の投影部が用意され、両者の投影ユニットには両眼視差を考慮した互

10

20

30

40

50

いに異なる画像が表示される。図2に示した投影部30と共通する構成要素には同一の符号を使用し、重複する説明を省略する。

【0078】

投影部30Aは、投射レンズ31、MEMSミラー32、MEMS基板32A、投射レンズ33、マイクロレンズアレイ34、MEMSドライバ36、ワイヤグリッドアレイ37、 $\pi$ /4板38および固定具39を有する。

【0079】

投射レンズ31には、シングルモードファイバ251'からのRGBレーザ光の合波光が入射する。シングルモードファイバ251'は、レーザモジュール11R, 11G, 11BからのRGBレーザ光を合波し同じ偏波方向にそろえた光を導光する光ファイバである。シングルモードファイバ251'の出射端部は、出射光が投射レンズ31に入射するように、ファイバ固定部252により固定される。投影部30Aでは、偏光の制御を容易にするために、シングルモードファイバ251'として、当該波長での偏波保持シングルモードファイバ(PMF: Polarization Maintaining Fiber)を使用することが好ましい。

10

【0080】

投射レンズ31は、シングルモードファイバ251'の出射端部から出射された1組のRGBレーザ光50を、コリメート光としてMEMSミラー32に入射させる。なお、単体の投射レンズ31を設ける代わりに、投射レンズ31として機能するレンズが内蔵されたレンズ付きファイバ、またはグレーデッドインデックス(GI)ファイバからなるレンズ付きファイバとマイクロオプティクスレンズとを組み合わせた複合レンズを使用してもよい。

20

【0081】

MEMSミラー32によるレーザ光50の走査角を広げるために、投影部30Aでは、図9に示すように、ワイヤグリッドアレイ37と $\pi$ /4板38を使用して、レーザ光50の進行方向を変化させる。なお、投影部30Aでは、複数組のRGBレーザ光を使用する場合でも、例えば図7(A)~図8を用いて説明した走査方法により、MEMSミラー32の走査角の大きさにかかわらず、異なる組の同色のレーザ光50による走査像同士は互いに重ならないように制御される。

【0082】

図9に示すように、投影部30Aでは、ファイバ251の出射方向と、MEMSミラー32が揺動していないときのMEMSミラー32の法線方向とが直交するようにファイバ251の出射端部とMEMSミラー32が配置される。さらに、ファイバ251から出射されたレーザ光50がワイヤグリッドアレイ37で反射してMEMSミラー32に当たるように、ワイヤグリッドアレイ37はファイバ251の出射方向に対し45度の角度で配置される。ただし、MEMSミラー32で反射されたレーザ光50がファイバ251で遮られずに投影部30Aから出射できれば、ファイバ251、MEMSミラー32およびワイヤグリッドアレイ37の配置角度は、図9に示したものと異なってもよい。

30

【0083】

ワイヤグリッドアレイ37は、例えば、S偏光を反射しP偏光を透過する偏光子である。投影部30Aでは、ファイバ251から例えばS偏光を入射させる。この場合、ワイヤグリッドアレイ37は、入射したS偏光のレーザ光50をMEMSミラー32に向けて反射させて、 $\pi$ /4板38に入射させる。

40

【0084】

$\pi$ /4板38は、ワイヤグリッドアレイ37とMEMSミラー32の間に配置され、透過するレーザ光50の偏光方向を変化させる。 $\pi$ /4板38は、ワイヤグリッドアレイ37から入射したS偏光を円偏光に変換してMEMSミラー32にほぼ垂直に入射させるとともに、MEMSミラー32で反射してMEMSミラー32から入射した円偏光をP偏光に変換する。すなわち、レーザ光50は、 $\pi$ /4板38を2回透過することにより、最初の偏光方向に対して直交した偏光方向をもつ直線偏光に変換される。P偏光に変換された

50

レーザ光 50 は、ワイヤグリッドアレイ 37 を透過して、投射レンズ 33 に入射する。このとき、 $\gamma$  / 4 板 38 の両平面には表面反射を軽減するために反射防止 (AR) コートが施されるが、さらに表面反射によるノイズ光を防ぐために、 $\gamma$  / 4 板 38 を例えば 15 度ほど MEMS ミラー 32 の平面に対し傾けて配置することが好ましい。

#### 【0085】

図 2 に示した投影部 30 のように、レーザ光のビームを MEMS ミラー 32 に斜めに入射させた場合には、その法線方向に対する入射角度以上の大きさでビームを振ると、MEMS ミラー 32 による反射ビームは入射元のファイバによって遮られてしまう。しかしながら、図 9 に示した投影部 30 A では、反射ビームはファイバ 251 によって遮られることはなく、MEMS ミラー 32 の振れ角の 2 倍の大きさだけビームの走査角を広げることができる。また、投影部 30 のようにビームを MEMS ミラー 32 に斜めに入射させた場合には、入射角度を大きくすると投影画像に非対称な歪みが生じるが、投影部 30 A ではビームを MEMS ミラー 32 に対して垂直に入射させるので、同じ振れ角で比較した場合、そのような歪みを軽減させることができる。

#### 【0086】

MEMS ミラー 32 は、MEMS 基板 32 A の上に実装され、MEMS ドライバ 36 によって互いに直交する 2 軸方向に高速に揺動される。MEMS ミラー 32 による走査方法は特に限定されないが、走査線の重なりをなくすためには、例えば片方向走査を使用するとよい。MEMS ミラー 32 により、レーザ光 50 は概略平行光のまま反射される。

#### 【0087】

投射レンズ 33 は、例えばオルソスコピック式 (アッペ型) の接眼レンズと同様の構成である。投射レンズ 33 は、レーザ光 50 の入射方向 (図 9 の左側) から順に、平凸レンズ、空気層、両凸レンズ、両凹レンズおよび平凸レンズという 4 枚のレンズで構成される。このレンズを使うと、歪曲収差が少なくなり画質が良くなるという利点がある。

#### 【0088】

マイクロレンズアレイ 34 は、図 2 に示した投影部 30 のものと同様である。なお、図 9 では平凸レンズのマイクロレンズアレイ 34 を示しているが、マイクロレンズアレイ 34 の各マイクロレンズ 341 は平凸レンズでも両凸レンズでもよく、平凸レンズの場合の凸レンズの向きは入射方向と出射方向のどちらでもよい。これは、マイクロレンズアレイ 341 の色収差や歪曲収差など各種の収差は、後述する仮想的な表示面上の色別の画像データ位置を調整することで軽減することが可能なためである。なお、マイクロレンズアレイの両表面には、使用波長での反射を低減する無反射コート (AR コート) を施すことが好ましい。投影部 30 A では、マイクロレンズアレイ 34 を透過したレーザ光 50 は、リレーレンズ 35 を介さずに、使用者の目に直接入射する。

#### 【0089】

固定具 39 は、投射レンズ 33、ワイヤグリッドアレイ 37 および  $\gamma$  / 4 板 38 を固定する。また、ファイバ 251 の出射端部、MEMS 基板 32 A およびマイクロレンズアレイ 34 も、固定具 39 に対する相対位置がそれぞれ固定される。

#### 【0090】

図 10 は、図 9 の等価光学系を示した模式図である。図 4 A では簡単のため  $4f$  の光学系で説明したが、図 10 では、投射レンズ 31 をできるだけ小型にし、また、投射範囲を大きくとるために、投射レンズ 32 は有効径が投射レンズ 31 より大きくなる構成とした。なお、図 10 では、図 9 に示した投影部 30 A の構成要素のうち、投射レンズ 31、MEMS ミラー 32、投射レンズ 33 およびマイクロレンズアレイ 34 のみを示している。また、図 10 では、MEMS ミラー 32 はレーザ光 50 を透過するものとして図示している。

#### 【0091】

投射レンズ 31、投射レンズ 33 および各マイクロレンズ 341 の焦点距離を、それぞれ  $f_0$ 、 $f_1$ 、 $f_2$  とおく。投射レンズ 31、33 の焦点距離  $f_0$ 、 $f_1$  は同じ大きさでもよく、異なる大きさでもよい。マイクロレンズ 341 の焦点距離  $f_2$  は、投射レンズ 3

10

20

30

40

50

1, 33の焦点距離 $f_0$ ,  $f_1$ より小さい。また、矢印 $L_1$ の長さはアイレリーフに相当する。

#### 【0092】

図10に示すように、シングルモードファイバ251'は、投射レンズ31の焦点距離 $f_0$ の近傍に配置される。投射レンズ31からの光を略コリメート光とするMEMSミラー32は、レーザ光50が略コリメート光とみなせて間に必要な光学系を配置した上でMEMSミラー32の有効面にケラれない $f_0 +$ の距離だけ投射レンズ31から離れた位置に配置される。また、投射レンズ33は、その焦点距離 $f_1$ だけMEMSミラー32から離れた位置に配置される。MEMSミラー32から光軸に対して斜めに投射レンズ33に入射したレーザ光50が形成するビームは、投射レンズ33の作用により、その入射角度および位置に応じた距離だけ光軸から離れた概略平行ビームに変換(角度位置変換)される。実際には、レーザ光50はガウシアンビームでありビームの広がりがあるが、投射レンズ33を透過した各平行ビームは、投射レンズ33の作用により投射レンズから焦点距離 $f_1$ だけ離れた位置で集束する。その位置の平面71では、各ビームの径が絞られて空間に像が表示された状態になるため、平面71は仮想的なディスプレイとして機能する。この平面71のことを、以下では「仮想表示面(virtual display plane)71」という。

10

#### 【0093】

マイクロレンズアレイ34は、各マイクロレンズ341の焦点距離 $f_2$ もしくは若干それより短い距離だけ仮想表示面71から離れた位置に配置される。すなわち、投射レンズ33とマイクロレンズアレイ34は、投射レンズ33の焦点距離 $f_1$ とマイクロレンズアレイ34の焦点距離 $f_2$ を合計した距離(レンズ厚みを考慮しない場合)だけ間隔を空けて配置される。投射レンズ33を透過し仮想表示面71で集束したレーザ光50は、マイクロレンズアレイ34によりコリメートされるとともに、その入射位置に応じて異なる角度に変換(位置角度変換)されて、マイクロレンズアレイ34から焦点距離 $f_2$ だけ離れた位置を通る。したがって、マイクロレンズアレイ34の各レンズレットの有効面に垂直入射したレーザ光50は、焦点距離 $f_2$ の位置に配置されたピンホールアレイから出射したものとみなすことができる。MEMSミラー32がレーザ光50を走査すると、各マイクロレンズ341からのレーザ光50の出射位置と出射角度が変化する。こうして、マイクロレンズアレイ34の各マイクロレンズ341は、レーザ光50の角度を制御して使用者の目の網膜に投射させる網膜走査型ディスプレイとして機能する。

20

30

#### 【0094】

図11は、投影部30Aを用いたNTE(near-to-eye:接眼型)ライトフィールドディスプレイの動作原理を説明するための図である。なお、図11の記載は説明のために簡略化しているため厳密なものではなく、本実施形態の構成においては、各ビームはマイクロレンズアレイ34に垂直に入射する。また、この動作原理そのものは、非特許文献(V. F. Pamplona, A. Mohan, M. M. Oliveira, and R. Raskar, "NETRA: Interactive Display for Estimating Refractive Errors and Focal Range," ACM Trans. Graph. 29, (2010).)に記載されているNETRAシステムと同様のものである。

#### 【0095】

使用者が無限遠(十分遠方)の物体72を見ているとすると、正常な視力を持つ使用者の目80のレンズ(水晶体)81は弛緩した状態になり、レンズ81に平行に入射した光が重なり網膜上で像73を結ぶ。したがって、投影部30Aにより使用者の目80に平行に入射するビーム74を生成して仮想表示面71上の符号75の位置に画素を表示させれば、目80は無限遠に焦点を合わせるため、物体を無限遠にあるように表示することができる。

40

#### 【0096】

また、目80が無限遠に焦点を合わせた状態では、より目80の近くにある物体76からレンズ81に斜めに入射した光は、網膜上では重ならず複数の位置77に投影されるため、目80にはぼけた像として見える。したがって、投影部30Aにより物体76に対応

50



する位置から出射されるビーム 7 8 を生成して仮想表示面 7 1 上の符号 7 9 で示した別の位置に画素を表示させれば、目 8 0 にはぼけた物体 7 6 が見える。

【 0 0 9 7 】

一方、使用者が近くの物体 7 6 を見ているとすると、目 8 0 のレンズ 8 1 のパワーが大きくなり、目 8 0 は近くに焦点を結ぼうとする。この場合、逆に、無限遠の物体 7 2 からの光は網膜より手前の位置で像を結ぶので、網膜上では複数の位置に投影され、目 8 0 にはやはりぼけた像として見える。

【 0 0 9 8 】

目 8 0 が無限遠に焦点を合わせた状態で、仮想表示面 7 1 上における画素を符号 7 5 の位置から符号 7 9 の位置に移動させると、それに伴い各マイクロレンズ 3 4 1 へのビームの入射位置も移動する。これにより、レンズ 8 1 へのビームの入射角度が変化するため、使用者は物体がより近くにあると知覚し、レンズ 8 1 のパワーを大きくして、物体 7 6 の位置に焦点を合わせる。

【 0 0 9 9 】

投影部 3 0 A を用いた眼鏡型ディスプレイ 1 は、制御部 4 0 の制御の下で、25 mm 程度のアイレリーフに対応させて仮想表示面 7 1 に表示される画素の位置を制御し、マイクロレンズアレイ 3 4 から出射するレーザ光により、異なる位置にある物体からの光線を再現するライトフィールドを発生させる。その際、各マイクロレンズ 3 4 1 からのビームによる多数の点が重ねられて、網膜上に合成画像が生成される。いずれの点も、被写界深度の深い網膜走査型レーザディスプレイの特徴である、略コリメート光として網膜上に投影されるので、仮に 1 個の点だけを表示したとすると、どの点も使用者の目にははっきり見える。したがって、各レンズレットが構成する本実施形態のレーザ網膜走査型の表示装置は、各点に関しては使用者の視力によらず、光学的な視度調整機構の必要ないフォーカスフリー特性を実現することができる。

【 0 1 0 0 】

しかしながら、眼鏡型ディスプレイ 1 では、奥行き位置に応じた画像のぼけを生じさせるために、例えば昼光下であれば瞳孔径は 4 mm となるのでこの中に複数のマイクロレンズアレイのレンズレットからの光線が同じ物体位置からの複数経路の光線に対応するようにして、使用者の瞳の径に複数の入射角度および位置の異なるコリメートビームを入射するように、意図的に角膜および水晶体からなる目のレンズ系の複数の位置に同じ点を表す異なった光線が投影される。こうして、各マイクロレンズ 3 4 1 から異なる角度で出射された光を使用者の目の網膜上で合成させれば、目のリフォーカス機能によって異なる奥行き位置の画像が異なる目のレンズパワーで選別され、結像する像だけがはっきり見えるため、使用者は奥行きを知覚することが可能になる。

【 0 1 0 1 】

図 1 2 ~ 図 1 4 は、それぞれ、投影部 3 0 A の機構の例を示す斜視図、側面図、部分拡大図である。これらの図では、眼鏡型ディスプレイ 1 の左目用の投影ユニット 3 に使用される投影部を示している。投影部 3 0 A の幅、奥行きおよび高さは、それぞれ数 cm 程度である。眼鏡型ディスプレイ 1 は、図 1 に示した左目用の投影ユニット 3 と右目用の投影ユニット 3 ' に、左目用の投影部 3 0 A および投影部 3 0 A と左右対称の図示しない右目用の投影部をそれぞれ取り付けることにより構成される。

【 0 1 0 2 】

光源部 1 0 からの各ファイバ 2 5 1 の出射端部は、ファイバ取付け部 9 1 に取り付けられる。図 1 4 は、ファイバ取付け部 9 1 の周辺の部分拡大図を示す。ファイバ取付け部 9 1 は、取り付けられるファイバ 2 5 1 の本数を変更でき、投影部 3 0 A に入射させる合波光として、1 組の RGB レーザ光 ( シングルビーム ) と複数組の RGB レーザ光 ( マルチビーム ) のいずれも使用できるように構成されている。ファイバ取付け部 9 1 に取り付けられた各ファイバ 2 5 1 の出射端部から出射されたレーザ光は、投射レンズ 3 1 を介して固定具 3 9 の内部に入射する。

【 0 1 0 3 】

10

20

30

40

50

MEMSミラー32は、MEMS基板32Aの上に実装されており、制御基板92により制御される。制御基板92は、上記したMEMSドライバ36に対応する。

【0104】

MEMSミラー32により走査されたレーザ光は、固定具39内のワイヤグリッドアレイ37、投射レンズ33、マイクロレンズアレイ34を介して、アイピース93から出射される。使用者は、目をアイピース93の近傍を覗き込むことで、投影される画像を視認する。また、アイピース93の後段に偏光ビームスプリッタや誘電体膜を表面に形成したハーフミラーを配置し、実際の外部の風景と合成する構成とすることで、図1に示したシースルー型とすることも可能である。

【0105】

以上説明してきたように、投影部30または投影部30Aを用いた眼鏡型ディスプレイ1では、走査されるレーザ光の角度をマイクロレンズアレイ34で制御することにより、網膜走査型のライトフィールドディスプレイを実現する。投影部30、30Aでは、例えばフラットパネルディスプレイ(FPD)による構成と比較して、解像度や、ディスプレイの大きさ、目との距離などを自由に拡張可能であるため、より高精細でかつ小型のプロジェクタを実現することができる。また、投影部30、30Aでは、拡散型光源アレイとみなせるマイクロディスプレイを仮想表示面位置に置いたライトフィールドディスプレイとは異なり、投射レンズ31、33によりRGBレーザ光のビームが平行光に制御され、ビーム同士の重なりがないため、1個のレーザ素子からのレーザ光が複数のマイクロレンズ341に入射してクロストークが生じることもない。また、眼鏡型ディスプレイ1は網膜走査型であるため、レーザ光源を用いても投射レンズやマイクロレンズ表面での散乱光の発生を抑えることでスペックルが発生しないという利点や、使用者の視力に応じて仮想表示面71上の画素の位置を制御すれば視力にかかわらず使用可能であるという利点もある。

【0106】

なお、投影部30、30Aにおける投射レンズ33は、マイクロレンズアレイに代えてもよい。そのマイクロレンズアレイの開口径や配列は、マイクロレンズアレイ34と同じにしてもよいし、マイクロレンズアレイ34とは異ならせてもよい。また、投影ユニット3でも、投射レンズ33として、図9を用いて説明したオルソスコピック式(アップ型)の接眼レンズを使用してもよい。

【0107】

なお、眼鏡型ディスプレイ1では、RGBの3色を1組のレーザ光として使用したが、色域を広げるために、R、G、Bの3色に加えて、例えばY(黄色)といった他の波長のレーザ光を含めてもよい。また、波長域は可視光に限らず、例えばRGBレーザ光に赤外レーザ光などを含めて出射し、可視光画像に近赤外線画像などを重ねて投影してもよい。この場合、近赤外画像を近赤外カメラで撮像することで、アイトラッキング機能を付加することができる。

【0108】

また、投影装置の例として、NTEの眼鏡型ディスプレイを用いて説明したが、投影領域に大きな画像を投影することができれば、この投影装置は他の形態の直視型のライトフィールドディスプレイにも応用可能である。大きな画像を投影するには、マイクロプロジェクタアレイとなるマイクロレンズとリレーレンズとを視認距離に合わせて大型化するか、または本発明の投影装置を複数個用意しアレイ化して、広い範囲から視認できるようにすればよい。

【符号の説明】

【0109】

- 1 眼鏡型ディスプレイ
- 3, 3' 投影ユニット
- 10 光源部
- 11, 11R, 11G, 11B レーザモジュール

10

20

30

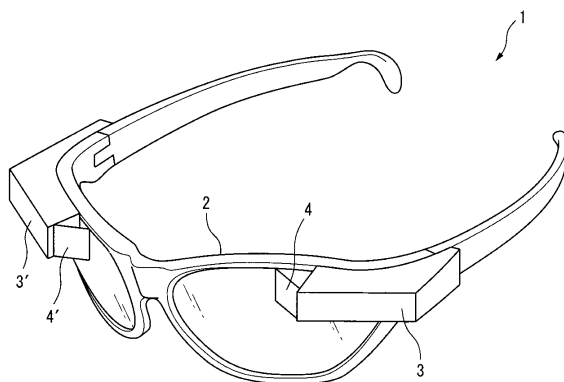
40

50

- 1 2      ファイババンドルコンバイナ
- 2 1      L D アレイ
- 2 5 , 2 5 R , 2 5 G , 2 5 B      ファイバアレイ
- 3 0 , 3 0 A      投影部
- 3 1 , 3 3      投射レンズ
- 3 2      M E M S ミラー
- 3 4      マイクロレンズアレイ
- 3 4 1      マイクロレンズ
- 4 0      制御部
- 5 0      レーザ光

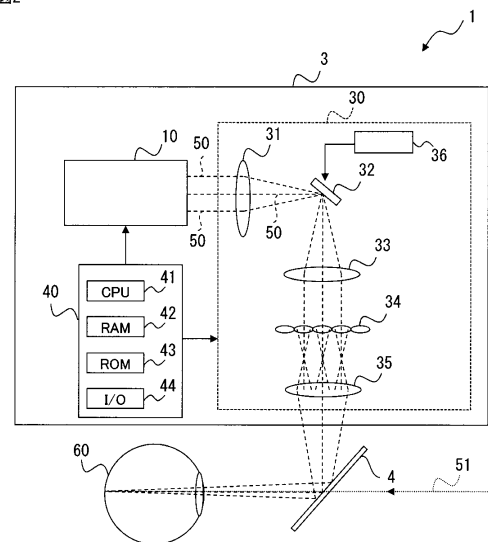
【図 1】

図1



【図 2】

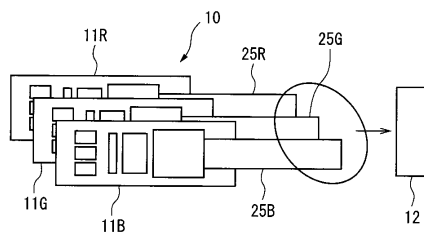
図2



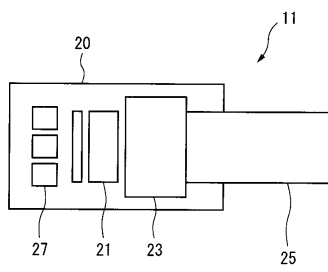
【図3】

図3

(A)

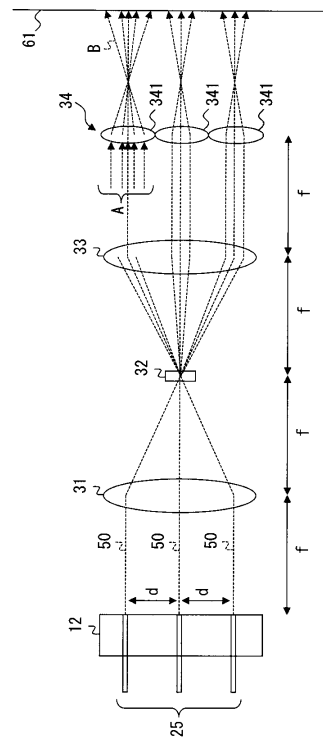


(B)



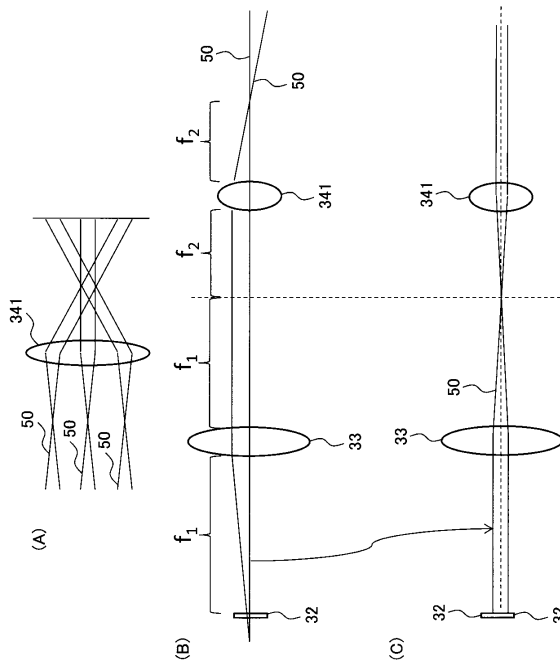
【図4A】

図4A



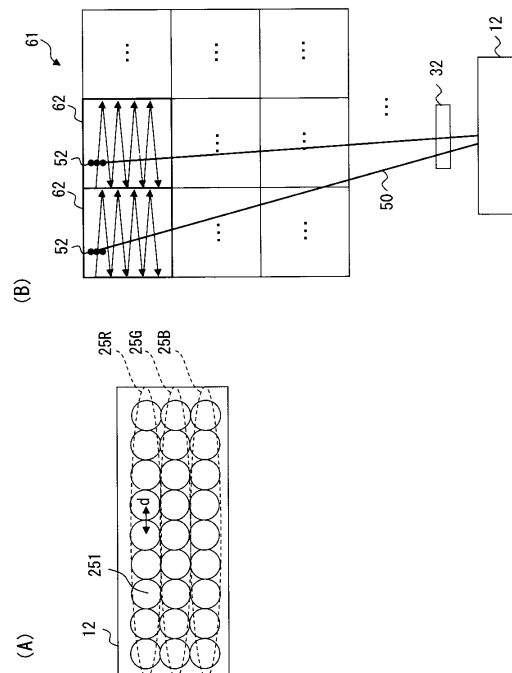
【図4B】

図4B



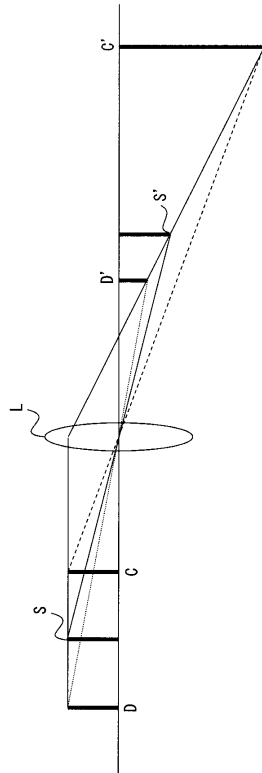
【図5】

図5



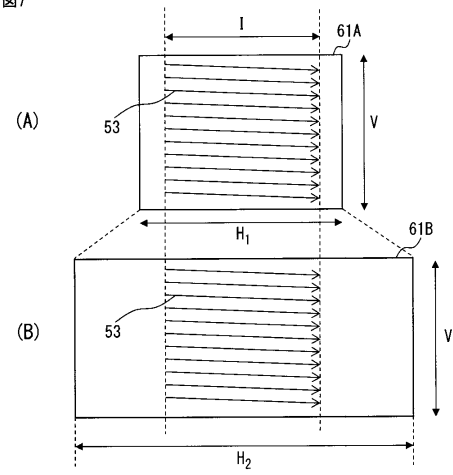
【図 6】

図6



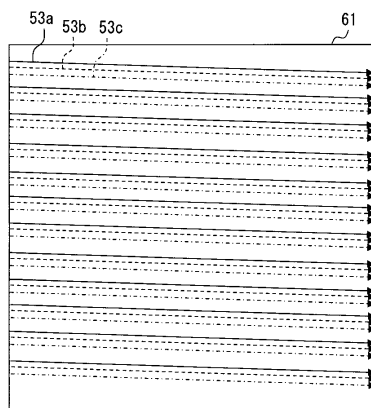
【図 7】

図7



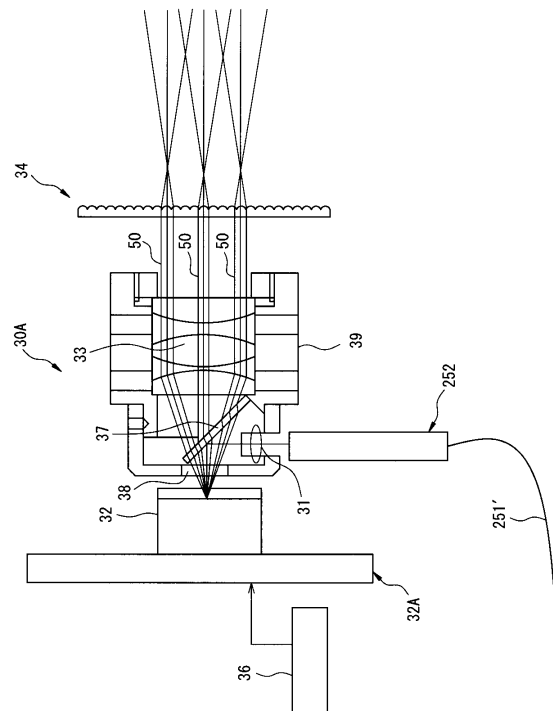
【図 8】

図8



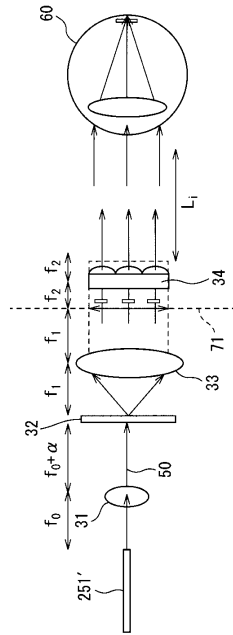
【図 9】

図9



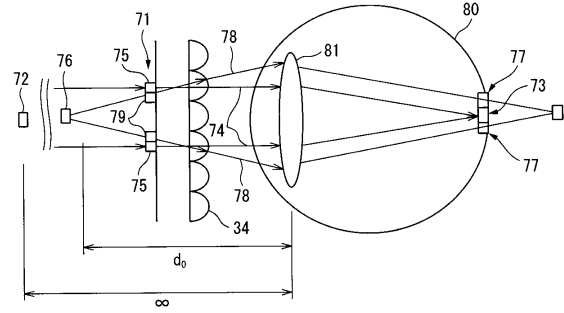
【図 10】

図10



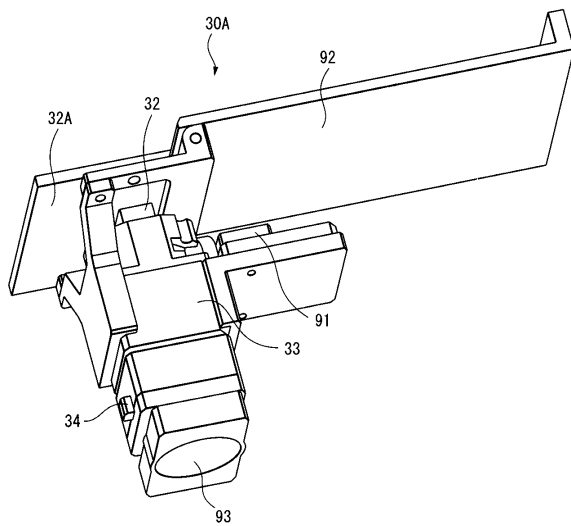
【図 11】

図11



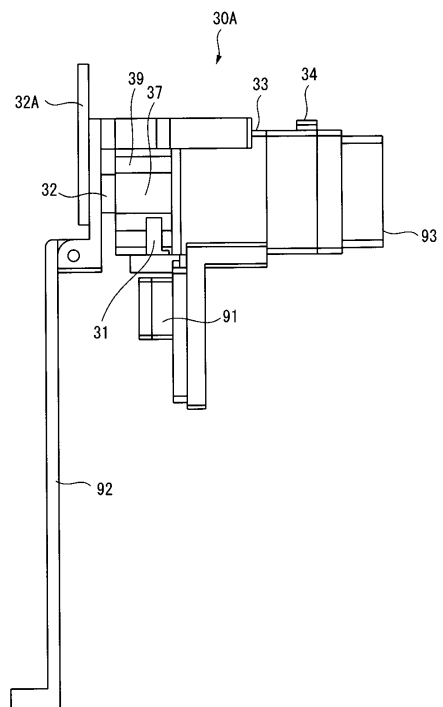
【図 12】

図12



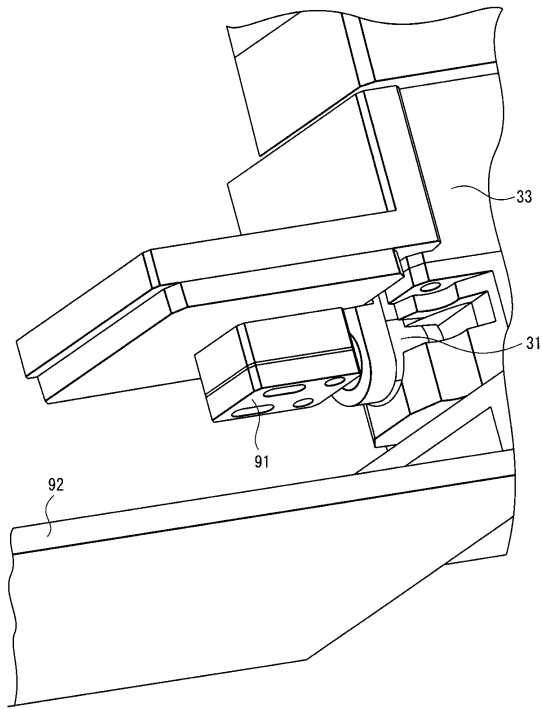
【図 13】

図13



【図 14】

図14



---

フロントページの続き

(72)発明者 井出 昌史

東京都西東京市田無町六丁目1番12号 シチズンホールディングス株式会社内

審査官 右田 昌士

(56)参考文献 特開2012-226221(JP,A)

特開2013-113997(JP,A)

特表2009-530661(JP,A)

米国特許第7959296(US,B2)

特表2016-507075(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 27/22 - 27/26

G02B 27/01 - 27/02

G02B 26/10

H04N 5/64

H04N 5/74

H04N 13/04