

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号
特表2025-510056
(P2025-510056A)

(43)公表日 令和7年4月14日(2025.4.14)

(51)国際特許分類	F I	テーマコード (参考)
G 0 2 B 27/02 (2006.01)	G 0 2 B 27/02	Z 2 H 1 9 9
G 0 2 B 30/52 (2020.01)	G 0 2 B 30/52	2 H 2 4 9
G 0 2 B 5/18 (2006.01)	G 0 2 B 5/18	

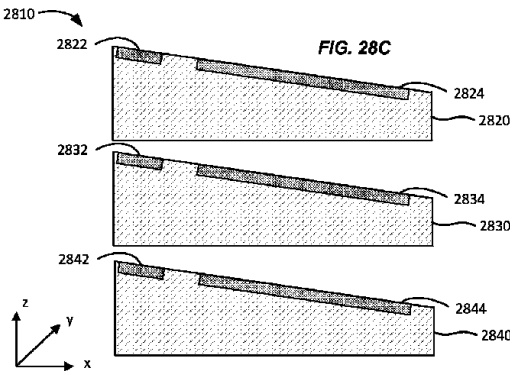
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全118頁)			
(21)出願番号	特願2024-556286(P2024-556286)	(71)出願人	514108838
(86)(22)出願日	令和5年3月24日(2023.3.24)		マジック リープ, インコーポレイテッド
(85)翻訳文提出日	令和6年11月19日(2024.11.19)		M a g i c L e a p, I n c .
(86)国際出願番号	PCT/US2023/016266		アメリカ合衆国 フロリダ 3 3 3 2 2 ,
(87)国際公開番号	WO2023/183591		プランテーション, ウェスト サンライズ
(87)国際公開日	令和5年9月28日(2023.9.28)		ブルバード 7 5 0 0
(31)優先権主張番号	17/705,202		7 5 0 0 W S U N R I S E B L V D
(32)優先日	令和4年3月25日(2022.3.25)		, P L A N T A T I O N, F L 3 3 3
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)		2 2 U S A
(81)指定国・地域	AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV	(74)代理人	100137969
	最終頁に続く		弁理士 岡部 憲昭
		(74)代理人	100104824
			弁理士 穂場 仁
		(74)代理人	100121463
			弁理士 矢口 哲也
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 拡張現実デバイスの可変光学的厚さの導波路のための方法およびシステム

(57)【要約】

拡張現実デバイスが、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズとを含む。接眼レンズは、横方向寸法と、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての光路長差とによって特徴付けられる接眼レンズ導波路を含む。

【選択図】 図 2 8 C



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

拡張現実デバイスであって、
プロジェクタと、
前記プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、
前記プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、横方向寸法と、前記横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての光路長差とによって特徴付けられる接眼レンズ導波路を備える接眼レンズと、
を備える、拡張現実デバイス。

【請求項 2】

前記接眼レンズが、
第 2 の横方向寸法と、前記第 2 の横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての第 2 の光路長差とによって特徴付けられる第 2 の接眼レンズ導波路と、
第 3 の横方向寸法と、前記第 3 の横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての第 3 の光路長差とによって特徴付けられる第 3 の接眼レンズ導波路と、
をさらに備える、請求項 1 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 3】

前記接眼レンズ導波路、前記第 2 の接眼レンズ導波路、および前記第 3 の接眼レンズ導波路が、前記接眼レンズを形成する、請求項 2 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4】

前記接眼レンズが、前記接眼レンズ導波路、前記第 2 の接眼レンズ導波路、および前記第 3 の接眼レンズ導波路を含む積層構造である、請求項 3 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 5】

第 2 のプロジェクタと、
前記プロジェクタに光学的に結合された第 2 のプロジェクタ光学系と、
前記第 2 のプロジェクタ光学系に光学的に結合された第 2 の接眼レンズであって、第 4 の横方向寸法と、前記第 4 の横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての第 4 の光路長差とによって特徴付けられる第 4 の接眼レンズ導波路を備える、第 2 の接眼レンズと、
をさらに備える、請求項 2 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 6】

前記第 2 の接眼レンズが、
第 5 の横方向寸法と、前記第 5 の横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての第 5 の光路長差とによって特徴付けられる第 5 の接眼レンズ導波路と、
第 6 の横方向寸法と、前記第 6 の横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての第 6 の光路長差とによって特徴付けられる第 6 の接眼レンズ導波路と、
をさらに備える、請求項 5 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 7】

前記接眼レンズ導波路が、組み合わされた瞳エクスペンダを備え、
前記第 2 の接眼レンズ導波路が、第 2 の組み合わされた瞳エクスペンダを備え、
前記第 3 の接眼レンズ導波路が、第 3 の組み合わされた瞳エクスペンダを備え、前記接眼レンズ導波路の厚さが、前記組み合わされた瞳エクスペンダにわたって変化し、前記第 2 の接眼レンズ導波路の厚さが、前記第 2 の組み合わされた瞳エクスペンダにわたって変化し、前記第 3 の接眼レンズ導波路の厚さが、前記第 3 の組み合わされた瞳エクスペンダにわたって変化する、請求項 2 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 8】

前記プロジェクタ、前記プロジェクタ光学系、および前記接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、請求項 1 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 9】

前記接眼レンズ導波路が、前記横方向寸法のうちの前記 1 つ以上の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられる、請求項 1 に記載の拡張現実デバイス。

10

20

30

40

50

【請求項 10】

前記接眼レンズ導波路が、前記横方向寸法のうちの前記 1 つ以上の関数としての屈折率変化によって特徴付けられる、請求項 1 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 11】

前記接眼レンズが、3 つの接眼レンズ導波路を含む、請求項 1 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 12】

前記光路長差が、前記 3 つの接眼レンズ導波路の各々の第 1 の領域における第 1 の値から前記 3 つの接眼レンズ導波路の各々の第 2 の領域における第 2 の値まで変化する、請求項 11 に記載の拡張現実デバイス。

10

【請求項 13】

前記第 1 の領域が入力結合格子に対応し、前記第 2 の領域が組み合わされた瞳エクspanダに対応し、前記光路長差が、前記第 1 の値から前記第 2 の値まで減少する、請求項 12 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 14】

前記 3 つの接眼レンズ導波路の各々の前記光路長差が、共通の方向に沿って延在する、請求項 11 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 15】

前記 3 つの接眼レンズ導波路の各々の前記光路長差が、前記 3 つの接眼レンズ導波路の各々の横方向寸法に沿って減少し、前記 3 つの接眼レンズ導波路の各々の前記横方向寸法が平行である、請求項 11 に記載の拡張現実デバイス。

20

【請求項 16】

拡張現実デバイスであって、

プロジェクタと、

前記プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、

前記プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、

横方向寸法と、第 1 の光路長差勾配とによって特徴付けられる第 1 の接眼レンズ導波路と、

前記横方向寸法と、前記第 1 の光路長差勾配と整列した第 2 の光路長差勾配とによって特徴付けられる第 2 の接眼レンズ導波路と、

30

を備える、接眼レンズと、

を備える、拡張現実デバイス。

【請求項 17】

前記接眼レンズが、前記横方向寸法と、前記第 1 の光路長差勾配および前記第 3 の光路長差勾配と整列した第 3 の光路長差勾配とによって特徴付けられる第 3 の接眼レンズ導波路をさらに備える、請求項 16 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 18】

前記第 1 の接眼レンズ導波路、前記第 2 の接眼レンズ導波路、および前記第 3 の接眼レンズ導波路が、一緒に積層されている、請求項 17 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 19】

前記プロジェクタ、前記プロジェクタ光学系、および前記接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、請求項 16 に記載の拡張現実デバイス。

40

【請求項 20】

前記第 1 の接眼レンズ導波路が、第 1 の組み合わされた瞳エクspanダを備え、前記第 1 の接眼レンズ導波路の厚さが、前記第 1 の組み合わされた瞳エクspanダの第 1 の部分から前記第 1 の組み合わされた瞳エクspanダの第 2 の部分まで変化する、

前記第 2 の接眼レンズ導波路が、第 2 の組み合わされた瞳エクspanダを備え、前記第 2 の接眼レンズ導波路の厚さが、前記第 2 の組み合わされた瞳エクspanダの第 1 の部分から前記第 2 の組み合わされた瞳エクspanダの第 2 の部分まで変化する、請求項 16 に記載の拡張現実デバイス。

50

【請求項 2 1】

前記第 1 の光路長差勾配が、前記第 2 の光路長差勾配と整列されている、請求項 1 6 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 2 2】

前記第 1 の光路長差勾配がある方向に対応し、前記第 2 の光路長差勾配が前記方向に対応する、請求項 1 6 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 2 3】

拡張現実デバイスであって、

プロジェクタと、

前記プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、

10

前記プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、横方向寸法と、1 つ以上の層とによって特徴付けられる接眼レンズ導波路を備え、前記 1 つ以上の層のうちの少なくとも 1 つが、前記横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての光路長差によって特徴付けられる、接眼レンズと、

を備える、拡張現実デバイス。

【請求項 2 4】

前記接眼レンズが、

基板と、

前記基板に結合された可変厚さの層と、

を備える、請求項 2 3 に記載の拡張現実デバイス。

20

【請求項 2 5】

前記基板の屈折率が、前記可変厚さの層の屈折率に実質的に等しい、請求項 2 4 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 2 6】

前記接眼レンズが、

第 2 の横方向寸法と、1 つ以上の第 2 の層とによって特徴付けられる第 2 の接眼レンズ導波路であって、前記 1 つ以上の第 2 の層のうちの少なくとも 1 つが、前記横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての第 2 の光路長差によって特徴付けられる、第 2 の接眼レンズ導波路と、

第 3 の横方向寸法と、1 つ以上の第 3 の層とによって特徴付けられる第 3 の接眼レンズ導波路であって、前記 1 つ以上の第 3 の層のうちの少なくとも 1 つが、前記横方向寸法のうちの 1 つ以上の関数としての第 3 の光路長差によって特徴付けられる、第 3 の接眼レンズ導波路と、

30

をさらに備える、請求項 2 3 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 2 7】

前記接眼レンズ導波路、前記第 2 の接眼レンズ導波路、および前記第 3 の接眼レンズ導波路が、前記接眼レンズを形成する、請求項 2 6 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 2 8】

前記接眼レンズが、前記接眼レンズ導波路、前記第 2 の接眼レンズ導波路、および前記第 3 の接眼レンズ導波路を含む積層構造である、請求項 2 7 に記載の拡張現実デバイス。

40

【請求項 2 9】

前記 1 つ以上の層、前記 1 つ以上の第 2 の層、および前記 1 つ以上の第 3 の層が、前記 1 つ以上の横方向寸法の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられ、

前記 1 つ以上の層、前記 1 つ以上の第 2 の層、および前記 1 つ以上の第 3 の層の各々の前記厚さばらつきが、前記接眼レンズ導波路、前記第 2 の接眼レンズ導波路、および前記第 3 の接眼レンズ導波路の各々の横方向寸法に沿って減少し、前記横方向寸法が平行である、請求項 2 6 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 3 0】

第 2 のプロジェクタと、

前記プロジェクタに光学的に結合された第 2 のプロジェクタ光学系と、

50

前記プロジェクタ光学系に光学的に結合された第2の接眼レンズであって、第4の横方向寸法と、1つ以上の第4の層とによって特徴付けられる第4の接眼レンズ導波路を備え、前記1つ以上の第4の層のうちの少なくとも1つが、前記第4の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第4の光路長差によって特徴付けられる、第2の接眼レンズと、をさらに備える、請求項26に記載の拡張現実デバイス。

【請求項31】

前記第2の接眼レンズが、

第5の横方向寸法と、1つ以上の第5の層とによって特徴付けられる第5の接眼レンズ導波路であって、前記1つ以上の第5の層のうちの少なくとも1つが、前記第5の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第5の光路長差によって特徴付けられる、第5の接

10

眼レンズ導波路と、第6の横方向寸法と、1つ以上の第6の層とによって特徴付けられる第6の接眼レンズ導波路であって、前記1つ以上の第6の層のうちの少なくとも1つが、前記第6の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第6の光路長差によって特徴付けられる、第6の接眼レンズ導波路と、

をさらに備える、請求項30に記載の拡張現実デバイス。

【請求項32】

前記プロジェクタ、前記プロジェクタ光学系、および前記接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、請求項23に記載の拡張現実デバイス。

【請求項33】

20

前記接眼レンズ導波路が、組み合わされた瞳エクスパンダを備え、

前記第2の接眼レンズ導波路が、第2の組み合わされた瞳エクスパンダを備え、

前記第3の接眼レンズ導波路が、第3の組み合わされた瞳エクスパンダを備え、前記1つ以上の層が、前記組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられ、前記1つ以上の第2の層が、前記第2の組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられ、前記1つ以上の第3の層が、前記第3の組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられる、請求項26に記載の拡張現実デバイス。

【請求項34】

前記1つ以上の層が、前記横方向寸法のうちの前記1つ以上の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられる、請求項23に記載の拡張現実デバイス。

30

【請求項35】

前記厚さばらつきが、前記接眼レンズ導波路の第1の領域における第1の値から前記接眼レンズ導波路の第2の領域における第2の値まで変化する、請求項34に記載の拡張現実デバイス。

【請求項36】

前記第1の領域が入力結合格子に対応し、前記第2の領域が組み合わされた瞳エクスパンダに対応し、前記厚さばらつきが、前記第1の値から前記第2の値まで減少する、請求項35に記載の拡張現実デバイス。

【請求項37】

40

前記1つ以上の層が、前記横方向寸法のうちの前記1つ以上の関数としての屈折率変化によって特徴付けられる、請求項23に記載の拡張現実デバイス。

【請求項38】

前記接眼レンズ導波路がナノパターンを含む、請求項23に記載の拡張現実デバイス。

【請求項39】

前記ナノパターンが、前記接眼レンズの屈折率よりも小さいポリマー屈折率を有するポリマー格子を含む、請求項38に記載の拡張現実デバイス。

【請求項40】

前記1つ以上の層が、50nm未満、30nm未満、または10nm未満の厚さを有する、請求項39に記載の拡張現実デバイス。

50

【請求項 4 1】

前記ナノパターンが、前記 1 つ以上の層または前記接眼レンズに形成された共形堆積構造または方向性堆積構造を含む、請求項 3 9 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4 2】

前記ナノパターンが、前記接眼レンズの屈折率よりも高いポリマー屈折率を有するポリマー格子を含む、請求項 3 8 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4 3】

前記 1 つ以上の層が、100 nm 未満の厚さを有し、 ZrO_2 または TiO_2 の少なくとも一方を含む、請求項 4 2 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4 4】

前記ナノパターンが、前記 1 つ以上の層または前記接眼レンズに形成されたエッチング構造を含む、請求項 4 2 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4 5】

前記ナノパターンが、バイナリ格子、ブレード鋸歯格子、ブレード多段格子、ブレード傾斜格子、穴、またはピラーを含む、請求項 3 8 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4 6】

拡張現実デバイスであって、
プロジェクタと、
前記プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、
基板構造であって、

入射表面および反対側の射出表面を有する基板と、
前記入射表面に結合された第 1 の可変厚さの膜と、
を含む、基板構造と、
を備える、拡張現実デバイス。

【請求項 4 7】

前記基板構造が、
前記第 1 の可変厚さの膜に結合された第 1 の組み合わせられた瞳エキスパンダと、
前記反対側の射出表面に結合された第 2 の可変厚さの膜と、
前記反対側の射出表面に結合された内部結合格子と、
前記反対側の射出表面に結合された第 2 の組み合わせられた瞳エキスパンダと、
をさらに備える、請求項 4 6 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4 8】

前記第 2 の可変厚さの膜が、前記第 2 の組み合わせられた瞳エキスパンダに隣接するよりも前記内部結合格子に隣接してより厚い、請求項 4 7 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 4 9】

前記基板の厚さのばらつきが、前記第 1 の可変厚さの膜または前記第 2 の可変厚さの膜の厚さのばらつきよりも小さい、請求項 4 7 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 5 0】

前記基板と前記第 1 の可変厚さの膜との間に配設された第 1 の中間膜と、
前記基板と前記第 2 の可変厚さの膜との間に配設された第 2 の中間膜と、
をさらに備える、請求項 4 7 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 5 1】

前記第 1 の中間膜が、前記基板の屈折率および前記第 1 の可変厚さの膜の屈折率よりも小さい屈折率を有し、

前記第 2 の中間膜が、前記基板の前記屈折率および前記第 2 の可変厚さの膜の屈折率よりも小さい屈折率を有する、請求項 5 0 に記載の拡張現実デバイス。

【請求項 5 2】

拡張現実デバイスであって、
プロジェクタと、
前記プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、

10

20

30

40

50

前記プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、

横方向寸法と、第1の厚さ勾配を有する第1の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第1の接眼レンズ導波路と、

前記横方向寸法と、前記第1の厚さ勾配と整列した第2の厚さ勾配を有する第2の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第2の接眼レンズ導波路と、

を備える、接眼レンズと、

を備える、拡張現実デバイス。

【請求項53】

前記接眼レンズが、前記横方向寸法と、前記第1の厚さ勾配および前記第2の厚さ勾配と整列した第3の厚さ勾配を有する第3の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第3の接眼レンズ導波路をさらに備える、請求項52に記載の拡張現実デバイス。

【請求項54】

前記第1の接眼レンズ導波路、前記第2の接眼レンズ導波路、および前記第3の接眼レンズ導波路が、一緒に積層されている、請求項53に記載の拡張現実デバイス。

【請求項55】

前記プロジェクタ、前記プロジェクタ光学系、および前記接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、請求項52に記載の拡張現実デバイス。

【請求項56】

前記第1の接眼レンズ導波路が、第1の組み合わせられた瞳エクspандаを備え、前記第1の可変厚さの膜の厚さが、前記第1の組み合わせられた瞳エクspандаの第1の部分から前記第1の組み合わせられた瞳エクspандаの第2の部分まで変化し、

前記第2の接眼レンズ導波路が、第2の組み合わせられた瞳エクspандаを備え、前記第2の可変厚さの膜の厚さが、前記第2の組み合わせられた瞳エクspандаの第1の部分から前記第2の組み合わせられた瞳エクspандаの第2の部分まで変化する、請求項52に記載の拡張現実デバイス。

【請求項57】

前記第1の厚さ勾配が、前記第2の厚さ勾配と整列されている、請求項52に記載の拡張現実デバイス。

【請求項58】

前記第1の厚さ勾配がある方向に対応し、前記第2の厚さ勾配が前記方向に対応する、請求項52に記載の拡張現実デバイス。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

[0001]関連出願の相互参照

本出願は、2022年3月25日に提出された米国特許出願第17/705,202号、発明の名称「METHOD AND SYSTEM FOR VARIABLE OPTICAL THICKNESS WAVEGUIDES FOR AUGMENTED REALITY DEVICES」に対する優先権を主張するものであり、これは、2022年11月1日に発行された現在米国特許第11,487,061号である、2021年5月5日に提出された米国特許出願第17/308,407号、発明の名称「BIASED TOTAL THICKNESS VARIATIONS IN WAVEGUIDE DISPLAY SUBSTRATES」の一部継続出願であり、これは、2019年3月19日に提出された米国仮特許出願第62/820,769号、および2019年2月14日に提出された米国仮特許出願第62/805,832号に対する優先権を主張する、2021年6月6日に発行された現在米国特許第11,022,753号である、2020年2月14日に提出された米国特許出願第16/792,083号、発明の名称「BIASED TOTAL THICKNESS VARIATIONS IN WAVEGUIDE DISPLAY SUBSTRATES」の継続出願であり、これらの開示は、あらゆる目的のためにそれらの全体が参照により本明細書に援用される。

【背景技術】

【0002】

【0002】現代のコンピューティングおよびディスプレイ技術は、いわゆる「仮想現実」または「拡張現実」体験のためのシステムの開発を容易にしており、デジタル的に再生された画像またはその一部は、それらが現実であるように見える、または現実として知覚され得る方法で視認者に提示される。仮想現実、すなわち「VR」シナリオは、通常、他の実際の現実世界の視覚入力に対する透過性なしにデジタルまたは仮想画像情報を提示することを伴い、拡張現実、すなわち「AR」シナリオは、通常、視認者の周りの実際の世界の視覚化への拡張としてのデジタルまたは仮想画像情報の提示を伴う。

【0003】

【0003】図1を参照すると、拡張現実シーン10が描示されている。AR技術のユーザは、背景の人、木、建物、およびコンクリートプラットフォーム30を特徴とする現実世界の公園のような設定20を見る。ユーザはまた、現実世界のプラットフォーム30上に立つロボットの像40、およびマルハナバチの擬人化されているように見える飛行中の漫画状のアバターキャラクター50などの「仮想コンテンツ」を「見ている」と知覚する。これらの要素50、40は、それらが現実世界に存在しないという点で「仮想」である。人間の視覚システムは複雑であるため、他の仮想または現実世界の画像要素に囲まれた仮想画像要素の快適で自然な感覚の豊かな提示を容易にするAR技術を生成することは困難である。

【0004】

【0004】これらのディスプレイ技術の進歩にもかかわらず、拡張現実システム、特にディスプレイシステムに関連する改善された方法およびシステムが当該技術分野で必要とされている。

【発明の概要】

【0005】

【0005】本発明は、概して、ウェアラブルディスプレイを含む投影ディスプレイシステムに関する方法およびシステムに関する。より詳細には、本発明の実施形態は、拡張現実システムにおいて光学結像を実行するために利用される可変光学的厚さを有する接眼レンズ導波路層を含む方法およびシステムを提供する。本発明は、コンピュータビジョンおよび画像ディスプレイシステムにおける種々の用途に適用可能である。

【0006】

【0006】本発明の一実施形態によれば、拡張現実デバイスが提供される。拡張現実デバイスは、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズとを含む。接眼レンズは、横方向寸法と、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての光路長差とによって特徴付けられる接眼レンズ導波路を備える。接眼レンズは、第2の横方向寸法と、第2の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第2の光路長差とによって特徴付けられる第2の接眼レンズ導波路と、第3の横方向寸法と、第3の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第3の光路長差とによって特徴付けられる第3の接眼レンズ導波路と、をさらに含むことができる。接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路は、接眼レンズを形成することができる。接眼レンズは、接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路を含む積層構造とすることができる。拡張現実デバイスはまた、第2のプロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合された第2のプロジェクタ光学系と、第2のプロジェクタ光学系に光学的に結合された第2の接眼レンズとを含むことができる。第2の接眼レンズは、第4の横方向寸法と、第4の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第4の光路長差とによって特徴付けられる第4の接眼レンズ導波路を含むことができる。第2の接眼レンズは、第5の横方向寸法と、第5の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第5の光路長差とによって特徴付けられる第5の接眼レンズ導波路と、第6の横方向寸法と、第6の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第6の光路長差とによって特徴付けられる第6の接眼レンズ導波路と、をさらに含むことが

10

20

30

40

50

【 0 0 0 7 】

20

【 0 0 0 8 】

30

【 0 0 0 9 】

50

ちの少なくとも1つが、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第2の光路長差によって特徴付けられ、1つ以上の第3の層のうちの少なくとも1つが、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第3の光路長差によって特徴付けられる。接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路は、接眼レンズを形成することができる。接眼レンズは、接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路を含む積層構造とすることができる。1つ以上の層、1つ以上の第2の層、および1つ以上の第3の層は、1つ以上の横方向寸法の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられることができ、1つ以上の層、1つ以上の第2の層、および1つ以上の第3の層の各々の厚さばらつきは、3つの接眼レンズ導波路の各々の横方向寸法に沿って減少することができる、3つの接眼レンズ導波路の各々の横方向寸法は平行である。拡張現実デバイスは、第2のプロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合された第2のプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された第2の接眼レンズとをさらに含むことができる。第2の接眼レンズは、第4の横方向寸法と、1つ以上の第4の層とによって特徴付けられる第4の接眼レンズ導波路を備え、1つ以上の第4の層のうちの少なくとも1つが、第4の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第4の光路長差によって特徴付けられる。第2の接眼レンズは、第5の横方向寸法と、1つ以上の第5の層とによって特徴付けられる第5の接眼レンズ導波路であって、1つ以上の第5の層のうちの少なくとも1つが、第5の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第5の光路長差によって特徴付けられる、第5の接眼レンズ導波路と、第6の横方向寸法と、1つ以上の第6の層とによって特徴付けられる第6の接眼レンズ導波路であって、1つ以上の第6の層のうちの少なくとも1つが、第6の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第6の光路長差によって特徴付けられる、第6の接眼レンズ導波路と、をさらに含むことができる。

10

20

30

40

【0010】

【0010】一実施形態では、プロジェクタ、プロジェクタ光学系、および接眼レンズは、拡張現実ヘッドセット内に装着される。接眼レンズ導波路は、組み合わされた瞳エクスパンダを含むことができ、第2の接眼レンズ導波路は、第2の組み合わされた瞳エクスパンダを含むことができ、第3の接眼レンズ導波路は、第3の組み合わされた瞳エクスパンダを含むことができ、1つ以上の層は、組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられ、1つ以上の第2の層は、第2の組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられ、1つ以上の第3の層は、第3の組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられる。1つ以上の層は、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられることができる。厚さばらつきは、接眼レンズ導波路の第1の領域における第1の値から接眼レンズ導波路の第2の領域における第2の値まで変化することができる。第1の領域は入力結合格子に対応することができ、第2の領域は組み合わされた瞳エクスパンダに対応することができ、厚さばらつきは、第1の値から第2の値まで減少することができる。1つ以上の層は、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての屈折率変化によって特徴付けられることができる。接眼レンズ導波路はナノパターンを含むことができる。ナノパターンは、接眼レンズの屈折率よりも小さいポリマー屈折率を有するポリマー格子を含むことができる。1つ以上の層は、50 nm未満、30 nm未満、または10 nm未満の厚さを有することができる。ナノパターンは、1つ以上の層または接眼レンズに形成された共形堆積構造または方向性堆積構造を含むことができる。ナノパターンは、接眼レンズの屈折率よりも高いポリマー屈折率を有するポリマー格子を含むことができる。1つ以上の層は、100 nm未満の厚さを有し、 ZrO_2 または TiO_2 の少なくとも一方を含むことができる。ナノパターンは、1つ以上の層または接眼レンズに形成されたエッチング構造を含むことができる。ナノパターンは、バイナリ格子、ブレード鋸歯格子、ブレード多段格子、ブレード傾斜格子、穴、またはピラーを含むことができる。

【0011】

【0011】本発明の別の特定の実施形態によれば、拡張現実デバイスが、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、基板構造であって、入射表

50

面および反対側の射出表面を有する基板と、入射表面に結合された第1の可変厚さの膜と、を含む、基板構造と、を含む。基板構造は、第1の可変厚さの膜に結合された第1の組み合わせられた瞳エクスパンダと、射出表面に結合された第2の可変厚さの膜と、射出表面に結合された内部結合格子と、射出表面に結合された第2の組み合わせられた瞳エクスパンダと、をさらに含むことができる。第2の可変厚さの膜は、第2の組み合わせられた瞳エクスパンダに隣接するよりも内部結合格子に隣接してより厚いものとすることができる。基板の厚さのばらつきは、第1の可変厚さの膜または第2の可変厚さの膜の厚さのばらつきよりも小さいものとすることができる。拡張現実デバイスは、基板と第1の可変厚さの膜との間に配設された第1の中間膜と、基板と第2の可変厚さの膜との間に配設された第2の中間膜と、をさらに含むことができる。第1の中間膜は、基板の屈折率および第1の可変厚さの膜の屈折率よりも小さい屈折率を有することができ、第2の中間膜は、基板の屈折率および第2の可変厚さの膜の屈折率よりも小さい屈折率を有することができる。

10

【0012】

【0012】本発明の特定の実施形態によれば、拡張現実デバイスは、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズとを含む。接眼レンズは、横方向寸法と、第1の厚さ勾配を有する第1の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第1の接眼レンズ導波路と、横方向寸法と、第1の厚さ勾配と整列した第2の厚さ勾配を有する第2の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第2の接眼レンズ導波路と、を含む。接眼レンズは、横方向寸法と、第1の厚さ勾配および第3の厚さ勾配と整列した第3の厚さ勾配を有する第3の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第3の接眼レンズ導波路をさらに含むことができる。第1の接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路は、一緒に積層されることができる。プロジェクタ、プロジェクタ光学系、および接眼レンズは、拡張現実ヘッドセット内に装着されることができる。第1の接眼レンズ導波路は、第1の組み合わせられた瞳エクスパンダを含むことができ、第1の可変厚さの膜の厚さは、第1の組み合わせられた瞳エクスパンダの第1の部分から第1の組み合わせられた瞳エクスパンダの第2の部分まで変化し、第2の接眼レンズ導波路は、第2の組み合わせられた瞳エクスパンダを含むことができ、第2の可変厚さの膜の厚さは、第2の組み合わせられた瞳エクスパンダの第1の部分から第2の組み合わせられた瞳エクスパンダの第2の部分まで変化する。第1の厚さ勾配は、第2の厚さ勾配と整列されることができる。第1の厚さ勾配はある方向に対応することができ、第2の厚さ勾配はその方向に対応することができる。

20

30

【0013】

【0013】本発明により、従来の技法に勝る多くの利点が達成される。例えば、本発明の実施形態は、画像の鮮明さを含む仮想コンテンツの品質を改善することができる方法およびシステムを提供する。本発明のこれらおよび他の実施形態は、その利点および特徴の多くと共に、以下の本文および添付の図面と併せてより詳細に説明される。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】ARデバイスを介した拡張現実（AR）のユーザのビューを示す図である。

【図2】ユーザの3次元画像をシミュレートするための従来のディスプレイシステムを示す図である。

40

【図3A】曲率半径と焦点半径との関係を示す図である。

【図3B】曲率半径と焦点半径との関係を示す図である。

【図3C】曲率半径と焦点半径との関係を示す図である。

【図4A】人間の視覚システムの調節—輻輳応答の表現を示す図である。

【図4B】ユーザの一对の眼の異なる調節状態および輻輳状態の例を示す図である。

【図4C】ディスプレイシステムを介してコンテンツを視認するユーザの上面図の表現の一例を示す図である。

【図4D】ディスプレイシステムを介してコンテンツを視認するユーザの上面図の表現の別の例を示す図である。

50

【図 5】波面発散を修正することによって 3 次元画像をシミュレートするための手法の態様を示す図である。

【図 6】画像情報をユーザに出力するための導波路スタックの一例を示す図である。

【図 7】導波路によって出力される射出ビームの一例を示す図である。

【図 8】各深度平面が複数の異なる成分色を使用して形成される画像を含む、スタックされた導波路アセンブリの一例を示す図である。

【図 9 A】各々が内部結合光学素子を含むスタックされた導波路のセットの一例の断面側面図である。

【図 9 B】図 9 A の 1 つ以上のスタックされた導波路の一例の斜視図である。

【図 9 C】図 9 A および図 9 B の 1 つ以上のスタックされた導波路の一例の上面図である。

10

【図 9 D】ウェアラブルディスプレイシステムの一例を示す図である。

【図 10】ビームスプリッタの一方の側に光を投入する光源を有する偏光ビームスプリッタと、ビームスプリッタの別の側から光を受け取る投影光学系とを含むプロジェクタアセンブリの側面図である。

【図 11 A】光源と、空間光変調器と、空間光変調器を照明して空間光変調器 (SLM) の画像を投影するための光学系と、画像情報をユーザに出力するための導波路とを含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。システムは、光学系からの光を導波路に結合するための内部結合光学素子と、導波路からの光を眼に結合するための外部結合光学素子とを含む。

20

【図 11 B】内部結合光学素子および外部結合光学素子を有する導波路ならびにその上に配設された光源を示す、図 11 A に示される拡張現実ディスプレイシステムの上面図である。上面図はまた、直交瞳エクスパンダを示す。

【図 11 C】共通の偏光子／検光子および偏光ベースの空間光変調器（例えば、シリコン上液晶 SLM）を有する図 11 A の拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。

【図 11 D】本発明の一実施形態による、組み合わされた OPE / EPE を有する導波路の一例を示す図である。

【図 12 A】多色光源（例えば、時間多重化 RGB LED またはレーザダイオード）と、空間光変調器と、空間光変調器を照明し、空間光変調器の画像を眼に投影するための光学系と、導波路のスタックとを含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図であり、異なる導波路は、異なる色選択的内部結合光学素子および外部結合光学素子を含む。

30

【図 12 B】可動ミラー（例えば、デジタル光処理 (DLP (商標)) 技術）のアレイおよび光ダンプなどの MEMS（微小電気機械）ベースの SLM をさらに含む図 12 A の拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。

【図 12 C】図 12 B の拡張現実ディスプレイシステムの一部の上面図であり、内部結合光学素子のうちの 1 つおよび光ダンプならびに光源の横方向の配置を概略的に示している。

【図 13 A】導波路のスタックを含む拡張現実ディスプレイシステムの斜視図であり、異なる導波路は異なる内部結合光学素子を含み、内部結合光学素子は互いに対して横方向に変位されている。同様に互いに対して横方向に変位された 1 つ以上の光源は、光を光学系に通し、光を空間光変調器で反射させ、反射光を再び光学系に通すことによって、それぞれの内部結合光学素子に光を方向付けるように配設されている。

40

【図 13 B】横方向に変位された内部結合光学素子および光源、ならびに光学系および空間光変調器を示す、図 13 A に示される例の側面図である。

【図 13 C】1 つ以上の横方向に変位された内部結合光学素子および関連する 1 つ以上の横方向に変位された光源を示す、図 13 A および図 13 B に示される拡張現実ディスプレイシステムの上面図である。

【図 14 A】導波路スタックを含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図であり、異なる導波路は異なる内部結合光学素子を含み、内部結合光学素子は互いに対して横方向に変位されている（この例では横方向変位が z 方向に生じている）。

50

【図 1 4 B】横方向に変位した内部結合光学素子および光源を示す、図 1 4 A に示されるディスプレイシステムの上面図である。

【図 1 4 C】図 1 4 A および図 1 4 B に示されるディスプレイシステムの直交側面図である。

【図 1 5】スタックされた導波路のセットを含む拡張現実ディスプレイシステムの上面図であり、異なる導波路は異なる内部結合光学素子を含む。光源および内部結合光学素子は、図 1 4 A ～図 1 4 C に示される構成とは代替的な構成で配置されている。

【図 1 6 A】互いに対して横方向に変位された内部結合光学素子の群を含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図であり、各群は 1 つ以上の色選択的な内部光学結合光学素子を含む。

10

【図 1 6 B】図 1 6 A のディスプレイシステムの上面図である。

【図 1 7】光源の近位の導波路の一部分内で導波路のその部分から空間光変調器に向かって光学系内に誘導される光を結合することができる反射表面で分割された導波路を含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。この例では、光学系および光源は、導波路の同じ側に配設されて示されている。

【図 1 8】光源からの光を受信し、導波路内で誘導された光を光学系内に、かつ空間光変調器に向かって方向付けるための導波路を含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。ディスプレイシステムは、光学系を再び通過する空間光変調器からの光を受け取る導波路を追加的に含む。導波路は、光を外部結合するための反射表面を含む。導波路はまた、その中に光を内部結合するための反射表面を含む。この例では、光学系および光源は、導波路の同じ側に配設されて示されている。

20

【図 1 9】適応光学素子または可変焦点光学素子を含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。導波路のスタックと眼との間の第 1 の可変光学素子は、オブジェクトが位置しているように見える深度を変化させるために、導波路から結合されて眼に方向付けられる光の発散およびコリメーションを変化させることができる。導波路のスタックの反対側の第 2 の可変光学素子は、拡張現実ディスプレイシステムおよびユーザの前の環境から受け取った光に対する第 1 の光学素子の効果を補償することができる。拡張現実ディスプレイシステムは、近視、遠視、乱視などを有するユーザに屈折補正などの眼科補正を提供するための処方レンズをさらに含む。

【図 2 0 A】カラーフィルタアレイを含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。1 つ以上の横方向に変位された内部結合光学素子は、異なる導波路上に位置付けられており、横方向に変位されたカラーフィルタは、それぞれの内部結合光学素子と整列されている。

30

【図 2 0 B】検光子が光学系と空間光変調器との間に位置付けられている図 2 0 A の拡張現実ディスプレイシステムを示す図である。

【図 2 0 C】可動マイクロミラーベースの空間光変調器などの偏向ベースの空間光変調器を使用するが、図 2 0 A および図 2 0 B に示されるものと同様の拡張現実ディスプレイシステムを示す図である。

【図 2 0 D】図 2 0 C に示されるような拡張現実ディスプレイシステムの一部の上面図であり、カラーフィルタアレイの上方の横方向に変位した光源および対応する横方向に変位した内部結合光学素子を概略的に示す。

40

【図 2 0 E】偏向ベースの空間光変調器が、対応する内部結合光学素子から、図 2 0 D の拡張現実ディスプレイシステムのフィルタアレイ内のフィルタを取り囲むマスク上にどのように光を方向付けるかを示す図である。

【図 2 0 F】導波路のスタックのユーザ側に配設されたカバーガラスと、カバーガラスの世界側に配設された光源とを含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。

【図 2 0 G】導波路のスタックの世界側に配設されたカバーガラスと、カバーガラスの世界側に配設された光源とを含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。

【図 2 1】1 つの偏光の光などの光を再利用するように構成された光リサイクラを備えた光源を含む拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。

50

【図 2 2】対応する集光光学系および 1 つ以上のアパーチャを通して光を伝搬する 1 つ以上の光源の側面図である。光はまた、1 つ以上のアパーチャの近位に位置付けられたディフューザを通して伝搬することができる。

【図 2 3 A】光源と、屈折力を有する光学系と、画像情報を受信してユーザの眼に出力するための導波路とを含む拡張現実ディスプレイシステムの一部の側面図であり、システムは、ゴースト画像として導波路に入力され得る光学表面からの反射を低減するように構成された 1 つ以上の位相差板および偏光子をさらに含む。

【図 2 3 B】ゴースト画像を生成し得る反射を低減するように構成された追加的な位相差板および偏光子を有する、図 2 3 A に示されるような拡張現実ディスプレイシステムの一部の側面図である。

【図 2 3 C】ゴースト画像を生成し得る反射を低減するように構成された位相差板および偏光子が低減された、図 2 3 A および図 2 3 B に示されるような拡張現実ディスプレイシステムの一部の側面図である。

【図 2 4】カバーガラス上の傾斜表面などの傾斜表面を利用して、反射をユーザの眼の中に方向付けられないように方向付け、ゴースト反射を潜在的に低減する拡張現実ディスプレイシステムの側面図である。

【図 2 5】カバーガラス上の傾斜表面が、光を吸収する光ダンプに向かった反射を方向付けるように構成されている、図 2 4 のシステムの一実施形態を示す図である。

【図 2 6 A】導波路エリアを有するサンプル導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 6 B】本発明の一実施形態による、位置の関数としての導波路ディスプレイ基板の厚さを示すプロットである。

【図 2 6 C】本発明の一実施形態による、位置の関数としての導波路ディスプレイ基板の厚さを示すプロットである。

【図 2 6 D】本発明の一実施形態による、導波路の直線配置を有する導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 6 E】本発明の一実施形態による、直線レイアウトを有する導波路ディスプレイ基板の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。

【図 2 6 F】本発明の一実施形態による、導波路の線形配置を有する長方形の導波路ディスプレイ基板を示す簡略化した概略図である。

【図 2 6 G】本発明の一実施形態による、局所的な TTV を有する導波路ディスプレイ基板を示す簡略化した概略図である。

【図 2 7 A】研磨された平坦な導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 7 B】研磨された凸状導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 7 C】研磨された凹状導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 7 D】一方の凸状表面と一方の凹状表面とを有する研磨されたメニスカス導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 7 E】研磨された両凸導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 7 F】研磨された両凹導波路ディスプレイ基板を描示する図である。

【図 2 8 A】導波路ディスプレイ基板の全厚さばらつき (TTV) の比較を描示する図である。

【図 2 8 B】導波路ディスプレイ基板の全厚さばらつき (TTV) の比較を描示する図である。

【図 2 8 C】本発明の一実施形態による、接眼レンズ導波路のセットの TTV を描示する図である。

【図 2 8 D】本発明の一実施形態による、拡張現実システムを示す簡略化した概略図である。

【図 2 9】凸状表面を有する研磨された導波路ディスプレイ基板の TTV を描示する図である。

【図 3 0】線形 (くさび) 構成要素および非線形 (ドーム) 構成要素を有するバイアスさ

10

20

30

40

50

れた TTV を有する導波路ディスプレイ基板の断面を示す図である。

【図 3 1 A】超低 TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す図である。

【図 3 1 B】超低 TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す図である。

【図 3 1 C】超低 TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す図である。

【図 3 1 D】バイアスされた TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す図である。

【図 3 1 E】バイアスされた TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す図である。

【図 3 1 F】バイアスされた TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す図である。

【図 3 2 A】 $300\text{ }\mu\text{m}$ の平均厚さおよび 0 nm の「くさび」 TTV を有する典型的な回折導波路ディスプレイについての、導波路アイボックス効率対 6 インチウェハ上の球面導波路ディスプレイ基板形状の「ドーム」 TTV (nm) を示す図である。

【図 3 2 B】 $300\text{ }\mu\text{m}$ の平均厚さを有する典型的な回折導波路ディスプレイについての、導波路アイボックス効率対 6 インチウェハ上の球面導波路ディスプレイ基板形状の「ドーム」 TTV (μm) を示す図である。

【図 3 2 C】 $300\text{ }\mu\text{m}$ の平均厚さを有する別の回折導波路ディスプレイについての、導波路アイボックス効率対 6 インチウェハ上の球面導波路ディスプレイ基板形状の「ドーム」 TTV (μm) を示す図である。

【図 3 3】本発明の一実施形態による、逆ドーム厚さばらつきを形成する際に使用されるプロセスフローを示す簡略化した概略図である。

【図 3 4】本発明の一実施形態による、逆ドーム厚さばらつきを形成する際に使用されるプロセスフローを示す簡略化した概略図である。

【図 3 5 A】本発明の様々な実施形態による、シャワーヘッド設計を示す簡略化した断面図である。

【図 3 5 B】本発明の様々な実施形態による、シャワーヘッド設計を示す簡略化した断面図である。

【図 3 5 C】本発明の一実施形態による、エッチングマスクを示す簡略化した概略図である。

【図 3 6 A】本発明の一実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。

【図 3 6 B】本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。

【図 3 6 C】本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。

【図 3 6 D】本発明の一実施形態による、様々な高さのナノ特徴部を示す簡略化した概略図である。

【図 3 6 E】本発明の一実施形態による、単一の高さのナノ特徴部を示す簡略化した概略図である。

【図 3 6 F】本発明の別の実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。

【図 3 6 G】本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。

【図 3 6 H】本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。

【図 3 7 A】本発明の一実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。

10

20

30

40

50

【図 3 7 B】本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。

【図 3 7 C】本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。

【図 3 7 D】本発明の別の実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。

【図 3 7 E】本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。

【図 3 7 F】本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。

【図 3 8 A】本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 8 B】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 8 C】本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 8 D】本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 8 E】本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 8 F】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよびオーバーコートに伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 9 A】本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 9 B】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 9 C】本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 9 D】本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 9 E】本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 3 9 F】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよびオーバーコートに伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 0 A】本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 0 B】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 0 C】本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 0 D】本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 0 E】本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 0 F】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜ならびにオーバーコートに伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 1 A】本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図 4 1 B】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

10

20

30

40

50

【図４１Ｃ】本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４１Ｄ】本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４１Ｅ】本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４１Ｆ】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜ならびにオーバーコートを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４２Ａ】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４２Ｂ】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび第１の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４２Ｃ】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび第２の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４３Ａ】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよびオーバーコートを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４３Ｂ】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつき、オーバーコートおよび第１の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【図４３Ｃ】本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつき、オーバーコートおよび第２の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。

【発明を実施するための形態】

【００１５】

【０１３３】ここで図面を参照するが、全体を通して同様の参照番号は同様の部分を指す。別段の指示がない限り、図面は、必ずしも縮尺通りに描かれていない概略図である。

【００１６】

【０１３４】図２は、ユーザの３次元画像をシミュレートするための従来のディスプレイシステムを示す。ユーザの眼は離間しており、空間内の現実のオブジェクトを見るとき、各眼は、オブジェクトのわずかに異なるビューを有し、各眼の網膜上の異なる位置にオブジェクトの画像を形成することができる。これは両眼視差と称されることがあり、人間の視覚システムによって利用されて深度の知覚を提供することができる。従来のディスプレイシステムは、各眼２１０ａ、２１０ｂに１つずつ、所望の深度の仮想オブジェクトが現実のオブジェクトであるかのように各眼によって見られる仮想オブジェクトのビューに対応する、同じ仮想オブジェクトのわずかに異なるビューを有する２つの別個の画像１９０、２００を提示することによって、両眼視差をシミュレートする。これらの画像は、ユーザの視覚システムが深度の知覚を導出するために解釈することができる両眼キューを提供する。

【００１７】

【０１３５】引き続き図２を参照すると、画像１９０、２００は、眼２１０ａ、２１０ｂからｚ軸上の距離２３０だけ離間している。ｚ軸は視認者の光軸と平行であり、視認者の眼は視認者のすぐ前方の光学的無限遠のオブジェクトを凝視している。画像１９０、２００は平坦であり、眼２１０ａ、２１０ｂから一定の距離にある。眼２１０ａ、２１０ｂにそれぞれ提示される画像内の仮想オブジェクトのわずかに異なるビューに基づいて。

【００１８】

【０１３６】単一の両眼視を維持するために、オブジェクトの画像が各眼の網膜上の対応する点に位置するように、眼が自然に回転することができる。この回転は、眼２１０ａ、２１０ｂの各々の視線を、仮想オブジェクトが存在すると知覚される空間内の点に収束させることができる。結果として、三次元画像を提供することは、従来、眼２１０ａ、２１０ｂの輻輳を操作することができ、人間の視覚システムが深度の知覚を提供するために解釈する両眼キューを提供することを伴う。

【００１９】

10

20

30

40

50

[0137]しかしながら、現実的で快適な深度の知覚を生成することは困難である。眼から異なる距離にあるオブジェクトからの光は、異なる量の発散を伴う波面を有することが理解されよう。図3A～図3Cは、光線の距離と発散との関係を示す。オブジェクトと眼210との間の距離は、距離が減少する順に、R1、R2およびR3で表される。図3A～図3Cに示すように、光線は、オブジェクトまでの距離が減少するにつれてより発散する。逆に、距離が増加するにつれて、光線はよりコリメートされる。別の言い方をすれば、点（オブジェクトまたはオブジェクトの一部）によって生成された光照射野は球面波面曲率を有し、これは点がユーザの眼からどれだけ離れているかの関数であると言える。湾曲は、オブジェクトと眼210との間の距離が減少するにつれて増加する。図3A～図3Cおよび本明細書の他の図では、図示を明確にするために単一の眼210のみが示されているが、眼210に関する考察は、両眼210aおよび210bに適用されてもよい。

10

【0020】

[0138]引き続き図3A～図3Cを参照すると、視認者の眼が固定されているオブジェクトからの光は、異なる程度の波面発散を有し得る。波面発散の量が異なるため、光は、眼の水晶体によって異なるように焦点合わせされ得、これにより、水晶体は、眼の網膜上に焦点画像を形成するために異なる形状をとる必要があり得る。焦点画像が網膜上に形成されない場合、結果として生じる網膜のかすみ、焦点画像が網膜上に形成されるまで、眼の水晶体の形状の変化を引き起こす調節への合図として作用する。例えば、調節への合図は、眼の水晶体を取り囲む毛様体筋をトリガして弛緩または収縮させ、それによって水晶体を保持する懸垂靱帯に加えられる力を調整することで、凝視するオブジェクトの網膜のかすみが排除または最小化されるまで、眼の水晶体の形状を変化させ、それによって眼の網膜（例えば、中心窩）上に凝視するオブジェクトの焦点画像を形成することができる。眼の水晶体が形状を変化させるプロセスは、調節と称される場合があり、凝視するオブジェクトの焦点画像を眼の網膜（例えば、中心窩）上に形成するために必要な眼の水晶体の形状は、調節状態と称される場合がある。

20

【0021】

[0139]ここで図4Aを参照すると、人間の視覚システムの調節－輻輳応答の表現が示されている。オブジェクトを凝視するための眼の動きは、眼にオブジェクトからの光を受け取らせ、光は眼の各網膜上に画像を形成する。網膜上に形成された画像における網膜のかすみの存在は、調節への合図を提供することができ、網膜上の画像の相対位置は、輻輳への合図を提供することができる。調節への合図は調節を生じさせ、その結果、眼の水晶体は各々、眼の網膜（例えば、中心窩）上にオブジェクトの焦点画像を形成する特定の調節状態をとる。一方、輻輳への合図は、各眼の各網膜上に形成された画像が単一の両眼視を維持する対応する網膜点にあるように、輻輳運動（眼の回転）を生じさせる。これらの位置では、眼は特定の輻輳状態をとっていると言うことができる。引き続き図4Aを参照すると、調節は、眼が特定の調節状態を達成するプロセスであると理解することができ、輻輳は、眼が特定の輻輳状態を達成するプロセスであると理解することができる。図4Aに描示されるように、ユーザが別のオブジェクトを凝視すると、眼の調節状態および輻輳状態が変化する可能性がある。例えば、調節状態は、ユーザがz軸上の異なる深度で新しいオブジェクトを凝視する場合に変化し得る。

30

40

【0022】

[0140]理論によって限定されるものではないが、オブジェクトの視認者は、輻輳および調節の組み合わせにより、オブジェクトを「3次元」と知覚し得ると考えられる。上述したように、互いに対する両眼の輻輳運動（例えば、瞳が互いに近づいたり離れたいたりして、眼の視線を収束させてオブジェクトを凝視するように、眼を回転させる）は、眼の水晶体の調節と密接に関連している。通常の条件下では、眼の水晶体の形状を変化させて異なる距離で1つのオブジェクトから別のオブジェクトに焦点を変化させると、「調節－輻輳反射」として知られる関係の下で、同じ距離に一致する輻輳の変化が自動的に生じる。同様に、輻輳の変化は、通常の条件下で水晶体形状の一致する変化を引き起こす。

【0023】

50

[0141]ここで図4Bを参照すると、眼の異なる調節状態および輻輳状態の例が示されている。一对の眼222aは、光学的無限遠においてオブジェクトを凝視し、一对の眼222bは、光学的無限遠未満においてオブジェクト221を凝視する。なお、一对の眼222aが真正面を向いている状態と、一对の眼222がオブジェクト221に収束する状態とでは、各対の眼の輻輳状態が異なる。また、水晶体220a、220bの異なる形状によって表されるように、各対の眼222aおよび222bを形成する眼の調節状態も異なる。

【0024】

[0142]望ましくないことに、従来の「3-D」ディスプレイシステムの多くのユーザは、これらのディスプレイにおける調節状態と輻輳状態との間の不一致のために、そのような従来のシステムを不快に感じ、または深度感を全く知覚しない可能性がある。上述したように、多くの立体または「3-D」ディスプレイシステムは、各眼にわずかに異なる画像を提供することによってシーンを表示する。そのようなシステムは、とりわけ、単にシーンの異なる提示を提供し、眼の輻輳状態の変化を引き起こすが、それらの眼の調節状態の対応する変化を伴わないため、多くの視認者にとって不快である。むしろ、画像は、眼から一定の距離にあるディスプレイによって示され、それにより、眼は、単一の調節状態で全ての画像情報を見る。そのような配置は、調節状態の一致する変化なしに輻輳状態の変化を引き起こすことによって「調節-輻輳反射」に対抗する。この不一致は、視認者に不快感を引き起こすと考えられる。調節と輻輳との間のより良好な一致を提供するディスプレイシステムは、3次元画像のより現実的で快適なシミュレーションを形成することができる。

10

20

【0025】

[0143]理論によって限定されるものではないが、人間の眼は、典型的には、深度知覚を提供するために有限数の深度平面を解釈することができると考えられる。その結果、知覚される深度の非常に真実味のあるシミュレーションが、これらの限られた数の深度平面の各々に対応する画像の異なる提示を眼に提供することによって達成され得る。いくつかの実施形態では、異なる提示は、輻輳への合図および調節への一致する合図の両方を提供し、それによって生理学的に正しい調節-輻輳一致を提供することができる。

【0026】

[0144]引き続き図4Bを参照すると、眼210a、210bからの空間内の異なる距離に対応する2つの深度平面240が示されている。所与の深度平面240について、輻輳の合図は、各眼210a、210bについて適切に異なる視点の画像を表示することによって提供され得る。加えて、所与の深度平面240について、各眼210a、210bに提供される画像を形成する光は、その深度平面240の距離にある点によって生成される光照射野に対応する波面発散を有することができる。

30

【0027】

[0145]図示の実施形態では、点221を含む深度平面240のz軸に沿った距離は、1mである。本明細書で使用する場合、z軸に沿った距離または深度は、ユーザの眼の射出瞳に位置するゼロ点で測定することができる。したがって、1mの深度に位置する深度平面240は、眼が光学的無限遠に方向付けられているユーザの眼の光軸上で、それらの眼の射出瞳から1m離れた距離に対応する。近似として、z軸に沿った深度または距離は、ユーザの眼の前のディスプレイから（例えば、導波路の表面から）、デバイスとユーザの眼の射出瞳との間の距離の値を加えて測定することができる。その値は、瞳距離と呼ばれることがあり、ユーザの眼の射出瞳と眼の前のユーザによって着用されるディスプレイとの間の距離に対応する。実際には、瞳距離の値は、全ての視認者に対して広く使用される正規化された値であってもよい。例えば、瞳距離は20mmであると仮定することができる。1mの深度にある深度平面は、ディスプレイの前の980mmの距離にあり得る。

40

【0028】

[0146]ここで、図4Cおよび図4Dを参照すると、一致した調節-輻輳距離および不一致の調節-輻輳距離の例がそれぞれ示されている。図4Cに示されるように、ディスプ

50

レイシステムは、仮想オブジェクトの画像を各眼 210 a、210 b に提供することができる。画像は、眼 210 a、210 b に、眼が深度平面 240 上の点 15 に収束する輻輳状態をとらせることができる。加えて、画像は、その深度平面 240 における現実のオブジェクトに対応する波面曲率を有する光によって形成されてもよい。その結果、両眼 210 a、210 b は、画像が両眼の網膜に焦点が合った調節状態をとる。したがって、ユーザは、仮想オブジェクトが深度平面 240 上の点 15 にあると知覚することができる。

【0029】

【0147】眼 210 a、210 b の調節状態および輻輳状態の各々は、z 軸上の特定の距離に関連付けられることが認識されよう。例えば、眼 210 a、210 b から特定の距離にあるオブジェクトは、それらの眼に、オブジェクトの距離に基づいて特定の調節状態をとらせる。特定の調節状態に関連付けられた距離は、調節距離 A_d と称することができる。同様に、特定の輻輳状態の眼に関連付けられた特定の輻輳距離 V_d 、または互いに対する位置がある。調節距離と輻輳距離とが一致する場合、調節と輻輳との関係は生理学的に正しいと言える。これは、視認者にとって最も快適なシナリオであると考えられる。

10

【0030】

【0148】しかしながら、立体ディスプレイでは、調節距離と輻輳距離とが必ずしも一致しない場合がある。例えば、図 4D に示されるように、眼 210 a、210 b に表示される画像は、深度平面 240 に対応する波面発散で表示されてもよく、眼 210 a、210 b は、その深度平面上の点 15 a、15 b に焦点が合っている特定の調節状態をとることができる。しかしながら、眼 210 a、210 b に表示された画像は、眼 210 a、210 b を深度平面 240 上に位置しない点 15 に収束させる輻輳の合図を提供する場合がある。結果として、いくつかの実施形態では、調節距離は、眼 210 a、210 b の射出瞳から深度平面 240 までの距離に対応し、輻輳距離は、眼 210 a、210 b の射出瞳から点 15 までのより大きな距離に対応する。調節距離は、輻輳距離とは異なる。その結果、調節－輻輳の不一致が存在する。そのような不一致は望ましくないと考えられ、ユーザに不快感を与える可能性がある。不一致は、距離（例えば、 $V_a A_d$ ）に対応し、ジョブターを使用して特徴付けることができることが認識されよう。

20

【0031】

【0149】いくつかの実施形態では、眼 210 a、210 b の射出瞳以外の基準点が、同じ基準点が調節距離および輻輳距離に利用される限り、調節－輻輳不一致を決定するための距離を決定するために利用されてもよいことが認識されよう。例えば、角膜から深度平面まで、網膜から深度平面まで、接眼レンズ（例えば、ディスプレイデバイスの導波路）から深度平面までなどの距離を測定することができる。

30

【0032】

【0150】理論によって限定されるものではないが、ユーザは、最大約 0.25 ジョブター、最大約 0.33 ジョブター、および最大約 0.5 ジョブターの調節－輻輳不一致を生理学的に正しいと依然として知覚する可能性があると考えられ、不一致自体が大きな不快感を引き起こすことはない。いくつかの実施形態では、本明細書に開示されるディスプレイシステム（例えば、図 6 のディスプレイシステム 250）は、約 0.5 ジョブター以下の調節－輻輳不一致を有する視認者に画像を提示する。いくつかの他の実施形態では、ディスプレイシステムによって提供される画像の調節－輻輳不一致は、約 0.33 ジョブター以下である。さらに他の実施形態では、ディスプレイシステムによって提供される画像の調節－輻輳不一致は、約 0.1 ジョブター以下を含め、約 0.25 ジョブター以下である。

40

【0033】

【0151】図 5 は、波面発散を修正することによって 3 次元画像をシミュレートするための手法の態様を示す。ディスプレイシステムは、画像情報で符号化された光 770 を受け取り、その光をユーザの眼 210 に出力するように構成された導波路 270 を含む。導波路 270 は、所望の深度平面 240 上の点によって生成された光照射野の波面発散に対応する規定量の波面発散で光 650 を出力することができる。いくつかの実施形態では、同

50

じ量の波面発散が、その深度平面上に提示された全てのオブジェクトに対して提供される。加えて、ユーザの他方の眼に同様の導波路から画像情報を提供することができることが示される。

【0034】

【0152】いくつかの実施形態では、単一の導波路は、単一または限られた数の深度平面に対応する設定量の波面発散で光を出力するように構成されてもよく、および／または導波路は、制限された波長範囲の光を出力するように構成されてもよい。その結果、いくつかの実施形態では、導波路のスタックを利用して、異なる深度平面に対して異なる量の波面発散を提供し、および／または異なる波長範囲の光を出力することができる。本明細書で使用する場合、深度平面は、平坦な表面または湾曲した表面の輪郭に従うことができることが認識されよう。いくつかの実施形態では、有利には簡単にするために、深度平面は平坦な表面の輪郭に従うことができる。

10

【0035】

【0153】図6は、画像情報をユーザに出力するための導波路スタックの一例を示す。ディスプレイシステム250は、導波路270、280、290、300、310を使用して眼／脳に三次元知覚を提供するために利用され得る導波路のスタックまたはスタックされた導波路アセンブリ260を含む。いくつかの実施形態では、ディスプレイシステム250は、光照射野ディスプレイと考えることができることが認識されよう。加えて、導波路アセンブリ260は、接眼レンズとも称され得る。

【0036】

20

【0154】いくつかの実施形態では、ディスプレイシステム250は、実質的に連続的な輻輳の合図を提供し、複数の個別の調節の合図を提供するように構成されてもよい。輻輳の合図は、ユーザの各眼に異なる画像を表示することによって提供されてもよく、調節の合図は、選択可能な個別の量の波面発散で画像を形成する光を出力することによって提供されてもよい。別の言い方をすれば、ディスプレイシステム250は、可変レベルの波面発散で光を出力するように構成されてもよい。いくつかの実施形態では、波面発散の各個別のレベルは、特定の深度平面に対応し、導波路270、280、290、300、310の特定のものによって提供されてもよい。

【0037】

【0155】引き続き図6を参照すると、導波路アセンブリ260はまた、導波路間に特徴部320、330、340、350を含むことができる。いくつかの実施形態では、特徴部320、330、340、350は、1つ以上のレンズであってもよい。導波路270、280、290、300、310および／または特徴部（例えば、レンズ）320、330、340、350は、様々なレベルの波面曲率または光線発散で眼に画像情報を送信するように構成されてもよい。各導波路レベルは、特定の深度平面に関連付けられてもよく、その深度平面に対応する画像情報を出力するように構成されてもよい。画像投入デバイス360、370、380、390、400が、導波路のための光源として機能してもよく、導波路270、280、290、300、310に画像情報を投入するために利用されてもよく、その各々は、本明細書に記載されるように、眼210に向かって出力するために、入射光を各それぞれの導波路にわたって分配するように構成されてもよい。光は、画像投入デバイス360、370、380、390、400の出力表面410、420、430、440、450を出て、導波路270、280、290、300、310の対応する入力表面460、470、480、490、500に投入される。いくつかの実施形態では、入力表面460、470、480、490、500の各々は、対応する導波路の縁部であってもよく、または対応する導波路の主要な表面（すなわち、世界510または視認者の眼210に直接面する導波路表面の一方）の一部であってもよい。いくつかの実施形態では、単一の光ビーム（例えば、コリメートビーム）を各導波路に投入して、特定の導波路に関連付けられた深度平面に対応する特定の角度（および発散量）で眼210に向かって方向付けられるクローン化コリメートビームの全フィールドを出力することができる。いくつかの実施形態では、画像投入デバイス360、370、380、390、

30

40

50

400のうちの単一のものが、導波路270、280、290、300、310のうちの1つ以上（例えば、3つ）に関連付けられて光を投入することができる。

【0038】

【0156】いくつかの実施形態では、画像投入デバイス360、370、380、390、400は、それぞれ対応する導波路270、280、290、300、310に投入するための画像情報を各々生成する個別のディスプレイである。いくつかの他の実施形態では、画像投入デバイス360、370、380、390、400は、例えば、画像情報を（光ファイバケーブルなどの）1つ以上の光導管を介して画像投入デバイス360、370、380、390、400の各々に送ることができる単一の多重化ディスプレイの出力端部である。画像投入デバイス360、370、380、390、400によって提供される画像情報は、異なる波長または色（例えば、本明細書で考察されるように、異なる成分色）の光を含んでもよいことが認識されよう。

10

【0039】

【0157】いくつかの実施形態では、導波路270、280、290、300、310に投入される光は、発光ダイオード（LED）などの光エミッタを含み得る光モジュール530を含む光プロジェクタシステム520によって提供される。光モジュール530からの光は、ビームスプリッタ550を介して、例えば空間光変調器などの光変調器540に方向付けられ、それによって変更され得る。光変調器540は、導波路270、280、290、300、310に投入される光の知覚される強度を変化させて、光を画像情報で符号化するように構成され得る。空間光変調器の例には、シリコン上液晶（LCOS）ディスプレイを含む液晶ディスプレイ（LCD）が含まれる。画像投入デバイス360、370、380、390、400は概略的に示されており、いくつかの実施形態では、これらの画像投入デバイスは、導波路270、280、290、300、310のうちの関連するものに光を出力するように構成された共通の投影システム内の異なる光路および位置を表すことができることが認識されよう。いくつかの実施形態では、導波路アセンブリ260の導波路は、導波路に投入された光をユーザの眼に中継しながら理想的なレンズとして機能することができる。この概念では、オブジェクトは空間光変調器540であってもよく、画像は深度平面上の画像であってもよい。

20

【0040】

【0158】いくつかの実施形態では、ディスプレイシステム250は、様々なパターン（例えば、ラスタースキャン、スパイラルスキャン、リサージュパターンなど）で光を1つ以上の導波路270、280、290、300、310に、および最終的に視認者の眼210に投射するように構成された1つ以上の走査ファイバを含む走査ファイバディスプレイであってもよい。いくつかの実施形態では、図示の画像投入デバイス360、370、380、390、400は、導波路270、280、290、300、310の1つ以上の導波路に光を投入するように構成された単一の走査ファイバまたは走査ファイバの束を概略的に表してもよい。いくつかの他の実施形態では、図示された画像投入デバイス360、370、380、390、400は、各々が導波路270、280、290、300、310の関連するものに光を投入するように構成されている、1つ以上の走査ファイバまたは走査ファイバの1つ以上の束を概略的に表すことができる。1つ以上の光ファイバは、光モジュール530からの光を1つ以上の導波路270、280、290、300、310に伝送するように構成されてもよいことが認識されよう。走査ファイバまたは複数のファイバと、1つ以上の導波路270、280、290、300、310との間には、例えば、走査ファイバを出る光を1つ以上の導波路270、280、290、300、310に方向付けし直すために、1つ以上の介在光学構造が設けられてもよいことが認識されよう。

30

40

【0041】

【0159】コントローラ560が、画像投入デバイス360、370、380、390、400、光源530、および光変調器540の動作を含め、スタックされた導波路アセンブリ260のうちの1つ以上の動作を制御する。いくつかの実施形態では、コントローラ

50

560は、ローカルデータ処理モジュール140の一部である。コントローラ560は、例えば、本明細書に開示される様々な方式のいずれかに従って、導波路270、280、290、300、310への画像情報のタイミングおよび提供を調整するプログラミング（例えば、非一時的媒体内の命令）を含む。いくつかの実施形態では、コントローラは、単一の一体型デバイス、または有線もしくは無線通信チャネルによって接続された分散型システムであってもよい。いくつかの実施形態では、コントローラ560は、処理モジュール140または150（図9D）の一部であってもよい。

【0042】

【0160】引き続き図6を参照すると、導波路270、280、290、300、310は、全内部反射（TIR）によって各それぞれの導波路内で光を伝搬するように構成され得る。導波路270、280、290、300、310は、各々が平面的であってもよく、または別の形状（例えば、湾曲している）を有してもよく、主要な上部表面および底部表面、ならびにそれらの主要な上部表面と底部表面との間に延在する縁部を有する。図示の構成では、導波路270、280、290、300、310は各々、各それぞれの導波路内を伝搬する光を導波路から方向付けし直して眼210に画像情報を出力することによって導波路から光を抽出するように構成された外部結合光学素子570、580、590、600、610を含むことができる。本明細書を通して「外部結合光学素子」と称されるが、外部結合光学素子は、光学素子である必要はなく、非光学素子であってもよい。抽出された光は、外部結合光と称されることもあり、外部結合光学素子光は、光抽出光学素子と称されることもある。抽出された光ビームは、導波路内を伝搬する光が光抽出光学素子に当たる場所で導波路によって出力され得る。外部結合光学素子570、580、590、600、610は、例えば、本明細書でさらに考察されるように、回折光学特徴部を含む格子であってもよい。説明の容易さおよび図面の明瞭さのために、導波路270、280、290、300、310の底部主要表面に配設されて示されているが、いくつかの実施形態では、外部結合光学素子570、580、590、600、610は、本明細書でさらに考察されるように、上部および／もしくは底部主要表面に配設されてもよく、かつ／または導波路270、280、290、300、310の容積部内に直接配設されてもよい。いくつかの実施形態では、外部結合光学素子570、580、590、600、610は、導波路270、280、290、300、310を形成するために透明基板に取り付けられた材料の層内に形成されてもよい。いくつかの他の実施形態では、導波路270、280、290、300、310は、モノリシック材料片であってもよく、外部結合光学素子570、580、590、600、610は、その材料片の表面および／または内部に形成されてもよい。

【0043】

【0161】引き続き図6を参照すると、本明細書で考察されるように、各導波路270、280、290、300、310は、特定の深度平面に対応する画像を形成するために光を出力するように構成されている。例えば、眼に最も近い導波路270は、（そのような導波路270に投入された）コリメート光を眼210に送達するように構成されてもよい。コリメート光は、光学無限遠焦点面を表すことができる。次の導波路280は、眼210に到達し得る前に第1のレンズ350（例えば、負レンズ）を通過するコリメート光を送出するように構成されてもよい。そのような第1のレンズ350は、眼／脳が、その次の導波路280から来る光を光学的無限遠から眼210に向かって内側により近い第1の焦点面から来るものとして解釈するように、わずかに凸状の波面曲率を作り出すように構成されてもよい。同様に、第3の導波路290は、その出力光を、眼210に到達する前に、第1のレンズ350および第2のレンズ340の両方を通過させる。第1のレンズ350および第2のレンズ340の組み合わせられた屈折力は、眼／脳が、第3の導波路290から来る光を、次の導波路280からの光よりも光学的無限遠から人に向かってさらに内側により近い第2の焦点面から来るものとして解釈するように、別の増分量の波面曲率を作り出すように構成されてもよい。

【0044】

[0162]他の導波路層300、310およびレンズ330、320も同様に構成され、スタック内の最も高い導波路310は、人に最も近い焦点面を表す総焦点力のために、眼との間の全てのレンズを介してその出力を送る。スタックされた導波路アセンブリ260の反対側の世界510から来る光を見る／解釈するときにレンズ320、330、340、350のスタックを補償するために、補償レンズ層620をスタックの上部に配設して、下のレンズスタック320、330、340、350の総倍率を補償することができる。そのような構成は、利用可能な導波路／レンズのペアリングと同数の知覚される焦点面を提供する。導波路の外部結合光学素子およびレンズの焦点合わせ態様の両方は、静的（すなわち、動的または電氣的に活性ではない）であってもよい。いくつかの代替的な実施形態では、いずれかまたは両方が、電氣的に活性な特徴部を使用して動的であってもよい。

10

【0045】

[0163]いくつかの実施形態では、導波路270、280、290、300、310のうちの2つ以上は、同じ関連する深度平面を有することができる。例えば、複数の導波路270、280、290、300、310は、同じ深度平面に設定された画像を出力するように構成されてもよく、または導波路270、280、290、300、310の複数のサブセットは、各深度平面に対して一組で、同じ1つ以上の深度平面に設定された画像を出力するように構成されてもよい。これは、それらの深度平面において拡張された視野を提供するためにタイル化画像を形成するための利点を提供することができる。

【0046】

[0164]引き続き図6を参照すると、外部結合光学素子570、580、590、600、610は、それらのそれぞれの導波路から光を方向付けし直すと共に、導波路に関連付けられた特定の深度平面に対して適切な量の発散またはコリメーションでこの光を出力するように構成することができる。結果として、異なる関連する深度平面を有する導波路は、関連する深度平面に応じて異なる発散量を有する光を出力する外部結合光学素子570、580、590、600、610の異なる構成を有することができる。いくつかの実施形態では、光抽出光学素子570、580、590、600、610は、特定の角度で光を出力するように構成され得る体積特徴部または表面特徴部であってもよい。例えば、光抽出光学素子570、580、590、600、610は、体積ホログラム、表面ホログラム、および／または回折格子であってもよい。いくつかの実施形態では、特徴部320、330、340、350はレンズでなくてもよい。むしろ、それらは単にスペーサ（例えば、クラッド層および／または空隙を形成するための構造）であってもよい。

20

30

【0047】

[0165]いくつかの実施形態では、外部結合光学素子570、580、590、600、610は、回折パターンを形成する回折特徴部、または「回折光学素子」（本明細書では「DOE」とも称される）である。好ましくは、DOEは、十分に低い回折効率を有し、それにより、ビームの光の一部のみが、DOEの各交点で眼210に向かって偏向され、残りは、TIRを介して導波路を通して移動し続ける。したがって、画像情報を搬送する光は、多数の位置で導波路を出るいくつかの関連する射出ビームに分割され、その結果、導波路内で跳ね返るこの特定のコレメートビームの眼210に向かう射出放出のかなり均一なパターンが得られる。

40

【0048】

[0166]いくつかの実施形態では、1つ以上のDOEは、それらが能動的に回折する「オン」状態と、それらが著しく回折しない「オフ」状態との間で切り替え可能であり得る。例えば、切り替え可能なDOEは、ポリマー分散液晶の層を含んでもよく、この場合、微小液滴が、ホスト媒体中に回折パターンを含み、微小液滴の屈折率は、ホスト材料の屈折率と実質的に一致するように切り替えられてもよく（この場合、パターンは入射光を認識可能に回折しない）、または微小液滴は、ホスト媒体の屈折率と一致しない屈折率に切り替えられてもよい（この場合、パターンは入射光を能動的に回折する）。

【0049】

50

[0167]いくつかの実施形態では、眼 210 および／または眼 210 の周囲の組織の画像をキャプチャして、例えば、ユーザ入力を検出するために、および／またはユーザの生理学的状態を監視するために、カメラアセンブリ 630（例えば、可視光および赤外光カメラを含むデジタルカメラ）を設けることができる。本明細書で使用される場合、カメラは任意の画像キャプチャデバイスであってもよい。いくつかの実施形態では、カメラアセンブリ 630 は、画像キャプチャデバイスと、光（例えば、赤外光）を眼に投射するための光源とを含むことができ、光はその後、眼によって反射され、画像キャプチャデバイスによって検出され得る。いくつかの実施形態では、カメラアセンブリ 630 は、フレーム 80（図 9D）に取り付けられてもよく、カメラアセンブリ 630 からの画像情報を処理することができる処理モジュール 140 および／または 150 と電気的に連通してもよい。いくつかの実施形態では、各眼を別々に監視するために、各眼に対して 1 つのカメラアセンブリ 630 を利用することができる。

10

【0050】

[0168]ここで図 7 を参照すると、導波路によって出力される射出ビームの一例が示されている。1 つの導波路が示されているが、導波路アセンブリ 260 が複数の導波路を含む場合、導波路アセンブリ 260（図 6）内の他の導波路も同様に機能し得ることが認識されよう。光 640 は、導波路 270 の入力表面 460 で導波路 270 に投入され、TIR によって導波路 270 内を伝搬する。光 640 が DOE 570 に衝突する点において、光の一部は、射出ビーム 650 として導波路を出る。射出ビーム 650 は、実質的に平行なものとして示されているが、本明細書で考察されるように、導波路 270 に関連付けられた深度平面に応じて、ある角度（例えば、発散射出ビームを形成する）で眼 210 に伝搬するように方向付けし直されてもよい。実質的に平行な射出ビームは、眼 210 から大きな距離（例えば、光学的無限遠）の深度平面上に設定されているように見える画像を形成するために光を外部結合する外部結合光学素子を有する導波路を示すことができることが認識されよう。他の導波路または他の組の外部結合光学素子は、より発散する射出ビームパターンを出力することができ、これは、眼 210 が網膜上に焦点を合わせるためにより近い距離に調節することを必要とし、脳によって、光学的無限遠よりも眼 210 に近い距離からの光として解釈される。

20

【0051】

[0169]いくつかの実施形態では、フルカラー画像は、各成分色、例えば 3 つ以上の成分色の画像を重ね合わせることによって各深度平面に形成することができる。

30

【0052】

[0170]図 8 は、各深度平面が複数の異なる成分色を使用して形成される画像を含む、スタックされた導波路アセンブリの一例を示す。図示の実施形態は、深度平面 240a ~ 240f を示しているが、より多いまたはより少ない深度も考えられる。各深度平面は、それに関連付けられた 3 つ以上の成分色画像を有することができ、これは、第 1 の色 G の第 1 の画像、第 2 の色 R の第 2 の画像、および第 3 の色 B の第 3 の画像を含む。図には、文字 G、R および B に続くジオプター（dpt）の異なる数字によって、異なる深度平面が示されている。専ら例として、これらの各文字に続く数字は、ジオプター（1/m）、または視認者からの深度平面の逆距離を示し、図の各ボックスは、個々の成分色画像を表す。いくつかの実施形態では、異なる波長の光の眼の焦点合わせの違いを考慮するために、異なる成分色についての深度平面の正確な配置は変化し得る。例えば、所与の深度平面についての成分色画像は、ユーザからの異なる距離に対応する深度平面上に配置され得る。そのような配置は、視力およびユーザの快適性を向上させることができ、かつ／または色収差を減少させることができる。

40

【0053】

[0171]いくつかの実施形態では、各成分色の光は、単一の専用導波路によって出力されてもよく、その結果、各深度平面は、それに関連付けられた複数の導波路を有してもよい。そのような実施形態では、文字 G、R、または B を含む図の各ボックスは、個々の導波路を表すと理解されてもよく、3 つの導波路が深度平面ごとに提供されてもよく、深度

50

平面ごとに3つの成分色画像が提供される。各深度平面に関連付けられた導波路は、説明を容易にするためにこの図では互いに隣接して示されているが、物理デバイスでは、導波路は全て、レベルごとに1つの導波路を有するスタック内に配置されてもよいことが認識されよう。いくつかの他の実施形態では、例えば、深度平面ごとに単一の導波路のみが提供され得るように、複数の成分色が同じ導波路によって出力されてもよい。

【0054】

[0172]引き続き図8を参照すると、いくつかの実施形態では、Gは緑色であり、Rは赤色であり、Bは青色である。いくつかの他の実施形態では、赤、緑、または青のうちの1つ以上に加えて、マゼンタおよびシアンを含む他の波長の光に関連付けられた他の色を使用することができ、またはそれらに取って代わることができる。

【0055】

[0173]本開示を通して所与の色の光への言及は、その所与の色のものであると視認者によって知覚される光の波長範囲内の1つ以上の波長の光を包含すると理解されることが認識されよう。例えば、赤色光は、約620~780nmの範囲の1つ以上の波長の光を含んでもよく、緑色光は、約492~577nmの範囲の1つ以上の波長の光を含んでもよく、青色光は、約435~493nmの範囲の1つ以上の波長の光を含んでもよい。

【0056】

[0174]いくつかの実施形態では、光源530（図6）は、視認者の視覚範囲外の1つ以上の波長、例えば赤外線および／または紫外線波長の光を放出するように構成されてもよい。加えて、ディスプレイ250の導波路の内部結合、外部結合、および他の光を方向付けし直す構造は、例えば、画像化および／またはユーザ刺激用途のために、この光をディスプレイから眼210に向けて方向付けて放出するように構成され得る。

【0057】

[0175]ここで図9Aを参照すると、いくつかの実施形態では、導波路に衝突する光は、その光を導波路に内部結合するように方向付けし直される必要があり得る。光をその対応する導波路に方向付けし直して内部結合するために、内部結合光学素子を使用されてもよい。本明細書を通して「内部結合光学素子」と称されるが、内部結合光学素子は、光学素子である必要はなく、非光学素子であってもよい。図9Aは、各々が内部結合光学素子を含むスタックされた導波路のセット660の一例の断面側面図を示す。導波路は各々、1つ以上の異なる波長、または1つ以上の異なる波長範囲の光を出力するように構成されてもよい。画像投入デバイス360、370、380、390、400のうちの1つ以上の光が、光が内部結合のために方向付けし直されることを必要とする位置から導波路に投入されることを除いて、スタック660は、スタック260（図6）に対応してもよく、スタック660の図示された導波路は、導波路270、280、290、300、310の一部に対応してもよいことが認識されよう。

【0058】

[0176]図示されているスタックされた導波路のセット660は、導波路670、680および690を含む。各導波路は、例えば、導波路670の主表面（例えば、上部主表面）に配設された内部結合光学素子700、導波路680の主表面（例えば、上部主表面）に配設された内部結合光学素子710、および導波路690の主表面（例えば、上部主表面）に配設された内部結合光学素子720を有する、関連する内部結合光学素子（導波路上の光入力エリアとも称され得る）を含む。いくつかの実施形態では、内部結合光学素子700、710、720のうちの1つ以上は、それぞれの導波路670、680、690の底部主表面に配設されてもよい（特に、1つ以上の内部結合光学素子が反射性の偏向光学素子である場合）。図示のように、内部結合光学素子700、710、720は、特にそれらの内部結合光学素子が透過性の偏向光学素子である場合、それらのそれぞれの導波路670、680、690の上部主表面（または次の下部導波路の上部）に配設されてもよい。いくつかの実施形態では、内部結合光学素子700、710、720は、それぞれの導波路670、680、690の本体内に配設されてもよい。いくつかの実施形態では、本明細書で考察されるように、内部結合光学素子700、710、720は、他の波

10

20

30

40

50

長の光を透過させながら、1つ以上の波長の光を選択的に方向付けし直すように、波長選択的である。内部結合光学素子700、710、720は、それらのそれぞれの導波路670、680、690の一方の側または角に示されているが、いくつかの実施形態では、それらのそれぞれの導波路670、680、690の他のエリアに配設されてもよいことが認識されよう。

【0059】

【0177】図示のように、内部結合光学素子700、710、720は、互いから横方向にオフセットされてもよい。いくつかの実施形態では、各内部結合光学素子は、光が別の内部結合光学素子を通過することなく光を受け取るようにオフセットされてもよい。例えば、各内部結合光学素子700、710、720は、図6に示されるような異なる画像投入デバイス360、370、380、390および400からの光を受け取るように構成されてもよく、他の内部結合光学素子700、710、720からの光を実質的に受け取らないように、他の内部結合光学素子700、710、720から分離（例えば、横方向に離間）されてもよい。

【0060】

【0178】各導波路はまた、例えば、導波路670の主表面（例えば、上部主表面）に配設された光分配素子730、導波路680の主表面（例えば、上部主表面）に配設された光分配素子740、および導波路690の主表面（例えば、上部主表面）に配設された光分配素子750を有する、関連する光分配素子を含む。いくつかの他の実施形態では、光分配素子730、740、750は、それぞれ、関連する導波路670、680、690の底部主表面に配設されてもよい。いくつかの他の実施形態では、光分配素子730、740、750は、それぞれ、関連する導波路670、680、690の上部主表面および底部主表面の両方に配設されてもよい。または、光分配素子730、740、750は、それぞれ、異なる関連する導波路670、680、690の上部主表面および底部主表面の異なる表面に配設されてもよい。

【0061】

【0179】導波路670、680、690は、例えば、気体、液体、および／または固体の材料層によって離間および分離されてもよい。例えば、図示のように、層760aが、導波路670および680を分離してもよく、層760bが、導波路680および690を分離してもよい。いくつかの実施形態では、層760aおよび760bは、低屈折率材料（すなわち、導波路670、680、690のうちの直接隣接する導波路を形成する材料よりも屈折率が低い材料）から形成される。好ましくは、層760a、760bを形成する材料の屈折率は、導波路670、680、690を形成する材料の屈折率よりも0.05以上または0.10低い。有利には、より低い屈折率の層760a、760bは、導波路670、680、690を通る光の全内部反射（TIR）（例えば、各導波路の上部主表面と底部主表面との間のTIR）を容易にするクラッド層として機能することができる。いくつかの実施形態では、層760a、760bは空気から形成される。図示されていないが、導波路の図示されたセット660の上部および底部は、直接隣り合うクラッド層を含み得ることが認識されよう。

【0062】

【0180】好ましくは、製造の容易さおよび他の考慮事項のために、導波路670、680、690を形成する材料は、同様であるかまたは同一であり、層760a、760bを形成する材料は、同様であるかまたは同一である。いくつかの実施形態では、導波路670、680、690を形成する材料は、1つ以上の導波路間で異なってもよく、および／または層760a、760bを形成する材料は、上述した様々な屈折率関係を依然として保持しながら異なってもよい。導波路を形成するために種々の材料を利用することができる。ガラスは、導波路を製造するために利用することができる1つの材料であるが、LiNbO₃、SiC、ZnSなどを含む他の材料を利用することができる。これらの材料は、光学的品質の単結晶材料または光学的品質であるが単結晶ではない材料の形態であり得る。追加的に、同様の組成の多粒セラミックを利用して導波路を形成することが

できる。一例として、ナノ結晶材料を導波路の製造において利用することができる。

【0063】

[0181]引き続き図9Aを参照すると、光線770、780、790が、導波路のセット660に入射する。光線770、780、790は、1つ以上の画像投入デバイス360、370、380、390、400（図6）によって導波路670、680、690に投入されてもよいことが認識されよう。

【0064】

[0182]いくつかの実施形態では、光線770、780、790は、異なる色に対応し得る、異なる特性、例えば、異なる波長または異なる波長範囲を有する。各内部結合光学素子700、710、720は、光が導波路670、680、690のそれぞれをTIRによって伝搬するように、入射光を偏向させる。いくつかの実施形態では、内部結合光学素子700、710、720は各々、光の1つ以上の特定の波長を選択的に偏向させ、一方で、他の波長を、下にある導波路および関連する内部結合光学素子に透過させる。

【0065】

[0183]例えば、内部結合光学素子700は、第1の波長または波長範囲を有する光線770を偏向させ、異なる第2および第3の波長または波長範囲をそれぞれ有する光線780および790を透過させるように構成されてもよい。透過された光線780は、第2の波長または波長範囲の光を偏向させるように構成された内部結合光学素子710に衝突して偏向される。光線790は、第3の波長または波長範囲の光を選択的に偏向させるように構成された内部結合光学素子720によって偏向される。

【0066】

[0184]引き続き図9Aを参照すると、偏向された光線770、780、790は、それらに対応する導波路670、680、690を通して伝搬するように偏向される。すなわち、各導波路の内部結合光学素子700、710、720は、その対応する導波路670、680、690内に光を偏向させて、その対応する導波路内に光を内部結合する。光線770、780、790は、TIRによって光をそれぞれの導波路670、680、690を通して伝搬させる角度で偏向される。光線770、780、790は、導波路の対応する光分配素子730、740、750に衝突するまで、TIRによってそれぞれの導波路670、680、690を通して伝搬する。

【0067】

[0185]ここで図9Bを参照すると、図9Aのスタックされた導波路の一例の斜視図が示されている。上述したように、内部結合された光線770、780、790は、それぞれ内部結合光学素子700、710、720によって偏向された後、導波路670、680、690内をそれぞれTIRによって伝搬する。次いで、光線770、780、790は、光分配素子730、740、750にそれぞれ衝突する。光分配素子730、740、750は、外部結合光学素子800、810、820に向かってそれぞれ伝搬するように光線770、780、790を偏向させる。

【0068】

[0186]いくつかの実施形態では、光分配素子730、740、750は、直交瞳エクspанда（OPE）である。いくつかの実施形態では、OPEは、光を外部結合光学素子800、810、820に偏向または分配し、いくつかの実施形態では、外部結合光学素子に伝搬するにつれてこの光のビームまたはスポットサイズを増加させることもできる。いくつかの実施形態では、光分配素子730、740、750は省略されてもよく、内部結合光学素子700、710、720は、光を外部結合光学素子800、810、820に直接偏向させるように構成されてもよい。例えば、図9Aを参照すると、光分配素子730、740、750は、外部結合光学素子800、810、820にそれぞれ置き換えられてもよい。いくつかの実施形態では、外部結合光学素子800、810、820は、眼210（図7）内に光を方向付ける射出瞳（EP）または射出瞳エクspанда（EPE）である。OPEは、少なくとも1つの軸におけるアイボックスの寸法を増加させるように構成されてもよく、EPEは、OPEの軸と交差する、例えば直交する軸においてアイ

ボックスを増加させてもよいことが認識されよう。例えば、各OPEは、光の残りの部分が導波路を伝搬し続けることを可能にしながら、OPEに当たる光の一部を同じ導波路のEPEに方向付けし直すように構成され得る。OPEに再び衝突すると、残りの光の別の部分がEPEに方向付けし直され、その部分の残りの部分は、導波路をさらに伝搬し続けるなどである。同様に、EPEに当たると、衝突する光の一部は導波路からユーザに向かって方向付けられ、その光の残りの部分は、EPに再び当たるまで導波路を通して伝搬し続け、その時点で、衝突する光の別の部分は導波路から外に方向付けられるなどである。その結果、図6に示されるように、内部結合された光の単一のビームが、その光の一部がOPEまたはEPEによって方向付けし直されるたびに、「複製」され、それによってクロン化された光ビームの場が形成され得る。いくつかの実施形態では、OPEおよび／またはEPEは、光ビームのサイズを変更するように構成されてもよい。

10

【0069】

【0187】したがって、図9Aおよび図9Bを参照すると、いくつかの実施形態では、導波路のセット660は、各成分色のための導波路670、680、690と、内部結合光学素子700、710、720と、光分配素子（例えば、OPE）730、740、750と、外部結合光学素子（例えば、EP）800、810、820とを含む。導波路670、680、690は、各々の間に空隙／クラッド層を有してスタックされてもよい。内部結合光学素子700、710、720は、（異なる波長の光を受け取る異なる内部結合光学素子によって）入射光をその導波路内に方向付けし直すか、または偏向させる。次いで、光は、それぞれの導波路670、680、690内にTIRをもたらし角度で伝搬する。図示の例では、光線770（例えば、青色光）は、第1の内部結合光学素子700によって偏向され、次いで導波路を跳ね返り続け、前述の方法で光分配素子（例えば、OPE）730、次いで外部結合光学素子（例えば、EP）800と相互作用する。光線780および790（例えば、それぞれ緑色光および赤色光）は、導波路670を通過し、光線780は、内部結合光学素子710に衝突して偏向される。光線780は次いで、TIRを介して導波路680を跳ね、その光分配素子（例えば、OPE）740に進み、次に外部結合光学素子（例えば、EP）810に進む。最後に、光線790（例えば、赤色光）は、導波路690を通過して、導波路690の光内部結合光学素子720に衝突する。光内部結合光学素子720は、光線がTIRによって光分配素子（例えば、OPE）750に伝搬した後、TIRによって外部結合光学素子（例えば、EP）820に伝搬するように、光線790を偏向させる。次に、外部結合光学素子820は、最終的に、光線790を視認者に外部結合し、視認者は、他の導波路670、680からの外部結合された光も受け取る。

20

30

【0070】

【0188】図9Cは、図9Aおよび図9Bのスタックされた導波路の一例の上面図である。図示のように、導波路670、680、690は、各導波路の関連する光分配素子730、740、750および関連する外部結合光学素子800、810、820と共に、垂直に整列されてもよい。しかしながら、本明細書で考察されるように、内部結合光学素子700、710、720は垂直に整列されていない。むしろ、内部結合光学素子は、好ましくは重なり合わない（例えば、上面図に見られるように横方向に離間している）。本明細書でさらに考察されるように、この重なり合わない空間配置は、異なるリソースから異なる導波路への光の投入を1対1で容易にし、それによって特定の光源を特定の導波路に一意に結合することを可能にする。いくつかの実施形態では、重なり合わない空間的に分離された内部結合光学素子を含む配置は、偏移瞳システムと称されることがあり、これらの配置内の内部結合光学素子は、サブ瞳に対応することができる。

40

【0071】

【0189】図9Dは、本明細書に開示される様々な導波路および関連するシステムが一体化され得る装着型ディスプレイシステム60の一例を示す。いくつかの実施形態では、ディスプレイシステム60は、図6のシステム250であり、図6は、そのシステム60のいくつかの部分をより詳細に概略的に示している。例えば、図6の導波路アセンブリ26

50

0 は、ディスプレイ 70 の一部であり得る。

【0072】

【0190】引き続き図 9D を参照すると、ディスプレイシステム 60 は、ディスプレイ 70 と、そのディスプレイ 70 の機能をサポートするための様々な機械的および電子的モジュールおよびシステムを含む。ディスプレイ 70 は、ディスプレイシステムのユーザまたは視認者 90 によって装着可能であり、ユーザ 90 の眼の前にディスプレイ 70 を位置決めするように構成されたフレーム 80 に結合することができる。ディスプレイ 70 は、いくつかの実施形態ではアイウェアとみなされてもよい。いくつかの実施形態では、スピーカ 100 が、フレーム 80 に結合されており、ユーザ 90 の外耳道に隣接して位置決めされるように構成されている（いくつかの実施形態では、ステレオ／成形可能な音響制御を提供するために、図示されていない別のスピーカを任意選択的にユーザの他の外耳道に隣接して位置決めすることができる）。ディスプレイシステム 60 はまた、音を検出するために 1 つ以上のマイクロフォン 110 または他のデバイスを含むことができる。いくつかの実施形態では、マイクロフォンは、ユーザがシステム 60 に入力またはコマンドを提供すること（例えば、音声メニューコマンドの選択、自然言語質問など）を可能にするように構成されており、および／または他の人との（例えば、同様のディスプレイシステムの他のユーザとの）音声通信を可能にすることができる。マイクロフォンは、音声データ（例えば、ユーザおよび／または環境からの音）を収集するための周辺センサとしてさらに構成されてもよい。いくつかの実施形態では、ディスプレイシステム 60 は、オブジェクト、刺激、人、動物、場所、またはユーザの周りの世界の他の態様を検出するように構成された、1 つ以上の外向きに方向付けられた環境センサ 112 をさらに含むことができる。例えば、環境センサ 112 は、ユーザ 90 の通常の視野の少なくとも一部と同様の画像をキャプチャするように、例えば外向きに位置付けられ得る、1 つ以上のカメラを含み得る。いくつかの実施形態では、ディスプレイシステムはまた、フレーム 80 とは別個であり、ユーザ 90 の身体（例えば、ユーザ 90 の頭部、胴体、四肢など）に取り付けられ得る周辺センサ 120a を含むことができる。周辺センサ 120a は、いくつかの実施形態では、ユーザ 90 の生理学的状態を特徴付けるデータを取得するように構成されてもよい。例えば、センサ 120a は、電極であってもよい。

【0073】

【0191】引き続き図 9D を参照すると、ディスプレイ 70 は、有線リード線または無線接続などの通信リンク 130 によってローカルデータ処理モジュール 140 に動作可能に結合されており、ローカルデータ処理モジュールは、フレーム 80 に固定して取り付けられる、ユーザが着用するヘルメットもしくは帽子に固定して取り付けられる、ヘッドホンに埋め込まれる、または別様にユーザ 90 に取り外し可能に取り付けられる（例えば、バックパック式の構成で、ベルト結合式の構成で）などの種々の構成で装着されることができる。同様に、センサ 120a は、例えば有線リード線または無線接続などの通信リンク 120b によって、ローカルプロセッサおよびデータモジュール 140 に動作可能に結合することができる。ローカル処理およびデータモジュール 140 は、ハードウェアプロセッサ、および不揮発性メモリ（例えば、フラッシュメモリまたはハードディスクドライブ）などのデジタルメモリを備えることができ、これらは両方とも、データの処理、キャッシング、および記憶を支援するために利用することができる。任意選択的に、ローカルプロセッサおよびデータモジュール 140 は、1 つ以上の中央処理装置（CPU）、グラフィックス処理装置（GPU）、専用処理ハードウェアなどを含むことができる。データは、a) 画像キャプチャデバイス（カメラなど）、マイクロフォン、慣性測定ユニット、加速度計、コンパス、GPS ユニット、無線デバイス、ジャイロ、および／もしくは本明細書に開示される他のセンサなどのセンサ（これは、例えば、フレーム 80 に動作可能に結合されてもよく、もしくは別様にユーザ 90 に取り付けられてもよい）からキャプチャされる、ならびに／または b) おそらくはそのような処理もしくは検索の後のディスプレイ 70 への通過のために、遠隔処理モジュール 150 および／もしくは遠隔データリポジトリ 160（仮想コンテンツに関するデータを含む）を使用して取得および／もしくは処理

されるデータを含むことができる。ローカル処理およびデータモジュール140は、通信リンク170、180によって、例えば有線または無線通信リンクを介して、遠隔処理モジュール150および遠隔データリポジトリ160に動作可能に結合することができ、それによって、これらの遠隔モジュール150、160は、互いに動作可能に結合され、ローカル処理およびデータモジュール140へのリソースとして利用可能である。いくつかの実施形態では、ローカル処理およびデータモジュール140は、画像キャプチャデバイス、マイクロフォン、慣性測定ユニット、加速度計、コンパス、GPSユニット、無線デバイス、および／またはジャイロのうちの1つ以上を含むことができる。いくつかの他の実施形態では、これらのセンサのうちの1つ以上は、フレーム80に取り付けられてもよく、または有線もしくは無線通信経路によってローカル処理およびデータモジュール140と通信するスタンドアロン構造であってもよい。

10

【0074】

【0192】引き続き図9Dを参照すると、いくつかの実施形態では、遠隔処理モジュール150は、例えば、1つ以上の中央処理装置(CPU)、グラフィックス処理装置(GPU)、専用処理ハードウェアなどを含む、データおよび／または画像情報を分析および処理するように構成された1つ以上のプロセッサを含むことができる。いくつかの実施形態では、遠隔データリポジトリ160は、「クラウド」リソース構成でインターネットまたは他のネットワーキング構成を介して利用可能であり得るデジタルデータ記憶設備を含むことができる。いくつかの実施形態では、遠隔データリポジトリ160は、情報、例えば拡張現実コンテンツを生成するための情報をローカル処理およびデータモジュール140および／または遠隔処理モジュール150に提供する1つ以上の遠隔サーバを含むことができる。いくつかの実施形態では、全てのデータが記憶され、全ての計算がローカル処理およびデータモジュールで実行され、遠隔モジュールからの完全な自律的使用が可能になる。任意選択的に、CPU、GPUなどを含む外部システム(例えば、1つ以上のプロセッサ、1つ以上のコンピュータのシステム)が、処理の少なくとも一部(例えば、画像情報の生成、データの処理)を実行し、例えば無線または有線接続を介して、モジュール140、150、160に情報を提供し、そこから情報を受信することができる。

20

【0075】

【0193】図10は、空間光変調器(SLM)1030を照明し、SLM1030からの光を投影光学系1040を介して接眼レンズ(図示せず)に方向付けし直すために偏光ビームスプリッタ(PBS)1020を利用するプロジェクタアセンブリ1000を示す概略図である。プロジェクタアセンブリ1000は、例えば、発光ダイオード(LED)、レーザ(例えば、レーザダイオード)、または他のタイプの光源を含むことができる照明源1010を含む。この光は、コリメート光学系によってコリメートされてもよい。照明源1010は、偏光された光、偏光されていない光、または部分的に偏光された光を放出することができる。図示の設計では、照明源1010は、p偏光を有する偏光された光1012を放出することができる。第1の光学素子1015(例えば、前偏光子)が、第1の偏光(例えば、p偏光)を有する光を通過させるように整列される。

30

【0076】

【0194】この光は、偏光ビームスプリッタ1020に方向付けられる。最初に、光は、第1の偏光(例えば、p偏光)の光を透過させるように構成されたPBS1020のインタフェース1022(例えば、偏光インタフェース)を通過する。したがって、光は、空間光変調器1030に入射し続ける。図示のように、SLM1030は、入射する光を再帰反射し、光を選択的に変調するように構成された反射型SLMである。SLM1030は、例えば、異なる状態を有することができる1つ以上のピクセルを含む。それぞれのピクセルに入射する光は、ピクセルの状態に基づいて変調されてもよい。したがって、SLM1030を駆動して光を変調して画像を提供することができる。この例では、SLM1030は、そこに入射する光の偏光を変調する偏光ベースのSLMであってもよい。例えば、SLM1030のピクセルは、オン状態において、明るい状態(例えば、白色ピクセル)を示すように、入力光を第1の偏光状態(例えば、p偏光状態)から第2の偏光状態

40

50

(例えば、s 偏光状態)に変化させる。第2の偏光状態は、90°変調(例えば、回転)された第1の偏光状態であってもよい。オン状態では、第2の偏光状態を有する光は、インタフェース1022によって反射され、プロジェクタ光学系1040へと下流に伝搬する。オフ状態では、SLM1030は、そこに入射する光の偏光状態を変化させず、例えば入力光を第1の偏光状態から回転させず、したがって暗い状態(例えば、黒色ピクセル)が示される。オフ状態では、第1の偏光状態を有する光は、インタフェース1022を通して透過され、上流に伝搬して照明源1010に戻り、ユーザの眼には到達しない。

【0077】

[0195] SLM1030からの反射後、光1014の一部(例えば、変調光)は、インタフェース1022から反射され、PBS1020を出てユーザの眼に方向付けられる。放出された光は、プロジェクタ光学系1040を通過し、接眼レンズ(図示せず)の内部結合格子(ICG)1050上に結像される。

【0078】

[0196] 図11Aは、図10に示されるものの代替構成を有する、ユーザの眼210に画像を提示し、世界510を視認するためのシステム(例えば、拡張現実ディスプレイシステム)1100Aを示す。システム1100は、光源1110と、空間光変調器(SLM)1140と、接眼レンズ導波路とも称される導波路1120とを含み、光源1110からの光がSLM1140を照明し、SLM1140から反射された光が眼210に方向付けられるように導波路1120内に結合されるよう配置されている。システム1100Aは、SLM1140を照明すると共にSLM1140の画像を投影するように配設された光学系1130を含む。光源1110からの光は、例えば、光学系1130を通してSLM1140上に第1の方向に伝搬し、それによってSLM1140を照明する。SLM1140から反射された光は、光学系1130を通して第1の方向とは反対の第2の方向に再び伝搬し、導波路1120に方向付けられ、その中に結合される。

【0079】

[0197] 光源1110は、発光ダイオード(LED)、レーザ(例えば、レーザダイオード)、または他のタイプの光源を含むことができる。光源1110は偏光光源であってもよいが、光源1110はそのように限定される必要はない。いくつかの実装形態では、偏光子1115が、光源1110とSLM1140との間に位置決めされてもよい。図示のように、偏光子1115は、光源1110と導波路1120との間にある。この偏光子1115はまた、第1の偏光の光を透過し、第2の偏光の光を反射して光源1110に戻す光リサイクラであってもよい。そのような偏光子1115は、例えばワイヤグリッド偏光子であってもよい。非結像光学素子(例えば、コーン、複合放物面集光器(CPC、レンズ))などの結合光学系1105を、光源1110に対して配設して、光源1110から出力された光を受け取ることができる。結合光学系1105は、光源1110からの光を収集することができ、場合によっては、光源1110から放出される光の発散を低減することができる。結合光学系1105は、例えば、光源1110から出力された光をコリメートすることができる。結合光学系1105は、システム1100Aの角度スペクトル視野に一致する光を収集することができる。したがって、結合光学系1105は、光源1110によって出力された光の角度スペクトルをシステム1100Aの視野と一致させることができる。結合光学系1105は、光源1110から放出された光に対して非対称に動作する非対称プロファイルを有することができる。例えば、結合光学系1105は、直交方向(例えば、xおよびz方向)において異なる量だけ発散を低減することができる。結合光学系1105におけるそのような非対称性は、光源1110から放出される光の非対称性に対処することができ、この光源は、例えば、直交方向(例えば、それぞれzまたはx)とは対照的に一方向(例えば、xまたはz)により広い範囲の角度の光を放射するレーザダイオードを含むことができる。

【0080】

[0198] 上記で考察したように、システム1100Aは、光源1110とSLM1140との間の光路に配設された、SLM1140を照明するように構成された光学系113

0を含む。光学系1130は、光源1110からSLM1140に光を透過させる透過光学系を含むことができる。光学系1130はまた、SLM1140のまたはSLM1140によって形成される画像を導波路1120内に投影するように構成されてもよい。画像は、眼210の眼に投影されてもよい。いくつかの設計では、光学系1130は、屈折力を有する1つ以上のレンズまたは光学素子を含むことができる。光学系1130は、例えば、正の光学パワーを有することができる。光学系1130は、屈折レンズなどの1つ以上の屈折光学素子を含むことができる。他のタイプの光学素子も使用される可能性があり得る。

【0081】

[0199] SLM1140は、そこからの光を反射、変調、および反射することができる。SLM1140は、偏光を変調するように構成された偏光ベースのSLMであってもよい。SLM1140は、例えば、液晶(LC) SLM(例えば、シリコン上液晶(LCOS) SLM)を含むことができる。LC SLMは、例えば、ねじれネマティック(TN)液晶を含むことができる。SLM1140は、図10を参照してSLM1030と実質的に同様であってもよい。SLM1140は、例えば、ピクセルの状態に応じてピクセルに入射する光を選択的に変調するように構成された1つ以上のピクセルを含んでもよい。いくつかのタイプのSLM1140の場合、ピクセルは、例えば、偏光を回転させる(例えば、直線偏光の配向を回転させる)など、偏光状態を変更することによって、そこに入射するビームを変調することができる。

【0082】

[0200] 上記で考察したように、SLM1140は、LCOS SLM1140であってもよい。交差偏光子構成では、LCOS SLM1140は、名目上白色であってもよい。ピクセルは、オフ(例えば、0電圧)であれば明るい状態を有し、ピクセルは、オン(例えば、閾値を超える電圧が電圧をオンにする)であれば暗い状態を有する。この交差偏光構成では、ピクセルがオンであり、暗い状態を有するときにリークが最小化される。

【0083】

[0201] 平行偏光子構成では、LCOS SLM1140は名目上黒色である。ピクセルは、オフ(例えば、0電圧)であれば暗い状態を有し、ピクセルは、オン(例えば、閾値を超える電圧が電圧をオンにする)であれば明るい状態を有する。この平行偏光子構成では、ピクセルがオフであり、暗い状態を有するときにリークが最小限に抑えられる。暗い状態は、摩擦方向および補償器角度を使用して(再)最適化することができる。補償器角度は、例えば、図20Bに示されるように、光学系1130とSLM1140との間にあり得る補償器の角度を指すことができる。

【0084】

[0202] 平行偏光子構成のダイナミックレンジおよびスループットは、交差偏光子構成のダイナミックレンジおよびスループットとは異なり得る。さらに、平行偏光子構成は、交差偏光子構成とは異なるコントラストのために最適化され得る。

【0085】

[0203] システム1100Aは、眼210に画像情報を出力するための導波路1120を含む。導波路1120は、上記で考察した導波路270、280、290、300、310、670、680および690と実質的に同様であってもよい。導波路1120は、その中に光を誘導するのに十分な屈折率を有する実質的に透明な材料を含むことができる。図示のように、導波路1120は、第1の側面1121と、第1の側面1121とは反対側の第2の側面1123と、対応する上部主表面および下部主表面ならびにその周りの縁部とを含んでもよい。第1および第2の主1121、1123表面は、SLM1140によって形成された画像が眼に投入され得るように、SLM1140から眼210への光の伝搬時に画像情報が保持され得るように十分に平坦であり得る。光学系1130およびSLM1140は、導波路1120の第1の側面1121に位置決めされてもよい。光源1110は、光源1110からの光が、導波路1120および光学系1130を通過してSLM1140に至る前に第2の側面1123に入射するように、第2の側面1123に

配設されてもよい。したがって、導波路 1 1 2 0 は、光源 1 1 1 0 と光学系 1 1 3 0 との間に配設されてもよい。追加的に、導波路 1 1 2 0 の少なくとも一部は、光源 1 1 1 0 と光学系 1 1 3 0 との間に延在してもよく、それによって光は、導波路 1 1 2 0 の一部を通過して光学系 1 1 3 0 に進む。したがって、光源 1 1 1 0 から放出された光は、導波路 1 1 2 0 を通って光学系 1 1 3 0 内に、および光学系 1 1 3 0 を通って方向付けられ、S L M 1 1 4 0 に入射することができる。S L M 1 1 4 0 は、光を反射して光学系 1 1 3 0 を通して導波路 1 1 2 0 に戻す。

【0086】

[0204] システム 1 1 0 0 A はまた、光学系 1 1 3 0 からの光を導波路 1 1 2 0 内に結合するための内部結合光学素子 1 1 6 0 を含む。内部結合光学素子 1 1 6 0 は、導波路 1 1 2 0 の主表面（例えば、上部主表面 1 1 2 3）に配設されてもよい。いくつかの設計では、内部結合光学素子 1 1 6 0 は、導波路 1 1 2 0 の下部主表面 1 1 2 1 に配設されてもよい。いくつかの設計では、内部結合光学素子 1 1 6 0 は、導波路 1 1 2 0 の本体内に配設されてもよい。内部結合光学素子 1 1 6 0 は、導波路 1 1 2 0 の一方の側または角に示されているが、導波路 1 1 2 0 の他のエリア内／上に配設されてもよい。内部結合光学素子 1 1 6 0 は、図 9 A、図 9 B、および図 9 C を参照して上記で説明した内部結合光学素子 7 0 0、7 1 0、7 2 0 と実質的に同様であってもよい。内部結合光学素子 1 1 6 0 は、回折光学素子であってもよいし、リフレクタであってもよい。内部結合光学素子 1 1 6 0 として、他の構造を使用してもよい。内部結合光学素子 1 1 6 0 は、その上に入射する光を、導波路 1 1 2 0 内に、導波路 1 1 2 0 の上部主表面 1 1 2 3 および下部主表面 1 1 2 1 に対して十分に大きいグレーズング角（例えば、臨界角よりも大きい）で方向付けて、全内部反射によってその中に誘導するように構成され得る。さらに、内部結合光学素子 1 1 6 0 は、広範囲の波長で動作することができ、したがって、複数の色の光を導波路 1 1 2 0 内に結合するように構成することができる。例えば、内部結合光学素子 1 1 6 0 は、赤色光、緑色光、および青色光を導波路 1 1 2 0 内に結合するように構成されてもよい。光源 1 1 1 0 は、赤色、緑色および青色の光を異なる時点で放出してもよい。

【0087】

[0205] システム 1 1 0 0 A は、導波路 1 1 2 0 の上または中に配設された光分配素子 1 1 7 0 を含む。光分配素子 1 1 7 0 は、図 9 B に関して上記で説明した光分配素子 7 3 0、7 4 0 および 7 5 0 と実質的に同様であってもよい。例えば、光分配素子 1 1 7 0 は、直交瞳エクспанダ（O P E）であってもよい。光分配素子 1 1 7 0 は、x 方向に伝搬する光を、例えば、図 1 1 B の上面図に示されている z 方向に向けることで、導波路 1 1 2 0 内で光を広げるように構成されてもよい。したがって、光分配素子 1 1 7 0 は、z 軸に沿ってアイボックスの寸法を増大させるように構成されてもよい。図 1 1 B を参照されたい。光分配素子 1 1 7 0 は、例えば、回折光学素子に入射する導波路 1 1 2 0 内を伝搬する光を回折させて、その光を例えばほぼ直交する方向に方向付けし直すように構成された 1 つ以上の回折光学素子を含むことができる。他の構成も可能である。

【0088】

[0206] 図 1 1 B に示されるように、システム 1 1 0 0 はまた、光を導波路 1 1 2 0 から眼 2 1 0 に結合するための外部結合光学素子 1 1 8 0 を含むことができる。外部結合光学素子 1 1 8 0 は、光が導波路 1 1 2 0 内で誘導されないように、導波路 1 1 2 0 の上部主表面 1 1 2 3 および／または下部主表面 1 1 2 1 に対してより垂直な角度で全内部反射（T I R）によって導波路 1 1 2 0 内を伝搬する光を方向付けし直すように構成されてもよい。代わりに、この光は、例えば下部主表面 1 1 2 1 を通って導波路 1 1 2 0 から外に方向付けられる。外部結合光学素子 1 1 8 0 は、例えば、回折光学素子に入射する導波路 1 1 2 0 内を伝搬する光を回折させて、その光を例えば導波路 1 1 2 0 から外に方向付けし直すように構成された 1 つ以上の回折光学素子を含むことができる。他の構成も可能である。

【0089】

[0207] 図 1 1 B はまた、光分配光学素子（例えば、直交瞳エクспанダ） 1 1 7 0 お

よび外部結合光学素子 1180 に対して横方向に配設された内部結合光学素子 1160 の位置を示す。図 11B はまた、内部結合光学素子 1160、光分配光学素子（例えば、直交瞳エクスパンダ）1170 および外部結合光学素子 1180 に対して横方向に配設された光源 1110 の位置を示す。

【0090】

[0208] 動作中、システム 1100A の光源 1110 は、光を結合光学系 1105 内に、また偏光子 1115 を通して放出する。したがって、この光は、偏光され、例えば第 1 の方向に直線偏光され得る。この偏光は、導波路 1120 を透過し、導波路 1120 の第 2 の主表面に入り、導波路 1120 の第 1 の主表面から出ることができる。この光は、光学系 1130 を通って SLM 1140 に伝搬することができる。光学系 1130 は、光源 1110 からの光を準コリメートおよび／または選択し、それによって SLM 1140 を照明し、SLM 1140 は、ピクセルの状態に応じてピクセルごとに変調器の配向を選択的に回転させることなどによって、そこに入射する光の偏光を変調する偏光ベースの変調器を含むことができる。例えば、第 1 のピクセルは第 1 の状態にあり、偏光を回転させることができ、第 2 のピクセルは第 2 の状態にあり、偏光を回転させないことができる。結合光学系 1105 と光学系 1130 との間の光は、SLM 1140 をかなり均一に照明することができる。SLM 1140 に入射した後、光は光学系 1130 を通って反射し戻される。光学系 1130 は、画像が眼 210 に見えるように、SLM 1140 から導波路 1120 内に、最終的には眼 210 に画像を投影するように構成されてもよい。いくつかの設計では、眼 210 の網膜は、SLM 1140 との光学的コンジュゲートならびに／または SLM 1140 によっておよび／もしくは SLM 1140 上に形成された画像である。光学系 1130 の出力は、SLM 1140 上の画像の眼 210 内への投影および眼 210 の網膜上への投影を容易にすることができる。いくつかの実装形態では、例えば、外部結合光学素子 1180 によって提供される屈折力は、眼 210 内に最終的に形成される画像を支援し、および／またはそれに影響を及ぼし得る。光学系 1130 は、SLM 1140 から反射された光が光学系を通して導波路 1120 に向かって進むときに投影レンズとして作用する。光学系は、内部結合光学素子 1160 の近くの導波路 1120 内の平面への SLM 1140 上の画像のフーリエ変換としておよそ機能することができる。一緒に、光学系 1130 を通過する両方（光源 1110 から SLM 1140 への第 1 のもの、および SLM 1140 から導波路 1120 への第 2 のもの）は、結合光学系 1105 の瞳を大まかに画像化するように作用することができる。光源 1110（場合によっては結合光学系 1105 および／または偏光子 1115 も）、光学系 1130、SLM 1140 の整列および配向は、SLM 1140 から反射された光源 1110 からの光が内部結合光学素子 1160 上に方向付けられるようなものである。結合光学系 1105 に関連付けられた瞳は、内部結合光学素子 1160 と整列されてもよい。光は、SLM 1140 と眼 210 との間の光路で検光子 1150（例えば、偏光子）を通過することができる。図 11A に描示されるように、検光子（例えば、偏光子）1150 は、光学系 1130 と内部結合光学素子 1160 との間の光路に配設されてもよい。検光子 1150 は、例えば、第 1 の偏光（p 偏光）の光を透過させ、第 2 の偏光（s 偏光）の光を遮断する、またはその逆の配向を有する直線偏光子であってもよい。検光子 1150 は、クリーンアップ偏光子であってもよく、SLM 1140 と検光子 1150 との間または SLM 1140 内の別の偏光子によって遮断される偏光の光をさらに遮断してもよい。検光子 1150 は、例えば、導波路 1120、具体的には内部結合光学素子 1160 から SLM 1140 に向かって戻る反射を緩和するためのアイソレータとして作用する円偏光子であってもよい。検光子 1150 は、本明細書に開示される偏光子のいずれかとして、吸収性ワイヤグリッド偏光子などのワイヤグリッド偏光子を含むことができる。そのような偏光子は、望ましくない光のかなりの吸収、したがってコントラストの増加をもたらし得る。いくつかのそのような偏光子は、ワイヤおよび／または多層膜の上に 1 つ以上の誘電体層を含むように作製することができる。いくつかの実装形態では、SLM 1140 は、シリコン上液晶（LCOS）SLM であってもよく、LCセルおよびリターダ（例えば、補償器）を含んでもよい。いくつ

10

20

30

40

50

かの実装形態では、検光子 1150 は、異なる入射角および異なる波長に対して SLM 1140 のより一貫した偏光回転（例えば、 90° ）を提供することを意図した補償器であってもよい。補償器を使用して、角度および波長の広がりによって入射する光線の回転偏光を改善することによって、ディスプレイのコントラストを改善することができる。SLM 1140 は、例えば、光が検光子 1150 を通過するときに明るいピクセル状態を生成するために、第 1 のピクセルについて第 1 の偏光（例えば、s 偏光）の入射光を第 2 の偏光（例えば、p 偏光）に回転させるように構成された TN LCoS を含んでもよい。逆に、SLM 1140 は、光が検光子 1150 によって減衰または遮断されるときに反射光が第 1 の偏光のままであり暗いピクセル状態を生成するように、第 2 のピクセルについて第 1 の偏光（例えば、s 偏光）の入射光を第 2 の偏光（例えば、p 偏光）に回転させないように構成されてもよい。そのような構成では、光源 1110 への光路に沿ってより近い偏光子 1115 は、光源 1110 からの光路に沿ってより遠い検光子 1150 に対して異なるように（例えば、直交して）配向され得る。他の、例えば反対の構成も可能である。

10

【0091】

[0209] 次いで、光は、導波路 1120 内に誘導されてそこで TIR によって伝搬するように、内部結合光学素子 1160 によって偏向、例えば回転される。次いで、光は、別の方向に（例えば、より z 方向に向かって）光を回転させる光分配素子 1170 に衝突し、図 11B に示されるような z 軸の方向に沿ってアイボックスの寸法を増大させる。したがって、光は、外部結合光学素子 1180 に向かって偏向され、それにより、光は、導波路 1120 から眼 210（例えば、示されるようなユーザの眼）に向かって方向付けられる。外部結合光学素子 1180 の異なる部分によって z 方向に沿って外部結合された光は、図 11B に画定されるような z 軸に少なくとも平行な方向に沿ってアイボックスの寸法を増大させる。特に、この構成では、光学系 1130 は、SLM 1140 を照明すると共に、内部結合光学素子 1160 上に画像を投影するために使用される。したがって、光学系 1130 は、光源 1110 からの光を（例えば、均一に）分配する投影光学系、ならびに SLM 1140 の画像および／または SLM 1140 によって眼の中に形成される画像を提供する画像化光学系として作用することができる。図 11A/B のシステム 1100 A は、いくつかの例では、図 10 のシステム 1000 よりもコンパクトであってもよい。場合によっては、図 10 に示される PBS 1020 を採用しないことにより、システムのコストおよび／またはサイズを可能性としては削減することができる。追加的に、PBS 1020 がなければ、システムはより対称的になり得、光学系 1130 の後方焦点距離を短くすることによって設計がより容易になる。

20

30

【0092】

[0210] 上述したように、代替的な構成が可能である。図 11C を参照すると、例えば、いくつかの設計では、システム 1100 C は、SLM 1140 によって回転されていない偏光を有する光を通過させるように構成されてもよい。一実装形態では、例えば、SLM 1140 は、液晶（LC）ベースの SLM であり、垂直配向（VA）シリコン上 LC（LCoS）を含むことができる。SLM 1140 は、偏光を回転させない第 1 の状態にある第 1 のピクセルと、偏光を回転させる第 2 の状態にある第 2 のピクセルとを有してもよい。図 11C に示される構成では、単一の共通の検光子／偏光子 1155 が利用されている。この検光子 1155 は、第 1 の偏光（例えば、s 偏光）の光を透過させ、第 2 の偏光（例えば、p 偏光）の透過を減衰または低減することができる。したがって、偏光配向を回転させない第 1 の状態の第 1 のピクセルに入射した光（例えば、s 偏光）は、SLM 1140 から反射され、検光子 1155 を通過して導波路 1120 に至る。逆に、偏光配向を回転させている第 2 の状態の第 2 のピクセルに入射した光（例えば、s 偏光）は、SLM 1140 から反射され、検光子 1155 を通して減衰されるか、低減されるかまたは通過されず、導波路 1120 に至る。この構成は、それによって、図 11A に示される偏光子 1115 および検光子 1150 を、図 11C に示される検光子 1155 という共通の光学素子に組み込むことを可能にし、それによって、可能性としては光学部品数を減らす

40

50

ことで、図 11 A / B のシステム 1100 を簡素化することができる。検光子 1155 は、導波路 1120 と光学系 1130 との間に配設されてもよい。他の実装形態では、図 11 A / B のシステム 1100 に示されるように、別個の検光子 / 偏光子および検光子 / 偏光子が使用されてもよい。図 11 A および図 11 B は、光源 1110 と導波路 1120 との間の偏光子 1115 と、光学系 1130 と導波路 1120 との間の検光子 1140 とを示している。

【0093】

【0211】図 11 D は、本発明の一実施形態による、組み合わせられた O P E / E P E を有する導波路の一例を示す。図 11 D を参照すると、組み合わせられた O P E / E P E 領域 1191 を有する導波路 1190 は、x 方向および y 方向に空間的に重なる O P E および E P E の両方に対応する格子を含む。いくつかの実施形態では、O P E および E P E の両方に対応する格子は、O P E 格子が E P E 格子に重ね合わされるか、または E P E 格子が O P E 格子に重ね合わされる（またはその両方）ように、基板の同じ側に位置する。他の実施形態では、O P E 格子は、格子が x 方向および y 方向に空間的に重なり合うが z 方向には互いから分離される（すなわち、異なる平面内にある）ように、基板の、E P E 格子とは反対の側に位置する。したがって、組み合わせられた O P E / E P E 領域 1191 は、片側構成または両側構成のいずれかで実装することができる。

【0094】

【0212】接眼レンズ導波路 1190 内の光路は、I C G 1193 において接眼レンズ導波路 1190 内に結合される入射光 1194 を含む。内部結合された光は、全内部反射により、基板 1192 内を組み合わせられた O P E / E P E 1191 に向かって伝搬する。これらの光線は、組み合わせられた瞳エクスパンダ（C P E）とも称される組み合わせられた O P E / E P E 1191 に遭遇すると、光は + y 方向に回折され、続いて光路 1195 に沿って導波路からユーザの眼に向かって - z 方向に回折される。同様に、内部結合された光は、代替的に、組み合わせられた O P E / E P E 1191 に遭遇し、- y 方向に回折され、続いて光路 1195 に沿って導波路からユーザの眼に向かって回折されてもよい。

【0095】

【0213】本明細書でより十分に説明されるように、本発明の実施形態は、光路長の差、例えば横方向位置、すなわち x - y 平面内の位置の関数としての接眼レンズ導波路の厚さを有する接眼レンズ導波路を利用する。いくつかの実施形態では、I C G が形成される接眼レンズ導波路の部分は、C P E が形成される接眼レンズ導波路の部分よりも厚い。追加的に、いくつかの実施形態では、C P E の厚さは変化し、I C G に隣接する部分の厚さは、I C G に対して遠位の部分の厚さよりも大きい。他の実施形態では、物理的厚さは均一であるが、屈折率は横方向位置の関数として変化し、その結果、横方向位置の関数として接眼レンズ導波路を特徴付ける光路長差が生じる。

【0096】

【0214】S L M 1140 の照明および S L M 1140 によって形成される画像の画像化の両方のために光学系 1130 を利用する多種多様な他の構成を採用することができる。例えば、図 11 A ~ 図 11 D は単一の導波路 1120 を示しているが、導波路のスタック（場合によっては異なる色の光のための異なる導波路）などの 1 つ以上の導波路が使用されてもよい。

【0097】

【0215】例えば、図 12 A は、各々が内部結合光学素子 1260、1262、1264 を含む導波路 1120、1122、1124 を含むスタック 1205 を含む例示的なシステム 1200 A の断面側面図を示す。導波路 1120、1122、1124 は各々、1 つ以上の異なる波長、または 1 つ以上の異なる波長範囲の光を出力するように構成されてもよい。スタック 1205 は、スタック 260 および 660（図 6 および図 9 A）と実質的に同様であってもよく、スタック 1205 の図示の導波路 1120、1122、1124 は、導波路 670、680、690 の一部に対応してもよいが、スタック 1205 および導波路 1120、1122、1124 は、そのように限定される必要はない。図 12 A に

示されるように、内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は、例えば、それぞれ導波路 1 1 2 0、1 1 2 2、1 1 2 4 に関連付けられてもよく、それらの中または上に含まれてもよい。内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は、色選択的であってもよく、主に、特定の波長を対応する導波路 1 1 2 0、1 1 2 2、1 1 2 4 内に誘導されるように方向転換または方向付けし直すことができる。図示のように、内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は色選択的であるため、内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は、横方向に変位される必要はなく、互いにスタックされてもよい。波長多重化を採用して、特定の色を対応する導波路に結合することができる。例えば、赤色内部結合光学素子は、赤色光を伝搬させるように指定された導波路内に赤色光を内部結合することができるが、青色光または緑色光は内部結合せず、これらは代わりに、他の青色および緑色選択的導波路によってそれぞれ他の導波路内に結合される。

10

【0098】

[0216]いくつかの実装形態では、光源 1 1 1 0 は、異なる時点で異なる色の光を放出可能な多色光源であってもよい。例えば、光源 1 1 1 0 は、赤色、緑色、および青色（RGB）光を放出することができ、第 1 の期間に赤色ならびに無視できる量以下の緑色および青色を放出し、第 2 の期間に緑色ならびに無視できる量以下の赤色および青色を放出し、第 3 の期間に青色ならびに無視できる量以下の赤色および緑色を放出するように構成され得る。これらのサイクルを繰り返すことができ、SLM 1 1 4 0 は、特定の色（赤色、緑色、または青色）に適したピクセル状態のパターンを生成して、所与の画像フレームに適切な画像色成分を提供するように調整することができる。スタック 1 2 0 5 の異なる導波路 1 1 2 0、1 1 2 2、1 1 2 4 は各々、異なるそれぞれの色の光を出力するように構成されてもよい。例えば、図 1 2 A に描示されるように、導波路 1 1 2 0、1 1 2 2、1 1 2 4 は、それぞれ青色、緑色、および赤色光を出力するように構成されてもよい。もちろん、他の色も可能であり、例えば、光源 1 1 1 0 は、他の色を放出してもよく、色選択的内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4、外部結合光学素子などは、そのような他の色のために構成されることができる。追加的に、個々の赤色、緑色、および青色エミッタを、単一の瞳光源として効果的に機能するのに十分に近接して近くに位置付けてもよい。赤色、緑色、および青色エミッタは、レンズおよびダイクロイックスプリッタと組み合わせ、単一の赤色、緑色、および青色瞳源を形成することができる。単一の瞳の多重化は、色選択性を超えて、またはそれに加えて拡張されてもよく、偏光感知格子および偏光スイッチングの使用を含んでもよい。これらの色または偏光格子はまた、対処することができる層の数を増加させるために複数のディスプレイ瞳と組み合わせ使用することができる。

20

30

【0099】

[0217]異なる導波路 1 1 2 0、1 1 2 2、1 1 2 4 内の異なる内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は、互いに横方向に変位して整列していないのとは対照的に、互いに対して上および／または下に配設され、横方向に（例えば、図 1 2 A に示される x および z 方向において）整列されてもよい。したがって、いくつかの実装形態では、例えば、異なる内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は、第 1 の色の光を内部結合光学素子 1 2 6 0 によって導波路 1 1 2 0 内に結合してその中に誘導することができ、第 1 の色とは異なる第 2 の色の光を内部結合光学素子 1 2 6 0 を通して次の内部結合光学素子 1 2 6 2 まで通過させることができ、内部結合光学素子 1 2 6 2 によって導波路 1 1 2 2 内に結合してその中に誘導することができるように構成することができる。第 1 の色および第 2 の色とは異なる第 3 の色の光は、内部結合光学素子 1 2 6 0 および 1 2 6 2 を通って内部結合光学素子 1 2 6 4 まで通過することができ、導波路 1 1 2 4 内に結合されてその中で誘導されることができる。追加的に、内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は、偏光選択的であってもよい。例えば、異なる内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 は、特定の偏光の光が、対応する偏光選択的内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 によって導波路内に結合されるか、または内部結合光学素子 1 2 6 0、1 2 6 2、1 2 6 4 を通過するように構成することができる。

40

50

【0100】

[0218]構成に応じて、SLM1140は、偏光を変調する偏光ベースのSLMを含み得る。システム1200Aは、例えば、それぞれのピクセルの状態（例えば、ピクセルが偏光配向を回転させるか否か）に応じて、ピクセルごとにスタック1205に投入される光を変調するように偏光子および／または検光子を含むことができる。偏光ベースのSLMを採用するそのようなシステムの様々な態様が上記で考察され、そのような特徴のいずれか1つは、本明細書で説明される任意の他の特徴と組み合わせて採用することができる。しかしながら、他の設計も依然として可能である。

【0101】

[0219]例えば、偏向ベースのSLM1140を採用することができる。例えば、SLM1140は、光学素子の状態に応じて異なる方向に沿って光を反射および／または偏向させることができる可動ミラーなどの1つ以上の可動光学素子を含むことができる。SLM1140は、例えば、マイクロミラーまたはリフレクタなどの光学素子を含む1つ以上のピクセルを含むことができる。SLM1140は、例えば、デジタルマイクロミラーデバイス(DMD)を使用するデジタル光処理(DLP(商標))技術を組み込むことができる。そのような偏向ベースのSLM1140を使用するシステム1200Bの一例が図12Bに示される。システム1200Bは、偏向ベースのSLM1140および光ダンプ1250を含む。光ダンプ1250は、光を吸収するように構成された吸収材料または構造を含むことができる。偏向ベースのSLM1140は、光を異なる方向に偏向させるために選択的に傾斜させることができる1つ以上のマイクロ可動ミラーを含むことができる。例えば、偏向ベースのSLM1140は、所与のピクセルが明るい状態にあるときに、そこに入射する光源1110からの光を内部結合光学素子1260、1262、1264に偏向させるように構成されてもよい。したがって、上記で考察したように、この光は、例えば光の色に応じて、内部結合光学素子1260、1262、1264のうちの1つによってそれぞれの導波路1120、1122、1124のうちの1つに結合され、眼210に方向付けられる。逆に、所与のピクセルが暗い状態にあるとき、光源1110からの光は、光ダンプ1250に偏向されることができ、光は、内部結合光学素子1260、1262、1264のうちの1つによってそれぞれの導波路1120、1122、1124のうちの1つに結合されず、眼210に方向付けられる。代わりに、光は、光ダンプ1250を構成する吸収材料によって吸収されてもよい。いくつかの実装形態では、検光子1150は、内部結合光学素子1260、1262、1264からの望ましくない反射を排除するために使用される偏光子（例えば、「クリーンアップ」偏光子）であってもよい。この偏光子は、光学系1130が複屈折性を有し、偏光を変化させることができるプラスチック光学素子を含むことができるため、有用であり得る。「クリーンアップ」偏光子は、望ましくない偏光を有する光（例えば、反射）が導波路1120、1122、1124に方向付けられるのを減衰または除去することができる。光学系1130と導波路1120、1122、1124との間など、SLM1140と導波路1120、1122、1124との間に他のタイプの光調整素子が配設されてもよい。例えば、そのような光調整素子はまた、円偏光子（すなわち、直線偏光および1/4波長板などの位相差板）を含むことができる。円偏光子は、導波路1120、1122、1124に再び入射し、そこに結合される、導波路1120、1122、1124または内部結合光学素子1260、1262、1264からの反射量を低減することができる。反射光は、円偏光されてもよく、入射光の円偏光とは反対の円偏光を有してもよい（例えば、右旋円偏光子光は、反射時に左旋円偏光子光に変換され、またはその逆も同様である）。円偏光子の位相差板は、円偏光を、円偏光子の直線偏光子によって減衰、例えば吸収される偏光子の直交偏光のような直線偏光に変換することができる。クリーンアップ偏光子は、DMDなどの偏光独立変調器と共に使用することができる。上述したように、クリーンアップ偏光子は、反射を抑制し、および／または最適な偏光状態での内部結合光学素子1260、1262、1264への光の結合を改善するのに有用であり得る。

【0102】

[0220]図12Bは、そのようなシステム1200Bの側面図または断面図を示し、図12Cは、内部結合光学素子1264、光ダンプ1250、および光源1110の横方向配置の上面図を示す。SLM1140は、特定のピクセルの状態に応じて、光源1110からの光を、内部結合光学素子1264（および他の内部結合光学素子1260、1262）の横方向位置または光ダンプ1250のいずれかに反射、偏向、および／または方向付けるように構成される。

【0103】

[0221]ある特定の設計では、光ダンプ1250は、エネルギーハーベスティングシステムを含むことができる。光ダンプ1250は、例えば、光エネルギーを電気エネルギーに変換するように構成された光エネルギー変換素子を含むことができる。光エネルギー変換素子は、例えば、太陽電池を含み得る。光エネルギー変換素子は、例えば、光が入射すると電気出力を生成する光起電力検出器を含み得る。光エネルギー変換素子は、システム1200Bに電力を供給し、および／または場合によっては1つ以上のバッテリーを充電するように電気出力を方向付けるために、電気部品、例えば導電性電線に電氣的に接続されてもよい。

【0104】

[0222]ある特定の設計では、横方向に変位した、非色選択的な、または広帯域の、または多色の内部結合光学素子を使用することができる。図13Aは、例えば、導波路を含むスタック1305を含むシステム1300の斜視図である。スタック1305は、図12Aを参照したスタック1205と実質的に同様であってもよい。スタック1305内の各導波路は、内部結合光学素子1360、1362、1364を含むことができるが、図12Aに示される設計とは対照的に、内部結合光学素子1360、1362、1364は、互いに対して横方向に変位されている。図13A、図13B、および図13Cに示されるように、光源1110、1112、1114も、互いに対して横方向に変位されており、光を光学系1130を通過させ、光をSLM1140から反射させ、反射光を再び光学系1130を通過させることによって、それぞれの内部結合光学素子1360、1362、1364に光を方向付けるように配設されてもよい。図13Bのシステム1300は、光源1114が光源1110の背後に位置するように描示されており、したがって図13Bには示されていない。光源1110、1112、1114は、それぞれ内部結合光学素子1360、1362、1364に対応することができる。1つの設計では、例えば、光源1110、1112、1114および対応する内部結合光学素子1360、1362、1364は、共通の（光）軸に沿って光学系1130の中心から（その周りに対称的に）ほぼ等距離に配設されている。共通の（光）軸は、光学系1130の中心と交差してもよい。1つの設計では、例えば、光源1110、1112、1114および対応する内部結合光学素子1360、1362、1364は、共通の（光）軸に沿って光学系1130の中心から（その周りに対称的に）等距離に配設されていない。

【0105】

[0223]内部結合光学素子1360、1362、1364は、複数の色の光をそれらのそれぞれの導波路に結合するように構成されてもよい。したがって、これらの内部結合光学素子1360、1362、1364は、本明細書では広帯域、多色、または非色選択的な内部結合光学素子1360、1362、1364と称され得る。例えば、場合によっては、これらの内部結合光学素子1360、1362、1364の各々は、赤色光、緑色光、および青色光を、内部結合光学素子1360、1362、1364が含まれる関連する導波路に内部結合し、そのような色の光がTIRによって導波路内に誘導されるように構成される。そのような広帯域の内部結合光学素子1360、1362、1364は、例えば、例えば可視範囲内の広範囲の波長にわたって、または、例えば可視範囲にわたって広がる選択波長もしくは波長領域にわたって動作してもよい。したがって、そのような広帯域または多色または非色選択的な内部結合光学素子1360、1362、1364は、種々の異なる色（例えば、赤色、緑色、および青色）の光を導波路内に向けてTIRによってその中で誘導するように構成されてもよい。本明細書では、光源、内部結合光学素子、

導波路などに関連して、赤色、緑色、青色（RGB）が言及されるが、例えば、限定はされないが、マゼンタ、シアン、イエロー（CMY）などの他の色または表色系を追加的または代替的に使用することができる。

【0106】

[0224] 図13Aに示されるように、光源1110、1112、1114は、最上部の導波路の上方に示され、互いに対して変位されている（例えば、xおよびz方向に）。同様に、3つの内部結合光学素子1360、1362、1364は、3つのそれぞれの導波路上に示され、互いに対して変位されている（例えば、x、y、およびz方向）。図13Bは、図13Aに示されるシステム1300の側面図であり、（例えば、xおよびz方向に）互いに対して横方向に空間的に変位された内部結合光学素子1360、1362、1364、ならびに（例えば、xおよびz方向に）互いに対して横方向に変位された光源1110、1112、1114のいくつかを示す。図13Bはまた、光学系1130およびSLM1140を示す。

10

【0107】

[0225] 図13Cは、内部結合光学素子1360、1362、1364および関連する光源1110、1112、1114を示す、図13Aおよび図13Bに示される拡張現実ディスプレイシステムの上上面図である。この設計では、内部結合光学素子1360、1362、1364および関連する光源1110、1112、1114は、共通の（光）軸の中心点の周りにリング状パターンで配設されている。図示のように、光源1110、1112、1114および対応する内部結合光学素子1360、1362、1364は、共通の（光）軸の中心点の周りにほぼ等距離に配設されているが、これは当てはまる必要がある。いくつかの設計では、この中心点は、光学系1130の中心および／または光学系1130の光軸に沿った位置と交差する共通の（光）軸に沿った光学系1130の中心に対応し得る。また、その結果、非色選択的な内部結合光学素子1360、1362、1364、および光源1110、1112、1114は、互いに対して横方向に（例えば、xおよびz方向に）変位されている。

20

【0108】

[0226] 横方向配置の他の構成も可能である。図14A～図14Cは、内部結合光学素子1360、1362、1364および光源1110、1112、1114が互いに対して横方向に変位された導波路を含むスタック1405を含むシステム1400の代替的な構成を示す。図14Aは側面図であり、図14Bは、横方向に変位した内部結合光学素子1360、1362、1364および光源1110、1112、1114を示す、図14Aに示されるシステム1400の上上面図である。図14Cは、図14Aおよび図14Bに示されるシステム1400の直交側面図である。

30

【0109】

[0227] 図14Aおよび図14Cの側面図は、光がそれぞれの横方向に変位された内部結合光学素子1360、1362、1364によって対応する導波路内に結合され得るように、内部結合光学素子1360、1362、1364がスタック1405内の別々の導波路上にどのように配設されるかを示す。内部結合光学素子1360、1362、1364は、図14Aおよび図14Cでは導波路の上部主表面に配設されて示されている。しかしながら、内部結合光学素子1360、1362、1364は、代替的に、それぞれの導波路の下部主表面または導波路のバルクに配設されてもよい。多種多様な構成が可能である。

40

【0110】

[0228] 図14Bの上上面図に示されるように、内部結合光学素子1360、1362、1364は、z方向に沿って互いに対して横方向に変位されるが、x方向に沿っては変位されない列で配設されている。同様に、光源1110、1112、1114は、同じくz方向に沿って互いに対して横方向に変位されるが、x方向に沿っては変位されない列で配設されている。内部結合光学素子1360、1362、1364は、光源1110、1112、1114に対してx方向に横方向に変位されている。

50

【0111】

[0229]さらなる他の構成も可能である。図15は、光源1110、1112、1114および内部結合光学素子1360、1362、1364の代替的な構成を示すシステム1500の上面図である。図13Cのように、全ての光源1110、1112、1114が（例えば、リング状パターンの）概して片側にあり、全ての内部結合光学素子1360、1362、1364が概して片側（すなわち、反対側）にあるのとは対照的に、光源1110、1112、1114および内部結合光学素子1360、1362、1364は、リング状パターンの円周に沿って散在するかまたは交互になっている。

【0112】

[0230]しかしながら、いくつかの実装形態では、内部結合光学素子1360、1362、1364および関連する1つ以上の光源1110、1112、1114はまた、中心点の周りにリング状パターンで配設される。結果として、光源1110、1112、1114および対応する内部結合光学素子1360、1362、1364は、中心からほぼ等距離に配設され得る。いくつかの設計では、この中心は、光学系1130の中心および／または光学系の光軸に沿った位置と交差する共通の中心軸に沿った光学系1130の中心に対応し得る。したがって、（図15の上面図から分かるように）第1の光源1110からの光は、光学系1130を介して、光学系1130の中心または中心軸または光軸を横切って、内部結合光学素子1360に結合されてもよい。同様に、第2の光源1112からの光は、光学系1130を介して、光学系1130の中心または中心軸または光軸を横切って、内部結合光学素子1362に結合されてもよい。同じく、第3の光源1114からの光は、光学系1130を介して、光学系1130の中心または中心軸または光軸を横切って、内部結合光学素子1364に結合されてもよい。また、その結果、非色選択的な内部結合光学素子1360、1362、1364、および光源1110、1112、1114は、互いに対して横方向に（例えば、xおよびz方向に）変位されている。光学系1130は、スタック1405内により焦点合わせされることで、サブ瞳および内部結合光学素子1360、1362、1364の位置がy方向においてより近くなるように設計することができる。この構成では、内部結合光学素子1360、1362、1364は、光学系1130の焦点により近いと、より小さいものとすることができる。光源1110は、スタック1405のユーザ側にあってもよく（例えば、図17および図18と同様）、したがって、光源1110と光学系1130との間の距離または光路を減少させる。

【0113】

[0231]図12A～図15に示されるような上記の様々な実装形態では、異なる色（例えば、赤色、緑色、および青色）に対処するために、複数の導波路（例えば、導波路1120、1122、1124を含むスタック1205、導波路（符号なし）を含むスタック1305、および導波路（符号なし）を含むスタック1405）を含むスタック（例えば、スタック1205、1305、1405）が含まれてもよい。異なる導波路は、異なる色のためであってもよい。同様に、それぞれのスタックから外部結合された光に異なる光学特性を提供するために、複数のスタックを含めることができる。例えば、図12A～図12Bのスタック1205の導波路1120、1122、1124は、光がそこから発散しているように見える見かけの深度に場合によっては関連する光学特性（例えば、特定の波面形状を提供するための屈折力）を有する光を出力するように構成され得る。例えば、発散、収束、またはコリメーションの量が異なる波面は、眼210から異なる距離から投影されたかのように見える場合がある。したがって、外部結合光学素子によって外部結合された光が異なる量の収束、発散、またはコリメーションを有し、したがって異なる深度に由来するように見えるように構成された異なるスタックと共に、複数のスタックが含まれてもよい。いくつかの設計では、異なるスタックは、異なるスタックに異なる量の屈折力を提供するために、回折レンズまたは他の回折光学素子などの異なるレンズを含むことができる。その結果、異なるスタックは、異なる量の収束、発散、またはコリメーションを生成し、したがって、異なるスタックからの光は、眼210から異なる距離にある異なる深度平面またはオブジェクトに関連付けられているかのように見える。

【0114】

[0232]図16Aは、スタック1605、1610、1620を含むシステム1600の側面図である。図16Aに示されるように、システム1600は、3つのスタック1605、1610、1620を含むが、これは当てはまる必要はない。システムは、より少ないまたはより多いスタックで考案されてもよい。スタック1605、1610、および1620の各々は、1つ以上（例えば、3つ）の導波路を含む。図16Aはまた、内部結合光学素子の群1630、1640、1650を示す。第1の群1630は第1のスタック1605と関連付けられ、第2の群1640は第2のスタック1610と関連付けられ、第3の群1650は第3のスタック1620と関連付けられる。群1630、1640、1650は、互いに対して横方向に変位されている。群1630、1640、1650は各々、図12Aの内部結合光学素子1260、1262、1264と実質的に同様に、異なるそれぞれの色を内部結合するように構成された色選択的な内部結合光学素子を含む。図16Aに示されるように、各群1630、1640、1650内の内部結合光学素子は、互いに対して横方向に変位されていないが、これは当てはまる必要はない。群内の内部結合光学素子が互いに対して横方向に変位されるシステムが考案され得る。システム1600は、スタック1605、1610、1620の各々から外部結合された光が異なる量の屈折力を有するように構成することができる。例えば、スタック内の導波路は、所与の屈折力を有する外部結合光学素子または回折レンズを有することができる。異なるスタック1605、1610、1615の屈折力は、1つのスタックからの光が別のスタックからの光とは異なる深度で発生しているように見えるように異なってもよい。例えば、1つのスタックの屈折力は、そのスタックからの光をコリメートさせることができ、別のスタックの屈折力は、そのスタックからの光を発散させることができる。発散光は、眼210から近い距離にあるオブジェクトから発生しているように見え得るが、コリメート光は、遠い距離にあるオブジェクトから発生しているように見え得る。したがって、第1のスタック1605、第2のスタック1610、および第3のスタック1620から外部結合された光は、収束、発散、およびコリメーションのうちの少なくとも1つの量が異なってもよく、したがって、異なる深度から発生しているように見える。いくつかの実装形態では、スタックのうちの1つから外部結合された光はコリメートされてもよく、異なるスタックによって外部結合された光は発散してもよい。他のスタックのうちの1つから外部結合された光もまた発散するが、異なる量で発散する可能性がある。

10

20

30

【0115】

[0233]図16Aに示されるように、光源1110は、光を内部結合光学素子の群1630に方向付けるように光学系1130およびSLM1140に対して配設されてもよく、光源1112は、光を内部結合光学素子の群1640に方向付けるように光学系1130およびSLM1140に対して配設されてもよく、光源1114は、光を内部結合光学素子の群1650に方向付けるように光学系1130およびSLM1140に対して配設されてもよい。光源1110、1112、1114は、異なる時点で異なる色の光を放出するように構成されてもよい。同様に、異なるそれぞれの色の光は、上記で説明したような方法で色選択的な内部結合光学素子の結果として、スタック内の異なる導波路内に結合されてもよい。例えば、青色光が第2の光源1112から放出される場合、光学系1130およびSLM1140は、青色光を内部結合光学素子の第2の群1640に方向付ける。光は、第2の群1640内の第1の赤色内部結合光学素子および第2の緑色内部結合光学素子を通り、第2の群1640内の第3の青色内部結合光学素子によって第2のスタック1610内の第3の導波路に向けられてもよい。第2のスタック1610内の導波路は、第2のスタック1610に関連付けられた特定の深度平面またはオブジェクト距離に関連付けられた眼210にビームを提供するように、外部結合光学素子または屈折力を有する他の光学素子（例えば、回折レンズ）を含んでもよい。

40

【0116】

[0234]図16Bは、図16Aのシステム1600の上面図である。内部結合光学素子の異なる群1630、1640、1650は、互いに対して（例えば、x方向に）横方向

50

に変位して示されている。同様に、光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4 は、互いに対して（例えば、x 方向に）横方向に変位して示されている。

【0 1 1 7】

【0235】前述のシステムにおける多種多様な異なる変形が可能である。例えば、導波路（複数可）および光学系 1 1 3 0 に対する光源 1 1 1 0 の位置は異なってもよい。図 1 7 は、例えば、導波路 1 7 2 0 および光学系 1 1 3 0 に対して図 1 1 ～図 1 6 B に示されるものとは異なる位置に光源 1 1 1 0 を有するシステム 1 7 0 0 の側面図である。追加的に、図 1 7 は、導波路 1 7 2 0 が第 1 の部分 1 7 2 0 a と第 2 の部分 1 7 2 0 b とに分割された設計を示す。導波路 1 7 2 0 は、光源 1 1 1 0 の近位の第 1 の部分 1 7 2 0 a 内で第 1 の部分 1 7 2 0 a から S L M 1 1 4 0 に向かって光学系 1 1 3 0 内に誘導される光を結合するように構成されたリフレクタ 1 7 3 0 をさらに含んでもよい。追加的にまたは代替的に、システム 1 7 0 0 は、導波路 1 7 2 0 の第 1 の部分 1 7 2 0 a 内の光を S L M 1 1 4 0 に向かって光学系 1 1 3 0 内に外部結合するための回折外部結合光学素子を含んでもよい。このリフレクタ 1 7 3 0 は不透明であってもよく、第 1 の部分 1 7 2 0 a と第 2 の部分 1 7 2 0 b との間のクロストークを低減するアイソレータを含んでもよい。導波路 1 7 2 0 は、第 1 の側面 1 7 2 1 と、第 1 の側面 1 7 2 1 とは反対側の第 2 の側面 1 7 2 3 とを有し、光学系 1 1 3 0 および S L M 1 1 4 0 は、S L M 1 1 4 0 からの光が第 1 の側面 1 7 2 1 に方向付けられるように第 1 の側面 1 7 2 1 に配設されている。この例では、光源 1 1 1 0 は、光源 1 1 1 0 からの光が、光学系 1 1 3 0 を通過して S L M 1 1 4 0 に至る前に第 1 の側面 1 7 2 1 に入射するように、導波路 1 7 2 0 の第 1 の側面 1 7 2 1 に配設されてもよい。システム 1 7 0 0 は、第 1 の部分 1 7 2 0 a の上または中に配設された内部結合光学素子 1 7 1 0 をさらに含んでもよい。内部結合光学素子 1 7 1 0 は、光源 1 1 1 0 から光を受け取り、その光を第 1 の部分 1 7 2 0 a に結合するように構成されてもよい。内部結合光学素子 1 7 1 0 は、そこに入射する光を、第 1 の部分 1 7 2 0 a 内に、T I R によってその中で誘導される角度で向けるように構成された回折光学素子またはリフレクタを含んでもよい。

10

20

【0 1 1 8】

【0236】リフレクタ 1 7 3 0 は、第 1 の部分 1 7 2 0 a に誘導された光を第 1 の部分 1 7 2 0 a から光学系 1 1 3 0 および S L M 1 1 4 0 に向けて方向付けるように構成されてもよい。（上記で考察したように、いくつかの実装形態では、回折光学素子を加えてまたは代替として使用して、第 1 の部分 1 7 2 0 a 内の光を第 1 の部分 1 7 2 0 a から光学系 1 1 3 0 および S L M 1 1 4 0 に向けて方向付けることができる。）したがって、リフレクタ 1 7 3 0 は、ミラー、反射格子、導波路 1 7 2 0 の光を S L M 1 1 4 0 に向けて反射する 1 つ以上のコーティングであってもよい。リフレクタ 1 7 3 0 によって第 1 の部分 1 7 2 0 a から放射された光は、光学系 1 1 3 0 を通過して S L M 1 1 4 0 に入射し、再び光学系 1 1 3 0 を通過して第 2 の部分 1 7 2 0 b に入射する。上記で説明したように、光学系 1 1 3 0 を通して透過された S L M 1 1 4 0 から反射された光は、内部結合光学素子 1 1 6 0 に入射し、光を第 2 の部分 1 7 2 0 b 内で誘導されるように向けることができる。第 2 の部分 1 7 2 0 b 内で誘導された光は、外部結合光学素子 1 1 8 0（図示せず）によってそこから外部結合され、眼 2 1 0 に方向付けられてもよい。

30

40

【0 1 1 9】

【0237】上記で考察したように、リフレクタ 1 7 3 0 は、第 1 の部分 1 7 2 0 a と第 2 の部分 1 7 2 0 b との間のクロストークを低減するアイソレータであり得る。リフレクタ 1 7 3 0 は、不透明および／または反射性の表面を含むことができる。リフレクタ 1 7 3 0 は、導波路 1 7 2 0 内に配設されてもよく、場合によっては、第 1 の部分 1 7 2 0 a および第 2 の部分 1 7 2 0 b の側面を画定してもよい。

【0 1 2 0】

【0238】導波路 1 7 2 0 の第 1 の部分 1 7 2 0 a および第 2 の部分 1 7 2 0 b を有する代わりに、別個の導波路を使用してもよい。図 1 8 は、光源 1 1 1 0 からの光を受け取り、その中で誘導された光を光学系 1 1 3 0 におよび S L M 1 1 4 0 に向かって方向付ける

50

ための第1の導波路1822を含むシステム1800の側面図である。システム1800は、光が再び光学系1130を通過した後にSLM1140からの光を受け取る第2の導波路1820を追加的に含む。第1の導波路1822は、それぞれ内部結合光学素子1730aおよび外部結合光学素子1730bを含む。これらの内部結合光学素子1730aおよび外部結合光学素子1730bは、光を導波路1822内に内部結合すると共に外に外部結合するように配向された反射表面を含むことができる。内部結合光学素子1730aは、例えば、光源1110からの光を受けるように配設され、光を、TIRによってその中で誘導されるようにある角度で導波路1822内に方向付けるように配向（例えば、傾斜）された反射面を含むことができる。外部結合光学素子1730bは、例えば、導波路1822内で誘導された光を導波路1822から放射されるような角度で方向付けるように配向（例えば、傾斜）された反射表面を含むことができる。外部結合光学素子1730bは、導波路1822から向けられた光が光学系1130内に方向付けられ、SLM1140から反射され、再び光学系1130を通過し、第2の導波路1820の内部結合光学素子1730cに入射するように位置付けられ得る。

10

【0121】

【0239】第2の導波路1820内の内部結合光学素子1730cは、SLM1140から光を受け取ってそこに入射した光を第2の導波路1820内でTIRによって誘導されるように向けるよう位置付けられて配向（例えば、傾斜）され得る反射表面を含んでもよい。図18は、導波路1820、1822の同じ側に配設された光学系1130および光源1110を示す。システム1800は、導波路1822と導波路1820との間のクロストークを低減するためのアイソレータをさらに含むことができる。アイソレータは、不透明および／または反射性の表面を含むことができる。アイソレータは、導波路1820、1822の少なくとも一方の中または上に配設されてもよい。

20

【0122】

【0240】上記で考察した設計などの種々の設計は、追加の特徴部または構成要素を含むことができる。図19は、例えば、可変焦点光学素子（または適応光学素子）1910、1920を含むシステム1900の側面図を示す。可変焦点光学素子1910、1920は、可変屈折力を提供するように変更されるように構成された光学素子を含むことができる。可変焦点光学素子1910、1920は、第1の状態および第2の状態などの複数の状態を含んでもよく、第1の状態では、可変焦点光学素子1910、1920は、第2の状態のときとは異なる屈折力を有する。例えば、可変焦点光学素子1910、1920は、第1の状態では負の屈折力を有し、第2の状態ではゼロの屈折力を有してもよい。いくつかの実装形態では、可変焦点光学素子1910、1920は、第1の状態では正の屈折力を有し、第2の状態ではゼロの屈折力を有する。いくつかの実装形態では、可変焦点光学素子1910、1920は、第1の状態では第1の負または正の屈折力を有し、第2の状態では第2の異なる負または正の屈折力を有する。いくつかの適応光学素子または可変焦点光学素子1910、1920は、3つ以上の状態を有することができ、場合によっては屈折力の連続的な分布を提供することができる。

30

【0123】

【0241】可変焦点光学素子1910、1920は、レンズ（例えば、可変レンズ）を含み、透過性であってもよい。透過性または透明な適応光学素子または可変焦点光学素子1910、1920が図7に示される。可変焦点光学素子1910、1920は、液体レンズ（例えば、可動膜および／またはエレクトロウェットティング）を含むことができる。可変焦点レンズはまた、例えば回折レンズを含むことができる切り替え可能な液晶偏光レンズなどの切り替え可能な液晶レンズなどの液晶レンズを含むことができる。Alvarezレンズも使用することができる。他の種類の可変焦点光学素子1910、1920が場合によっては採用されてもよい。可変焦点光学素子の例は、2017年6月12日に出願された「AUGMENTED REALITY DISPLAY HAVING MULTI-ELEMENT ADAPTIVE LENS FOR CHANGING DEPTH PLANES」と題する米国特許出願第62／518,539号に見出すことが

40

50

でき、その全体が参照により本明細書に援用される。可変焦点光学素子 1910、1920 は、可変焦点光学素子 1910、1920 によって示される屈折力の量を制御する電気信号を受信する電気入力部を有することができる。可変焦点光学素子 1910、1920 は、正および／または負の屈折力を有することができる。可変焦点素子（例えば、偏光スイッチ、幾何学的位相（GP）レンズ、流体レンズなど）に加えて、可変焦点素子 1910、1920 は、光照射野において所望の深度平面を生成するために固定レンズ（例えば、回折レンズ、屈折レンズなど）を含むことができる。

【0124】

【0242】第 1 の可変焦点光学素子 1910 は、スタック 1905 と眼 210 との間に配設されてもよい。スタック 1905 は、上記で考察したように、異なる色のための異なる導波路を含むことができる。第 1 の可変光学素子 1910 は、異なる量の屈折力、負および／または正の屈折力を導入するように構成されてもよい。可変屈折力を使用して、スタック 1905 から外部結合された光の発散および／またはコリメーションを変化させて、システム 1900 によって眼 210 内に投影された仮想オブジェクトが位置するように見える深度を変化させることができる。したがって、4 次元（4D）光照射野を作り出すことができる。

10

【0125】

【0243】第 2 の可変焦点光学素子 1920 は、スタック 1905 の、第 1 の可変焦点光学素子 1920 とは反対側にある。したがって、第 2 の可変焦点光学素子 1920 は、システム 1900 および眼 210 の前の世界 510 から受け取った光に対する第 1 の光学素子 1910 の効果を補償することができる。したがって、世界のビューは、所望に応じて効果的に変更されないまたは変更され得る。

20

【0126】

【0244】システム 1900 は、静的または可変の処方または補正レンズ 1930 をさらに含むことができる。そのようなレンズ 1930 は、眼 210 の屈折補正を提供することができる。追加的に、処方レンズ 1930 は、可変レンズである場合、複数のユーザに異なる屈折補正を提供することができる。可変焦点レンズについては上記で考察した。眼 210 は、例えば、近視、遠視、および／または乱視を有し得る。レンズ 1930 は、眼 210 の屈折誤差を低減するための処方（例えば、屈折力）を有することができる。レンズ 1930 は、球形および／または円筒形であってもよく、正または負であってもよい。レンズ 1930 は、世界 510 およびスタック 1905 の両方からの光がレンズ 1930 によって提供される補正を受けるように、スタック 1905 と眼 210 との間に配設されてもよい。いくつかの実装形態では、レンズ 1930 は、眼 210 と第 1 の可変焦点光学素子 1910 との間に配設されてもよい。レンズ 1930 の他の位置も可能である。いくつかの実装形態では、処方レンズは可変であり、複数のユーザ処方が実施されることを可能にすることができる。

30

【0127】

【0245】いくつかの設計では、システム 1900 は、調整可能な調光器 1940 を含むことができる。いくつかの実装形態では、この調整可能な調光器 1940 は、導波路 1900 のスタックの、眼 210 とは反対の側（例えば、世界側）に配設されてもよい。したがって、この調整可能な調光器 1940 は、導波路 1900 のスタックと世界 510 との間に配設されてもよい。調整可能な調光器 1940 は、そこを透過される光の可変減衰を提供する光学素子を含むことができる。調整可能な調光器 1940 は、減衰のレベルを制御するための電気入力部を含むことができる。場合によっては、調整可能な調光器 1940 は、ユーザが屋外に行くときなど、眼 210 が明るい光に曝されているときに減衰を増加させるように構成される。したがって、システム 1900 は、周囲光の輝度を感知する光センサと、光センサによって感知された光レベルに基づいて減衰を変化させるように調整可能な調光器 1940 を駆動するための制御電子機器とを含むことができる。

40

【0128】

【0246】異なるタイプの調整可能な調光器 1940 を採用することができる。そのよう

50

な調整可能な調光器 1940 は、偏光子、エレクトロクロミック材料、フォトクロミック材料などを有する可変液晶スイッチを含むことができる。調整可能な調光器 1940 は、世界 510 からスタック 1905 に入射するおよび／または透過する光の量を調節するように構成されてもよい。調整可能な調光器 1940 は、場合によっては、導波路スタック 1900 を通って眼 210 に通過する周囲からの光の量を減少させるために使用することができ、これは、そうでなければグレアを提供し、スタック 1905 から眼 210 内に投入された仮想オブジェクト／画像を知覚するユーザの能力を低下させる可能性がある。そのような調整可能な調光器 1940 は、入射する明るい周囲光が眼 210 内に投影される画像をぼやけさせることを低減することができる。したがって、眼 210 に提示される仮想オブジェクト／画像のコントラストは、調整可能な調光器 1940 によって増加させることができる。対照的に、周囲光が低い場合、調整可能な調光器 1940 は、眼 210 がユーザの前の世界 510 内のオブジェクトをより容易に見ることができるように、減衰を低減するように調整され得る。減光または減衰は、システム全体であってもよく、またはシステムの 1 つ以上の部分に局在化されてもよい。例えば、ユーザ 210 の前の世界 510 からの光を減衰させるように、複数の局在化された部分を減光または設定することができる。これらの局在化された部分は、そのような減光または減衰の増加のない部分によって互いに分離されてもよい。場合によっては、1 つの部分のみが減光されるか、または接眼レンズの他の部分に対して増大した減衰を提供するようにされる。異なる設計では他の構成要素が追加されてもよい。また、構成要素の配置は異なってもよい。同様に、1 つ以上の構成要素がシステムから除外されてもよい。

10

20

【0129】

[0247] 他の構成の例が図 20A に示される。図 20A は、異なる導波路上の横方向に変位された内部結合光学素子 1360、1362、1364 と、それぞれの内部結合光学素子 1360、1362、1364 と整列された横方向に変位されたカラーフィルタ 2040、2042、2044 を含むカラーフィルタアレイ 2030 とを含むシステム 2000 の側面図を示す。カラーフィルタアレイ 2030 は、眼 210 および光学系 1130 に近接してスタック 2005 の側面に配設されてもよい。カラーフィルタアレイ 2030 は、スタック 2005 と光学系 1130 との間であってもよい。カラーフィルタアレイ 2030 は、スタック 2005 と光学系 1130 との間に位置するカバーガラス 2050 内またはその上に配設されてもよい。カラーフィルタアレイ 2030 は、互いに対して横方向に配設された、赤色カラーフィルタ、緑色カラーフィルタ、および青色カラーフィルタなどの、1 つ以上の異なるカラーフィルタ 2040、2042、2044 を含むことができる。システム 2000 は、互いに対して横方向に変位された光源 1110、1112、1114 を含む。これらの光源 1110、1112、1114 は、赤色、緑色、および青色光源などの異なる色の光源を含むことができる。カラーフィルタ 2040、2042、2044 は、透過型または透明なフィルタであってもよい。いくつかの実装形態では、カラーフィルタ 2040、2042、2044 は、吸収フィルタを含むが、カラーフィルタ 2040、2042、2044 は、反射フィルタも含むことができる。カラーフィルタアレイ 2030 内のカラーフィルタ 2040、2042、2044 は、迷光の伝搬を低減する不透明マスクなどのマスクによって分離および／または取り囲まれてもよい。カラーフィルタアレイ 2030 内のフィルタは、導波路および／または内部結合光学素子 1360、1362、1364 からのようなシステム内の望ましくない反射が、異なる色のための内部結合光学素子 1360、1362、1364 を通って異なる色のために使用される導波路に再び入ることを低減または排除するために使用され得る。カラーフィルタアレイの例は、その全体が参照により本明細書に援用される、2017 年 8 月 22 日に出願された、「PROJECTOR ARCHITECTURE INCORPORATING ARTIFACT MITIGATION」と題する米国特許出願第 15 / 683,412 号、およびその全体が参照により本明細書に援用される、「PROJECTOR ARCHITECTURE INCORPORATING ARTIFACT MITIGATION」と題する 2017 年 11 月 30 日に出願された米国特許出願第 62 / 592,60

30

40

50

7号において見出すことができる。マスクは、黒色マスクであってもよく、迷光の伝搬および反射を低減するために吸収材料を含んでもよい。光源1110、1112、1114は、光学系1130およびSLM1140に対して、光をカラーフィルタアレイ2030内の対応するカラーフィルタ2040、2042、2044に内部結合するように配設され得る。例えば、カラーフィルタアレイ2030は、第1、第2、および第3の光源1110、1112、1114からの光をそれぞれ受け取るように配設された第1、第2、および第3の（例えば、赤色、緑色、および青色）カラーフィルタ2040、2042、2044を含んでもよい。第1、第2、および第3の（例えば、赤色、緑色、および青色）カラーフィルタ2040、2042、2044は、それぞれの内部結合光学素子1360、1362、1364と（例えば、xおよびz方向に）整列されてもよい。したがって、第1の光源1110からの光は、第1のカラーフィルタ2040を通して第1の内部結合光学素子1360に方向付けられ、第2の光源1112からの光は、第2のカラーフィルタ2042を通して第2の内部結合光学素子1362に方向付けられ、第3の光源1114からの光は、第3のカラーフィルタ2044を通して第3の内部結合光学素子1364に方向付けられる。いくつかの実装形態では、内部結合光学素子1360、1362、1364は色固有であってもよい。例えば、第1および第2の内部結合光学素子1360、1362は、それぞれの第1および第2の色の光を第1および第2の導波路にそれぞれ結合するように構成されてもよい。同様に、第1、第2、および第3の内部結合光学素子1360、1362、1364は、それぞれの第1、第2、および第3の色の光を第1、第2、および第3の導波路にそれぞれ結合するように構成されてもよい。第1の内部結合光学素子1360は、第2の色（または第3の色）よりも多くの第1の色の光を第1の導波路内に結合するように構成されてもよい。第2の内部結合光学素子1362は、第1の色（または第3の色）よりも多くの第2の色の光を第2の導波路内に結合するように構成されてもよい。第3の内部結合光学素子1364は、第1の色または第2の色よりも多くの第3の色の光を第2の導波路内に結合するように構成されてもよい。他の構成では、内部結合光学素子1360、1362、1364は広帯域であってもよい。例えば、第1の内部結合光学素子1360は、第1、第2および第3の色の光を第1の導波路内に結合するように構成されてもよい。第2の内部結合光学素子1362は、第1、第2および第3の色の光を第2の導波路内に結合するように構成されてもよい。第3の内部結合光学素子1364は、第1、第2および第3の色の光を第3の導波路内に結合するように構成されてもよい。しかしながら、複数のカラーフィルタ2040、2042、2044は、特定の色の光を選択的に透過させる色固有であってもよい。例えば、第1のカラーフィルタ2040は、第2の色（および第3の色）よりも多くの第1の色を透過させてもよい。第2のカラーフィルタ2042は、第1の色（および第3の色）よりも多くの第2の色を透過させてもよい。第3のカラーフィルタ2044は、第1の色および第2の色よりも多くの第3の色を透過させてもよい。同様に、第1、第2および第3のカラーフィルタ2040、2042、2044は、それぞれ第1、第2および第3の色を選択的に透過させるカラーフィルタであってもよい。したがって、第1、第2、および第3のカラーフィルタ2040、2042、2044は、それぞれ第1、第2、および第3の色を選択的に通過させるバンドパスフィルタであってもよい。いくつかの実装形態では、第1、第2、および第3の光源1110、1112、1114は、それぞれ第1、第2、および第3の色を選択的に放出してもよい。例えば、第1の光源1110は、第2の色（および第3の色）よりも多くの第1の色を放出してもよい。第2の光源2042は、第1の色（および第3の色）よりも多くの第2の色を放出してもよい。第3の光源2044は、第1の色および第2の色よりも多くの第3の色を透過させてもよい。カラーフィルタ2040、2042、2044は、特定の内部結合光学素子に不注意に方向付けられる迷光の量を低減することができる。他の実装形態では、光源1110、1112、1114のうちの1つ以上は、広帯域光源である。例えば、第1の光源1110は、第1および第2（および場合によっては第3）の色を放出してもよい。第2の光源1112も、第1および第2（および場合によっては第3）の色を放出してもよい。第3の光源1114も、第1および第2（および場

10

20

30

40

50

合によっては第3)の色を放出してもよい。図20A~図20Gには3つのフィルタが示されているが、より多いまたはより少ないフィルタが含まれてもよい。例えば、いくつかの実装形態では、2つのフィルタ(3つではない)を使用することができる。したがって、2つのカラーフィルタに対応する2つの色をフィルタによって選択的に透過させることができる。いくつかのそのような実装形態では、2つの対応する内部結合光学素子を使用し、2つのフィルタと整列させることができる。いくつかの実装形態では、2つの内部結合光学素子は、それぞれ2つの色を2つのそれぞれの導波路内に選択的に結合する。いくつかの実装形態では、3つではなく2つの光源を使用することができる。他の変形および他の数の構成要素が使用されてもよい。また、カラーフィルタ2040、2042、2044は、単一のアレイと一緒に一体化されてもされなくてもよい。

10

【0130】

[0248]上記で考察したように、構成要素ならびにそれらの位置および配置は変化する。例えば、図20Aは、光学系1130とスタック1905との間に配設された検光子1150を示しているが、検光子1150は異なる位置に位置付けられてもよい。図20Bは、光学系1130とSLM1140との間に位置付けられた検光子1150を示す。いくつかの設計では、検光子(例えば、偏光子)1150はSLM1140に直接取り付けられてもよい。例えば、検光子1150は、SLM1140に接着されてもよく、または機械的に結合されてもよい。例えば、検光子1150は、接着剤を使用してSLM1140(例えば、SLM窓)に糊付け、固定されてもよい。したがって、図20Bは検光子1150とSLM1140との間のギャップを示しているが、いくつかの設計では、検光子1150とSLM1140との間のギャップは存在しない。検光子1150は、SLM1140に機械的に(例えば、機械的固定具を使用して)添着されてもよく、そのような場合、検光子1150とSLM1140との間にギャップを含んでも含まなくてもよい。光学系1130からの複屈折は、上記で説明したようにSLM1140上に偏光子を直接位置決めすることによってクリーンアップすることができる。いくつかの実装形態では、光学系1130と内部結合光学素子1360、1362、1364との間に配設された検光子1150も含まれて、(例えば、図20Bに破線で示されるような)光学系1130から外向きの光の偏光をクリーンアップすることができる。さらに、1/4波長板などの位相差板(図示せず)が、SLM1140の近位、例えば光学系1130とSLM1140との間に含まれてもよい。本明細書で使用される場合、1/4波長板は、1/4波位相差板がプレート、膜、または1/4波の位相差を提供するための他の構造を含むかどうかにかかわらず、1/4波位相差板を指すことができる。図20Bにおいて、例えば、位相差板(例えば、1/4波長板)は、検光子1150とSLM1140との間に配設されてもよい。位相差板(例えば、1/4波長板)は、スキュー光線管理に使用することができる。例えば、位相差板(例えば、1/4波長板)は、例えば、SLM1140への入射の波長および角度の違いによって引き起こされるばらつきを補償することができる。上記で考察したように、補償器を含めることができ、異なる入射角および異なる波長に対してSLM1140のより一貫した偏光回転(例えば、90°)を提供することができる。補償器は、より一貫した直交回転を提供することによってディスプレイのコントラストを増加させるために使用され得る。補償器は、上記で説明したようにSLM1140に取り付けまたは添着されてもよい。例えば、糊、セメントまたは他の接着剤を使用することができる。補償器はまた、機械的固定具を使用してSLM1140に取り付けられてもよい。補償器またはSLM1140の間にギャップが含まれてもよいし、ギャップが含まれなくてもよい。他の光調整光学系も加えてまたは代替的に含まれてもよく、検光子1150および/または補償器に関して上記で説明したようにSLM1140に添着されてもよい。

20

30

40

【0131】

[0249]いくつかの実装形態では、大きな角度の広がり(例えば、-70度)を使用することができる。角度の広がり、例えば光源1110、1112、1114から光学系1130に入る光の角度、および/または光学系1130を出て内部結合光学素子1360、1362、1364に入る光の角度を指すことができる。これらの実装形態では、よ

50

り薄いSLM1140を使用することができる。例えば、SLM1140が液晶(LC)SLM(例えば、シリコン上液晶(LCOS)SLM)である場合、大きな角度の広がりに対応するためにLC層をより薄くすることができる。

【0132】

[0250]偏光子および検光子1150を通るダブルパス位相差は、半波である必要があり得る。偏光子は、光学系1130と検光子1150との間にあってもよい。ダブルパス位相差は、LCOS SLM1140の屈折率とLCOS SLM1140の厚さとの比の関数であってもよい。LCOS SLM1140の所与の屈折率およびLCOS SLM1140の所与の厚さについて、大きい角度でLCOS SLM1140に出入りすることは、小さい角度でLCOS SLM1140に出入りすることよりも光の経路長をより長くする。経路長は、LCOS SLM1140の厚さに関連する。一例では、LCOS SLMは、第1の屈折率および第1の厚さを有することができる。小さい角度の場合、第1の屈折率および第1の厚さを有するLCOS SLMのダブルパス位相差は、半波であってもよい。大きい角度の場合、第1の屈折率および第1の厚さを有するLCOS SLMのダブルパス位相差は、半波でなくてもよい(例えば、半波より大きくてもよい)。LCOS SLMの厚さは、第1の厚さから第2の厚さに変更することができ、第2の厚さは第1の厚さよりも小さい。小さい角度の場合、第1の屈折率および第2の厚さを有するLCOS SLMのダブルパス位相差は、半波でなくてもよい(例えば、半波より小さくてもよい)。大きい角度の場合、第1の屈折率および第2の厚さを有するLCOS SLMのダブルパス位相差は、半波であってもよい。

【0133】

[0251]また、図20Aおよび図20Bは偏向ベースのSLM1140の使用を示しているが、他のタイプのSLMが利用されてもよい。図20Cは、例えば、可動マイクロミラーベースのSLMなどの偏向ベースのSLM1140の使用を示す。上記で考察したように、そのようなSLM1140は、デジタル光処理(DLP(商標))およびデジタルマイクロミラーデバイス(DMD)技術を含むことができる。上記で考察したように、偏向ベースのSLM1140は、SLM1140のピクセルの状態に応じて、光源1110、1112、1114のうちの1つからの光をそれぞれの内部結合光学素子1360、1362、1364内に結合することができる。1つの状態では、光源1110、1112、1114からの光は、図20Dに示されるように、それぞれの内部結合光学素子1360、1362、1364に方向付けられる。別の状態では、光源1110、1112、1114からの光は、図20Eに示されるように、内部結合光学素子1360、1362、1364から離れるように方向付けられる。いくつかの実装形態では、オフ状態にある間、カラーフィルタレイ2030内のカラーフィルタ2040、2042、2044間の黒色吸収マスクは、光ダンプとして働くことができる。上記で説明したように、カラーフィルタ2040、2042、2044は、吸収マスク(例えば、黒色マスク)などのマスクによって取り囲まれ、および／または分離されてもよい。このマスクは、入射した光がそこから反射されるよりも多く吸収されるように、吸収材料を含むことができる。このマスクは不透明であってもよい。

【0134】

[0252]他の変形も可能である。光源は、非結像光学結合素子(例えば、複合放物面集光器(CPC)またはコーン)などの結合光学系1105に結合されたエミッタ1110、1112、1114(例えば、LED、レーザダイオード)として示されているが、他の構成も可能である。例えば、結合光学系1105(例えば、CPC)は、導波路のスタックに対して傾斜していてもよい。場合によっては、プロジェクタ(すなわち、光学系1130およびSLM1140)は、接眼レンズ(例えば、導波路のスタック)に対して傾斜していてもよい。いくつかの実装形態では、レンズ光学系1130は、台形歪みなどの歪みを低減するためにSLM1140に対して傾斜している。そのような歪みを低減するために、シャインフルーグ構成を採用することができる。構成要素は、例えば、頭部および／または顔の周りにより共形に適合するように、必要に応じて傾斜させることができる

(例えば、光学系 1 1 3 0 および／または空間光変調器 1 1 4 0)。上記で説明したように、光エミッタ (複数可) および／または結合光学系 1 1 0 5 は傾斜していてもよい。いくつかの構成では、導波路を含むアセンブリは、眼 2 1 0 の側部 (例えば側頭部) に近い側が眼 2 1 0 に近い状態で傾斜して、(両眼の重なりを犠牲にして) 双眼システム全体の知覚される視野を増加させることができる。

【0 1 3 5】

[0253] 上記で考察したように、構成要素ならびにそれらの位置および配置は変化し得る。例えば、図 2 0 F は、スタック 2 0 0 5 と光学系 1 1 3 0 との間に配設されたカバーガラス 2 0 5 0 を含むシステム 2 0 0 0 F の側面図である。いくつかの設計では、光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4 は、カバーガラス 2 0 5 0 の世界側に配設され、カバーガラス 2 0 5 0 を通って光学系 1 1 3 0 および S L M 1 1 4 0 に光を伝搬するように構成されてもよい。図示のように、カバーガラス 2 0 5 0 は、光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4 によって放出された光がスタック 2 0 0 5 内の導波路を通過することなく光学系 1 1 3 0 に入るように、スタック 2 0 0 5 を越えて横方向 (例えば、x 軸に平行) に延在してもよい。システム 2 0 0 0 F は偏向ベースの S L M 1 1 4 0 を描示しているが、光源の同様の構成は、非偏向ベースの S L M と共に、または本明細書に開示される任意の他の構成もしくは特徴と共に使用することもできる。

【0 1 3 6】

[0254] 図 2 0 G は、スタック 2 0 0 5 の世界側 (すなわち、光学系 1 1 3 0 に近接するスタック 2 0 0 5 の側の反対側) に配設されたカバーガラス 2 0 6 0 を含むシステム 2 0 0 0 G の側面図である。いくつかの設計では、光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4 は、カバーガラス 2 0 5 0 の世界側に配設され、カバーガラス 2 0 5 0 を通って光学系 1 1 3 0 および S L M 1 1 4 0 に光を伝搬するように構成されてもよい。図示のように、カバーガラス 2 0 6 0 は、光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4 によって放出された光がスタック 2 0 0 5 内の導波路を通過することなく光学系 1 1 3 0 に入るように、スタック 2 0 0 5 を越えて横方向 (例えば、x 軸に平行) に延在してもよい。システム 2 0 0 0 G は偏向ベースの S L M 1 1 4 0 を描示しているが、光源の同様の構成は、非偏向ベースの S L M と共に、または本明細書に開示される任意の他の構成もしくは特徴と共に使用することもできる。

【0 1 3 7】

[0255] 追加的に、上記で考察したように、光の再利用を容易にする構成を採用してもよい。図 2 1 は、例えば、光源 1 1 1 0 からの光の光再利用を提供する構成を備えたシステム 2 1 0 0 の部分側面図である。光源 1 1 1 0 は、望ましくない偏光を有する光を再利用するように構成された偏光子 1 1 1 5 に対して配設されてもよい。偏光子 1 1 1 5 は、例えば、第 1 の偏光の光を透過させ、第 2 の反対の偏光の光を再帰反射するワイヤグリッド偏光子を含んでもよい。したがって、光 2 1 1 0 は、光源 1 1 1 0 から放出され、偏光子 1 1 1 5 に衝突することができる。偏光子 1 1 1 5 は、プロジェクタ (図示せず) が使用するように構成された第 1 の偏光の光を透過させることができる。例えば、S L M は、この第 1 の偏光の光で適切に動作することができる。第 2 の偏光 2 1 2 0 の光は、光源 1 1 1 0 に向かって反射し戻され、再利用されることができる。光 2 1 2 0 の偏光は、様々な角度で複合放物面集光器 (C P C) のような非結像光学系などの結合光学系 (図示せず) の部分 (例えば、側壁) から反射した後、偏光回転のために変更することができる。偏光子 1 1 1 5 を通過し得る適切な偏光 (例えば、偏光配向) を有するいくつかの光が生じ得る。複数回の反射は、光の偏光を変化させ、光を所望の偏光で出すことができる。この再利用光 2 1 3 0 は、次いで偏光子 1 1 1 5 に向かって放出して戻される。そのような構成は、所望の偏光がより多く生成されるにつれて、効率、例えばエネルギー効率を改善することができる。また、加えてまたは代替的に、位相差板を使用して反射偏光状態を変化させ、光を再生することができる。

【0 1 3 8】

[0256] 図 2 2 は、光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4 および対応する集光光学系 2 2

1 0、2 2 1 2、2 2 1 4を含む別の構成を示す。集光光学系 2 2 1 0、2 2 1 2、2 2 1 4は、光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4から光を収集するためのレンズまたは他の光学系を含むことができる。光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4は、広範囲の角度にわたって光を放出するレーザダイオードまたは他のエミッタであってもよい。集光光学系 2 2 1 0、2 2 1 2、2 2 1 4は、その光の大部分を収集するために使用され得る。光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4は、非対称に光を放出することができる。例えば、光は、直交方向（例えば、zまたはx方向）よりも一方向（例えば、xまたはz方向）においてより広い範囲の角度で放出され得る。したがって、集光光学系 2 2 1 0、2 2 1 2、2 2 1 4は非対称であってもよい。例えば、集光光学系 2 2 1 0、2 2 1 2、2 2 1 4は、異なる可能な直交方向に異なる屈折力を有することができる。集光光学系 2 2 1 0、2 2 1 2、2 2 1 4は、例えば、アナモフィックレンズなどのレンズを含むことができる。集光光学系 2 2 1 0、2 2 1 2、2 2 1 4はまた、場合によっては非結像光学系を含んでもよい。アパーチャ 2 2 2 0、2 2 2 2、2 2 2 4が含まれてもよい。例えば、レーザダイオードなどの光源 1 1 1 0、1 1 1 2、1 1 1 4のレーザの場合、アパーチャ 2 2 2 0、2 2 2 2、2 2 2 4の近位にディフューザ 2 2 3 0を含めることもできる。ディフューザがアパーチャ 2 2 2 0、2 2 2 2、2 2 2 4の近位にある場合、アパーチャは、横方向に変位した光源の位置であるように見え得る。アパーチャ 2 2 2 0、2 2 2 2、2 2 2 4は、上記で考察したように、光学系および S L M を介して導波路（単数または複数）上の内部結合光学素子と一致させることができる。例えば、各アパーチャ 2 2 2 0、2 2 2 2、2 2 2 4は、それぞれの内部結合光学素子と一致してもよい。同様に、図 1 6 A に示されるような特定の実装形態では、各アパーチャ 2 2 2 0、2 2 2 2、2 2 2 4は、（例えば、色選択的な）内部結合光学素子のそれぞれの群と一致してもよい。

10

20

30

40

50

【0 1 3 9】

[0257] 広範囲のシステムの変形および構成が可能である。例えば、直線偏光は、光学系 1 1 3 0 を通って S L M 1 1 4 0 に伝搬され、光学系を通して導波路スタックに戻るものとして説明されているが、いくつかの設計では、代わりに円偏光が使用されてもよい。例えば、円偏光は、光学系 1 1 3 0 に方向付けられてもよい。1 / 4 波長板などの位相差板は、この光が S L M に入射する前に位相差板を通過するように配設されてもよい。位相差板（例えば、1 / 4 波長板）は、光学系 1 1 3 0 と S L M 1 1 4 0 との間に配設されてもよい。場合によっては、上記で説明したように、位相差板（例えば、1 / 4 波長板）は、例えば接着剤または機械的固定具を使用して、S L M 1 1 4 0 に添着されてもよい。位相差板（例えば、1 / 4 波長板）は、S L M 1 1 4 0 からの反射後に直線偏光を円偏光に変換することができる。したがって、いくつかの実装形態では、円偏光は、スタックに向かって光学系 1 1 3 0 を再び通過することができる。例えば、検光子 1 1 5 0 の近位の別の位相差板（例えば、1 / 4 波長板）は、円偏光を、直線偏光（例えば、配向）に応じて検光子を通過しても通過しなくてもよい直線偏光に変換することができる。S L M 1 1 4 0 のピクセルは、偏光を回転させるかまたは回転させないように変化させることができる状態を有することができる。さらなる他の構成も可能である。

【0 1 4 0】

[0258] 図 2 3 A は、光源 2 3 0 5 と、偏光回転子 2 3 0 7 と、屈折力を有する光学系（例えば、レンズ）2 3 2 0 と、直線偏光子（例えば、水平偏光子または垂直偏光子）などの偏光子 2 3 1 2、2 3 3 5 と、1 / 4 波位相差板（例えば、1 / 4 波長板）などの位相差板 2 3 1 5、2 3 3 0、2 3 4 0 と、ユーザに画像情報を出力するための少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 とを含む拡張現実ディスプレイシステム 2 3 0 0 の側面図である。そのような構成は、光源 2 3 0 5 から放出された光が空間光変調器から反射され、少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に結合されてユーザの眼に方向付けられるように、反射型空間光変調器（図示せず）を照明するために使用することができる。これらの素子、特に偏光子および位相差板の構成および配置は、光学系 2 3 2 0 からの表面などのシステム内の光学表面からの反射を低減または排除することができ、これはそうでなければ、ゴースト画像がユーザに見えるようになる可能性がある。例えば、偏光選択的であり、および／また

は位相差を有する光学素子（例えば、偏光子 2 3 1 2、2 3 3 5 および位相差板 2 3 1 5、2 3 3 0、2 3 4 0）は、直線偏光を、光学表面からの反射時に左旋から右旋または右旋から左旋に変化する円偏光に変換するように配置および構成することができる。同様に、偏光選択的であり、かつ／または位相差を有するそのような光学素子（例えば、偏光子 2 3 1 2、2 3 3 5 および位相差板 2 3 1 5、2 3 3 0、2 3 4 0）は、円偏光を、偏光子（例えば、直線偏光子）によって減衰またはフィルタリング除去することができる直線偏光に変換するように配置および構成することができる。直線偏光を円偏光に変換し、その逆も同様である円偏光子は、偏光選択的であり、位相差を有するそのような光学素子（例えば、偏光子 2 3 1 2、2 3 3 5 および位相差板 2 3 1 5、2 3 3 0、2 3 4 0）を用いて製造することができる。例えば、円偏光子は、直線偏光子および 1 / 4 波位相差板を含んでもよい。円偏光子を使用して、直線偏光を、第 1 の状態（例えば、掌性）を有する円偏光に変換し、異なる第 1 の状態である第 2 の状態（例えば、掌性）を有する円偏光をフィルタリング除去することができる。例えば、ある特定の配向を有する直線偏光を左旋円偏光に変換し、右旋円偏光の円偏光をフィルタリング除去するために、円偏光子を使用することができる。ある特定の配向を有する直線偏光を右旋円偏光に変換し、左旋円偏光の円偏光をフィルタリング除去するために、円偏光子を使用することができる。円偏光子、または直線偏光を円偏光子光に変換して戻すために使用することができ、直線偏光を選択的にフィルタリングすることができる位相差を含む光学素子の他の構成は、図 2 3 A および図 2 3 B に関連して以下で考察されるように、光学表面からの後方反射を低減するために使用することができる。

10

20

【0 1 4 1】

[0259] 図 2 3 A および図 2 3 B では、左旋および右旋の円偏光がそれぞれ時計回りおよび反時計回りの矢印で示されていることに留意されたい。さらに、水平および垂直直線偏光は、それぞれ水平矢印および円形ドットを使用して描示されている。

【0 1 4 2】

[0260] 上記で考察したように、図 2 3 A は、空間光変調器（図示せず）を照射して反射する光の経路内の光学系 2 3 2 0 の表面などの光学表面からの後方反射を低減するために、直線偏光子（例えば、水平偏光子）などの偏光子 2 3 1 2、2 3 3 5 および 1 / 4 波位相差板（例えば、1 / 4 波長板）などの位相差板 2 3 1 5、2 3 3 0、2 3 4 0 が配置されている拡張現実ディスプレイシステム 2 3 0 0 の構成を示す。第 1 の偏光子 2 3 1 2 および第 1 の位相差板 2 3 1 5 は、光源 2 3 0 5 と光学系 2 3 2 0 との間に配設されている。第 1 の偏光子 2 3 1 2 は、光源 2 3 0 5 と第 1 の位相差板 2 3 1 5 との間に配設されている。同様に、第 1 の位相差板 2 3 1 5 は、第 1 の偏光子 2 3 1 2 と光学系 2 3 2 0 との間に配設されている。

30

【0 1 4 3】

[0261] 図示のように、光源 2 3 0 5 は、光線 2 3 1 0 に代表されるような光を放出する。いくつかの実装形態では、光線 2 3 1 0 は、偏光回転子 2 3 0 7 を通過することができる。回転子 2 3 0 7 は任意選択的であり、光源 2 3 0 5 からの光、例えば光線 2 3 1 0 の偏光を回転させるために使用することができる。様々な実装形態では、回転子 2 3 0 7 は、偏光の（例えば、直線偏光の）角度を回転させることができる。例えば、回転子 2 3 0 7 は、光線 2 3 1 0 の直線偏光を、第 1 の偏光子 2 3 1 2 と整列された配向に回転させてそこを透過させることができる。いくつかの実装形態では、偏光回転子 2 3 0 7 は、位相差板、例えば場合によっては半波位相差板を含むことができる。半波位相差板の光軸は、光源 2 3 0 5 からの光の偏光を垂直から水平に、またはその逆に回転させるように配向されてもよい。代替的には、偏光回転子 2 3 0 7 は、光源 2 3 0 5 から放出された直線偏光の偏光角を異なる量だけ回転させるように構成されてもよい。偏光回転子 2 3 0 7 は、システムに含まれていなくてもよい。例えば、光源 2 3 0 5 が第 1 の偏光子 2 3 1 2 と同じ偏光を有する光を放出する実装形態では、偏光回転子 2 3 0 7 は除外されてもよい。図示のように、光、例えば光線 2 3 1 0 は、ここでは水平偏光子として示されている偏光子 2 3 1 2 を通過する。光源 2 3 0 5 からの光が偏光されていない場合、光線 2 3 1 0 として

40

50

示される水平偏光子 2 3 1 2 を透過した光は、偏光子 2 3 1 2 を通過した後に直線偏光（例えば、水平偏光）される。この例では水平直線偏光子が使用されているが、教示された原理は垂直直線偏光子を使用して適用できることが理解されよう。代替的には、垂直または直線以外の配向が異なる直線偏光子を使用してもよい。

【0144】

【0262】水平偏光された光線 2 3 1 0 は、ここでは 1 / 4 波位相差板として示されている位相差板 2 3 1 5 を通って進む。この位相差板 2 3 1 5 は、直線偏光を円偏光に変換するのに十分な位相差を含むことができる。例えば、水平偏光を、曲線状（例えば、時計回り方向）の矢印で示されるように、左旋円偏光に変換してもよい。この例では、偏光子 2 3 1 2 と位相差板 2 3 1 5（例えば、1 / 4 波）との組み合わせは、特定の直線偏光（例えば、水平または垂直偏光）の光を特定の円偏光（例えば、左旋円偏光もしくは右旋円偏光、またはその逆）に変換することができる、本明細書では第 1 の円偏光子と称される円偏光子を形成する。円偏光子はまた、構成に応じて特定の円偏光（例えば、右旋円偏光または左旋円偏光）の光を遮断し得る。

10

【0145】

【0263】いくつかの実装形態では、様々な光学素子は複屈折を有する。ある特定のそのような場合、位相差板 2 3 1 5 は、直線偏光を円偏光に変換するのに十分な量の位相差を含むことができ、1 / 4 波長板である必要はない。位相差は他の光学素子によって寄与され得るため、1 / 4 波より多いまたは少ない位相差が位相差板 2 3 1 5 に含まれてもよい。同様に、位相差は、いくつかの光学素子に分散させることができる。別の例として、複数の位相差板を採用して、適切な量の位相差を提供してもよい。

20

【0146】

【0264】円偏光光線 2 3 1 0（ここでは左旋円偏光）は、次いで光学系 2 3 2 0 を通過する。望ましくない反射は、例えば空気と材料との界面など、異なる屈折率を有する媒体を有するシステム内の任意の界面で発生する可能性がある。これらの反射は、この反射光がユーザの眼に方向付けられ、ユーザの眼に見える「ゴースト」画像を形成する可能性があるため、少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に入ることが可能となる場合に問題となり得る。例えば、ディスプレイが少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 を用いて視認者の眼に第 1 の画像を投影する場合、第 1 の画像に対して変位（例えば、横方向に変位）された第 2 のかすかな複製画像もユーザに見える可能性がある。ユーザの眼に方向付けられる光学表面からの反射によって形成されるそのような「ゴースト」画像は、視認体験を混乱させるか、またはそうでなければ低下させる可能性がある。例えば、図 2 3 A に示されるように、反射光線 2 3 2 5 などの光は、光学系 2 3 2 0 内のレンズから反射することができる。この光は、ユーザの眼に画像を提示するためにそこに光を方向付けるように構成された少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に向かって方向付けられてもよい。しかし、この場合、円偏光は、掌性を反転させる。例えば、レンズから反射すると、円偏光の方向が変化する（例えば、左旋から右旋）。次いで、右旋反射光線 2 3 2 5 は、位相差板 2 3 1 5 を通って進み、偏光子 2 3 1 2 によって透過される直線偏光とは異なる（例えば、直交）直線偏光を有する直線偏光に変換される。この場合、例えば、レンズの光学表面から反射された光は、位相差板 2 3 1 5 により、水平直線偏光子 2 3 1 2 によって透過される偏光と直交する垂直直線偏光に変換される。水平直線偏光子 2 3 1 2 は、水平偏光を選択的に通過させ、垂直偏光をフィルタリング除去する。したがって、反射光線 2 3 2 5 は、水平直線偏光子 2 3 1 2 によって減衰され、および／もしくは透過されず、少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に到達することが防止されるか、または少なくとも低減された量のそのような反射光が少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に到達するか、または例えば内部結合光学素子（例えば、1 つ以上の内部結合格子）を通してその中に結合される。結果は、光学系 2 3 2 0 の異なる光学表面または異なる光学素子上の他の光学表面から反射された左旋円偏光光線についても同様である。

30

40

【0147】

【0265】図示のように、ディスプレイシステム 2 3 0 0 は、光学系 2 3 2 0 と空間光変

50

調器（図示せず）との間に配設された第2の位相差板2330（例えば、1/4波位相差板または1/4波長板）および第2の偏光子2335（例えば、直線偏光子）をさらに含む。この第2の位相差板2330およびこの第2の直線偏光子2335は、ある特定の実装形態では第2の円偏光子を形成し得る。第2の位相差板2330は、光学系2320と第2の偏光子2335との間に配設されている。同様に、第2の偏光子2335は、第2の位相差板2330と空間光変調器との間に配設されている。したがって、光学系2320を通過した後、光線2310は、第2の位相差板2330（例えば、1/4波位相差板）を通過することができる。第2の位相差板2330は、光線2310が左旋円偏光から水平直線偏光に変換されるように構成されている（例えば、光軸は適切に方向付けられている）。同様に、第2の位相差板2330は、円偏光を、第1の偏光子2312によって出力された元の直線偏光状態に変換し戻す。以下で考察するように、この第2の位相差板2330および第2の偏光子2312は、光が少なくとも1つのライトガイド2348に進む際に（例えば、動力付き光学系またはレンズ2320上の）光学表面を通過する空間光変調器から反射された光によって引き起こされる「ゴースト」画像を低減するのに有用であり得る。

10

【0148】

[0266]第2の偏光子2335と空間光変調器との間には、第3の位相差板2340（例えば、1/4波位相差板または1/4波長板）が配設されている。したがって、第3の位相差板2340は、第2の位相差板2330と空間光変調器との間に配設されている。また、図示のような様々な実装形態では、第2の偏光子2335は、第2の位相差板2330と第3の位相差板2340との間にある。図示のように、光線2310は、第2の偏光子2335を通過すると直線偏光され、いくつかの実装形態では、第2の位相差板2330/第2の偏光子2335は、光を第1の偏光子2312の元の直線偏光に変換し得る（例えば、水平偏光される）。この直線偏光は、第3の位相差板2340に入射する。第3の位相差板2340は、光線が円偏光に変換し戻され、いくつかの実装形態では、第1の位相差板2315によって出力されるのと同じ偏光（例えば、この例では左旋円偏光）に変換されるように構成されている。ある特定の実装形態では、空間光変調器は、円偏光に対して動作するように構成されている。いくつかの実装形態では、空間光変調器は、入射円偏光を反射して円偏光として戻す反射型空間光変調器である。いくつかの実装形態では、空間光変調器から反射された円偏光は、場合によっては空間光変調器ピクセルが「オン」状態にあるか「オフ」状態にあるかに応じて、そこに入射するものと同じ掌性（例えば、左旋円偏光）を有することができる。いくつかの実装形態では、空間光変調器は、場合によっては空間光変調器ピクセルが「オン」状態にあるか「オフ」状態にあるかに応じて、そこに入射するものとは異なる掌性の円偏光（例えば、右旋円偏光）を反射させることができる。しかしながら、他のタイプの空間光変調器が使用されてもよい。

20

30

【0149】

[0267]図23Aは、光線2342として示されている、空間光変調器から反射され、導波路2385に向かって進む光を示す。反射光線2342は、左旋円偏光として描示されている。光線2342は、第3の位相差板2340を通過する。第3の位相差板2340は、円偏光を直線偏光に変換する。この例では、左旋円偏光が水平偏光に変換される。直線偏光が第2の偏光子2335を透過する。この例では、水平偏光が第2の偏光子2335を透過する。直線偏光は、第2の位相差板2330に入射し、円偏光に変換される。この例では、水平偏光は、左旋偏光に変換され、光学系2320に透過される。ここでも、屈折力を有する光学系2320の表面などの光学表面からの反射は、空間光変調器から少なくとも1つの導波路2348およびユーザの眼に反射して戻ることによってゴースト画像を作り出す可能性がある。上記で説明したように、望ましくない反射は、空気と材料との界面など、異なる屈折率を有する媒体を有する任意の界面で発生する可能性がある。上記で言及したように、第2の位相差板2330および偏光子2335を含むことにより、これらの反射を減衰させ、ゴースト反射の可能性を低下させることができる。図23Aは、例えば、光線2346として示される、光学系2320の光学表面から反射された光

40

50

を描述する。表面から反射されるという作用により、円偏光されて掌性を切り替える、この例では左旋円偏光から右旋円偏光に切り替える反射光線 2 3 4 6 が生じる。切り替えられた円偏光は、第 2 の位相差板 2 3 3 0 および偏光子 2 3 3 5 によって形成される第 2 の円偏光子によって減衰される。図 2 3 A に示されるように、例えば、反射円偏光 2 3 4 6 は、第 2 の位相差板 2 3 3 0 に入射し、第 2 の位相差板によって、第 2 の直線偏光子 2 3 3 5 が選択的に透過させる直線偏光とは異なる、例えば直交直線偏光を有する直線偏光に変換される。この場合、例えば、光学系 2 3 2 0 の光学表面から反射された右旋円偏光は、位相差板 2 3 3 0 によって、偏光子 2 3 3 5 が選択的に透過させる偏光と直交する垂直直線偏光に変換される。第 2 の偏光子 2 3 3 5 は、この直線偏光の透過を減衰または防止する。この例では、光 2 3 4 6 は垂直偏光され、第 2 の偏光子 2 3 3 5 は、水平偏光を選択的に通過させ、垂直偏光をフィルタリング除去する水平偏光子である。

10

【0 1 5 0】

[0268] 対照的に、光学系 2 3 2 0 を通過して第 1 の位相差板 2 3 1 5 に入射する光 2 3 4 2 は、円偏光され、光学系 2 3 2 0 の光学表面から反射された光とは異なる掌性を有する。少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に向かって方向付けられたこの光 2 3 4 2 は、第 1 の位相差板 2 3 1 5 によって、第 1 の偏光子 2 3 1 2 が選択的に透過させる直線偏光（例えば、水平直線偏光）に変換される偏光（例えば、左旋偏光）を有する。このようにして、光 2 3 4 2 は、少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に到達して結合され、ユーザの眼に方向付けられることができる。

【0 1 5 1】

20

[0269] 図 2 3 A に示される例では、第 1 の偏光子 2 3 1 2 および第 1 の位相差板 2 3 1 5 によって形成される第 1 の円偏光子と、第 2 の位相差板 2 3 3 0 および第 2 の偏光子 2 3 3 5 によって形成される第 2 の円偏光子は、光学系 2 3 2 0 の両側で、一方が光源 2 3 0 5 に近く、一方が空間光変調器に近いものが、「ゴースト画像」をもたらす可能性がある反射を低減するために使用される。追加的な位相差板 2 3 4 0 が、光を円偏光に変換するために第 2 の円偏光子（例えば、第 2 の偏光子 2 3 3 5）と空間光変調器との間に含まれる。しかしながら、広範囲の変形が可能である。例えば、円偏光子は 1 つのみであってもよい。代替的には、追加的な円偏光子または他のタイプの偏光光学系が含まれてもよい。

【0 1 5 2】

30

[0270] 図 2 3 B は、図 2 3 A に示されるような拡張現実システム 2 3 0 0 に追加することができる第 3 の円偏光子を示す。特に、図 2 3 B は、上で紹介した第 2 の偏光子 2 3 3 5 および第 2 の位相差板 2 3 3 0、ならびに第 3 の位相差板 2 3 4 0 を含む第 2 の円偏光子を描述し、空間光変調器 2 3 7 5 をさらに描述する。この空間光変調器（SLM）2 3 7 5 は、液晶空間光変調器（例えば、シリコン上液晶すなわち LCOS）を含み得る。いくつかの実装形態では、SLM 2 3 7 5 はカバーガラス 2 3 7 0 で覆うことができる。

【0 1 5 3】

[0271] 図 2 3 B はまた、第 2 の偏光子 2 3 3 5 および第 2 の位相差板 2 3 3 0 を含む第 2 の円偏光子と空間光変調器 2 3 7 5 との間に配設された、1/4 波位相差板（例えば 1/4 波長板）などの第 4 の位相差板 2 3 4 5 および直線偏光子などの第 3 の偏光子 2 3 5 5 を含む第 3 の円偏光子を示す。第 3 の偏光子 2 3 5 5 は、第 4 の位相差板 2 3 4 5 と空間光変調器 2 3 7 5 との間にある。第 4 の位相差板 2 3 4 5 および第 3 の偏光子 2 3 5 5 を含む第 3 の円偏光子と、空間光モジュール 2 3 7 5、またはより具体的には図 2 3 B に示されるカバーガラス 2 3 7 0 との間には、1/4 波位相差板（例えば、1/4 波長板）などの追加的な第 5 の位相差板 2 3 6 0 および補償器 2 3 6 5 が配設されている。第 5 の位相差板 2 3 6 0 は、第 3 の偏光子 2 3 5 5 と補償器 2 3 6 5 との間にある。補償器 2 3 6 5 は、第 5 の位相差板 2 3 6 0 と空間光変調器 2 3 7 5、または具体的にはカバーガラス 2 3 7 0 との間にある。

40

【0 1 5 4】

[0272] 図 2 3 B は、光源 2 3 0 5（図 2 3 A に示される）からの光、例えば光線 2 3

50

10が、位相差板2330および第2の偏光子2335を含む第2の円偏光子、ならびに第3の位相差板2340を通して、第4の位相差板2345および第3の偏光子2355を含む第3の円偏光子までどのように伝搬し得るかを示す。光源2305からの光線2310は、第2の位相差板2330および第2の偏光子2335を含む第2の円偏光子を通過した後、第3の円偏光子、特に第4の位相差板2345に入射する。第4の位相差板2345は、光線2310の円偏光子光を直線偏光に変換し得る。図23Bに示される例では、光線2310は、円偏光（例えば、左旋円偏光）され、第4の位相差板2345によって直線偏光（例えば、水平偏光）に変換される。この直線偏光は、図23Bでは水平偏光を選択的に透過させる水平偏光子を含む第3の偏光子2355を通過して進行する。この直線偏光は、直線偏光を円偏光に変換する1/4波位相差板を含み得る第5の位相差板2360を通過して伝搬する。図23Bに示される例では、第5の位相差板2360に入射した水平直線偏光2310は、左旋円偏光に変換される。この円偏光は、補償器2365に入射して通過する。補償器2365は、偏光を所望の偏光に調整する偏光素子を含んでもよい。補償器2365は、システム内の様々な光学素子の複屈折を相殺するために使用されてもよい。例えば、光は、1つ以上の光学素子の位相差寄与のためにわずかに楕円偏光されてもよい。様々な実装形態では、補償器2365から出力される光は、円偏光である。図23Bに示される例では、補償器2365から出力される光は、左旋円偏光である。様々な実装形態では、補償器2365は、例えば液晶（例えば、LCOS）SLMセルを含み得るSLM内の残留位相差を相殺するために使用され得る。補償器は、面内位相差および/または面外位相差を導入することができる。いくつかの実装形態では、補償器2365は、組み合わせられると、SLM（例えば、LCOSパネル）からの残留位相差を潜在的に相殺することができる位相差を生成する光学位相差板の組み合わせを含むことができる。

10

20

30

40

50

【0155】

[0273]図23Bにおいて、光は、補償器2365を通過した後、カバーガラス2370およびSLM2375に入射する。カバーガラス2370およびSLM2375に入射するこの光は、左旋円偏光として描示されている。空間変調器の種類および状態に応じて、SLM2375は同じ掌性の円偏光を反射してもよい。例えば、SLM2375のピクセルが「オン」状態にあるとき（この状態はいくつかの実装形態では非駆動状態であり得るが）、SLM2375は、SLM2375を通過するたびに1/4波の位相差を導入することができる。したがって、反射時に、入射円偏光は、反射時に円偏光のままであり得る。様々な構成では、掌性も同じままであり得る。例えば、図23Bに示されるように、入射左旋円偏光は、反射時に左旋円偏光のままであってもよい。光線2342によって表される、SLM2375から反射されたこの円偏光は、カバーガラス2370および補償器2365を通過し、円偏光を直線偏光に変換する第5の位相差板2360に入射し得る。図23Bに示される例では、第5の位相差板2360に入射した円偏光は左旋であり、第5の位相差板2360は、この円偏光を水平偏光に変換する。第3の偏光子2355は、第5の位相差板2360によって出力された光の偏光を選択的に透過させるように構成されてもよい。したがって、第5の位相差板2360から出力される光が水平偏光である。図23Bに示される例では、第3の偏光子2355は、水平偏光を選択的に透過させる。偏光子2355によって透過されたこの直線偏光は、第4の位相差板2345に入射し、円偏光に変換される。図23Bに示される例では、この円偏光は左旋円偏光である。この光は、図23Aに関連して上記で考察したように、第2の位相差板2330および第2の偏光子2335を含む第2の円偏光子、光学系2320、ならびに第1の偏光子2312および第1の位相差板2315を含む第1の円偏光子を通過して、少なくとも1つの導波路2348上およびユーザの眼の中に進むことができる。

【0156】

[0274]しかしながら、光学表面から反射された光は、第3の円偏光子によって減衰され得、それにより、そのような反射が少なくとも1つの導波路2348に到達し、ユーザの眼に方向付けられてゴースト画像を生成する可能性を低減する。例示のために、図23

Bは、第3の位相差板2340の光学表面から、例えば、空気と第3の位相差板2340との間の界面から反射される例示的な光線2343を示す。上記で考察したように、反射は、空気と材料との界面または異なる誘電体層間の界面などの異なる屈折率を有する媒体間の任意の界面で発生し得る。しかしながら、円偏光は、反射時に掌性を反転させる。例えば、第3の位相差板2340の表面から反射すると、円偏光の方向が（例えば、左旋から右旋に）変化する。次いで、右旋反射光線2343は、第4の位相差板2345を通過して進み、第3の偏光子2355によって選択的に透過される直線偏光とは異なる、例えば、直交直線偏光を有する直線偏光に変換される。この場合、例えば、第3の位相差板2340の光学表面から反射された光は、第4の位相差板2345によって、第3の偏光子2355が選択的に透過させる偏光と直交する垂直直線偏光に変換される。第3の偏光子2355は、水平偏光を選択的に通過させ、垂直偏光をフィルタリング除去する。したがって、反射光線2343は、第3の偏光子2355によって減衰され、および／もしくは透過されず、（例えば、別の表面から反射することによって）少なくとも1つの導波路2348に到達することが防止されるか、または少なくとも低減された量のそのような反射光が少なくとも1つの導波路2348に到達するかもしくはその中で結合される。

10

【0157】

【0275】結果は、異なる光学表面から反射された円偏光についても同様であり得る。図23Bは、例えば、第4の位相差板2345の光学表面からの入射光線2310の反射を示す。第4の位相差板2345からの反射2350は、偏光の掌性を切り替える。例えば、左旋円偏光として描示されている入射光線2310は、反射時に、右旋円偏光を有するものとして示されている光線2350に変換される。反射光線2350は、第3の位相差板2340を通過し、垂直偏光に変換される。この垂直偏光は、第2の偏光子2335によって選択的に減衰またはフィルタリング除去される。

20

【0158】

【0276】上記で説明したように、SLM2375のピクセルは、例えば、SLM2375のこのピクセルに入射する光がそこから反射されて少なくとも1つの導波路2348に結合され、ユーザの眼に方向付けられる「オン」状態にあってもよい（いくつかの実装形態では非駆動状態であるが）。しかしながら、SLM2375のピクセルは、「オフ」状態（いくつかの実装形態では駆動状態であり得る）にあることができ、SLM2375のピクセルに入射する光は少なくとも1つの導波路2348に結合されず、ユーザの眼に結合されない。この「オフ」状態では、例えば、SLM2375の様々な実装形態は、そこからの反射時に位相差を導入しない場合がある。したがって、図23Bに示される例では、SLM2375に入射した円偏光は、SLM2375からの反射時に円偏光のままであり得る。しかしながら、この円偏光の掌性は、SLM2375からの反射時に変化し得る。例えば、SLM2375に入射する左旋円偏光である図23Bに示される光線2310は、SLM2375からの反射時に右旋円偏光に変換されてもよい。しかしながら、この反射光は、第3の偏光子2355によって選択的に減衰されてもよい。例えば、SLM2375から反射された右円偏光は、カバーガラス2370、補償器2365および第5の位相差板2360を通過してもよい。第5の位相差板2360は、右旋円偏光を垂直偏光に変換することができ、垂直偏光は、水平偏光子を含むことができる第3の偏光子2355によって選択的に減衰される。したがって、様々な実装形態では、第5の位相差板2360は、SLM2375のピクセルが「オフ」状態にあるときにSLMのピクセルから反射された光を、第3の偏光子2355によって選択的に透過される直線偏光に直交する直線偏光に変換することができる。したがって、この第3の偏光子2355は、この直線偏光を選択的に減衰させることができ、それにより、SLM2375のそのピクセルからの光が少なくとも1つの導波路2348に到達して眼の中に方向付けられるのを低減または遮断する。

30

40

【0159】

【0277】偏光光学素子の変形など、構成の変形が可能である。例えば、より多くのまたはより少ない円偏光子が含まれてもよい。

50

【0160】

[0278]様々な実装形態では、例えば、図23Cに示されるように、第4の位相差板2345および第3の偏光子2355を含む第3の円偏光子は除外される。この特定の実装形態では、第4の位相差板2345、第3の偏光子2355、および第5の位相差板2360は、システムに含まれない。図23Cは、第4の位相差板2345、第3の偏光子2355、および第5の位相差板2360を除いて、図23Aおよび図23Bに示される構成要素を含む拡張現実システム2300の設計を示す。それにもかかわらず、第3の円偏光子を除外しているにもかかわらず、拡張現実ディスプレイシステムは依然としてゴースト画像を低減するように構成されている。第2の円偏光子は、例えば、そうでなければゴースト画像に寄与する反射を低減する。例示のために、図23Cは、光線2380として示される、第3の位相差板2340から反射された光を描示する。第3の位相差板2340の表面から反射されるという作用により、円偏光である反射光線2380が掌性を切り替える。この例では、偏光は、左旋円偏光から右旋円偏光に切り替えられる。次いで、切り替えられた円偏光2380は、補償器2365を通過し、カバーガラス2370およびSLM2375に入射する。上記で考察したように、SLM2375は、同じ掌性の円偏光を反射することができる。したがって、入射右旋円偏光は、反射時に右旋円偏光のままであり得る。次いで、光線2382によって表される、SLM2375から反射されたこの円偏光は、カバーガラス2370および補償器2365を通過し、第3の位相差板2340に入射し得る。切り替えられた円偏光2382は、第2の円偏光子によって、特に第3の位相差板2340および偏光子2335によって減衰される。図23Cに示されるように、例えば、SLM2375から反射された円偏光2382は、第3の位相差板2340に入射し、第3の位相差板2340によって、第2の直線偏光子2335が選択的に透過させる直線偏光とは異なる、例えば直交直線偏光を有する直線偏光に変換される。この場合、例えば、右旋円偏光2382は、第3の位相差板2340によって、第2の偏光子2335が選択的に透過させる偏光と直交する垂直直線偏光に変換される。第2の偏光子2335は、この直線偏光の透過を減衰または防止する。

10

20

【0161】

[0279]ゴースト反射に寄与し得る反射はまた、システム内の光学表面を傾斜させることによって潜在的に低減され得る。図24は、ゴースト反射を生成し得る反射を低減するための傾斜した光学表面を有する例示的な構成を示す。図24は、光が空間光変調器(SLM)2375に向かって進むときに任意の数の偏光子、位相差板、レンズ、および／または他の光学構成要素を通過する光線2310によって表される光を放出する光源2305を含む、拡張現実ディスプレイシステム2400を示す。第1の円偏光子を形成し得る第1の偏光子2312および第1の位相差板2315、ならびにレンズ2320が、例示を目的として図24に示されている。しかしながら、追加的な構成要素が含まれてもよく、または構成要素が除外または異なって配置または構成されてもよい。図示の例では、SLM2375はカバーガラス2370と一緒に含む。カバーガラス2370は、ゴースト画像を生成する反射に寄与することができる。このように、いくつかの実装形態では、カバーガラス2370は、ゴースト画像をもたらす可能性がある反射をユーザの眼に方向付けられないように方向付けるよう成形することができる。図示のように、カバーガラス2370は、表面がシステムの他の構成要素または光学表面(例えば、SLM2375、第1の位相差板2315、第1の偏光子2312、少なくとも1つの導波路2348など、またはそれらの光学表面)と平行ではないように傾斜することができる表面を有する。カバーガラス2370の主表面は、例えば、拡張現実ディスプレイシステム2400の光軸または光学系2320などのその中の光学構成要素に整列または平行にならないように傾斜した法線を有することができる。傾斜されることにより、カバーガラス2370の光学表面からの反射は、少なくとも1つの導波路2348、または光を少なくとも1つの導波路2348に内部結合させるための内部結合光学素子(例えば、内部結合格子または回折光学素子)から離れるように方向付けられ、カバーガラス2370からの反射が少なくとも1つの導波路2348に入る可能性を低減することができる。描示されるように、反射

30

40

50

光 2 4 0 5 は、光源 2 3 0 5 に向かって方向付けられて戻り、そのような光が最終的にユーザの眼に到達することができる少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 から離れるように方向付けられる。いくつかの実装形態では、反射光 2 4 0 5 は、光源に方向付けられて戻り、光源 2 3 0 5 で少なくとも一部が再利用され得る。

【0162】

[0280] 図 2 4 は、傾斜した表面を有するカバーガラス 2 3 7 0 を描示しているが、反射をそらして少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 に結合されないようにするために傾斜した光学表面を、望ましくない反射が可能であるシステム内の任意の構成要素に含めることができる。したがって、偏光子、位相差板などのような他の構成要素上の光学表面は、少なくとも 1 つの導波路 2 3 4 8 およびユーザの眼に結合される反射を低減するために傾斜されてもよい。カバーガラス 2 3 7 0 または他の光学構成要素の形状およびサイズの変形が可能である。カバーガラス 2 3 7 0 または他の光学構成要素は、例えば、より薄くてもよい。同様に、カバーガラス 2 3 7 0 または他の光学構成要素は、図 2 4 に示されるアスペクト比（長さ対厚さ）とは異なるアスペクト比を有してもよい。いくつかの実装形態では、カバーガラス 2 3 7 0 または他の光学構成要素はくさび形である。しかしながら、他の形状も可能である。

10

【0163】

[0281] さらに他の構成も可能である。図 2 5 は、例えば、図 2 4 に示されるシステム 2 4 0 0 と同様であるが、そこに方向付けられた光を吸収するための光ダンプ 2 5 0 5 をさらに含む拡張現実ディスプレイシステム 2 5 0 0 の実装形態を示す。システム 2 5 0 0 は、カバーガラス 2 3 7 0 からの反射 2 5 1 0 を光源 2 3 0 5 に方向付けて戻す代わりに光ダンプ 2 5 0 5 に方向付けるために傾斜したカバーガラス 2 3 7 0 を含む。光ダンプ 2 5 0 5 は、光を吸収するように構成された吸収材料または構造を含むことができる。光ダンプ 2 5 0 5 の位置は、実装形態に応じて、例えば傾斜したカバーガラス 2 3 7 0 の角度に応じて変化し得る。上記で考察したように、この手法は、システム内の他の光学表面に適用することができる。加えて、光学素子の形状およびサイズが異なってもよい。

20

【0164】

[0282] 拡張現実ディスプレイの広範囲の変形が可能である。偏光光学素子の変形が可能である。例えば、水平偏光子が使用されるが、いくつかの実装形態では、垂直偏光子または水平偏光子と垂直偏光子との組み合わせが採用される。追加的に、垂直または水平以外の偏光を特徴とする偏光子を使用してもよい。同様に、図に示される光は、水平偏光である必要はなく、垂直偏光であってもよい。同様に、垂直偏光として示されている光は、異なる実装形態では水平偏光であってもよく、またはその逆であってもよい。また、垂直または水平以外の偏光を有する直線偏光を使用してもよい。

30

【0165】

[0283] 追加的に、位相差板は、異なるように構成されてもよい。例えば、図中の偏光は、左旋円偏光である必要はなく、右旋円偏光であってもよく、および／または右旋偏光は、左旋円偏光であってもよい。さらなる他の変形も可能である。図示されているものとは異なる左旋偏光および／または右旋偏光の組み合わせを生成するために、異なる位相差板構成を採用することができる。また、いくつかの実装形態では、円偏光の代わりに楕円偏光を場合によっては使用することができる。例えば、楕円偏光を直線偏光に変換し、逆もまた同様に変換するために、位相差板が採用されてもよい。直線偏光子は、光をフィルタリングするために使用することができ、本明細書で説明されるようにゴースト反射を低減するために使用することができる。

40

【0166】

[0284] いくつかの実装形態では、他のタイプの偏光素子およびその構成が採用される。例えば、位相差板は、1 / 4 波位相差板または 1 / 4 波長板に限定されない。例えば、いくつかの実装形態では、様々な光学素子は複屈折を有する。ある特定のそのような場合、位相差板 2 3 1 5、2 3 3 0、2 3 4 0 のうちの任意の 1 つ以上は、直線偏光を円偏光に変換するのに十分な量の位相差を含むことができ、1 / 4 波位相差板である必要はない

50

。位相差は他の光学素子によって寄与され得るため、 $1/4$ 波より多いまたは少ない位相差が位相差板 2315、2330、2340 のうちの任意の 1 つ以上に含まれてもよい。同様に、位相差は、いくつかの光学素子に分散させることができる。別の例として、複数の位相差板を採用して、適切な量の位相差を提供してもよい。また、上記で説明したように、いくつかの実装形態では、円偏光の代わりに楕円偏光を場合によっては使用することができる。例えば、楕円偏光を直線偏光に変換し、逆もまた同様に変換するために、位相差板が採用されてもよい。直線偏光子は、光をフィルタリングするために使用することができ、本明細書で説明されるようにゴースト反射を低減するために使用することができる。

【0167】

10

【0285】追加的に、光学構成要素は、光学層、シートおよび／または膜、ならびにスタックまたは 1 つ以上の層、シートおよび／または膜の形態であってもよい。したがって、異なる量、位置、および配置の異なる偏光素子を使用することができる。例えば、位相差板および／または偏光子のうちの 1 つ以上は、膜を含んでもよい。

【0168】

【0286】いくつかの実装形態では、空間光変調器は、異なって動作することができる。例えば、空間光変調器は、円偏光以外の光に対して動作してもよく、および／または円偏光以外の光を出力してもよい。

【0169】

20

【0287】回折導波路画像コンバイナは、AR 用途において、コンピュータ生成画像をユーザに伝達するための魅力的な手法である。これらの導波路は、画像含有光線の繰り返しの分割および外部結合を介して機能し、内部結合された光を広げて遠視野視認エリアを満たし、瞳エクスパンダとして作用する。本発明者らは、分割プロセスが本質的に光線の再結合をもたらす、これが起こると、光線が互いに干渉する機会が生じることを見出した。この干渉効果は、本発明の実施形態によって対処される強度不均一性をもたらす。本明細書で説明するように、導波路の厚さの小さな変化を介して導入されるような干渉光線の経路長の小さな差は、これらの不均一性のランダムな発生につながる。経路長差への意図的に制御されたバイアスの追加は、改善されたより再現可能な輝度均一性をもたらすことが示されている。このバイアスは、導波路内の主伝搬経路に対してある特定の方向に沿って配向された、導波路厚さの制御された変化の形態であり得る。この例には、光学的または物理的厚さのくさび状テーパ、光学的または物理的厚さの放物面変化などが含まれる。本明細書で説明されるように、本発明の実施形態は、様々な性能特性、特に変調伝達関数 (MTF)、画像鮮明度などの改善をもたらす。

30

【0170】

【0288】全厚さばらつき (TTV) は、光導波路の性能を改善するための 1 つのメトリックである。本明細書で使用される場合、TTV とは、概して、導波路または導波路が形成された導波路ディスプレイ基板の厚さの最大値と最小値との差を指す。光が、典型的には全内部反射によって光導波路を通して進むにつれて、厚さのばらつきが光伝搬経路 (複数可) を変化させる。光伝搬経路 (複数可) の角度差は、視野の歪み、画像のぼやけ、および鮮明さの損失によって画質に影響を及ぼす可能性がある。

40

【0171】

【0289】本明細書で説明されるいくつかの実施形態では、TTV は、光導波路の物理的厚さのばらつきによって達成される。しかしながら、本発明の実施形態は、基板の物理的厚さばらつきおよび光学的厚さばらつきに限定されず、物理的厚さばらつきおよび屈折率変化の組み合わせが、本発明の範囲内に含まれる。当業者には明らかなように、光路長は、光学的厚さばらつき = 物理的厚さばらつき + 屈折率変化によって表すことができる。ビームレットの分割および結合挙動を利用して干渉および輝度均一性を制御する用途では、光学的厚さばらつきが実装される。ほとんどの高品質光学ガラスでは、屈折率変化は通常小さい ($ISO\text{ NV} \pm 2 \times 10^{-5} \sim \pm 30 \times 10^{-5}$)。しかしながら、ポリマーおよびセラミックを含む他の材料は、そのような小さい屈折率変化を有さない。追加的に、

50

屈折率分布型材料を有する材料を使用して光導波路を製造して、任意の物理的厚さばらつきの代わりに光学的厚さばらつきを達成することができる。したがって、本明細書で提供される TTV の考察は、均一な屈折率を有する物理的厚さばらつき、変化する（すなわち、段階的）屈折率を有する均一な厚さ、または物理的厚さばらつきと変化する屈折率との組み合わせを含むことができる、より広いクラスの光学的厚さばらつきを含むと理解される。

【0172】

[0290] 導波路の準備および処理は、通常、導波路ディスプレイ基板（例えば、ウェハ）上の指定されたエリアにいくつかの導波路を配置することによって行われる。図 26A は、導波路 2602 の半径方向配置を有する導波路ディスプレイ基板 2600 を描示する。

10

【0173】

[0291] 図 26B は、本発明の一実施形態による、位置の関数としての導波路ディスプレイ基板の厚さを示すプロットである。図 26B において、導波路ディスプレイ基板の厚さは、図 26A に示される断面 A-A' に相当する。図 26B に示されるように、厚さはドーム形状によって特徴付けられ、ドームの半分が図に示されている。厚さは、導波路ディスプレイ基板の中心に相当する 0 mm から約 30 mm までの位置についてほぼ一定である。厚さは、約 30 mm ~ 70 mm の位置について厚さが減少することを特徴とし、導波路ディスプレイ基板の中心から縁部までの厚さのばらつきは、およそ $0.7 \mu\text{m} = 700 \text{ nm}$ となる。約 30 mm ~ 70 mm の位置では、厚さのばらつきは、断面 A-A' と整列した方向の関数として減少している。この厚さばらつきは、断面 A-A' と整列した方向に沿って勾配が測定される厚さ差勾配として定義することができる。光路長を考慮する場合、光路長差の勾配についても同様の説明が当てはまる。

20

【0174】

[0292] 図 26C は、本発明の一実施形態による、位置の関数としての導波路ディスプレイ基板の厚さを示すプロットである。図 26C において、導波路ディスプレイ基板の厚さは、図 26A に示される断面 B-B' に相当する。図 26C に示されるように、厚さは、位置の関数として実質的に均一であり、導波路の側部と比較して、導波路の中心で厚さのわずかな増加が観察される。

【0175】

[0293] 図 26A に示されるような導波路 2602 の半径方向配置に加えて、いくつかの実施形態は直線配置を利用する。図 26D は、導波路 2612、2614 などの直線配置を有する導波路ディスプレイ基板 2610 を描示する。したがって、実施形態は、図 26A に示されるような 4 つの導波路、6 つの導波路、または別の数の導波路と回転対称性を有する導波路レイアウト、ならびに半導体製造プロセスで通常利用される直線レイアウトを含む。

30

【0176】

[0294] 図 26D に示される直線レイアウトは、回転対称レイアウトを使用しては利用できない可能性がある光学 TTV バイアスに関していくつかの利点を提供する。図 26E は、本発明の一実施形態による、直線レイアウトを有する導波路ディスプレイ基板の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。一例として、直線レイアウトでは、一方向のくさび形を、導波路ディスプレイ基板の第 1 の側（すなわち、位置 A）の第 1 の厚さ t_1 および導波路ディスプレイ基板の第 2 の側（すなわち、位置 A'）の第 2 の厚さ t_2 から直線的に変化する厚さを伴って実装することができる。図 26E は、曲線 2620 によって線形のばらつきの場合の厚さばらつきを示す。したがって、導波路 2612 および導波路 2614 の両方は、位置が線 A-A' に沿って移動するにつれて減少する厚さを有する。導波路 2612 は導波路 2614 よりも大きい公称厚さを有するが、導波路ディスプレイ基板の厚さのばらつき（例えば、1 ミクロン未満ほど）は、導波路の全体の厚さ（すなわち、数百ミクロンほどである）と比較して十分に小さく、公称厚さのこの差は、種々の用途に許容可能である。

40

50

【0177】

[0295]線形のばらつきに加えて、二次ばらつき、他の滑らかなに変化するTTVなどを含む、厚さの他のばらつきを実装することができる。これらの実施形態は、光伝搬の方向をTTVばらつきに整列させるために利用することができる。図26Cは、曲線2622によって滑らかなばらつきについての厚さのばらつきを示す。したがって、いくつかの実施形態では、球のあるセクションが厚さばらつきを提供するために利用され、他の実施形態では、線形のばらつき、二次ばらつき、または他の適切なばらつきがTTVを実装するために利用され、導波路にわたる厚さにバイアスが生じる。

【0178】

[0296]図26Fは、導波路2632が線形配置された矩形導波路ディスプレイ基板2630を示す簡略化した概略図である。この例示的な実施形態では、導波路場のレイアウトおよび方向性に依存し得る厚さばらつきによって特徴付けることができるテーパ導波路アーキテクチャおよびバイアス厚さばらつきを利用するために、非円形形態が実装される。図26Fに示されるように、TTVは、基板2630にわたるくさび形厚さばらつきに特有であるように、図に含まれるプロットによって示されるように、側部2634から側部2636まで直線的に増加する。したがって、各導波路2632は、導波路の長さに沿って（すなわち、y軸に沿って）測定されるようなTTVによって特徴付けられる。図26Fには長方形の幾何学的形状が示されているが、正方形の形状を含む他の非円形の形状を利用することができる。さらに、図26Fには厚さの線形のばらつきが示されているが、滑らかなに変化する関数を使用してTTVを定義することができる。追加的に、導波路幅（すなわち、x軸に沿って）の関数として均一な厚さが図26Fに示されているが、他の実施形態では、長さおよび幅の両方に沿った厚さのばらつきが利用される。

【0179】

[0297]図26Gは、本発明の一実施形態による、局所的なTTVを有する導波路ディスプレイ基板を示す簡略化した概略図である。本発明の実施形態によって提供される全体的な基板のTTVに加えて、例えば、図26Fに示されるように、他の実施形態は、特定の導波路に対して局所的なTTVを利用する。一例として、個々の導波路に固有の局所的なくさび形またはテーパ形態は、基板内に傾斜した底部特徴部を有するセクションを形成する決定論的研磨プロセスによって実装することができる。したがって、図26Gは、特定の導波路に対応する特定の「キャビティ」を有する基板を示す。したがって、この実施形態では、導波路の厚さプロファイルを、導波路ディスプレイ基板の厚さから切り離す。

【0180】

[0298]図26Gを参照すると、長方形導波路ディスプレイ基板2640は、導波路2642の線形配置を含む。導波路2642の厚さは、y方向に測定して均一である。しかしながら、x方向に測定すると、各導波路の厚さは変化し、側部2634から側部2636に向かって直線的に減少する。このくさび形状は、各導波路に特有である。したがって、全体的な平一厚さプロファイルを有する導波路ディスプレイ基板2640を使用して、各々がくさび形状を有する局所的なTTVを有する複数の導波路2642が提供される。図26Gでは、導波路ごとの線形の厚さばらつきが示されているが、これは必須ではなく、滑らかなに変化する関数を含む他の形状を利用することができる。

【0181】

[0299]図26Gに関連して説明した局所的なTTVを形成するための決定論的研磨に加えて、成形プロセスなどを含む、局所的なTTVを実装する他の方法が本発明の範囲内に含まれる。局所的なTTVを作製する他の方法は、パターニングされた（マスクされた）膜堆積（有機、無機、気相真空、大気、またはナノインプリント）、基板へのパターニングされた（マスクされた）エッチング、屈折率、したがって光学的TTVの変化を作り出すための空間的に変化するイオン注入またはイオン拡散、逆TTVパターンを有するモールドを作製すること、およびそれを有するポリマーまたはガラスを成形すること、所望のTTVバイアスの局所的なエリアを作製することを含む。

【0182】

[0300] TTVは、平坦な導波路ディスプレイ基板（すなわち、TTVがゼロの導波路ディスプレイ基板）を、例えば、基板（例えば、金属、ガラスもしくはシリコン基板）を研磨することによって製造することによって、または基板（例えば、ポリマー基板）を高精度で元から成形することによって低減することができる。しかしながら、研磨は、導波路ディスプレイ基板およびその上に形成された結果として生じる導波路上に一定量の曲率を生成することができる。図27Aは、研磨された平坦な導波路ディスプレイ基板2700を描示する。図27Bおよび図27Cは、それぞれ、研磨された凸状導波路ディスプレイ基板2702および研磨された凹状導波路ディスプレイ基板2704を描示する。研磨は凸状または凹状の曲率をもたらすことができるが、本明細書で説明される実施形態は、図27Bに描示されるような凸状の曲率を参照して説明される。

10

【0183】

[0301] 図27Aに描示されるような完全に平坦な研磨または成形は、達成するために広範で費用のかかる処理を必要とするため、典型的にはある程度のTTVは許容される。導波路ディスプレイ基板のほとんどの低TTVプロセスでは（例えば、 $20\text{ nm} < \text{TTV} < 2\text{ }\mu\text{m}$ ）、部分ごとに（例えば、ランダムに）変化する基板の厚さ形状またはプロファイルが存在する。ここで、「厚さ形状」は、概して、基板の上部表面と底部表面との間の高さ差の3Dマッピングを指す。一例では、典型的な平凸レンズは、凸球面または正「ドーム」である厚さ形状を有する。別の例では、各表面上に同じ曲率半径を有するメニスカスレンズ（例えば、非処方サングラス）は、ゼロに近い平坦なTTV厚さ形状を有するが、各表面自体は平坦ではない。導波路がスタックされて多層多色導波路ディスプレイを形成すると、ランダムな厚さの形状の違いにより、赤、緑、および青の各色チャネルが異なる輝度均一性パターンを有することができる。輝度均一性パターンの違いにより、導波路スタックが均一な白色光画像で照明されたときに、視野にわたって色を変化させる可能性がある。これらの色の不均一性は、画質を低下させる可能性がある。

20

【0184】

[0302] 図27A～図27Cは、少なくとも1つの平面的な表面を有する導波路ディスプレイ基板を示しているが、本発明の実施形態は、平凸または平凹の幾何学的形状に限定されないことに留意されたい。図27Dは、一方の凸状表面と一方の凹状表面とを有する研磨されたメニスカス導波路ディスプレイ基板2706を描示する。図27Dに示される実施形態は正レンズであるが、凸状表面および凹状表面の曲率を変更すると負レンズになる場合もある。図27Eは、研磨された両凸導波路ディスプレイ基板2708を描示する。図27Fは、研磨された両凹導波路ディスプレイ基板2710を描示する。したがって、ビームレットの分割および結合中に経路長の制御された変更を実装するために、平面的な表面を含む導波路ディスプレイ基板を含む種々の導波路ディスプレイ基板を利用することができる。しかしながら、図27D～図27Fに示されるように、物理的厚さの変化、屈折率の変化、または両方の組み合わせ（すなわち、光学的厚さの変化）は、平面的な表面が利用されない導波路ディスプレイ構造を使用して達成することができる。

30

【0185】

[0303] 図28Aを参照すると、研磨された導波路ディスプレイ基板の湾曲部分の最高点から最低点として測定されたTTVを有する導波路ディスプレイ基板300が示されている。研磨された導波路ディスプレイ基板は、平面的な表面を有する必要はなく、両方の表面が曲率を呈することができることに留意されたい。図28Bに描示される、完全に平坦な導波路ディスプレイ基板302は、ゼロTTVを有する。

40

【0186】

[0304] 図28Cは、本発明の一実施形態による、接眼レンズ導波路のセットのTTVを描示する。図28Cを参照すると、接眼レンズ2810には、3つの接眼レンズ導波路のセット、すなわち、接眼レンズ導波路2820、第2の接眼レンズ導波路2830、および第3の接眼レンズ導波路2840が含まれている。いくつかの実施形態では、3つの接眼レンズ導波路は、それぞれ赤、緑、および青の波長の光を内部結合、伝搬、および外部結合するように設計されている。接眼レンズ導波路2820は、内部結合格子2822

50

と、ユーザに向かって光を外部結合する組み合わせされた瞳エクспанダ 2824 とを含む。第 2 の接眼レンズ導波路 2830 は、第 2 の内部結合格子 2832 と、ユーザに向かって光を外部結合する第 2 の組み合わせされた瞳エクспанダ 2834 とを含む。第 3 の接眼レンズ導波路 2840 は、第 3 の内部結合格子 2842 と、ユーザに向かって光を外部結合する第 3 の組み合わせされた瞳エクспанダ 2844 とを含む。いくつかの実施形態では、接眼レンズ導波路 2820、第 2 の接眼レンズ導波路 2830、および第 3 の接眼レンズ導波路 2840 は、接眼レンズ 2810 を形成するために単一の構造と一緒に積層される。各接眼レンズ導波路間のスペーサ（図示せず）を利用して、各接眼レンズ導波路間の固定関係を維持することができる。

【0187】

[0305] 図 28C に示されるように、長手方向軸（すなわち、z 軸）に沿って測定された厚さ、したがって光路長は、横寸法（すなわち、x 方向および y 方向）の関数として変化する。図示の実施形態では、各接眼レンズ導波路の光路長の変化は x 方向に沿って生じるが、これは本発明によって必要とされない。そのため、図 28C に示されるように、変化する光路長差は、3 つの接眼レンズ導波路の各々の第 1 の領域（例えば、内部結合格子 2822、内部結合格子 2832、および内部結合格子 2842 に隣接する内部結合格子領域）における第 1 の値から、3 つの接眼レンズ導波路の各々の第 2 の領域（例えば、組み合わせされた瞳エクспанダ 2824、第 2 の組み合わせされた瞳エクспанダ 2834、および第 3 の組み合わせされた瞳エクспанダ 2844 に隣接する組み合わせされた瞳エクспанダ領域）における第 2 の値まで変化する。

【0188】

[0306] 接眼レンズ内の各接眼レンズ導波路の光路長の変化は、各接眼レンズ導波路における変化が単一の方向に沿って変化する（例えば、減少する）ように整列させることができ、この単一の方向は、接眼レンズ内の全ての接眼レンズ導波路に共通であり得る。図 28C に示されるように、各接眼レンズ導波路は、x 軸と整列された横方向の関数として厚さが減少する。すなわち、厚さは、x 軸に沿った様々な点で測定が行われるにつれて減少する。その結果、x 軸は、変化に対応する方向と考えることができる。図 28C では、3 つの接眼レンズ導波路の各々の間で、変化に対応する方向は、共通であり、すなわち、共通の方向（すなわち、x 軸）であり、各接眼レンズ導波路の変化に対応する方向は、他の接眼レンズ導波路の各々における変化に対応する方向と平行である各接眼レンズ導波路における変化に対応する方向と整列されている。したがって、接眼レンズ 2810 に対応する光路長の組み合わせされた減少は、各接眼レンズ導波路に対応する光路長の減少の合計である。

【0189】

[0307] 図 28C を参照すると、内部結合格子に隣接する各接眼レンズ導波路の部分は、組み合わせされた瞳エクспанダに隣接する各接眼レンズ導波路の部分よりも厚い。このため、変化する光路長差は、3 つの接眼レンズ導波路の各々の第 1 の領域（すなわち、入力結合格子に対応する）における第 1 の値から、3 つの接眼レンズ導波路の各々の第 2 の領域（すなわち、組み合わせされた瞳エクспанダに対応する）における第 2 の値へと減少する。いくつかの実装形態では、内部結合格子は、接眼レンズの周辺領域付近に配設され、組み合わせされた瞳エクспанダは、接眼レンズの鼻領域付近に配設される。したがって、これらの実装形態では、接眼レンズの厚さは、周辺領域付近ではより厚くなり、鼻領域付近ではより薄くなる。

【0190】

[0308] 他の実施形態では、光路長差は、他の方法で、例えば、鼻領域付近でより厚く、かつ周辺領域付近でより薄い、組み合わせされた瞳エクспанダの領域でより厚く、かつ内部結合格子の領域でより薄い、これらの組み合わせ、などで減少する。したがって、これらの光路長差に勾配を有する種々の構造が本発明の範囲内に含まれ、本明細書で考察される例は、単なる例示である。当業者は、多くの変形、修正、および代替を認識するであろう。

【0191】

【0309】両眼用途では、右眼に関連する接眼レンズは、例えば、接眼レンズの鼻領域に対する位置の関数として光路長が減少する、すなわち、鼻領域付近よりも周辺での光路長がより短くなる、図28Cに示されるような光路長の変化を利用することができる。左眼に関連する接眼レンズは、鏡像構造を利用することができ、光路長はまた、右眼ではなく左眼に対して、接眼レンズの鼻領域に対する位置の関数として減少する。

【0192】

【0310】図28Dは、本発明の一実施形態による、拡張現実システムを示す簡略化した概略図である。拡張現実システム2850は、ユーザに適した拡張現実ヘッドセットとして実装することができる。拡張現実システム2850は、コントローラと、ユーザの左眼10に対応する要素の第1のセットと、ユーザの右眼に対応する要素の第2のセットとを含む。図28Dに示される実施形態では、要素の第1のセットは、左プロジェクタ2852と、左プロジェクタ光学系2854と、1つ以上の左接眼レンズ導波路2856とを含む。要素の第2のセットは、右プロジェクタ2852と、右プロジェクタ光学系2854と、1つ以上の右接眼レンズ導波路2856とを含む。各眼について、プロジェクタからの光は、プロジェクタ光学系を使用して、接眼レンズ導波路を含む接眼レンズ上に、例えば、接眼レンズ導波路の内部結合格子上に焦点合わせされる。本明細書で説明されるように、接眼レンズに関連する光路長変化のために、拡張現実システム2850によって提供される画質は、従来手法を使用して利用可能である画質よりも高い。

【0193】

【0311】拡張現実システムは、仮想コンテンツをユーザに提供するように動作することができる。したがって、図28Dに示される拡張現実システム2850を含む、本明細書で説明される拡張現実システムを動作させる方法は、本発明の範囲内に含まれる。これらの方法は、従来技法と比較してユーザ体験を改善するために、それらの横方向の寸法にわたって測定される光路長差によって特徴付けられる、本明細書で説明される接眼レンズおよび接眼レンズ導波路を利用することができる。

【0194】

【0312】図29は、最小厚さ X を有する導波路ディスプレイ基板400を描示する。すなわち、導波路ディスプレイ基板のいかなる部分も X よりも薄くはなく、任意の厚さ h が X に加えて厚さとして測定される。最大厚さは h であり、 TTV は数学的には Y であり、ここで $Y = h - X$ である。 TTV 仕様は、通常、最大許容 TTV (TTV_{max})として表され、製品仕様は、 TTV_{max} 未満の TTV (Y)を目標とする（すなわち、 $0 \leq Y < TTV_{max}$ ）。ここで、「超低 TTV 」導波路ディスプレイ基板とは、目標の TTV が0である（または、実用上可能な限りゼロに近い）導波路ディスプレイ基板を指す。研磨された導波路ディスプレイ基板は、平面的な表面を有する必要はなく、両方の表面が曲率を呈することができることに留意されたい。

【0195】

【0313】光学製品では、画質および均一性は、 TTV がゼロに近づくにつれて、研磨された導波路ディスプレイ基板の特定の形状またはプロファイルに敏感になり得る。一例では、20nmの TTV および40nmの TTV の導波路ディスプレイ基板上に製造された導波路の（均一性によって測定される）画質の比較差は、両方の対が20nmしか異ならないにもかかわらず、100nmの TTV 基板および120nmの導波路ディスプレイ基板上に製造された導波路の比較品質よりもはるかに高くなり得る。言い換えれば、100nmの TTV 導波路および120nmの導波路は、20nmの TTV 導波路および40nmの TTV 導波路よりも同様に均一な画像をもたらすことができる（前者の対は後者の対と比較してよりドーム形状である）。したがって、100nmの TTV 導波路および120nmの TTV 導波路は、製品ラインにわたってより低い画像変化およびより一貫した画像均一性を生成することができる。

【0196】

【0314】非平坦な導波路ディスプレイ基板上に製造された導波路内の光伝搬経路（複数

10

20

30

40

50

可)の経路長差もまた、輝度パターンの不均一性および色の不均一性を伴って画質に影響を及ぼし得る。輝度パターンの不均一性の原因は、腫複製導波路ディスプレイ基板を通る多数の経路によって生成される電磁干渉パターンを含む。典型的な腫複製導波路のユニットセルは、マッハツェンダー干渉計に似ており、この場合、入力から出力複製腫位置までユニットセル当たり2つの経路が存在する。2つの経路間の経路長差は、TTVメトリックおよび厚さプロファイルによって定義される、導波路ディスプレイ基板の厚さを通る経路長によって影響される(厚さが直線的または二次的に変化するかどうか、および導波路ディスプレイ内の全内部反射における光に対してある角度で)。経路長が等しいまたは反対の位相を有する場合、それぞれ建設的または相殺的干渉が存在し得る。したがって、厚さ形状は、腫複製コピー内の大きさ、および最終的に、導波路ディスプレイによって外部結合される出力画像に影響を及ぼし得る。

10

【0197】

[0315]したがって、厚さ形状のばらつきおよびTTVを最小限に抑えることが有利であり得る。研磨または成形プロセスでは完全な複製が達成されない可能性があるため、ある特定の製造分布が生じる可能性がある。仮想分布モデルでは、ゼルニケ多項式によって定義された円形基板形状を用いて、形状基底関数の標準セットを定義することができる。偶数および奇数のゼルニケ多項式が存在する。偶数のものは以下のように定義され、

$$Z_n^m(\rho, \psi) = R_n^m(\rho) \cos(m\psi)$$

奇数のものは以下のように定義され、

$$Z_n^{-m}(\rho, \psi) = R_n^m(\rho) \sin(m\psi),$$

20

式中、 m および n は $n \geq m$ の非負整数であり、 ψ は方位角であり、 ρ は半径方向距離であり、 R_n^m は以下に定義される半径方向多項式である。ゼルニケ多項式は、 $-1 \sim +1$ の範囲に限定されるという性質を有する。すなわち、半径方向多項式 R_n^m は、 $n-m$ 偶数の場合は以下のように定義され、

【数1】

$$R_n^m(\rho) = \sum_{k=0}^{\frac{n-m}{2}} \frac{(-1)^k (n-k)!}{k! \left(\frac{n+m}{2} - k\right)! \left(\frac{n-m}{2} - k\right)!} \rho^{n-2k}$$

30

$n-m$ 奇数の場合は同じく0である。

【0198】

[0316]画質、特に輝度均一性は、TTVがゼロに近づくにつれて厚さ形状に対して非線形に敏感である。言い換えれば、TTVがある特定の閾値未満に減少すると、厚さ形状のわずかな変化さえも示す導波路間で画質がますます変化する。この異常を補償するために、一貫した厚さ形状を有するバイアスされたTTVを基板処理に組み込むことができる。本明細書で使用される場合、「バイアスされた」TTVは、概して、非ゼロ目標を有するTTVを指す。より具体的には、「バイアスされた」TTVは、概して、非ゼロ目標を有するゼルニケ適合多項式の1つ以上の係数、およびゼロ目標を有するゼルニケ適合多項式の残りの全ての係数を有する基板厚さ形状を指す。複数の導波路ディスプレイ基板内の厚さ形状の一貫性は、概して、ゼルニケ適合多項式の係数の変化が小さい複数の導波路ディスプレイ基板を指す。「バイアスされた」TTVの場合、厚さ形状の一貫性とは、(i)それらの目標の大きさからの変化が最小である全ての非ゼロ目標のゼルニケ係数、例えば、全ての導波路ディスプレイ基板の非ゼロ目標の係数がそれらの目標の大きさの約70%~約130%であること、および(ii)非ゼロ目標のゼルニケ係数よりも実質的に小さい絶対的な大きさを有する全てのゼロ目標のゼルニケ係数、例えば、ゼロ目標の係数が非ゼロ目標の係数の0~約30%であることを指す。

40

【0199】

[0317]バイアスされたTTVおよび一貫した基板厚さ形状の例は、基板研磨(または

50

成形) プロセスの典型的な最小 TTV 範囲よりも何倍も大きい TTV を有する球形に実質的に研磨 (または成形) された基板である。この基板形状は、くさび形 (厚さの線形変化) およびドーム形 (厚さの二次変化) 構成要素を有すると説明することができる。図 30 は、高さ W を有するくさび形構成要素 3002 と、高さ D を有するドーム形構成要素 504 と、平坦な表面 3008 を有し、厚さ t および直径 d を有する円筒形構成要素 3006 とを有する導波路ディスプレイ基板 3000 を描示する。ゼルニケ適合多項式を使用して、導波路ディスプレイ基板の平均厚さは Z_0^0 であり、TTV の「くさび形」構成要素の高さは、 $\sqrt{Z_1^{-1} + Z_1^1}$ と定義することができ、TTV の凸状の「ドーム形」構成要素の高さは、 $-2 \times Z_2^0$ と定義することができる。導波路ディスプレイ基板の平均厚さは、通常、 $200 \mu\text{m} \sim 2000 \mu\text{m}$ である。「ドーム形」バイアス TTV を生成する基板研磨または成形プロセスでは、導波路ディスプレイ基板は、基板直径の $10^{-7} \sim 10^{-6}$ の範囲内の目標「ドーム」高さ D_t を有することができ、各基板は、目標「ドーム」高さの 30% 未満の「ドーム」高さおよび目標「ドーム」高さの 30% 未満の「くさび」高さを有することができる。一例では、直径が 150 nm であり、平均「ドーム」(D_{mean}) 高さが 1000 nm であり、「ドーム」高さの範囲 ($D_{\text{min}} \sim D_{\text{max}}$) が $700 \text{ nm} \sim 1300 \text{ nm}$ であり、最大「くさび」高さ (W_{max}) が 300 nm 未満である複数の導波路ディスプレイ基板は、 $0 \sim 300 \text{ nm}$ の範囲内の「ドーム」および「くさび」高さを有するゼロに近い目標 TTV を有する複数の導波路ディスプレイ基板と比較して、効率、輝度均一性および色均一性が向上し、効率、輝度均一性、および色均一性の部分間変動が低減される。図 26 の半径方向ディスプレイレイアウトおよびドーム形にバイアスされた一貫した形状の半径方向に对称な基板厚さプロファイルにおいて、導波路ディスプレイ入力結合器から出力結合器への一貫した厚さ変化は、単一の基板上ならびに基板から基板へ配置された多数の部品間で達成することができる。一貫した厚さ形状のそのような配置は、従来の導波路ディスプレイで使用されるランダムな厚さ形状を有する典型的な超低 TTV と比較して、改善された色均一性および画質を示す。

10

20

30

40

50

【0200】

【0318】一貫した形状を有するバイアスされた TTV は、多くの方法で導波路ディスプレイ基板に適用することができる。ガラスまたは結晶基板の場合、これは、バイアスされた形状に研磨することによって、または (一貫した形状および大きさの) 不均一な厚さを有するコーティングを、小さいがランダムな厚さ形状のばらつきを伴う超低 TTV 導波路ディスプレイ基板に適用することによって適用することができる。成形可能なポリマー材料の場合、バイアスされた厚さプロファイルは、導波路ディスプレイ基板を製造するモールド内に設計することができる。

【0201】

【0319】図 31A ~ 図 31C は、超低 TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す。これらの超低 TTV 導波路ディスプレイ基板では、ドーム高さおよびくさび高さの大きさは、通常は互いに同様である。また、ドーム高さのばらつきの範囲は、ドーム高さの平均と大きさが同様である。図 31D ~ 図 31F は、バイアスされた TTV 導波路ディスプレイ基板の導波路ディスプレイ基板収率対 TTV、ドーム高さ、およびくさび高さを示す。これらのバイアスされた TTV 導波路ディスプレイ基板では、ドーム高さの大きさは、くさび高さの大きさよりも大きく、ドーム高さのばらつきは、平均ドーム高さよりも小さい。図 31D ~ 図 31F は、特定の値を参照せずにバイアスされた関係を表す。バイアスされた TTV 公差の仕様は、以下のように表すことができる。

$$W_{\text{max}} / D_{\text{mean}} < X$$

$$(D_{\text{mean}} - D_{\text{min}}) / D_{\text{mean}} < Y$$

$$(D_{\text{max}} - D_{\text{mean}}) / D_{\text{mean}} < Z$$

【0202】

【0320】これらの関係の場合、X、Y、および Z は、通常、異なる基板研磨または成形プロセスの間で $0 \sim 10$ の範囲である。図 31A ~ 図 31C は、図 31D ~ 図 31F に示

される導波路ディスプレイ基板のセットよりも高い X 、 Y 、および Z の値をもたらす導波路ディスプレイ基板のセットを示す。 X 、 Y 、および Z がゼロに近づくにつれて、 TTV 自体がゼロに近づくのとは対照的に、多数の導波路ディスプレイ基板の多数のサブセクション上に製造された複数の導波路の全体的な効率が増加し、変動も少なくなる。また、 X 、 Y 、および Z がゼロに近づくにつれて、得られる導波路間の輝度均一性および色均一性も増加し、変動が少なくなる。典型的な基板研磨または成形プロセスでは、目標 TTV_{max} がゼロに近づくにつれて、 X 、 Y 、および Z が増加する。超低 TTV 導波路ディスプレイ基板は、通常、 $1 \sim 10$ の範囲の X 、 Y 、および Z を有し、バイアスされた TTV 導波路ディスプレイ基板は、 $0 \sim 0.3$ の範囲の X 、 Y 、および Z を有するため、バイアスされた（または非ゼロ目標） TTV は、導波路ディスプレイ画質の改善に寄与することができる。

10

【0203】

【0321】図32Aは、 $300 \mu m$ の平均厚さおよび $0 nm$ の「くさび」 TTV を有する典型的な回折導波路ディスプレイについての、導波路アイボックス効率対6インチウェハ上の球面導波路ディスプレイ基板形状の「ドーム」 $TTV (nm)$ を示す。図32Aに見られるように、アイボックス効率は、 $400 nm$ の TTV と $600 nm$ の TTV との間で最大である。ここで、導波路アイボックス効率とは、典型的な回折導波路シミュレーションによって計算された、導波路ディスプレイの入力結合格子に入射する光の和に対する、回折導波路ディスプレイの出力格子の眼側から $15 mm^2$ 離れた $15 \times 20 mm^2$ の長方形エリアに入射する光の和を指す。

20

【0204】

【0322】図32Bは、 $300 \mu m$ の平均厚さを有する典型的な回折導波路ディスプレイについての、導波路アイボックス効率対6インチウェハ上の球面導波路ディスプレイ基板形状の「ドーム」 $TTV (\mu m)$ を示す。 TTV は、ウェハの中心からウェハの縁部まで測定される。図32Bでは、 TTV が $0 \mu m \sim 約 0.6 \mu m$ に増加するにつれて瞳効率が増加する。したがって、導波路は、平坦である場合、 $0 \mu m$ の TTV に対応する約 0.0023 の瞳効率を有する。したがって、約 $0.6 \mu m$ の TTV で、瞳効率は最大である。図32Bに示されるように、瞳効率が許容可能な範囲（例えば、 0.003 より大きい）は、接眼レンズ導波路の設計の関数である。したがって、本発明の実施形態によれば、広範囲の TTV 値を利用することができる。

30

【0205】

【0323】図32Cは、 $300 \mu m$ の平均厚さを有する別の回折導波路ディスプレイについての、導波路アイボックス効率対6インチウェハ上の球面導波路ディスプレイ基板形状の「ドーム」 $TTV (\mu m)$ を示す。図32Cにおいて、回折導波路ディスプレイは、二次元格子設計を利用する。この場合、瞳効率は、約 $0.4 \mu m$ の TTV で約 0.001 に増加し、広範囲の TTV 値でこの効率のままである。したがって、所望の TTV 値は、格子設計の関数とすることができ、本発明の実施形態は、 TTV の許容可能な値の範囲を提供する。

【0206】

【0324】本発明者らは、複数の（例えば、3つの）層が同様の TTV プロファイルを有する場合、複数の接眼レンズ導波路層（例えば、3つの別個の層）から作製された接眼レンズスタックの色均一性を改善することができることを見出した。図32A～図32Cに示されるものと同様に、 TTV が増加するにつれて瞳効率が増加し、 TTV ばらつきがある値まで増加するにつれて色均一性も改善する。本発明の範囲を限定するものではないが、本発明者らは、この色均一性の向上は、各層の均一性パターンが互いの層で類似するほど、3つの層全てから作られた組み合わせられた画像の色がより類似するためであると考えている。本発明者らは、色均一性RMS誤差が、接眼レンズを製造するために使用されるウェハの TTV の球面成分の関数としてプロットされたとき、 TTV が増加するにつれて減少することを実証した。この色均一性の改善は、各接眼レンズ導波路層の発光均一性パターンが類似しているためである可能性が高い。したがって、 TTV が増加し、複数の接

40

50

眼レンズ導波路層間で一致するにつれて、色均一性誤差が低減される。

【0207】

[0325] 追加的に、本発明者らはまた、色均一性に加えて、TTVの使用が画像の均一性を改善することができることを見出した。画像強度の低空間周波数変化の尺度を使用して、本発明者らは、TTVの導入が、平坦な接眼レンズ導波路層と比較して、低空間周波数変化の著しい低減をもたらすことを見出した。この変動の減少により、画像均一性が改善される。したがって、TTVの値が低い接眼レンズ導波路は、TTVの値が高い（例えば、 $0.5\ \mu\text{m}$ の範囲のTTV）接眼レンズ導波路と比較して、ピクセル間の均一性が高いことを特徴としていた。

【0208】

[0326] 本発明の実施形態によれば、光学的厚さのばらつきを伴う接眼レンズ導波路に関する方法およびシステムが提供される。全厚さばらつきは、屈折率の変化および／または物理的厚さのばらつきから生じることができ、基板にわたる全厚さばらつき（TTV）として、または基板内の複数のエリアにおける局所的な厚さばらつき（LTV）として実装することができる。本明細書で説明されるように、接眼レンズ導波路の画像および色均一性を改善することができるTTVまたはLTVのいずれかは、基板の少なくとも片面または両面に配設することができる少なくとも1つ以上の薄膜コーティングを使用することによって実装することができる。本明細書で膜と称される薄膜コーティングは、基板、例えば、約1.42～約2.0の範囲の屈折率を有する酸化窒化ケイ素（ $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ ）の屈折率と同様の屈折率を有することができる。追加的に、 ZnO 、 ZrO_2 、 TiO_2 、 SiC などの膜を利用して、約2.0～約2.7の範囲の屈折率値を達成することができる。そのような無機膜は、蒸発、スパッタリングなどの物理気相成長法（PVD）、および／または低圧プラズマ増強CVD（LPPECVD）、大気圧プラズマ増強CVD（APPECVD）、原子層堆積（ALD）などの化学気相成長法（CVD）を使用して堆積させることができる。薄膜コーティングはまた、有機ポリマーからなることができ、これは、このポリマーベースの膜の屈折率を1.7～2.0の屈折率の範囲に変更することができる、より高い屈折率の無機ナノ粒子（ ZrO_2 、 TiO_2 ）を含有し得る。いくつかの実装形態では、ベースポリマー材料は、エポキシビニルエステルなどの樹脂材料を含むことができる。樹脂は、硫黄に加えてモノマー中に芳香族分子を含むまたは含まない、ビニルモノマー（例えば、メチルメタクリレート）および／または二官能性もしくは三官能性ビニルモノマー（例えば、ジアクリレート、トリアクリレート、ジメタクリレートなど）を含むことができる。いくつかの実装形態では、ベースポリマー材料は、およそ1.5～1.75の範囲の屈折率を有することができる。いくつかの実装形態では、ベース材料は、紫外線および／または熱を使用して硬化させることができる環状脂肪族エポキシ含有樹脂を含むことができる。さらに、ベースポリマー材料は、周囲条件での効率的な紫外線硬化を促進するために、紫外線カチオン性光開始剤および共反応物を含むことができる。プレポリマー複合樹脂は、粒子の凝集を防止し、複合樹脂溶液中の均一な粒子分散性を維持するための機能性表面を有するナノ粒子（例えば、 ZrO_2 、 TiO_2 ）を有することができ、これは、コーティングおよび硬化されると、ベース基板の現在の修正されたTTV内で全内部反射を受ける光の散乱損失を改善するのに役立つ。これらのポリマー樹脂は、インクジェット分注、スピンコーティング、スロットダイコーティング、グラビアコーティングなどを使用して堆積させることができる。これらの薄膜は、 SiO_2 （ $n=1.42$ ）、バリウムフリント（例えば、 BaF ）（ $n=1.58$ ）、ランタンフリント（例えば、 LaF ）（ $n=1.75$ ）、タンタルフリント（例えば、 TaF ）（ $n=1.77$ ）、緻密タンタルフリント（例えば、 TAFD55 ）（ $n=2.0$ ）、 LiNbO_3 （ $n=2.25$ ）、または SiC （ $n=2.65$ ）から作製された基板と共に使用することができる。いくつかの実施形態では、膜は、例えば、反応性イオンエッチング（RIE）、誘導結合プラズマ増強RIE（RIE-ICP）、またはイオンビームエッチング（IBE）のようなドライエッチング法を使用して、図33に示されるものと同様の方法で成形することができる。

10

20

30

40

50

【0209】

【0327】図33は、本発明の一実施形態による、逆ドーム厚さばらつきを形成する際に使用されるプロセスフローを示す簡略化した概略図である。研磨によって逆ドーム厚さばらつきを形成する方法に加えて、図33は、ユーザの眼に向かって外部結合される仮想画像がより均一であり、意図された視野を満たすように内部で光伝搬を強化するために、同様の屈折率の導波路基板の少なくとも一方の側に、本明細書で説明される様々な方法によって形成することができると共に、色均一性の改善によって特徴付けられる、少なくとも1つの薄膜コーティングを利用する方法のセットを示す。

【0210】

【0328】図33を参照すると、基板3305、例えば屈折率1.9を有するガラス基板が、基板3305の屈折率と実質的に一致する屈折率を有する薄膜3307、典型的には窒化ケイ素 (Si_3N_4) の堆積膜でコーティングされる。この例では、両方とも均一な厚さプロファイルを有する薄膜3307および基板3305は、したがって、均一な厚さプロファイルを有する基板構造3311を形成する。基板構造3311は、選択的エッチングを使用してエッチングされて様々な厚さの膜3308を形成することができ、結果としてTTVを有する基板構造3313が得られる。基板構造3313は、基板構造の中心よりも周囲において厚い逆ドームプロファイルを有する。薄膜が基板に屈折率が一致する実施形態では、基板構造は、TTVを有する基板と光学的に等価である。典型的な実装形態では、基板3305は350 μm ほどの厚さを有し、様々な厚さの膜3308は1 μm ほどの厚さを有し、TTVは300 nm～600 nmの範囲内にある。

【0211】

【0329】任意選択的なプロセス3330において、基板構造3313は、第2の側3315が処理されて両面構造を形成することができ、例えば、TTVは、第2の側3315上に製造される追加的な様々な厚さの膜（図示せず）のTTVと組み合わせられた様々な厚さの膜3308のTTVによって規定される。任意選択的なプロセス3330における任意選択的な両面処理の後、プロセス3332を利用して、様々な厚さの膜3308、第2の側3315、および／または第2の側3315上に製造することができる追加的な様々な厚さの膜（図示せず）に回折パターンをインプリントすることができる。密着焼き付けまたはフォトリソグラフィプロセスのいずれかを利用することができる。インプリント後、エッチングおよび／または堆積プロセスを利用して、インプリント、残膜厚 (RLT)、それらの組み合わせなどによって画定される厚さのグラデーションを生成することができる。

【0212】

【0330】代替として、様々な厚さの膜3320を基板3305上に堆積させて、TTVを有する基板構造3322を生成することができる。様々な厚さの膜3320を均一にエッチングして、様々な厚さの膜3308を製造することができるか、または任意選択的なプロセス3330における任意選択的な両面処理に進むことができる。したがって、例えば、様々な厚さの膜3308によって示されるような様々な厚さの膜を形成するためにエッチングプロセスを利用する実施形態、および、例えば、様々な厚さの膜3320によって示されるような様々な厚さの膜を形成するために堆積プロセスを利用する実施形態は、本発明の範囲内に含まれる。

【0213】

【0331】本発明者らは、図33に示される逆ドームプロファイルが、ウェハ研磨を使用して達成することが困難であることを見出した。したがって、本発明の実施形態は、薄膜堆積／エッチングを使用して、従来のウェハ研磨技法を使用しては容易に達成されない構造を製造することを可能にする。基板3305は均一な厚さを有するものとして示されているが、第1のTTVを有する基板を第2のTTVを有する膜と共に利用して、所定の厚さプロファイルに等しい組み合わせられたTTVを有するコーティング基板を製造することができることに留意されたい。したがって、本発明の実施形態は、所定のTTVを有する基板に限定されず、TTVの概念をTTVを有する膜の使用に広げ、それによってウェハ

研磨技法とは独立した実装を可能にする。

【0214】

[0332]図34は、本発明の一実施形態による、逆ドーム厚さばらつきを形成する際に使用されるプロセスフローを示す簡略化した概略図である。図34に示されるプロセスおよび構造は、図33に示されるプロセスおよび構造と共通の要素を共有するが、図33に示される逆ドーム厚さばらつきではなくドーム厚さばらつきを生成する。

【0215】

[0333]図34を参照すると、基板3405、例えば屈折率1.9を有するガラス基板が、基板3405の屈折率と実質的に一致する屈折率を有する薄膜3407、典型的には窒化ケイ素 (Si_3N_4) の堆積膜でコーティングされる。この例では、両方とも均一な厚さプロファイルを有する薄膜3407および基板3405は、したがって、均一な厚さプロファイルを有する基板構造3411を形成する。基板構造3411は、選択的エッチングを使用してエッチングされて様々な厚さの膜3408を形成することができ、結果としてTTVを有する基板構造3413が得られる。基板構造3413は、基板構造の周囲よりも中心において厚いドームプロファイルを有する。薄膜が基板に屈折率が一致する実施形態では、基板構造は、TTVを有する基板と光学的に等価である。典型的な実装形態では、基板3405は350 μm ほどの厚さを有し、様々な厚さの膜3408は1 μm ほどの厚さを有し、TTVは300 nm~600 nmの範囲内にある。

【0216】

[0334]任意選択的なプロセス3430において、基板構造3413は、第2の側3415が処理されて両面構造を形成することができ、例えば、TTVは、第2の側3415上に製造される追加的な様々な厚さの膜（図示せず）のTTVと組み合わせられた様々な厚さの膜3408のTTVによって規定される。任意選択的なプロセス3430における任意選択的な両面処理の後、プロセス3432を利用して、様々な厚さの膜3408、第2の側3415、および／または第2の側3415上に製造することができる追加的な様々な厚さの膜（図示せず）に回折パターンをインプリントすることができる。密着焼き付けまたはフォトリソグラフィプロセスのいずれかを利用することができる。インプリント後、エッチングおよび／または堆積プロセスを利用して、インプリント、残膜厚 (RLT)、それらの組み合わせなどによって画定される厚さのグラデーションを生成することができる。

【0217】

[0335]代替として、様々な厚さの膜3420を基板3405上に堆積させて、TTVを有する基板構造3422を生成することができる。様々な厚さの膜3420を均一にエッチングして、様々な厚さの膜3408を製造することができるか、または任意選択的なプロセス3430における任意選択的な両面処理に進むことができる。したがって、例えば、様々な厚さの膜3408によって示されるような様々な厚さの膜を形成するためにエッチングプロセスを利用する実施形態、および、例えば、様々な厚さの膜3420によって示されるような様々な厚さの膜を形成するために堆積プロセスを利用する実施形態は、本発明の範囲内に含まれる。

【0218】

[0336]本明細書で考察されるLT VおよびTT Vは、堆積またはエッチング中のプラズマ密度を制御するステンシルを使用して実装することができる。プラズマ増強化学気相成長 (PECVD) などのプラズマ増強堆積技法を使用して、TTVを有する膜を製造することができる。追加的に、蒸着、スパッタリングなどに依存する均一な膜コーティング技法（例えば、物理蒸着 (PVD)、化学蒸着 (CVD)、PECVDなどを使用する）を利用して、均一な膜を形成し、次いで、特定のエッチングパターンを画定し、基板上に所望のLT V / TT Vプロファイルをもたらす任意選択的なステンシル制御エッチングプロセス、例えばプラズマエッチングが続くことができる。次いで、コーティングまたはエッチングされたプロファイルは、インプリントリソグラフィまたはフォトリソグラフィを使用してパターン化されて回折パターンを形成することができ、これに続いて、コーティ

ング、追加的なコーティング、またはパターンの下のコーティングに回折パターンを画定するエッチングまたは堆積ステップが行われても行われなくてもよい。

【0219】

【0337】図35A～図35Bは、本発明の様々な実施形態による、シャワーヘッド設計を示す簡略化した断面図である。図35Aを参照すると、堆積プロセス中に利用することができる複数のアパーチャ3512を有するシャワーヘッド3510が提供されている。複数のアパーチャ3512は、シャワーヘッド3510の周囲に隣接して配設されているが、シャワーヘッド3510の中心には配設されていない。複数のアパーチャ3512の間隔は、横方向位置の関数として変化し得る。周辺付近の堆積速度と比較して、シャワーヘッドの中心付近のプラズマ密度および結果として生じる堆積速度を低減させる、図35Aに示されるようなシャワーヘッドを使用して、逆ドームプロファイルを、図33に示される様々な厚さの膜3320に関連するプロファイルと同様に達成することができる。

10

【0220】

【0338】図35Bを参照すると、堆積プロセス中に利用することができる複数のアパーチャ3522を有するシャワーヘッド3520が提供されている。複数のアパーチャ3522は、シャワーヘッド3520の中心に隣接して配設されているが、シャワーヘッド3520の周辺には配設されていない。複数のアパーチャ3522の間隔は、横方向位置の関数として変化し得る。中心付近の堆積速度と比較して、シャワーヘッドの周辺付近のプラズマ密度および結果として生じる堆積速度を低減させる、図35Bに示されるようなシャワーヘッドを使用して、ドームプロファイルを、図34に示される様々な厚さの膜3420に関連するプロファイルと同様に達成することができる。

20

【0221】

【0339】図35Cは、本発明の一実施形態による、エッチングマスクを示す簡略化した概略図である。図35Cを参照すると、エッチングプロセス中に利用することができる様々なサイズを有する複数のアパーチャ3532を有するエッチングマスク3530が提供される。複数のアパーチャ3532は、エッチングマスク3530の面を横切って配設されており、アパーチャのサイズは、エッチングマスク3530の周辺に隣接する小さい寸法からエッチングマスク3530の中心に隣接する大きい寸法まで変化する。複数のアパーチャ3532の間隔はまた、横方向位置の関数として変化し得る。中心付近のエッチング速度と比較してエッチングマスクの周辺付近のエッチング速度を低減させる図35Cに示されるようなエッチングマスクを使用して、逆ドームプロファイルを、図33に示される様々な厚さの膜3320に関連するプロファイルと同様に達成することができる。いくつかの実施形態では、エッチングマスクの部分にアパーチャがなく、これらの部分のエッチング速度を例えばゼロに低減する。シャドウマスクならびに可変密度プラズマ堆積およびエッチングに関する追加的な説明は、2020年1月7日に発行された米国特許第10,527,865号に提供されており、その開示は、あらゆる目的のためにその全体が参照により本明細書に援用される。

30

【0222】

【0340】したがって、本発明の実施形態を使用して、例えば、PECVDおよび修正したプラズマシャワーヘッドを使用して1つ以上の薄膜を堆積させて、ある特定のゾーンにおける反応および反応種の密度を増加させるか、または反応／反応種の密度を減少させることができる。したがって、ドーム形状または逆ドーム形状を有する薄膜（例えば、 Si_3N_4 膜）を基板上に製造する能力は、本発明の実施形態によって提供される。堆積プロセス中、前駆体は、所定の屈折率の膜を形成するように選択することができる。一例として、酸素含有量を変化させることにより、1.45（すなわち、 SiO_2 ）～約2.0（ Si_3N_4 ）の範囲の屈折率を有する酸窒化ケイ素を成長させることができる。

40

【0223】

【0341】図36Aは、本発明の一実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。図36Aに示されるように、堆積および／またはエッチングプロセスは、基板エリア全体を覆うTTVを生成するように制御される。図36Fに関連してより完

50

全に考察されるように、厚さばらつきは、基板の部分またはエリアのみを覆うことができ、その結果、基板の特定のエリアで何度も繰り返すことができる L T V が得られる。図 3 6 A を参照すると、基板 3 6 1 0 にわたる厚さばらつきが説明文によって示されており、これは、基板の周辺付近の約 0 n m から基板の中心の約 5 0 0 n m までの範囲の厚さばらつきを示す。したがって、この図では、ドーム形状のプロファイルが示されている。

【 0 2 2 4 】

【 0 3 4 2 】図 3 6 B は、本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。この片面の厚さばらつきは、図 3 6 A に示されるドーム形状のプロファイルを達成するために実装することができ、周辺から中心まで約 5 0 0 n m のばらつきを伴う。図 3 6 B において、基板 3 6 2 0 は均一な厚さの基板であり、膜 3 6 2 2 は横方向位置の関数として厚さが増加する。

10

【 0 2 2 5 】

【 0 3 4 3 】図 3 6 C は、本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。この両面の厚さばらつきは、図 3 6 A に示されるドーム形状のプロファイルを達成するために実装することができ、基板の第 1 の面では周辺から中心まで約 2 5 0 n m のばらつきであり、基板の第 2 の面では周辺から中心まで約 2 5 0 n m のばらつきである。図 3 6 C において、基板 3 6 3 0 は均一な厚さの基板であり、膜 3 6 3 2 および膜 3 6 3 4 は横方向位置の関数として厚さが増加する。膜 3 6 3 2 および膜 3 6 3 4 は、図 3 6 C では一致するものとして示されているが、これは必須ではなく、異なる厚さプロファイルを有することができ、例えば、膜 3 6 3 2 は周辺から中心まで約 1 0 0 n m 増加し、膜 3 6 3 4 は周辺から中心まで約 4 0 0 n m 増加する。当業者は、多くの変形、修正、および代替を認識するであろう。

20

【 0 2 2 6 】

【 0 3 4 4 】図 3 6 D は、本発明の一実施形態による、様々な高さのナノ特徴部を示す簡略化した概略図である。図 3 6 D に示されるように、膜 3 6 2 2 の厚さは、横方向寸法の関数として増加する。図 3 6 A および図 3 6 B に関連して考察したように、厚さばらつきは 3 5 0 n m ほどであり得る。図 3 6 D を参照すると、膜 3 6 2 2 に形成されるナノ特徴部 3 6 4 0 の高さは、横方向寸法の関数として、例えば、増加する高さの膜または基板にわたって 1 0 0 n m ほど（すなわち、左側のナノ特徴部によって示されている）から約 0 n m（すなわち、右側のナノ特徴部によって示されている）まで増加し得る。これらの増加する高さのナノ特徴部は、例えば、密着焼き付けを使用してインプリントすることができ、フォトリソグラフィを使用して形成することができ、エッチングすることができ、または上記で考察したように同様に高さが増加する膜 3 6 2 2 に別様に形成することができる。

30

【 0 2 2 7 】

【 0 3 4 5 】図 3 6 E は、本発明の一実施形態による、単一の高さのナノ特徴部を示す簡略化した概略図である。図 3 6 F に示される実施形態では、膜 3 6 2 2 は、横方向位置の関数として均一な高さを有するナノ特徴部 3 6 5 0 を含む。これらの均一な高さのナノ特徴部は、インプリント、エッチング、または上記で考察したように高さが増加する膜 3 6 2 2 に別様に形成することができる。

40

【 0 2 2 8 】

【 0 3 4 6 】図 3 6 F は、本発明の別の実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。図 3 6 F において、基板 3 6 6 0 の 6 つの領域 3 6 6 1、3 6 6 2、3 6 6 3、3 6 6 4、3 6 6 5、および 3 6 6 6 は、局所的な厚さばらつき（L T V）によって特徴付けられる。基板全体にわたる単一の高さばらつきではなく、6 つの領域の各々は、図 3 6 A に示される基板 3 6 1 0 の高さばらつき特性によって特徴付けられる。ステンスルまたは他のマスキングパターンを使用して、各々が接眼レンズ素子に対応することができる 6 つの領域を画定することができる。これにより、図 3 6 F に示されるように、高さばらつきの調整を実装することができる。L T V を有する 6 つの領域が示されているが、より少数の領域またはより多数の領域を利用することができることが認識されよう

50

。当業者は、多くの変形、修正、および代替を認識するであろう。

【0229】

[0347]図36Gは、本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。図36Fの断面A-A'に対応する断面を示す図36Gは、領域3662および3665を示し、これらは、各領域の外縁部から内縁部まで約500nmのばらつきを伴う、テーパ状プロファイルを達成するために実装された片面の厚さばらつきによって特徴付けられる。図36Gにおいて、基板3660は均一な厚さの基板であり、膜3668および膜3669は横方向位置の関数として厚さが変化する。

【0230】

[0348]図36Hは、本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した断面図である。同様に図36Fの断面A-A'に対応する断面を示す図36Hは、ここでは基板の各面において各領域の外縁部から内縁部まで約250nmの線形のばらつきを伴う、テーパ状プロファイルを達成するために実装された両面の厚さばらつきによって特徴付けられる、領域3662および3665を示す。

【0231】

[0349]図37Aは、本発明の一実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。図37Aにおいて、基板3710は、基板3610に関して示されるように円形ではなく長方形の形態である。図37Aを参照すると、基板3710にわたる厚さばらつきは、4つの領域3711、3712、3713、および3714に画定され、各々が基板の各領域周辺の左側付近の約0nmから領域の右縁部の約500nmまでの範囲の厚さばらつきを有する。したがって、この図では、領域にわたって高さが線形に増加する一連のテーパ状プロファイルが示されている。円形および長方形の基板に加えて、正方形の基板またはウェブの形態の基板を含む他の基板フォームファクタを利用することができる。

【0232】

[0350]図37Bは、本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。この片面の厚さばらつきは、図37Aに示される線形テーパ状プロファイルのセットを達成するために実装することができ、各領域にわたって約500nmのばらつきを伴う。

【0233】

[0351]図37Cは、本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。この両面の厚さばらつきは、図37Aに示される線形テーパ状プロファイルを達成するために実装することができ、各領域の一方の縁から各領域の反対側の縁まで約250nmのばらつき、および基板の第2の面において縁部から縁部まで約250nmの対応するばらつきを伴う。

【0234】

[0352]図37Dは、本発明の別の実施形態による、厚さばらつきを示す基板の簡略化した平面図である。図37Dでは、図37Aに関連して考察したものと同様に、基板3720の9つの領域3721、3722、3723、3724、3725、3726、3727、3728、および3729がLTVによって特徴付けられる。基板全体にわたる単一の高さばらつきではなく、9つの領域の各々は、図37Aに示される4つの領域の高さばらつき特性によって特徴付けられる。ステンシルまたは他のマスキングパターンを使用して、各々が接眼レンズ素子に対応することができる9つの領域を画定することができる。図37Dに示される例では、長方形の基板が利用され、厚さは長方形の長さに沿って変化し、図36Fに示される極座標ベースのレイアウトの代替案を提供する。他の実施形態では、全ての接眼レンズ導波路について同じ方向に増加する厚さばらつきではなく、いくつかの接眼レンズ導波路について厚さばらつきを逆にすることができ、すなわち、長さに沿って減少する、幅に沿って増加／減少するなどである。したがって、本発明の実施形態は、種々の基板の幾何学形状および種々の接眼レンズ導波路の幾何学形状において実装することができる。

10

20

30

40

50

【0235】

【0353】図37Eは、本発明の一実施形態による、片面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。図37Dの断面B-B'に対応する断面を示す図37Eは、各領域の左縁部から右縁部まで約500nmの線形のばらつきを伴う、テーパ状プロファイルを達成するために実装された片面の厚さばらつきによって特徴付けられる、領域3727、3728および3729を示す。

【0236】

【0354】図37Fは、本発明の一実施形態による、両面の厚さばらつきを示す簡略化した概略図である。この両面の厚さばらつきは、図37Dに示される線形テーパ状プロファイルを達成するために実装することができ、各領域の一方の縁部から各領域の反対側の縁部まで約250nmのばらつき、および基板の第2の面において縁部から縁部まで約250nmの対応するばらつきを伴う。

【0237】

【0355】図38A～図41Fは、薄膜TTVに基づく種々の厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略した断面図である。以下により完全に説明するように、図38A～図38Fに関連して考察される例では、薄膜厚さは、内部結合格子に対応する領域から組み合わせられた瞳エクスパンダに対応する領域まで減少する。図38A～図41Fに関連して説明される例は、単なる例示であり、本発明の範囲または本発明の実施形態に従って利用することができるアーキテクチャを限定することを意図するものではない。図28Cを参照すると、図38A～図41Fに示される接眼レンズ導波路は、接眼レンズの素子として、接眼レンズ導波路2820、第2の接眼レンズ導波路2830、および第3の接眼レンズ導波路2840の代わりに利用することができる。したがって、基板が光路長において変化する（例えば、厚さ）実施形態および基板構造が光路長において変化する（例えば、厚さ）実施形態は、本明細書で説明されるシステムにおいて交換可能である。

【0238】

【0356】図38Aは、本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図38Aに示されるように、均一な厚さによって特徴付けられる基板3810上に、例えば蒸着によって可変厚さの膜3812が形成されている。基板3810は均一な厚さを有するものとして示されており、可変厚さの膜3812および基板3810を含む基板構造3813の厚さばらつきは、可変厚さの膜3812の厚さのばらつきのみに起因するが、基板3810も、所望の全厚さばらつきを有する基板構造3813を製造するために可変厚さの膜3812の堆積中に考慮することができる何らかの厚さばらつきによって特徴付けることができることが認識されよう。

【0239】

【0357】この実施形態では可変高さのナノ特徴部を含む、内部結合格子3814および組み合わせられた瞳エクスパンダ3816を含む回折構造が、可変厚さの膜3812上に形成されている。当業者には明らかなように、内部結合格子3814および組み合わせられた瞳エクスパンダ3816の表現は、単に例示を目的としている。図38Aに示される接眼レンズ導波路では、入射光は、内部結合格子3814の下方で受け取られ、反射防止コーティング3818および基板3810を通して伝搬し、内部結合格子3814によって可変厚さの膜3812および基板3810に結合され、組み合わせられた瞳エクスパンダ3816によって外部結合される前に、基板3810および可変厚さの膜3812を伝搬する。したがって、接眼レンズ導波路は、内部結合格子3814から組み合わせられた瞳エクスパンダ3816に光が伝搬するにつれて厚さが減少する。片面の接眼レンズ導波路の代替的な実施形態では、内部結合格子3814および組み合わせられた瞳エクスパンダ3816が基板3810上に製造され、可変厚さの膜3812が反射防止コーティング3818と基板3810との間に位置決めされる。

【0240】

【0358】図38Bは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図38Bに示される接眼レンズ導波路は、図

38Aに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有しており、第2の可変厚さの膜3820と第2の組み合わされた瞳エクспанダ3826が追加されている。したがって、基板構造3823は、可変厚さの膜3812と、基板3810と、第2の可変厚さの膜3820とを含み、これらの要素の厚さが横方向寸法において変化することに起因する全可変厚さによって特徴付けられる。図38Bには両面構造が示されているが、代替的な実施形態は、第2の可変厚さの膜3820を除去し、基板3810上に第2の組み合わされた瞳エクспанダ3826を画定する。したがって、この実施形態および他の実施形態では、回折構造のための両面パターンニングは、片面の可変厚さの膜の文脈で実装することができる。

【0241】

[0359]図38Cは、本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図38Cに示される接眼レンズ導波路は、回折ナノ特徴部間の相互接続層が除去された状態で、図38Bに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有する。

【0242】

[0360]図38Dは、本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図38Dに示される接眼レンズ導波路は、図38Cに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有し、可変厚さの膜3812の残りの部分と共に内部結合格子3814および組み合わされた瞳エクспанダ3816によって、ならびに可変厚さの膜3820の残りの部分と共に第2の組み合わされた瞳エクспанダ3826によって画定される回折構造の回折効率を高めるための可変厚さの膜3812および第2の可変厚さの膜3820の部分のエッチングが追加されている。

【0243】

[0361]図38Eは、本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図38Eに示される接眼レンズ導波路は、組み合わされた瞳エクспанダ3816および第2の組み合わされた瞳エクспанダ3826が除去された状態で、図38Dに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。この実施形態では、組み合わされた瞳エクспанダ3816および第2の組み合わされた瞳エクспанダ3826に関連する回折特性は、可変厚さの膜3812の残りの部分および第2の可変厚さの膜3820の残りの部分を介して実装される。いくつかの実施形態では、内部結合格子3814も、可変厚さの膜3812内にエッチングされるかまたは別様に形成される回折構造のために部分的または完全に除去される。

【0244】

[0362]図38Fは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよびオーバーコートを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図38Fに示される接眼レンズ導波路は、オーバーコート3830が追加された状態で、図38Bに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。オーバーコート3830は、可変厚さの膜3812および第2の可変厚さの膜3820の屈折率と比較して高い屈折率の材料であってもよい。オーバーコート3830は、所望のパターンで堆積させるか、または堆積させ、次いでエッチングして所望のパターンを形成することができる。

【0245】

[0363]図38A～図38Fに示される接眼レンズ導波路は、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合され、1つ以上の接眼レンズ導波路を含む接眼レンズとを含む、拡張現実デバイスにおいて利用することができる。図38A～図38Fに示されるように、各接眼レンズ導波路は、横方向寸法および1つ以上の層によって特徴付けられる基板構造を実装することができる。1つ以上の層のうちの少なくとも1つは、横方向寸法の1つ以上の関数としての光路長差（例えば、厚さばらつき）によって特徴付けられる。図38Aに示されるように、基板構造は、基板と、基板に結合された可変厚さの層とを含むことができ、基板および可変厚さの層の屈折率は、一致するかまたは所与の値内にある。各接眼レンズ導波路の厚さばら

10

20

30

40

50

つきの勾配を整列させた状態で複数の接眼レンズ導波路を積層して、接眼レンズを形成することができる。したがって、3つの接眼レンズ導波路を使用するいくつかの実施形態では、各接眼レンズ導波路の可変厚さの層は、可変厚さの層の各々の厚さが同じ方向に沿って減少するように整列される。このように、図38Aに示される接眼レンズ導波路と同様の3つの接眼レンズ導波路を使用する接眼レンズでは、内部結合格子から組み合わせられた腫エクスパンダに向かう方向に沿って、各可変厚さの層（すなわち、図38Aの可変厚さの膜3812）の厚さが減少する。したがって、可変厚さの層の各々の勾配は、各接眼レンズ導波路の内部結合格子から各接眼レンズ導波路の組み合わせられた腫エクスパンダに向かって整列される。

【0246】

【0364】図39A～図39Fは、薄膜TTVに基づく種々の厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略した断面図である。これらの例は、図38A～図38Fに関連して考察した例に対応するが、薄膜厚さは、内部結合格子に対応する領域から組み合わせられた腫エクスパンダに対応する領域まで増加する。

【0247】

【0365】図39Aは、本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図39Aに示される接眼レンズ導波路は、図38Aに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有しており、可変厚さの膜3912の厚さは、図38Aに示されるものとは反対に増加しており、すなわち、光が内部結合格子3914から組み合わせられた腫エクスパンダ3916に向かって基板3910および可変厚さの膜3912内を伝搬するにつれて厚さが増加している。

【0248】

【0366】図39Bは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図39Bに示される接眼レンズ導波路は、図38Bに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有しており、可変厚さの膜3912および第2の可変厚さの膜3920の厚さは、図38Bに示されるものとは反対に増加している。

【0249】

【0367】図39Cは、本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図39Cに示される接眼レンズ導波路は、回折ナノ特徴部間の相互接続層が除去された状態で、図39Bに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有する。

【0250】

【0368】図39Dは、本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図39Dに示される接眼レンズ導波路は、図39Cに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有し、可変厚さの膜3912の残りの部分と共に内部結合格子3914および組み合わせられた腫エクスパンダ3916によって、ならびに第2の可変厚さの膜3920の残りの部分と共に第2の組み合わせられた腫エクスパンダ3926によって画定される回折構造の回折効率を高めるための可変厚さの膜3912および第2の可変厚さの膜3920の部分のエッチングが追加されている。

【0251】

【0369】図39Eは、本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図39Eに示される接眼レンズ導波路は、組み合わせられた腫エクスパンダ3916および第2の組み合わせられた腫エクスパンダ3926が除去された状態で、図39Dに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。この実施形態では、組み合わせられた腫エクスパンダ3916および第2の組み合わせられた腫エクスパンダ3926に関連する回折特性は、可変厚さの膜3912の残りの部分および第2の可変厚さの膜3920の残りの部分を介して実装される。

【0252】

[0370]図39Fは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよびオーバーコートに伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図39Fに示される接眼レンズ導波路は、オーバーコート3930が追加された状態で、図39Bに示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。

【0253】

[0371]したがって、図38A～図39Fに示される実施形態に示されるように、基板に屈折率が一致した膜を含む、基板上に形成された可変厚さの膜は、薄いRLTを有するインプリント、屈折率が一致したフォトレジストを有さないインプリント、フォトレジストおよびエッチングされた膜パターン、エッチングされた膜パターン、またはインプリントもしくはフォトレジストパターン化ポリマー上に堆積された膜などを利用することができる。可変厚さの膜（複数可）は、CVD、PVD、またはインクジェットング、高屈折率ポリマー膜コーティングのためのスロットダイコーティングなどのような樹脂分注方法を使用して堆積させ共形で、双方向の、または斜め蒸着を使用して形成された膜を生成することができる。所定のTTVを有する基板構造上に配設されたエッチングまたは堆積されたパターンアーキテクチャは、ポリマー、例えば低屈折率ポリマー、またはCVDプロセスを使用する流動性SiO₂などの無機材料で平坦化されてもよく、それによってレインボーアーチファクトを低減する共に、図42A～図42Cに関連してより詳細に考察されるような透過率を増加させる。

【0254】

[0372]図38A～図41Fに示される異なるアーキテクチャでは、調整されたTTVを有する膜（複数可）が均一な厚さの基板上に形成される。膜（複数可）は、2つ以上の可変厚さの膜の組み合わせであってもよく、基板に隣接する第1の膜は、より低い屈折率を有する膜、例えばSiO₂、MgF₂などであってもよく、基板から遠位の追加的な膜（複数可）は、より高い屈折率を有する膜（複数可）、例えばSi₃N₄、ZnO、ZrO₂、TiO₂、SiC、ZnTe、BPなどであってもよいことに留意されたい。第1の低屈折率膜は、例えばおよそ10nm～50nmの厚さの均一な膜として形成することができ、追加的な高屈折率膜（複数可）は、例えば1μmの範囲の厚さおよび300nm～600nmのTTVで厚さばらつきを組み込むことができる。

【0255】

[0373]図40Aは、本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜に伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図40Aに示されるように、均一な厚さによって特徴付けられる基板4010上に形成される中間膜4011上に、例えば蒸着によって可変厚さの膜4012が形成されている。中間膜4011は、基板4010と可変厚さの膜4012との間に配設されるため中間膜と称され、均一な厚さによって特徴付けられることができ、基板4010および可変厚さの膜4012の屈折率よりも小さい屈折率を有することができる。基板4010は均一な厚さを有するものとして示されており、可変厚さの膜4012、中間膜4011および基板4010を含む基板構造4013の厚さばらつきは、可変厚さの膜4012の厚さのばらつきのみに起因するが、基板4010および／または中間膜4011も、所望の全厚さばらつきを有する基板構造4013を製造するために可変厚さの膜4012の堆積中に考慮することができる何らかの厚さばらつきによって特徴付けることができることが認識されよう。

【0256】

[0374]本発明者らは、中間膜4011の追加が、基板構造内でTIRを介して伝搬する光線を光学的に分割するのに役立つと見出した。光線のこの倍増は、仮想コンテンツにおける画像充填および改善されたユーザ体験を生成する。

【0257】

[0375]この実施形態では可変高さのナノ特徴部を含む、内部結合格子4014および組み合わせられた腫エクスパンダ4016を含む回折構造が、可変厚さの膜4012上に形成されている。当業者には明らかなように、内部結合格子4014および組み合わせられた腫エクスパンダ4016の表現は、単に例示を目的としている。図40Aに示される接眼

レンズ導波路では、入射光は、内部結合格子 4014 の下方で受け取られ、反射防止コーティング 4018 および基板 4010 を通って伝搬し、内部結合格子 4014 によって可変厚さの膜 4012、中間膜 4011 および基板 4010 に結合され、組み合わせられた瞳エクスパンダ 4016 によって外部結合される前に、基板 4010、中間膜 4011 および可変厚さの膜 4012 を伝搬する。したがって、接眼レンズ導波路は、内部結合格子 4014 から組み合わせられた瞳エクスパンダ 4016 に光が伝搬するにつれて厚さが減少する。片面の接眼レンズ導波路の代替的な実施形態では、内部結合格子 4014 および組み合わせられた瞳エクスパンダ 4016 が基板 4010 上に製造され、中間膜 4011 および可変厚さの膜 4012 が反射防止コーティング 4018 と基板 4010 との間に位置決めされる。

10

【0258】

[0376] 図 40B は、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 40B に示される接眼レンズ導波路は、図 40A に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有しており、第 2 の中間膜 4021、第 2 の可変厚さの膜 4020 および第 2 の組み合わせられた瞳エクスパンダ 4026 が追加されている。したがって、基板構造 4023 は、可変厚さの膜 4012 と、中間膜 4011 と、基板 4010 と、第 2 の中間膜 4021 と、第 2 の可変厚さの膜 4020 とを含み、これらの要素の厚さが横方向寸法において変化することに起因する全可変厚さによって特徴付けられる。図 40B には両面構造が示されているが、代替的な実施形態は、第 2 の中間膜 4021 および第 2 の可変厚さの膜 4020 を除去し、基板 4010 上に第 2 の組み合わせられた瞳エクスパンダ 4026 を画定する。したがって、この実施形態および他の実施形態では、回折構造のための両面パターニングは、片面の可変厚さの膜の文脈で実装することができる。

20

【0259】

[0377] 図 40C は、本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 40C に示される接眼レンズ導波路は、回折ナノ特徴部間の相互接続層が除去された状態で、図 40B に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有する。

【0260】

[0378] 図 40D は、本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 40D に示される接眼レンズ導波路は、図 40C に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有し、可変厚さの膜 4012 の残りの部分と共に内部結合格子 4014 および組み合わせられた瞳エクスパンダ 4016 によって、ならびに第 2 の可変厚さの膜 4020 の残りの部分と共に第 2 の組み合わせられた瞳エクスパンダ 4026 によって画定される回折構造の回折効率を高めるための可変厚さの膜 4012 および第 2 の可変厚さの膜 4020 の部分のエッチングが追加されている。

30

【0261】

[0379] 図 40E は、本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 40E に示される接眼レンズ導波路は、組み合わせられた瞳エクスパンダ 4016 および第 2 の組み合わせられた瞳エクスパンダ 4026 が除去された状態で、図 40D に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。この実施形態では、組み合わせられた瞳エクスパンダ 4016 および第 2 の組み合わせられた瞳エクスパンダ 4026 に関連する回折特性は、可変厚さの膜 4012 の残りの部分および第 2 の可変厚さの膜 4020 の残りの部分を介して実装される。いくつかの実施形態では、内部結合格子 4014 も、可変厚さの膜 4012 内にエッチングされるかまたは別様に形成される回折構造のために部分的または完全に除去される。

40

【0262】

[0380] 図 40F は、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折

50

率膜ならびにオーバーコートを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 4 0 F に示される接眼レンズ導波路は、オーバーコート 4 0 3 0 が追加された状態で、図 4 0 B に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。オーバーコート 4 0 3 0 は、可変厚さの膜 4 0 1 2 および第 2 の可変厚さの膜 4 0 2 0 の屈折率と比較して高い屈折率の材料であってもよい。オーバーコート 4 0 3 0 は、所望のパターンで堆積させるか、または堆積させ、次いでエッチングして所望のパターンを形成することができる。

【0263】

【0381】図 4 1 A は、本発明の一実施形態による、片面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 4 1 A に示される接眼レンズ導波路は、図 4 0 A に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有しており、可変厚さの膜 4 1 1 2 の厚さは、図 4 0 A に示されるものとは反対に増加しており、すなわち、光が内部結合格子 4 1 1 4 から組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 1 6 に向かって基板 4 1 1 0、中間膜 4 1 1 1 および可変厚さの膜 4 1 1 2 内を伝搬するにつれて厚さが増加している。

10

【0264】

【0382】図 4 1 B は、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 4 1 B に示される接眼レンズ導波路は、図 4 0 B に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有しており、可変厚さの膜 4 1 1 2、中間膜 4 1 1 1 および第 2 の可変厚さの膜 4 1 2 0 の厚さは、図 4 0 B に示されるものとは反対に増加している。第 2 の組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 2 6 も示されている。

20

【0265】

【0383】図 4 1 C は、本発明の別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 4 1 C に示される接眼レンズ導波路は、回折ナノ特徴部間の相互接続層が除去された状態で、図 4 1 B に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有する。

【0266】

【0384】図 4 1 D は、本発明のまた別の実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 4 1 D に示される接眼レンズ導波路は、図 4 1 C に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有し、可変厚さの膜 4 1 1 2 の残りの部分と共に内部結合格子 4 1 1 4 および組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 1 6 によって、ならびに第 2 の可変厚さの膜 4 1 2 0 の残りの部分と共に第 2 の組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 2 6 によって画定される回折構造の回折効率を高めるための可変厚さの膜 4 1 1 2 および第 2 の可変厚さの膜 4 1 2 0 の部分のエッチングが追加されている。

30

【0267】

【0385】図 4 1 E は、本発明の代替的な実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜を伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 4 1 E に示される接眼レンズ導波路は、組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 1 6 および第 2 の組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 2 6 が除去された状態で、図 4 1 D に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。この実施形態では、組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 1 6 および第 2 の組み合わされた瞳エクспанダ 4 1 2 6 に関連する回折特性は、可変厚さの膜 4 1 1 2 の残りの部分および第 2 の可変厚さの膜 4 1 2 0 の残りの部分を介して実装される。

40

【0268】

【0386】図 4 1 F は、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび低屈折率膜ならびにオーバーコートを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図 4 1 F に示される接眼レンズ導波路は、オーバーコート 4 1 3 0 が追加された状態で、図 4 1 B に示される接眼レンズ導波路と共通の要素を共有している。

【0269】

50

[0387]図42Aは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図42Aに示される接眼レンズ導波路は、図38Dに示される接眼レンズ導波路の一部に対応し、基板3810、可変厚さの膜3812および第2の可変厚さの膜3820が示されている。可変厚さの膜3812の残りの部分および第2の可変厚さの膜3820の残りの部分と共に、組み合わせられた瞳エクスパンダ3816および第2の組み合わせられた瞳エクスパンダ3826も示されている。

【0270】

[0388]いくつかの実施形態では、組み合わせられた瞳エクスパンダ3816、第2の組み合わせられた瞳エクスパンダ3826、ならびに可変厚さの膜3812および第2の可変厚さの膜3820の残りの部分に関連する回折構造の存在は、接眼レンズ導波路への望ましくない世界の光の結合に起因するアーチファクト、例えばレインボーアーチファクトをもたらす可能性がある。平坦化プロセスは、エッチングもしくは堆積されたパターンを完全に封入してもよく、またはエッチングまたは堆積されたパターンを部分的に封入してもよい。

10

【0271】

[0389]図42Bは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび第1の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図42Bに示されるように、組み合わせられた瞳エクスパンダ3816は、層4210に部分的に封入されており、組み合わせられた瞳エクスパンダ3826は、層4212に部分的に封入されている。図42Bに示される部分的な封入の程度は、所望の接眼レンズ導波路効率を提供するように選択することができる。

20

【0272】

[0390]図42Cは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよび第2の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図42Cに示されるように、組み合わせられた瞳エクスパンダ3816は、層4220に完全に封入されており、組み合わせられた瞳エクスパンダ3826は、層4222に完全に封入されている。

【0273】

[0391]図43Aは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつきおよびオーバーコートを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図43Aに示される接眼レンズ導波路は、図38Fに示される接眼レンズ導波路の一部に対応し、基板3810、可変厚さの膜3812および第2の可変厚さの膜3820が示されている。組み合わせられた瞳エクスパンダ3816および第2の組み合わせられた瞳エクスパンダ3826も示されている。オーバーコート3830も示されている。

30

【0274】

[0392]図43Bは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつき、オーバーコートおよび第1の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図43Bに示されるように、組み合わせられた瞳エクスパンダ3816は、層4310に部分的に封入されており、組み合わせられた瞳エクスパンダ3826は、層4312に部分的に封入されている。図43Bに示される部分的な封入の程度は、所望の接眼レンズ導波路効率を提供するように選択することができる。

40

【0275】

[0393]図43Cは、本発明の一実施形態による、両面の全厚さばらつき、オーバーコートおよび第2の平坦化レベルを伴う接眼レンズ導波路を示す簡略化した断面図である。図43Cに示されるように、組み合わせられた瞳エクスパンダ3816は、層4320に完全に封入されており、組み合わせられた瞳エクスパンダ3826は、層4322に完全に封入されている。

【0276】

[0394]本開示の様々な実施例を以下に提供する。以下で使用される場合、一連の実施例への任意の言及は、それらの例の各々に選言的に言及するものとして理解されるべきである（例えば、「実施例1～4」は、「実施例1、2、3または4」と理解されるべきで

50

ある)。

【0277】

【0395】実施例1は、拡張現実デバイスであって、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、横方向寸法と、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての光路長差とによって特徴付けられる接眼レンズ導波路を備える接眼レンズと、を備える、拡張現実デバイスである。

【0278】

【0396】実施例2は、接眼レンズが、第2の横方向寸法と、第2の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第2の光路長差とによって特徴付けられる第2の接眼レンズ導波路と、第3の横方向寸法と、第3の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第3の光路長差とによって特徴付けられる第3の接眼レンズ導波路と、をさらに備える、実施例1に記載の拡張現実デバイスである。

10

【0279】

【0397】実施例3は、接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路が、接眼レンズを形成する、実施例1～2に記載の拡張現実デバイスである。

【0280】

【0398】実施例4は、接眼レンズが、接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路を含む積層構造である、実施例1～3に記載の拡張現実デバイスである。

20

【0281】

【0399】実施例5は、第2のプロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合された第2のプロジェクタ光学系と、第2のプロジェクタ光学系に光学的に結合された第2の接眼レンズであって、第4の横方向寸法と、第4の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第4の光路長差とによって特徴付けられる第4の接眼レンズ導波路を備える、第2の接眼レンズと、をさらに備える、実施例1～4に記載の拡張現実デバイスである。

【0282】

【0400】実施例6は、第2の接眼レンズが、第5の横方向寸法と、第5の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第5の光路長差とによって特徴付けられる第5の接眼レンズ導波路と、第6の横方向寸法と、第6の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第6の光路長差とによって特徴付けられる第6の接眼レンズ導波路と、をさらに備える、実施例1～5に記載の拡張現実デバイスである。

30

【0283】

【0401】実施例7は、接眼レンズ導波路が、組み合わされた瞳エクспанダを備え、第2の接眼レンズ導波路が、第2の組み合わされた瞳エクспанダを備え、第3の接眼レンズ導波路が、第3の組み合わされた瞳エクспанダを備え、接眼レンズ導波路の厚さが、組み合わされた瞳エクспанダにわたって変化し、第2の接眼レンズ導波路の厚さが、第2の組み合わされた瞳エクспанダにわたって変化し、第3の接眼レンズ導波路の厚さが、第3の組み合わされた瞳エクспанダにわたって変化する、実施例1～6に記載の拡張現実デバイスである。

40

【0284】

【0402】実施例8は、プロジェクタ、プロジェクタ光学系、および接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、実施例1～7に記載の拡張現実デバイスである。

【0285】

【0403】実施例9は、接眼レンズ導波路が、1つ以上の横方向寸法の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられる、実施例1～8に記載の拡張現実デバイスである。

【0286】

【0404】実施例10は、接眼レンズ導波路が、1つ以上の横方向寸法の関数としての屈折率変化によって特徴付けられる、実施例1～9に記載の拡張現実デバイスである。

50

【0287】

[0405]実施例11は、接眼レンズが、3つの接眼レンズ導波路を含む、実施例1～10に記載の拡張現実デバイスである。

【0288】

[0406]実施例12は、光路長差が、3つの接眼レンズ導波路の各々の第1の領域における第1の値から3つの接眼レンズ導波路の各々の第2の領域における第2の値まで変化する、実施例1～11に記載の拡張現実デバイスである。

【0289】

[0407]実施例13は、第1の領域が入力結合格子に対応し、第2の領域が組み合わされた瞳エクスパンダに対応し、光路長差が、第1の値から第2の値まで減少する、実施例1～12に記載の拡張現実デバイスである。

10

【0290】

[0408]実施例14は、3つの接眼レンズ導波路の各々の光路長差が、共通の方向に沿って延在する、実施例1～13に記載の拡張現実デバイスである。

【0291】

[0409]実施例15は、3つの接眼レンズ導波路の各々の光路長差が、3つの接眼レンズ導波路の各々の横方向寸法に沿って減少し、3つの接眼レンズ導波路の各々の横方向寸法が平行である、実施例1～14に記載の拡張現実デバイスである。

【0292】

[0410]実施例16は、拡張現実デバイスであって、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、横方向寸法と、第1の光路長差勾配とによって特徴付けられる第1の接眼レンズ導波路と、横方向寸法と、第1の光路長差勾配と整列した第2の光路長差勾配とによって特徴付けられる第2の接眼レンズ導波路と、を備える、接眼レンズと、を備える、拡張現実デバイスである。

20

【0293】

[0411]実施例17は、接眼レンズが、横方向寸法と、第1の光路長差勾配および第3の光路長差勾配と整列した第3の光路長差勾配とによって特徴付けられる第3の接眼レンズ導波路をさらに備える、実施例16に記載の拡張現実デバイスである。

【0294】

[0412]実施例18は、第1の接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路が、一緒に積層されている、実施例16～17に記載の拡張現実デバイスである。

30

【0295】

[0413]実施例19は、プロジェクタ、プロジェクタ光学系、および接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、実施例16～18に記載の拡張現実デバイスである。

【0296】

[0414]実施例20は、第1の接眼レンズ導波路が、第1の組み合わされた瞳エクスパンダを備え、第1の接眼レンズ導波路の厚さが、第1の組み合わされた瞳エクスパンダの第1の部分から第1の組み合わされた瞳エクスパンダの第2の部分まで変化し、第2の接眼レンズ導波路が、第2の組み合わされた瞳エクスパンダを備え、第2の接眼レンズ導波路の厚さが、第2の組み合わされた瞳エクスパンダの第1の部分から第2の組み合わされた瞳エクスパンダの第2の部分まで変化する、実施例16～19に記載の拡張現実デバイスである。

40

【0297】

[0415]実施例21は、第1の光路長差勾配が、第2の光路長差勾配と整列されている、実施例16～20に記載の拡張現実デバイスである。

【0298】

[0416]実施例22は、第1の光路長差勾配がある方向に対応し、第2の光路長差勾配

50

が方向に対応する、実施例 16～21 に記載の拡張現実デバイスである。

【0299】

[0417] 実施例 23 は、拡張現実デバイスであって、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、横方向寸法と、1つ以上の層とによって特徴付けられる接眼レンズ導波路を備え、1つ以上の層のうちの少なくとも1つが、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての光路長差によって特徴付けられる、接眼レンズと、を備える、拡張現実デバイスである。

【0300】

[0418] 実施例 24 は、接眼レンズが、基板と、基板に結合された可変厚さの層と、を備える、実施例 23 に記載の拡張現実デバイスである。

10

【0301】

[0419] 実施例 25 は、基板の屈折率が、可変厚さの層の屈折率に実質的に等しい、実施例 23～24 に記載の拡張現実デバイスである。

【0302】

[0420] 実施例 26 は、接眼レンズが、第2の横方向寸法と、1つ以上の第2の層とによって特徴付けられる第2の接眼レンズ導波路であって、1つ以上の第2の層のうちの少なくとも1つが、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第2の光路長差によって特徴付けられる、第2の接眼レンズ導波路と、第3の横方向寸法と、1つ以上の第3の層とによって特徴付けられる第3の接眼レンズ導波路であって、1つ以上の第3の層のうちの少なくとも1つが、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第3の光路長差によって特徴付けられる、第3の接眼レンズ導波路と、をさらに備える、実施例 23～25 に記載の拡張現実デバイスである。

20

【0303】

[0421] 実施例 27 は、接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路が、接眼レンズを形成する、実施例 23～26 に記載の拡張現実デバイスである。

【0304】

[0422] 実施例 28 は、接眼レンズが、接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路を含む積層構造である、実施例 23～27 に記載の拡張現実デバイスである。

30

【0305】

[0423] 実施例 29 は、1つ以上の層、1つ以上の第2の層、および1つ以上の第3の層が、1つ以上の横方向寸法の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられ、1つ以上の層、1つ以上の第2の層、および1つ以上の第3の層の各々の厚さばらつきが、接眼レンズ導波路、第2の接眼レンズ導波路、および第3の接眼レンズ導波路の各々の横方向寸法に沿って減少し、横方向寸法が平行である、実施例 23～28 に記載の拡張現実デバイスである。

【0306】

[0424] 実施例 30 は、第2のプロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合された第2のプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された第2の接眼レンズであって、第4の横方向寸法と、1つ以上の第4の層とによって特徴付けられる第4の接眼レンズ導波路を備え、1つ以上の第4の層のうちの少なくとも1つが、第4の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第4の光路長差によって特徴付けられる、第2の接眼レンズと、をさらに備える、実施例 23～29 に記載の拡張現実デバイスである。

40

【0307】

[0425] 実施例 31 は、第2の接眼レンズが、第5の横方向寸法と、1つ以上の第5の層とによって特徴付けられる第5の接眼レンズ導波路であって、1つ以上の第5の層のうちの少なくとも1つが、第5の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第5の光路長差によって特徴付けられる、第5の接眼レンズ導波路と、第6の横方向寸法と、1つ以上

50

の第6の層とによって特徴付けられる第6の接眼レンズ導波路であって、1つ以上の第6の層のうちの少なくとも1つが、第6の横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての第6の光路長差によって特徴付けられる、第6の接眼レンズ導波路と、をさらに備える、実施例23～30に記載の拡張現実デバイスである。

【0308】

【0426】実施例32は、プロジェクタ、プロジェクタ光学系、および接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、実施例23～31に記載の拡張現実デバイスである。

【0309】

【0427】実施例33は、接眼レンズ導波路が、組み合わされた瞳エクスパンダを備え、第2の接眼レンズ導波路が、第2の組み合わされた瞳エクスパンダを備え、第3の接眼レンズ導波路が、第3の組み合わされた瞳エクスパンダを備え、1つ以上の層が、組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられ、1つ以上の第2の層が、第2の組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられ、1つ以上の第3の層が、第3の組み合わされた瞳エクスパンダにわたって変化する厚さによって特徴付けられる、実施例23～32に記載の拡張現実デバイスである。

【0310】

【0428】実施例34は、1つ以上の層が、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての厚さばらつきによって特徴付けられる、実施例23～33に記載の拡張現実デバイスである。

【0311】

【0429】実施例35は、厚さばらつきが、接眼レンズ導波路の第1の領域における第1の値から接眼レンズ導波路の第2の領域における第2の値まで変化する、実施例23～34に記載の拡張現実デバイスである。

【0312】

【0430】実施例36は、第1の領域が入力結合格子に対応し、第2の領域が組み合わされた瞳エクスパンダに対応し、厚さばらつきが、第1の値から第2の値まで減少する、実施例23～35に記載の拡張現実デバイスである。

【0313】

【0431】実施例37は、1つ以上の層が、横方向寸法のうちの1つ以上の関数としての屈折率変化によって特徴付けられる、実施例23～36に記載の拡張現実デバイスである。

【0314】

【0432】実施例38は、接眼レンズ導波路がナノパターンを含む、実施例23～37に記載の拡張現実デバイスである。

【0315】

【0433】実施例39は、ナノパターンが、接眼レンズの屈折率よりも小さいポリマー屈折率を有するポリマー格子を含む、実施例23～38に記載の拡張現実デバイスである。

【0316】

【0434】実施例40は、1つ以上の層が、50nm未満、30nm未満、または10nm未満の厚さを有する、実施例23～39に記載の拡張現実デバイスである。

【0317】

【0435】実施例41は、ナノパターンが、1つ以上の層または接眼レンズに形成された共形堆積構造または方向性堆積構造を含む、実施例23～40に記載の拡張現実デバイスである。

【0318】

【0436】実施例42は、ナノパターンが、接眼レンズの屈折率よりも高いポリマー屈折率を有するポリマー格子を含む、実施例23～41に記載の拡張現実デバイスである。

【0319】

【0437】実施例43は、1つ以上の層が、100nm未満の厚さを有し、ZrO₂また

10

20

30

40

50

は TiO_2 の少なくとも一方を含む、実施例 23～42 に記載の拡張現実デバイスである。

【0320】

【0438】実施例 44 は、ナノパターンが、1 つ以上の層または接眼レンズに形成されたエッチング構造を含む、実施例 23～43 に記載の拡張現実デバイスである。

【0321】

【0439】実施例 45 は、ナノパターンが、バイナリ格子、ブレード鋸歯格子、ブレード多段格子、ブレード傾斜格子、穴、またはピラーを含む、実施例 23～44 に記載の拡張現実デバイスである。

【0322】

【0440】実施例 46 は、拡張現実デバイスであって、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、基板構造であって、入射表面および反対側の射出表面を有する基板と、入射表面に結合された第 1 の可変厚さの膜と、を含む、基板構造と、を備える、拡張現実デバイスである。

【0323】

【0441】実施例 47 は、基板構造が、第 1 の可変厚さの膜に結合された第 1 の組み合わされた瞳エクスパンダと、反対側の射出表面に結合された第 2 の可変厚さの膜と、反対側の射出表面に結合された内部結合格子と、反対側の射出表面に結合された第 2 の組み合わされた瞳エクスパンダと、をさらに備える、実施例 46 に記載の拡張現実デバイスである。

【0324】

【0442】実施例 48 は、第 2 の可変厚さの膜が、第 2 の組み合わされた瞳エクスパンダに隣接するよりも内部結合格子に隣接してより厚い、実施例 46～47 に記載の拡張現実デバイスである。

【0325】

【0443】実施例 49 は、基板の厚さのばらつきが、第 1 の可変厚さの膜または第 2 の可変厚さの膜の厚さのばらつきよりも小さい、実施例 46～48 に記載の拡張現実デバイスである。

【0326】

【0444】実施例 50 は、基板と第 1 の可変厚さの膜との間に配設された第 1 の中間膜と、基板と第 2 の可変厚さの膜との間に配設された第 2 の中間膜と、をさらに備える、実施例 46～49 に記載の拡張現実デバイスである。

【0327】

【0445】実施例 51 は、第 1 の中間膜が、基板の屈折率および第 1 の可変厚さの膜の屈折率よりも小さい屈折率を有し、第 2 の中間膜が、基板の屈折率および第 2 の可変厚さの膜の屈折率よりも小さい屈折率を有する、実施例 46～50 に記載の拡張現実デバイスである。

【0328】

【0446】実施例 52 は、拡張現実デバイスであって、プロジェクタと、プロジェクタに光学的に結合されたプロジェクタ光学系と、プロジェクタ光学系に光学的に結合された接眼レンズであって、横方向寸法と、第 1 の厚さ勾配を有する第 1 の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第 1 の接眼レンズ導波路と、横方向寸法と、第 1 の厚さ勾配と整列した第 2 の厚さ勾配を有する第 2 の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第 2 の接眼レンズ導波路と、を備える、接眼レンズと、を備える、拡張現実デバイスである。

【0329】

【0447】実施例 53 は、接眼レンズが、横方向寸法と、第 1 の厚さ勾配および第 3 の厚さ勾配と整列した第 3 の厚さ勾配を有する第 3 の可変厚さの膜とによって特徴付けられる第 3 の接眼レンズ導波路をさらに備える、実施例 52 に記載の拡張現実デバイスである。

【0330】

【0448】実施例 54 は、第 1 の接眼レンズ導波路、第 2 の接眼レンズ導波路、および第

10

20

30

40

50

3の接眼レンズ導波路が、一緒に積層されている、実施例52～53に記載の拡張現実デバイスである。

【0331】

[0449]実施例55は、プロジェクタ、プロジェクタ光学系、および接眼レンズが、拡張現実ヘッドセット内に装着されている、実施例52～54に記載の拡張現実デバイスである。

【0332】

[0450]実施例56は、第1の接眼レンズ導波路が、第1の組み合わせられた瞳エクスパンダを備え、第1の可変厚さの膜の厚さが、第1の組み合わせられた瞳エクスパンダの第1の部分から第1の組み合わせられた瞳エクスパンダの第2の部分まで変化し、第2の接眼レンズ導波路が、第2の組み合わせられた瞳エクスパンダを備え、第2の可変厚さの膜の厚さが、第2の組み合わせられた瞳エクスパンダの第1の部分から第2の組み合わせられた瞳エクスパンダの第2の部分まで変化する、実施例52～55に記載の拡張現実デバイスである。

10

【0333】

[0451]実施例57は、第1の厚さ勾配が、第2の厚さ勾配と整列されている、実施例52～56に記載の拡張現実デバイスである。

【0334】

[0452]実施例58は、第1の厚さ勾配がある方向に対応し、第2の厚さ勾配が方向に対応する、実施例52～57に記載の拡張現実デバイスである。

20

【0335】

[0453]前述の明細書では、本開示は、その特定の実施形態を参照して説明されている。しかしながら、本開示のより広い趣旨および範囲から逸脱することなく、様々な修正および変更を行うことができることが明らかであろう。したがって、本明細書および図面は、限定的な意味ではなく例示的な意味で考慮されるべきである。

【0336】

[0454]実際、本開示のシステムおよび方法は、各々がいくつかの革新的な態様を有し、そのうちの1つだけが単独で本明細書に開示された望ましい属性を担うかまたはそれに必要とされるものではないことが認識されよう。上記で説明した様々な特徴およびプロセスは、互いに独立して使用されてもよく、または様々な方法で組み合わせられてもよい。全ての可能な組み合わせおよび部分的な組み合わせが、本開示の範囲内に入ることが意図されている。

30

【0337】

[0455]別個の実施形態の文脈で本明細書において説明されるある特定の特徴も、単一の実施形態において組み合わせて実装されてもよい。逆に、単一の実施形態の文脈で説明される様々な特徴も、複数の実施形態において別々に、または任意の適切な部分的な組み合わせで実装されてもよい。さらに、特徴は、ある特定の組み合わせで作用するものとして上記で説明され、最初にそのように特許請求され得るが、特許請求される組み合わせからの1つ以上の特徴は、場合によっては、組み合わせから削除されてもよく、特許請求される組み合わせは、部分的な組み合わせまたは部分的な組み合わせの変形を対象としてもよい。単一の特徴または特徴の群が、あらゆる実施形態に必要なまたは不可欠というわけではない。

40

【0338】

[0456]とりわけ、「することができる (can)」、「することができる (could)」、「してもよい (might)」、「し得る (may)」、「例えば、」などのような本明細書で使用される条件付き文言は、特に明記しない限り、または使用される文脈内で他の意味で理解されない限り、概して、ある特定の実施形態がある特定の特徴、要素および／またはステップを含むが、他の実施形態は含まないことを伝えることを意図していることが認識されよう。したがって、そのような条件付き文言は、概して、特徴、要素および／またはステップが1つ以上の実施形態に何らかの形で必要とされること、あるいは

50

は、1つ以上の実施形態が、著者の入力または指示の有無にかかわらず、これらの特徴、要素および／またはステップが任意の特定の実施形態に含まれるか、または特定の実施形態において実行されるべきかを決定するための論理を必然的に含むことを意味することを意図するものではない。「備える (comprising)」、「含む (including)」、「有する (having)」などの用語は、同義語であり、包括的に、オープンエンド方式で使用され、追加的な要素、特徴、行為、動作などを排除するものではない。また、「または」という用語は、その包括的な意味で使用される（その排他的な意味ではなく）ため、例えば、要素のリストを接続するために使用される場合、「または」という用語は、リスト内の要素の1つ、いくつか、または全てを意味する。加えて、本出願および添付の特許請求の範囲で使用される場合、冠詞「a」、「an」、および「the」は、別段の指定がない限り、「1つ以上」または「少なくとも1つ」を意味すると解釈されるべきである。同様に、動作は特定の順序で図面に描示され得るが、望ましい結果を達成するために、そのような動作は、示されている特定の順序で、もしくは連続した順序で実行される必要はなく、または示されている全ての動作が実行されることが認識されるべきである。さらに、図面は、フローチャートの形式で1つ以上の例示的なプロセスを概略的に描示し得る。しかしながら、描示されていない他の動作が、概略的に示されている例示的な方法およびプロセスに組み込まれてもよい。例えば、1つ以上の追加的な動作を、図示の動作のいずれかの前、後、同時に、またはその間に実行することができる。追加的に、動作は、他の実施形態では構成または順序を直されてもよい。ある特定の状況では、マルチタスク処理および並列処理が有利であり得る。さらに、上記で説明した実施形態における様々なシステム構成要素の分離は、全ての実施形態においてそのような分離を必要とすると理解されるべきではなく、説明されたプログラム構成要素およびシステムは、概して、単一のソフトウェア製品と一緒に統合されてもよく、または複数のソフトウェア製品にパッケージ化されてもよいことを理解されたい。追加的に、他の実施形態が、以下の特許請求の範囲内にある。場合によっては、特許請求の範囲に記載された動作は、異なる順序で実行されてもよく、依然として望ましい結果を達成することができる。

10

20

30

40

50

【0339】

【0457】本開示は多くの特定の実施形態の詳細を含むが、これらは主題の範囲または特許請求され得る範囲に対する限定として解釈されるべきではなく、むしろ、特定の実施形態に特有であり得る特徴の説明として解釈されるべきである。別個の実施形態の文脈で本開示において説明されるある特定の特徵も、単一の実施形態において組み合わせて実装されることができる。逆に、単一の実施形態の文脈で説明される様々な特徴も、複数の実施形態において別々に、または任意の適切な部分的な組み合わせで実装されることができる。さらに、上記で説明した特徴は、ある特定の組み合わせで作用するものとして説明され、最初にそのように特許請求され得るが、特許請求される組み合わせからの1つ以上の特徴は、場合によっては、組み合わせから削除されることができ、特許請求される組み合わせは、部分的な組み合わせまたは部分的な組み合わせの変形を対象としてもよい。

【0340】

【0458】主題の特定の実施形態が説明されている。説明された実施形態の他の実施形態、変更および置換が、当業者には明らかであるように、以下の特許請求の範囲内にある。動作は特定の順序で図面または特許請求の範囲に描示されるが、これは、望ましい結果を達成するために、そのような動作が示されている特定の順序で、もしくは連続した順序で実行されること、または示されている全ての動作が実行されることを要求するものとして理解されるべきではない（いくつかの動作は任意選択的であると考えられ得る）。

【0341】

【0459】したがって、上記で説明した例示的な実施形態は、本開示を定義または制限しない。本開示の趣旨および範囲から逸脱することなく、他の変更、置換、および変形も可能である。

【0342】

【0460】したがって、特許請求の範囲は、本明細書に示される実施形態に限定されるこ

とを意図するものではなく、本開示、本明細書に開示される原理および新規な特徴と一致する最も広い範囲が与えられるべきである。

【図面】

【図 1】

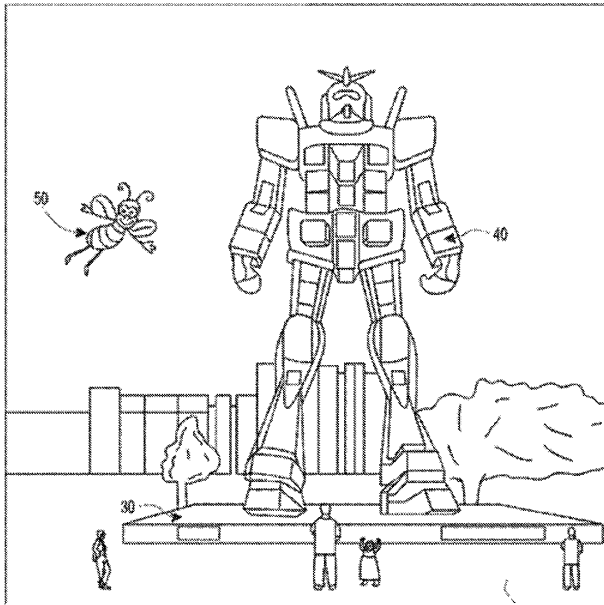


FIG. 1

【図 2】

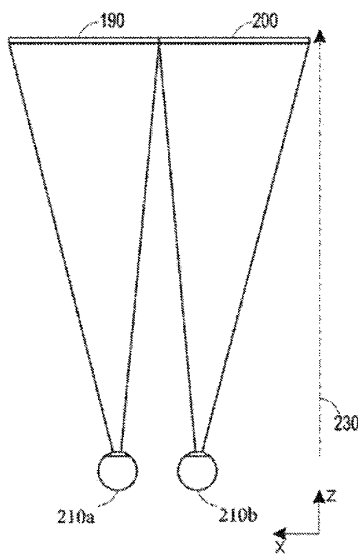


FIG. 2

【図 3 A】

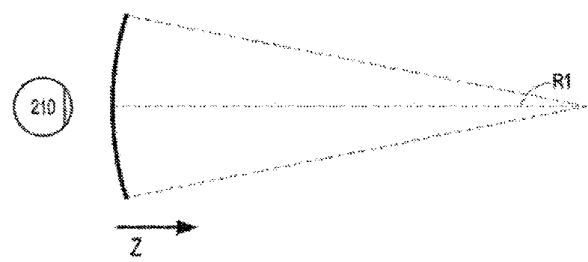


FIG. 3A

【図 3 B】

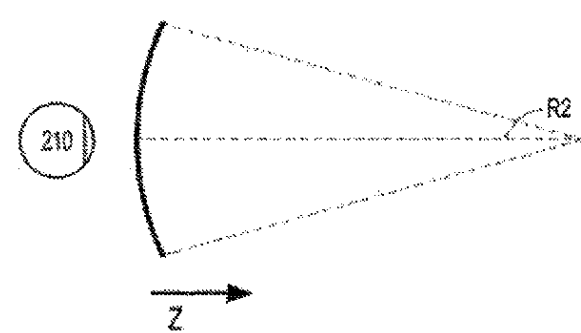


FIG. 3B

10

20

30

40

50

【図 3 C】

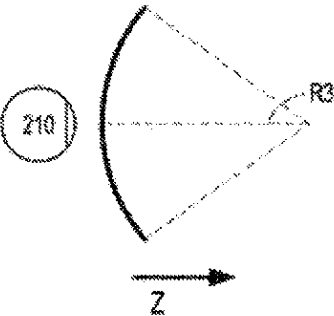


FIG. 3C

【図 4 A】

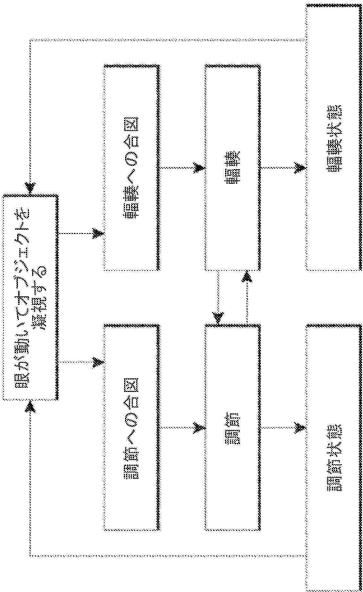


FIG. 4A

【図 4 B】

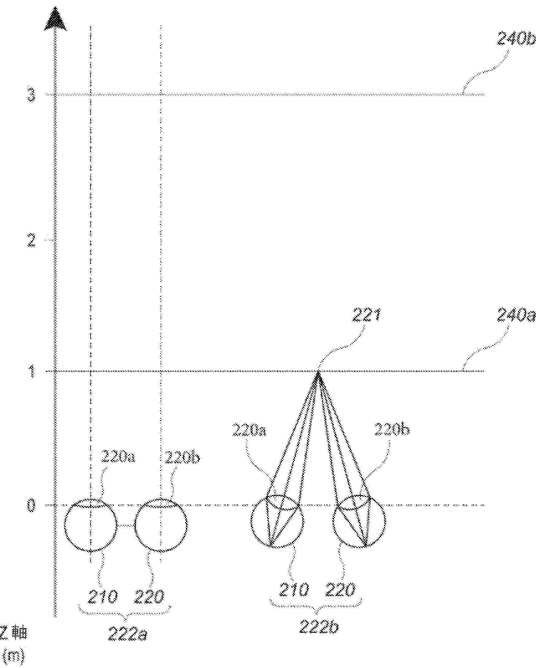


FIG. 4B

【図 4 C】

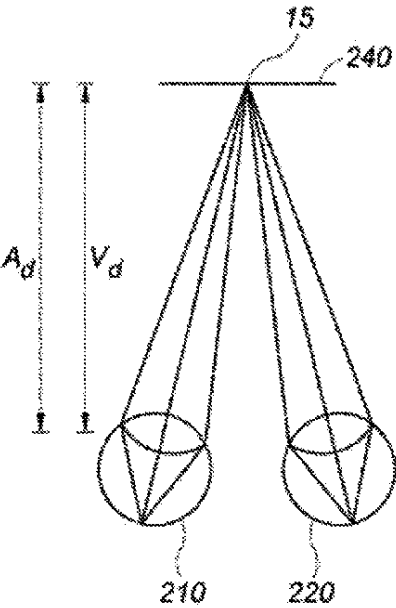


FIG. 4C

10

20

30

40

50

【図 4 D】

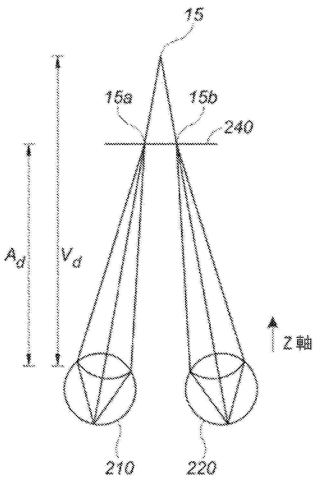


FIG. 4D

【図 5】

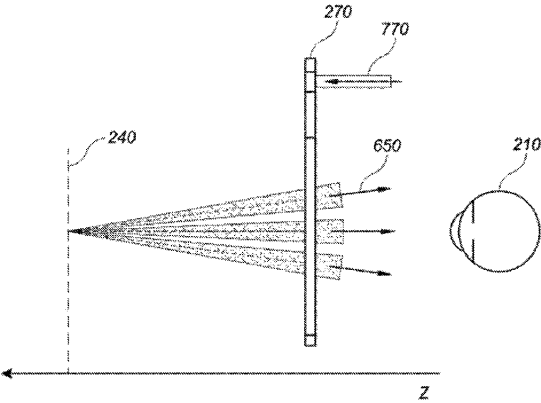


FIG. 5

【図 6】

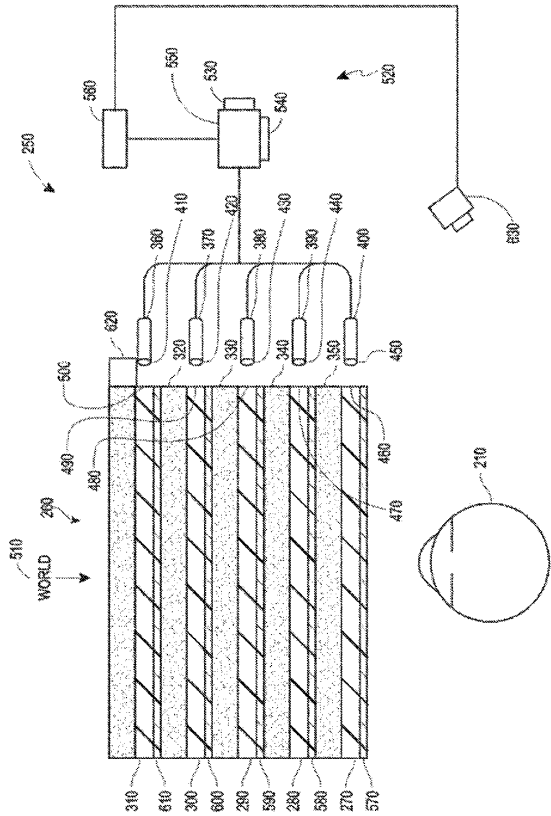


FIG. 6

【図 7】

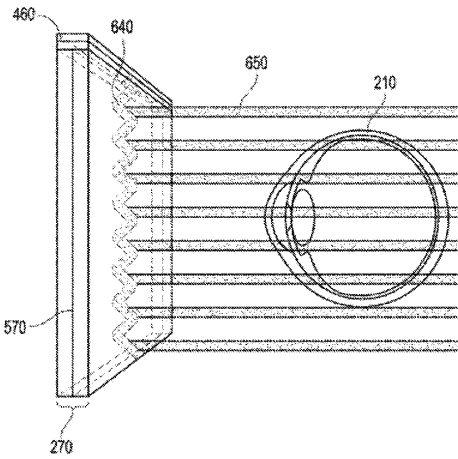


FIG. 7

【図 8】

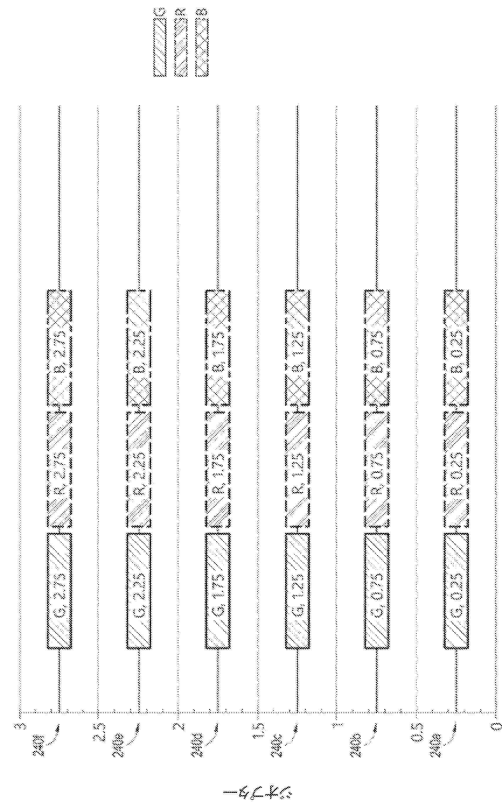


FIG. 8

【図 9 A】

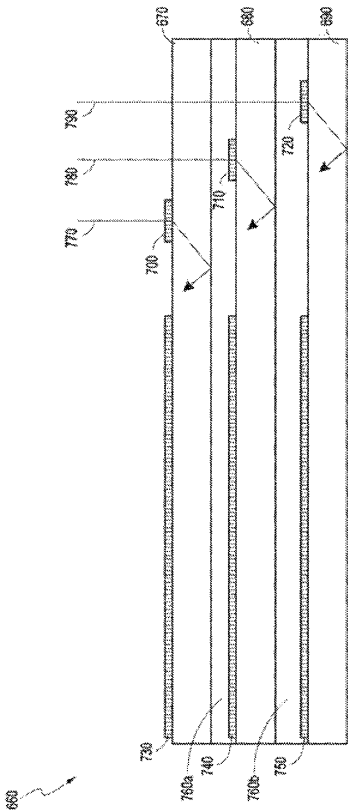


FIG. 9A

【図 9 B】

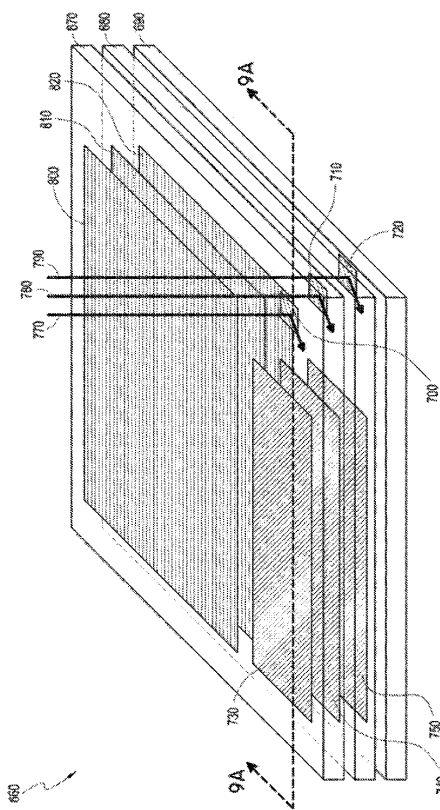


FIG. 9B

【図 9 C】

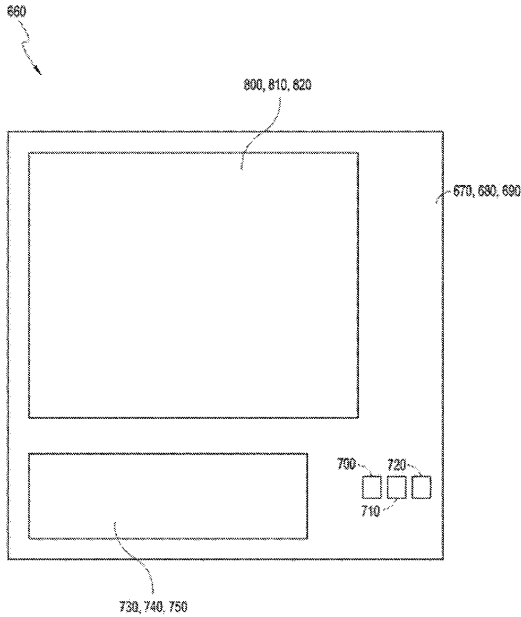


FIG. 9C

10

20

30

40

50

【図 9 D】

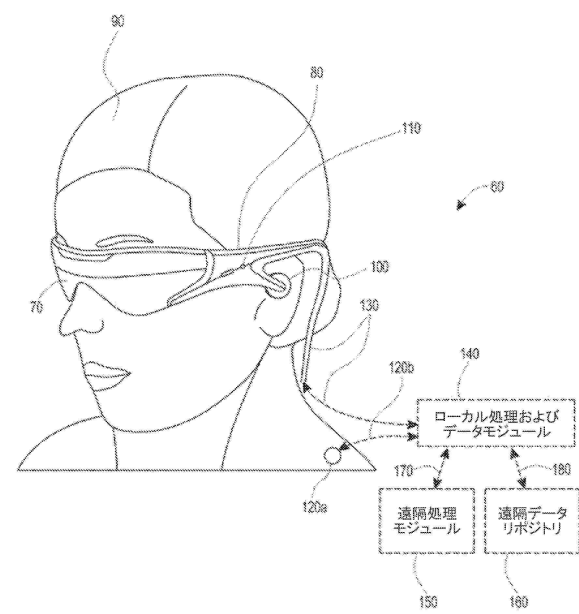


FIG 9D

【図 10】

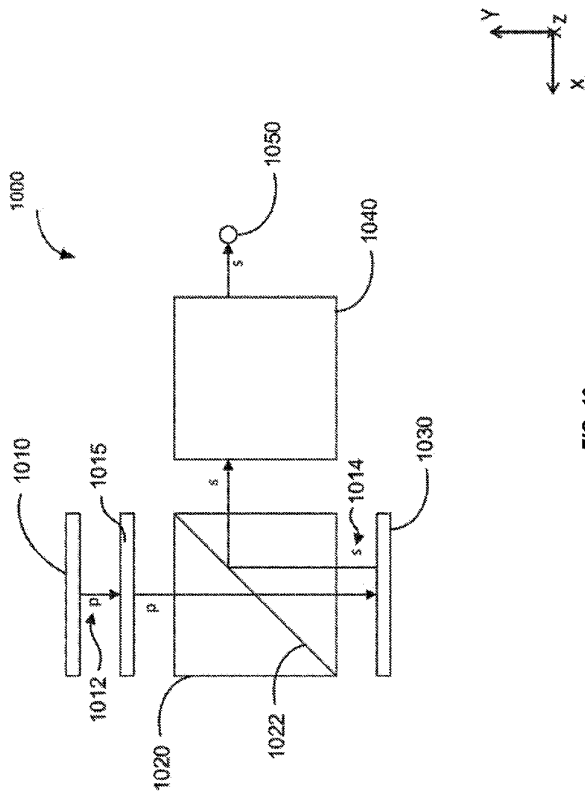


FIG. 10

【図 11 A】

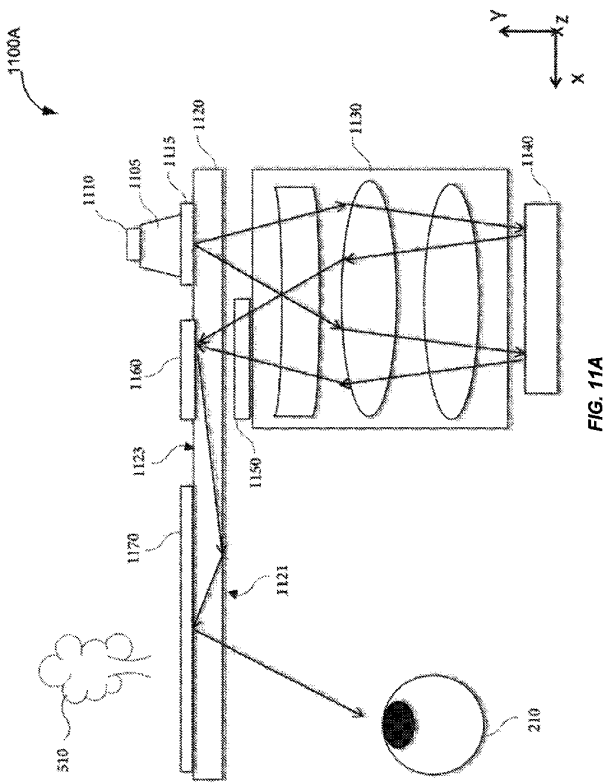


FIG. 11A

【図 11 B】

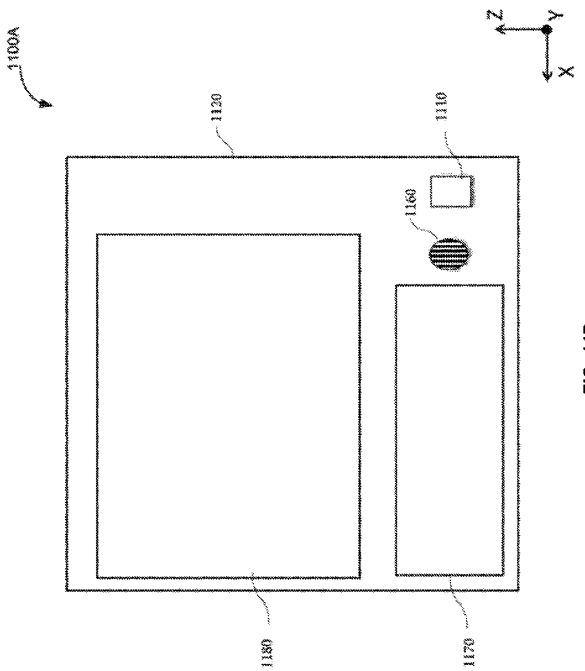


FIG. 11B

10

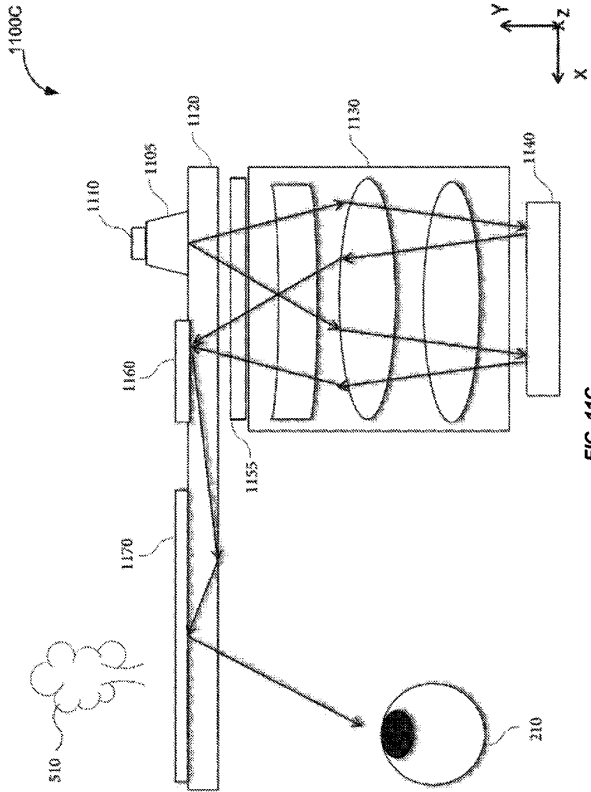
20

30

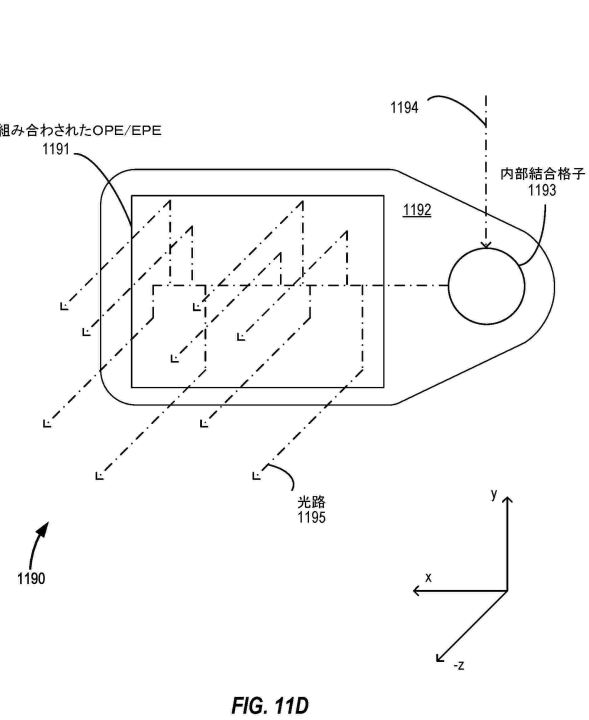
40

50

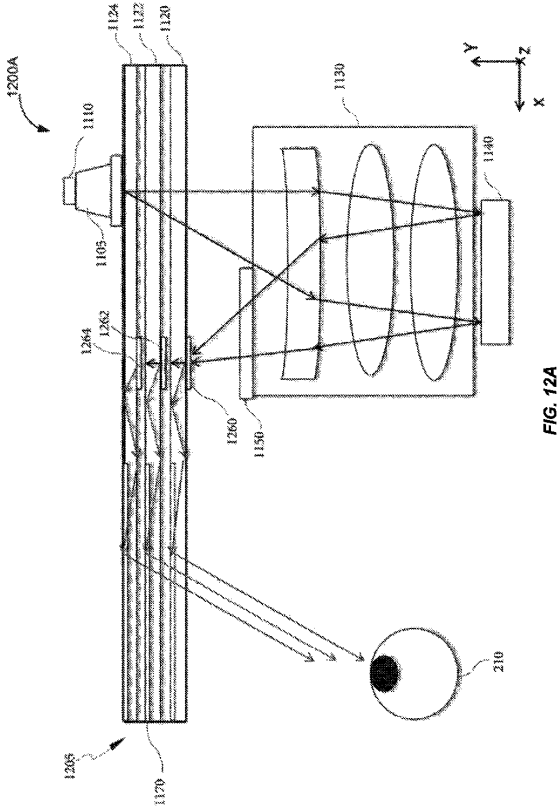
【図 1 1 C】



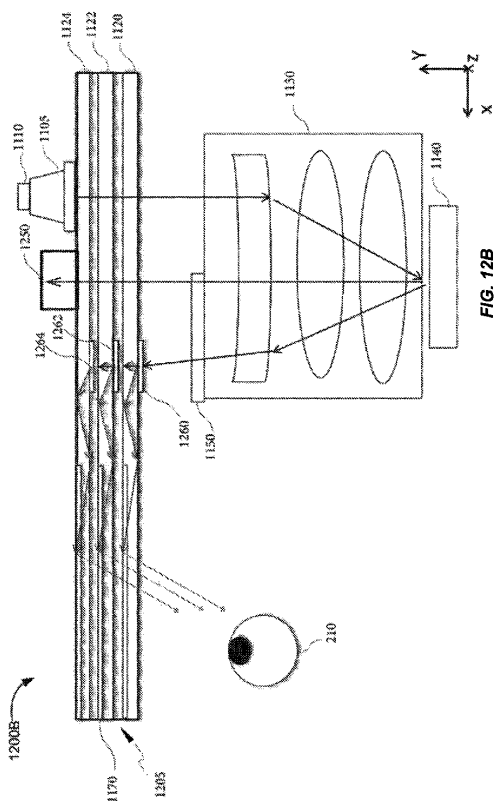
【図 1 1 D】



【図 1 2 A】



【図 1 2 B】



10

20

30

40

50

【図 1 2 C】

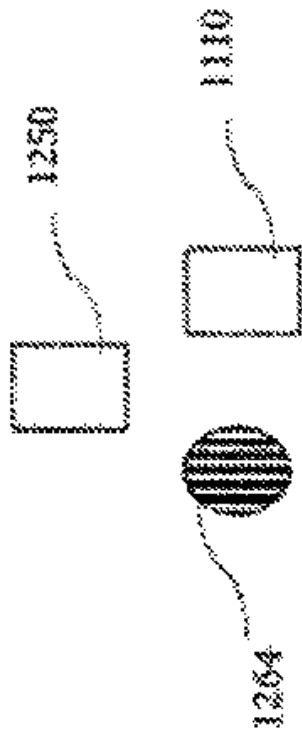


FIG. 12C

【図 1 3 A】

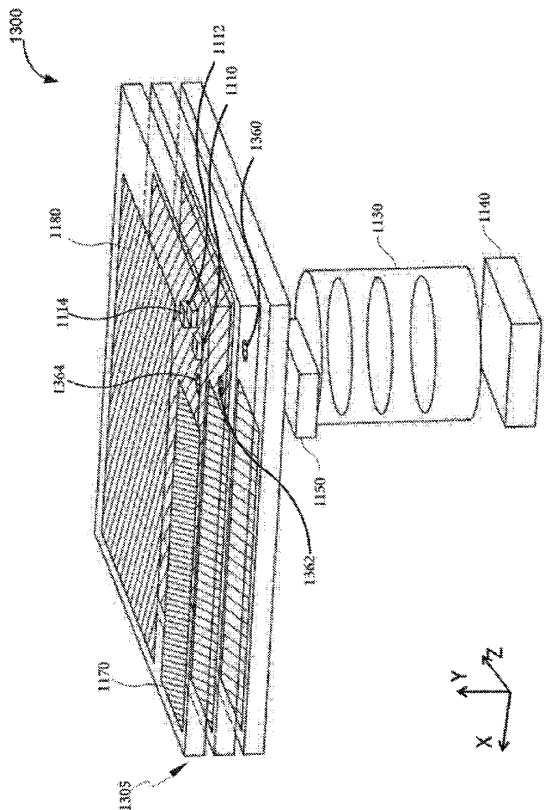


FIG. 13A

【図 1 3 B】

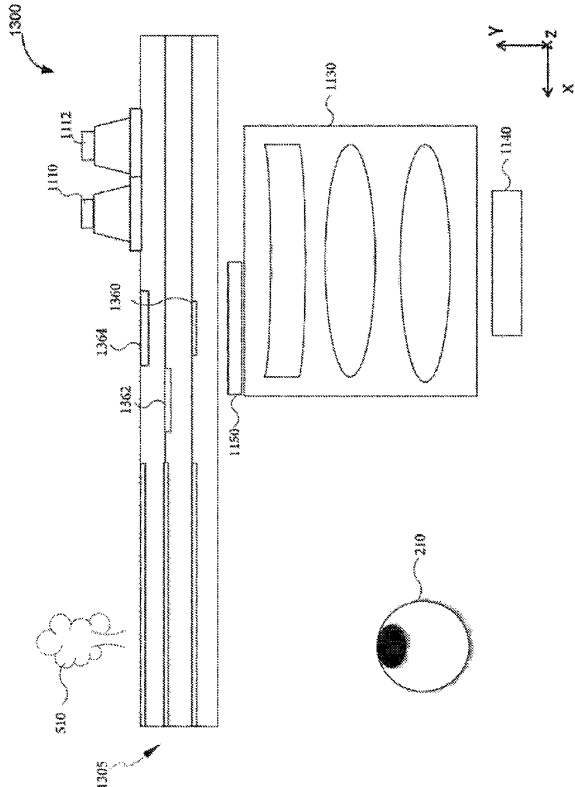


FIG. 13B

【図 1 3 C】

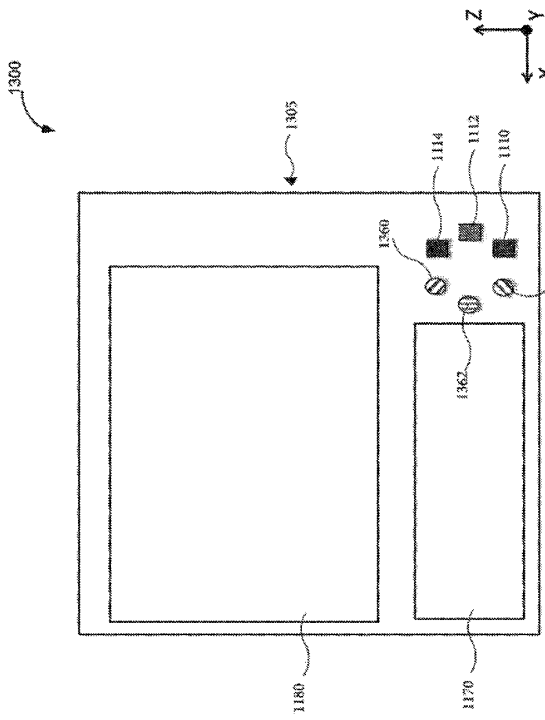


FIG. 13C

10

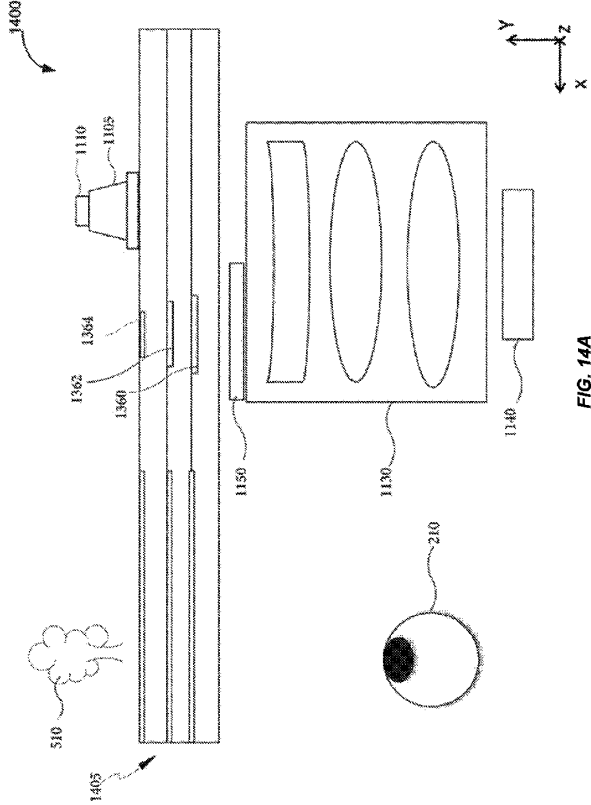
20

30

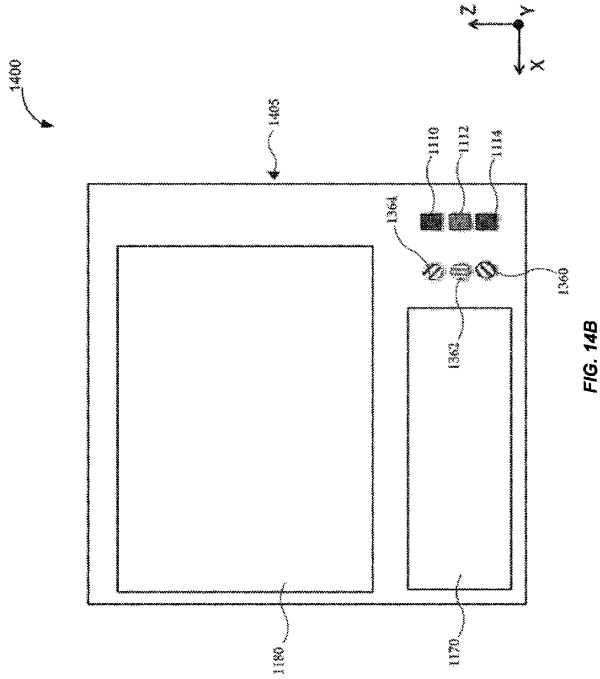
40

50

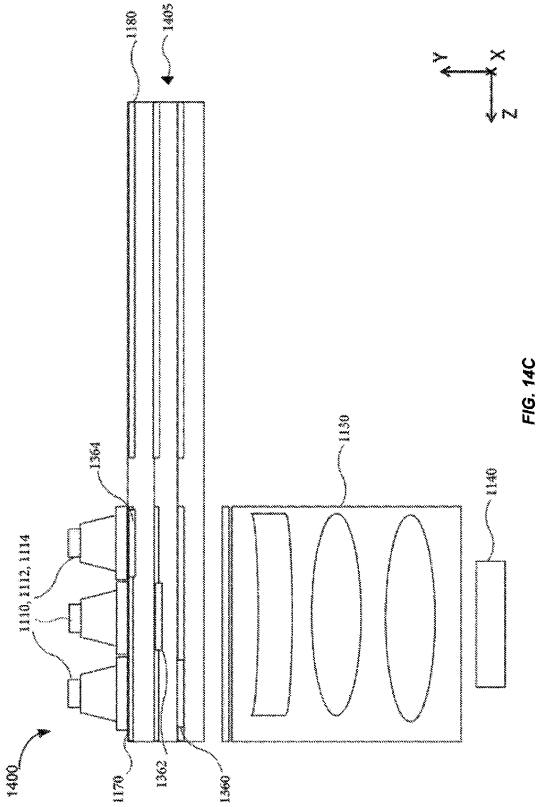
【図 1 4 A】



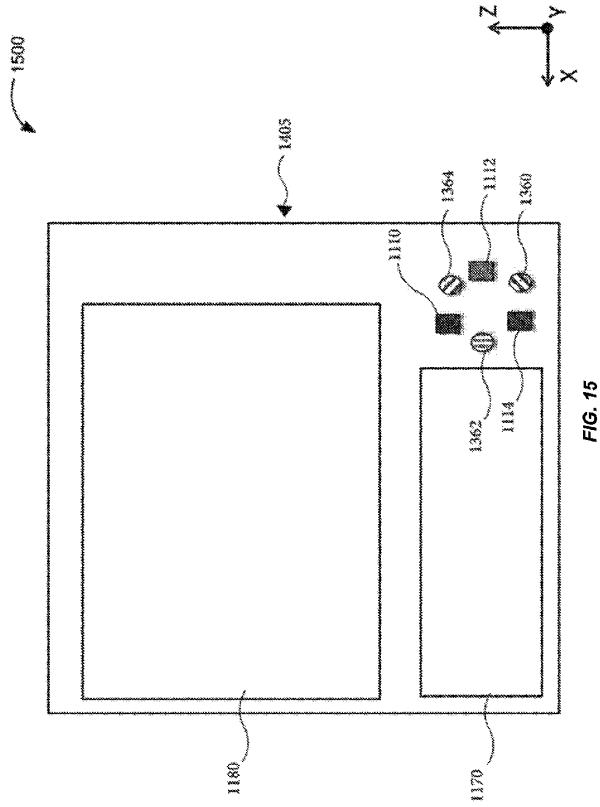
【図 1 4 B】



【図 1 4 C】



【図 1 5】



10

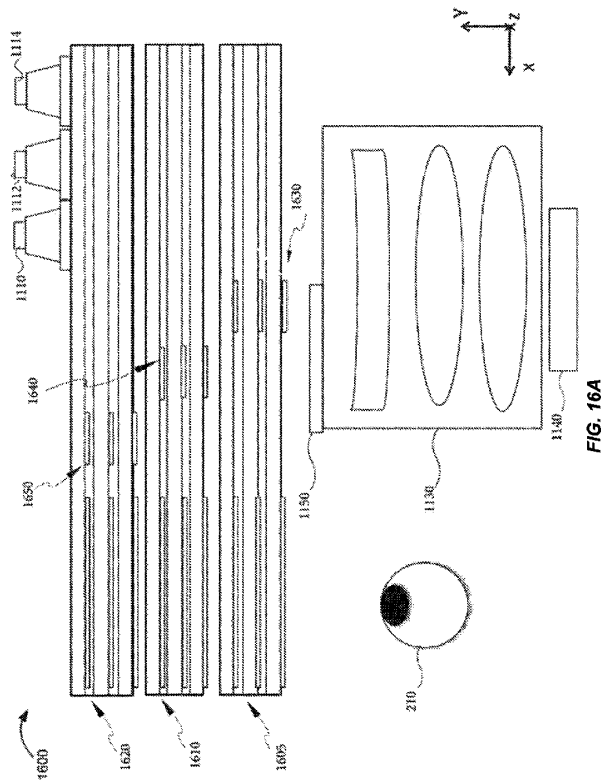
20

30

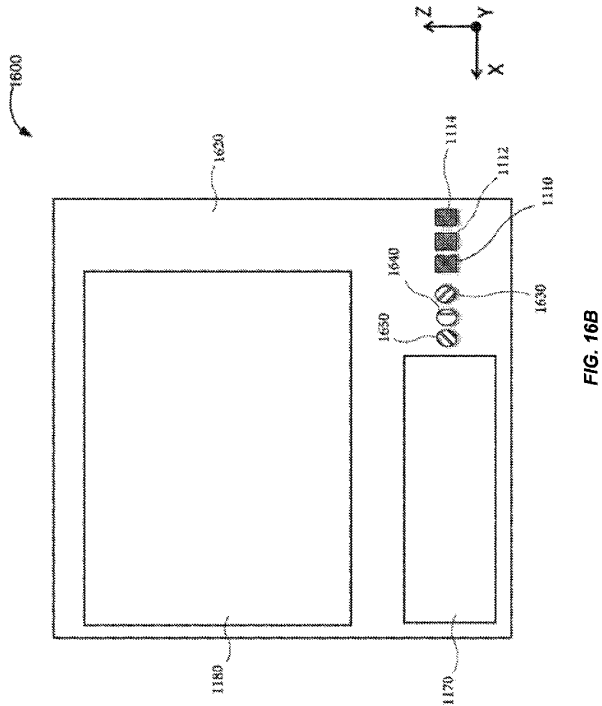
40

50

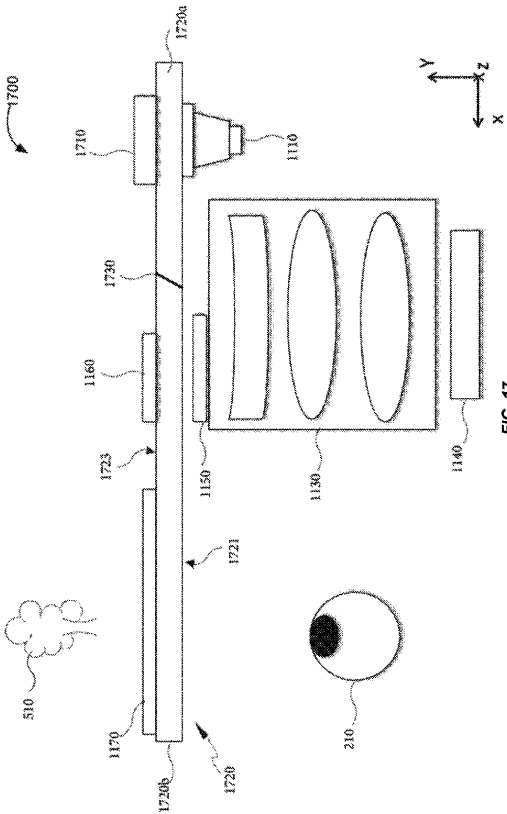
【図 16 A】



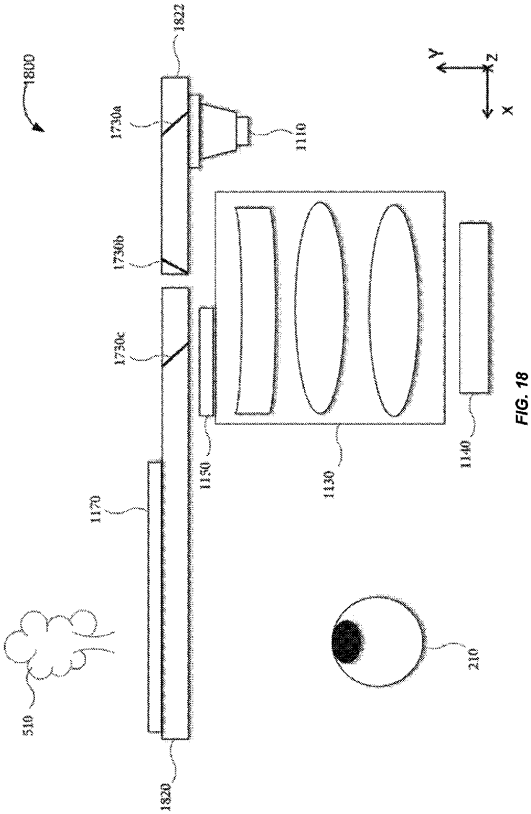
【図 16 B】



【図 17】



【図 18】



10

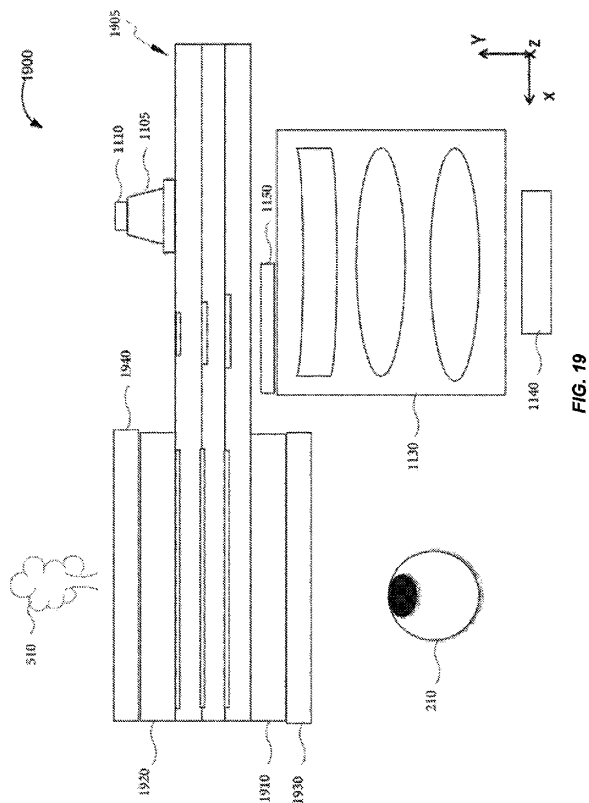
20

30

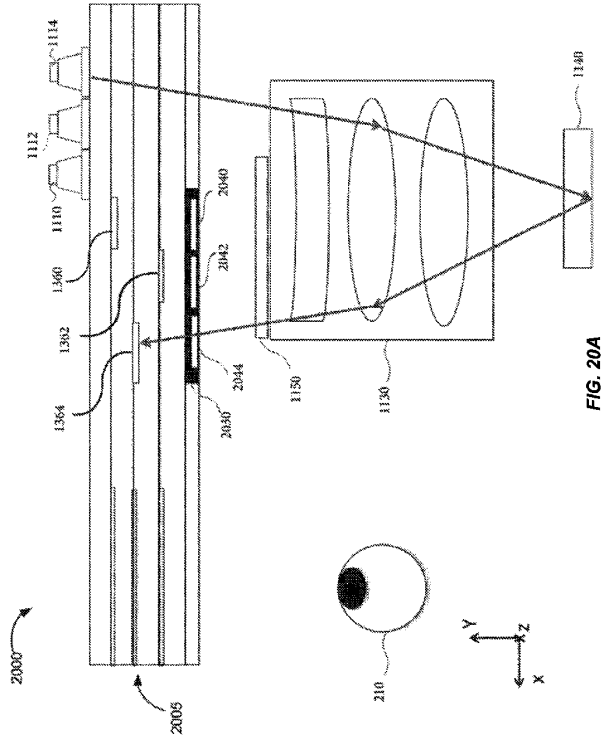
40

50

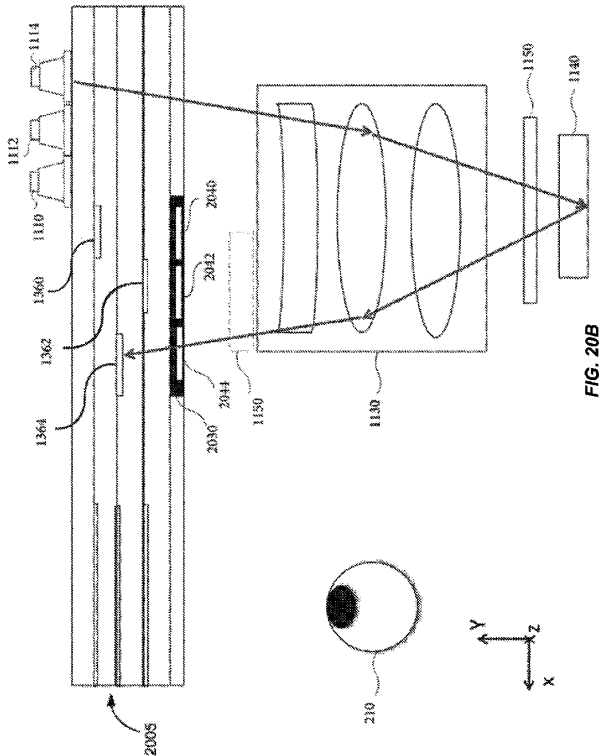
【図 19】



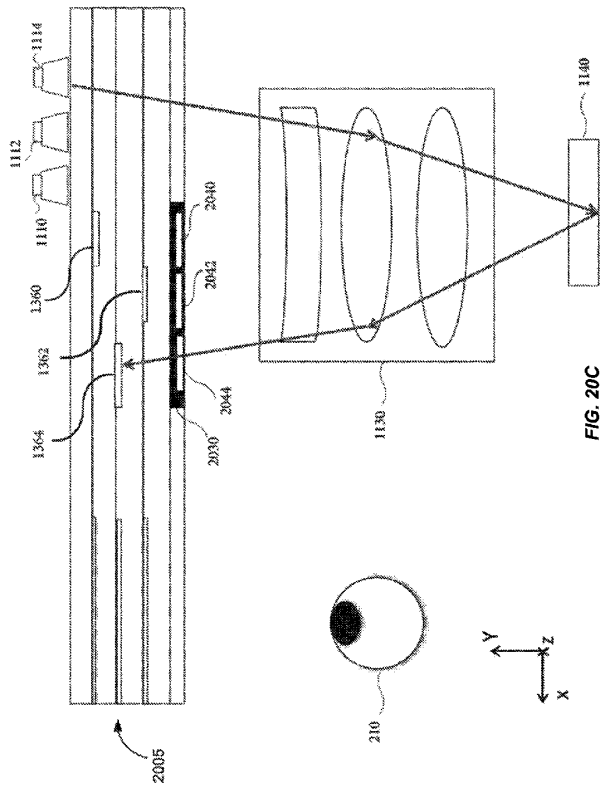
【図 20 A】



【図 20 B】



【図 20 C】



10

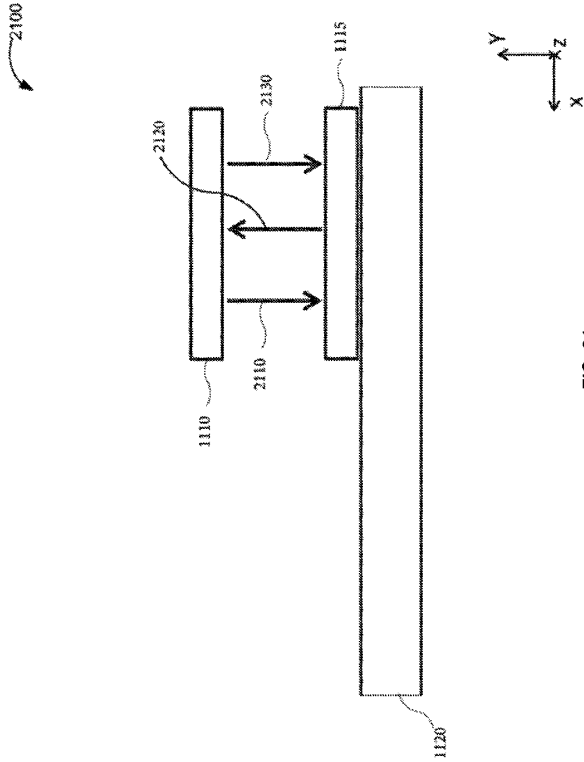
20

30

40

50

【図 2 1】



【図 2 2】

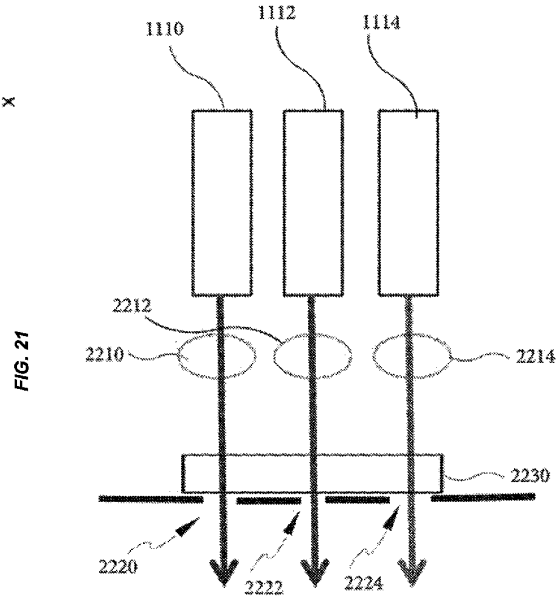


FIG 22

【図 2 3 A】

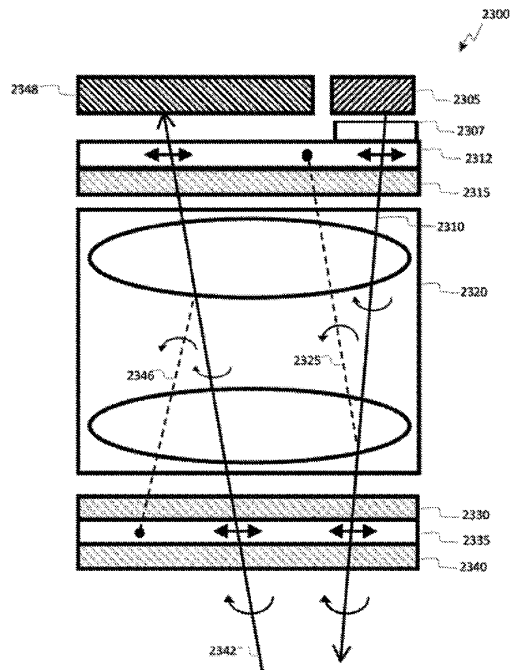


FIG 23A

【図 2 3 B】

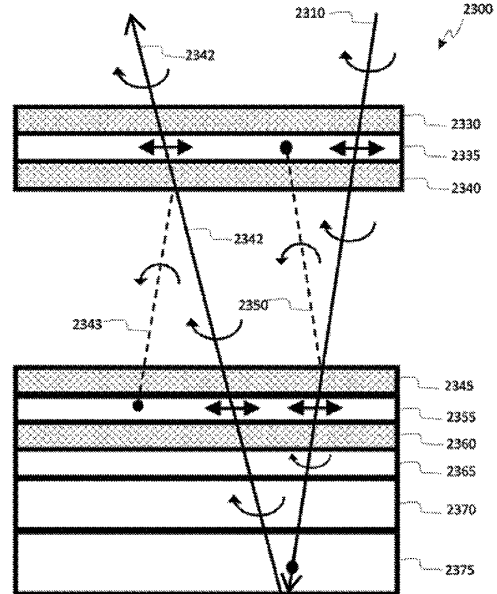


FIG 23B

10

20

30

40

50

【図 23 C】

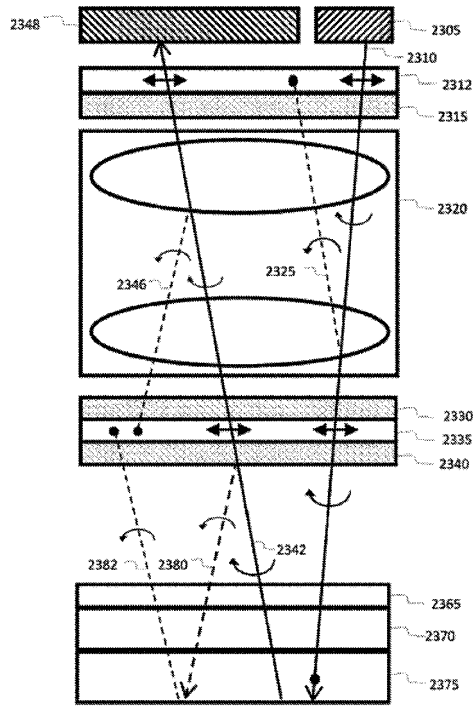


FIG 23C

【図 24】

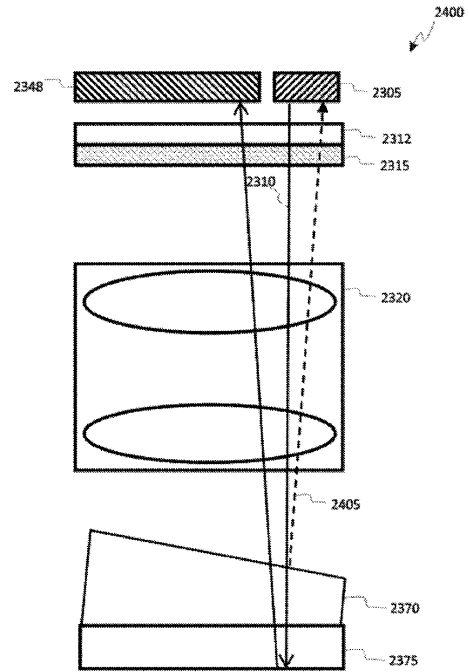


FIG 24

【図 25】

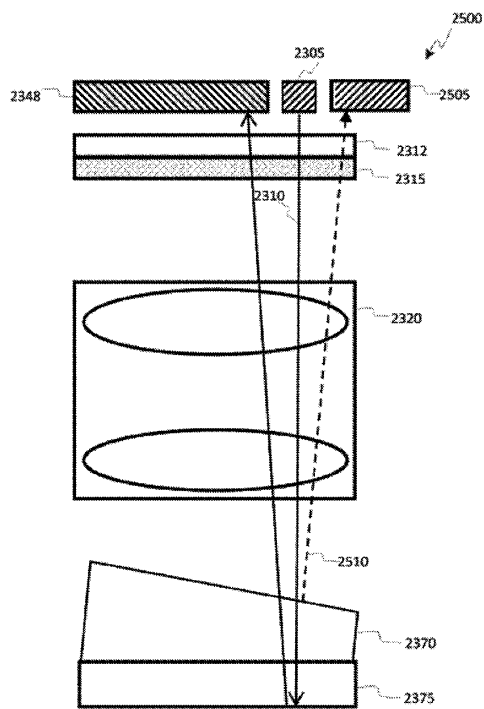


FIG 25

【図 26 A】

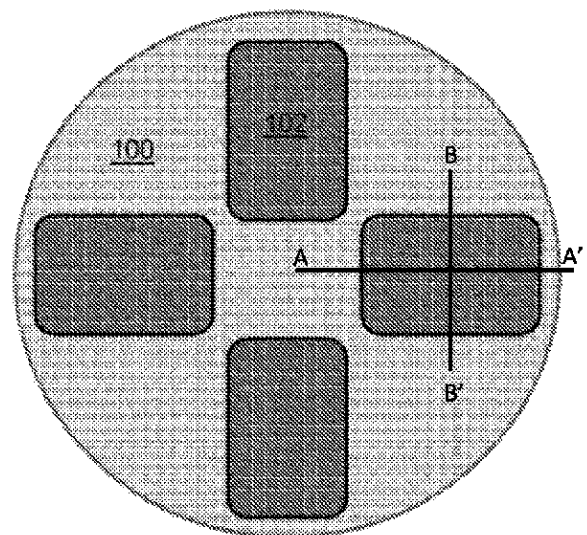


FIG. 26A

10

20

30

40

50

【図 2 6 B】

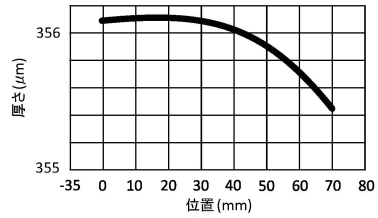


FIG. 26B

【図 2 6 C】

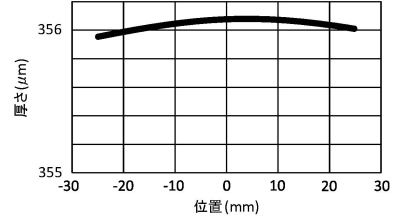


FIG. 26C

【図 2 6 D】

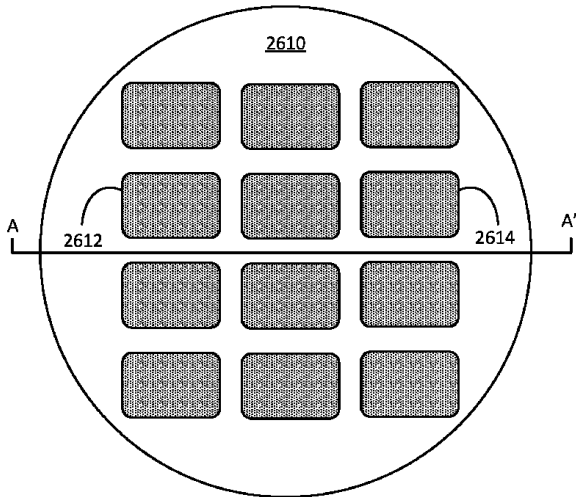


FIG. 26D

【図 2 6 E】

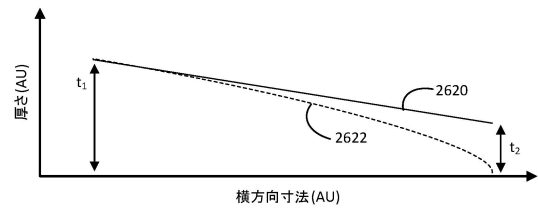


FIG. 26E

【図 2 6 F】

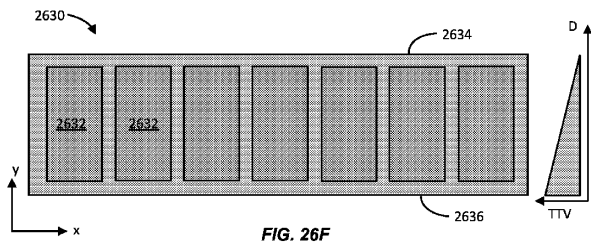


FIG. 26F

【図 2 6 G】

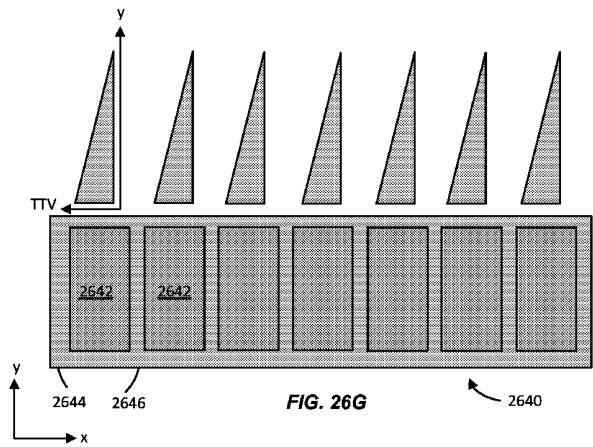


FIG. 26G

10

20

30

40

50

【図 27 A】



FIG. 27A

【図 27 B】



FIG. 27B

【図 27 C】



FIG. 27C

【図 27 D】

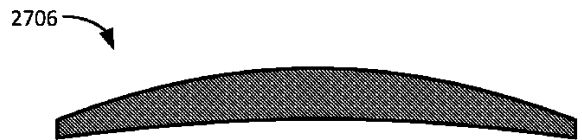


FIG. 27D

【図 27 E】



FIG. 27E

【図 27 F】



FIG. 27F

【図 28 A】

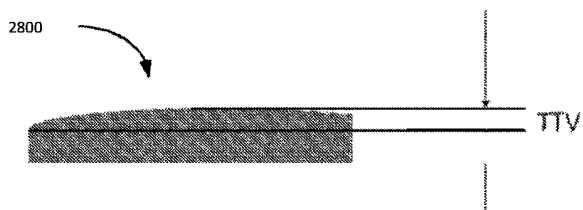


FIG. 28A

【図 28 B】

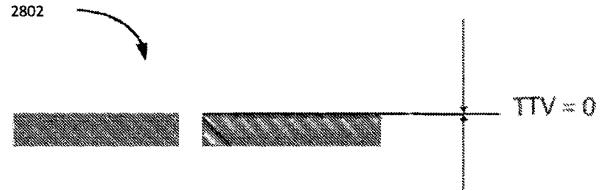


FIG. 28B

10

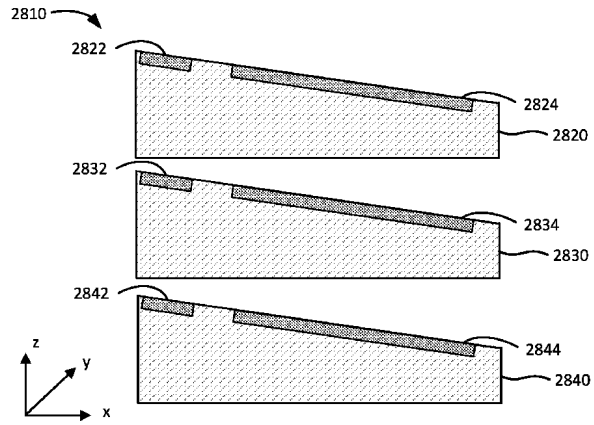
20

30

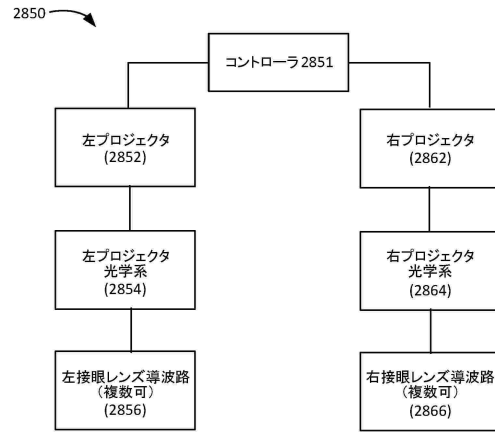
40

50

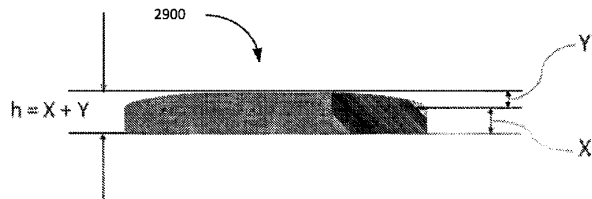
【図 28 C】



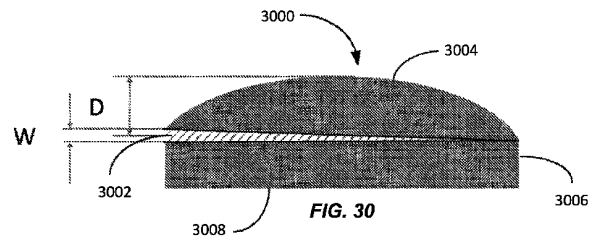
【図 28 D】



【図 29】



【図 30】



10

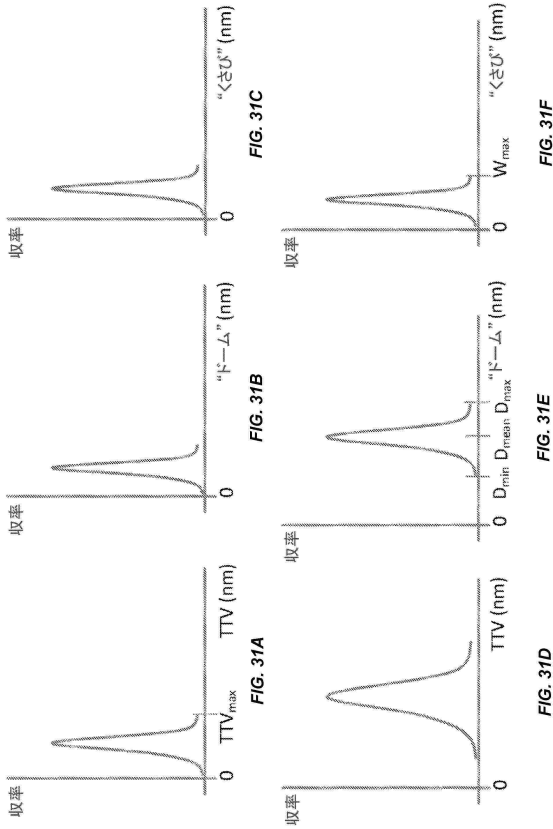
20

30

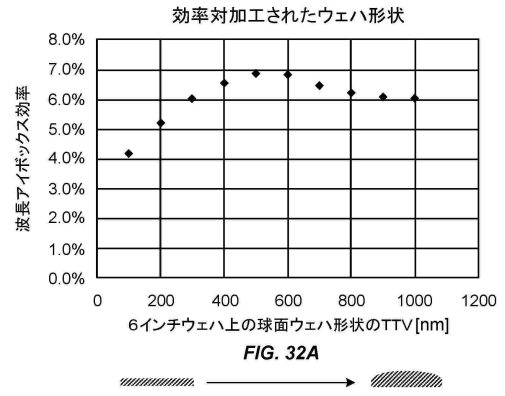
40

50

【図 3 1 A - F】



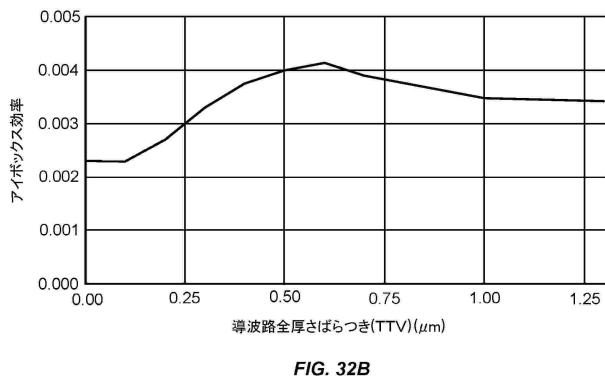
【図 3 2 A】



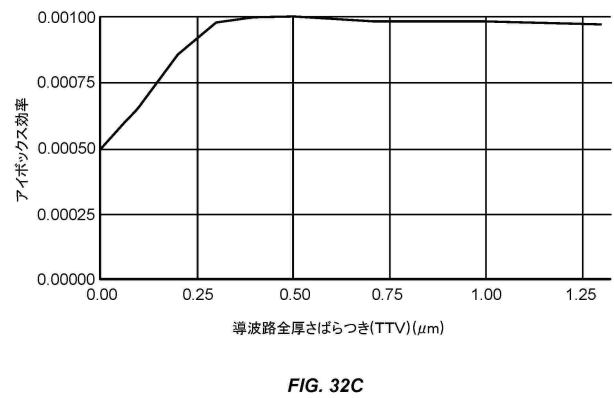
10

20

【図 3 2 B】



【図 3 2 C】



30

40

50

【図 3 3】

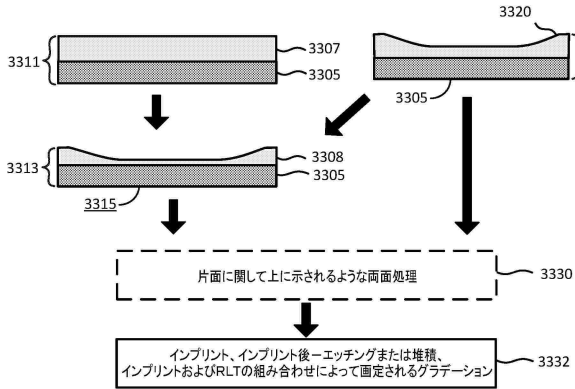


FIG. 33

【図 3 4】

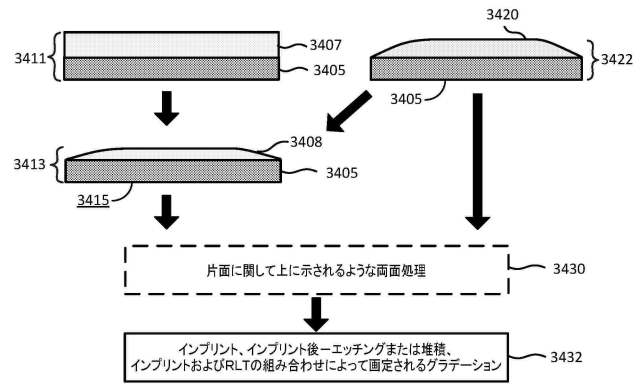


FIG. 34

【図 3 5 A】

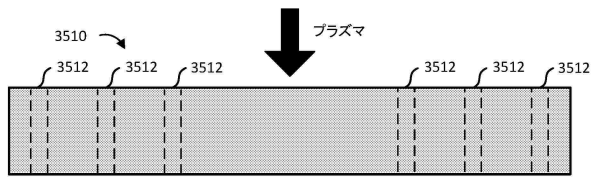


FIG. 35A

【図 3 5 B】

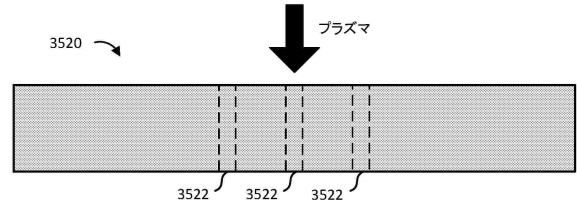


FIG. 35B

【図 3 5 C】

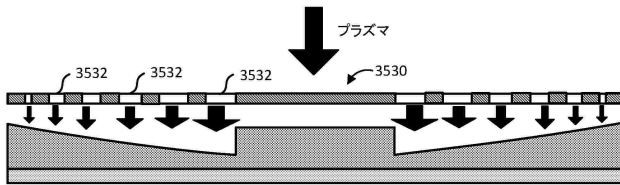


FIG. 35C

【図 3 6 A】

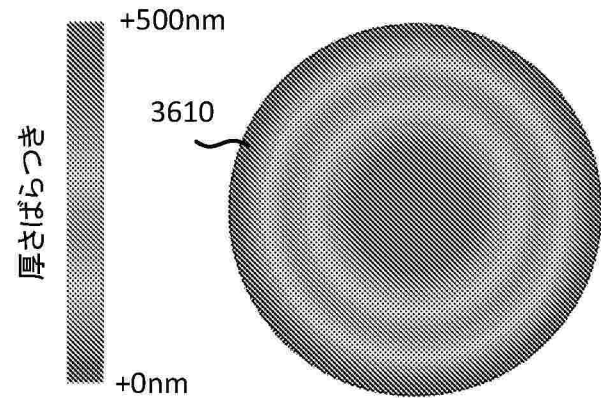


FIG. 36A

10

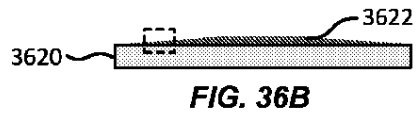
20

30

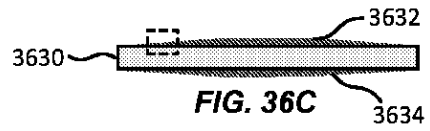
40

50

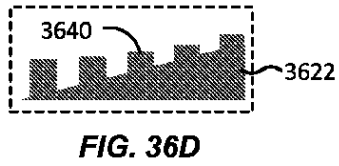
【図 3 6 B】



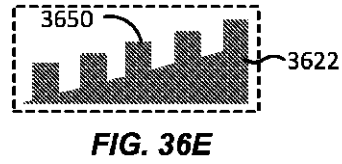
【図 3 6 C】



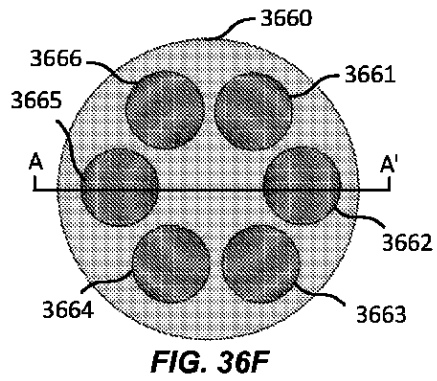
【図 3 6 D】



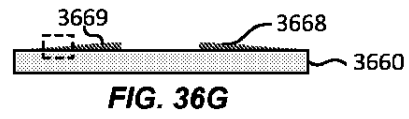
【図 3 6 E】



【図 3 6 F】



【図 3 6 G】



10

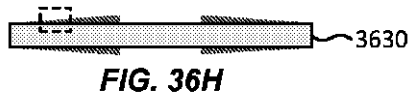
20

30

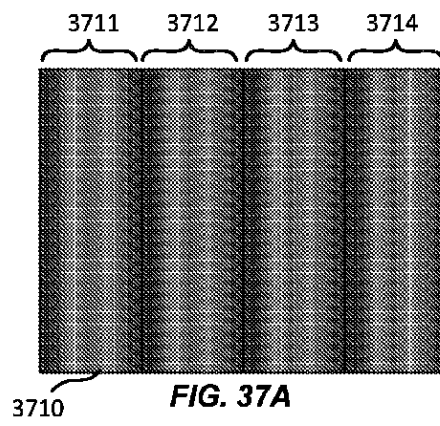
40

50

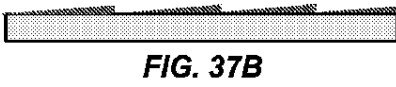
【図 36H】



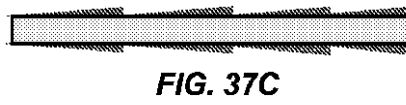
【図 37A】



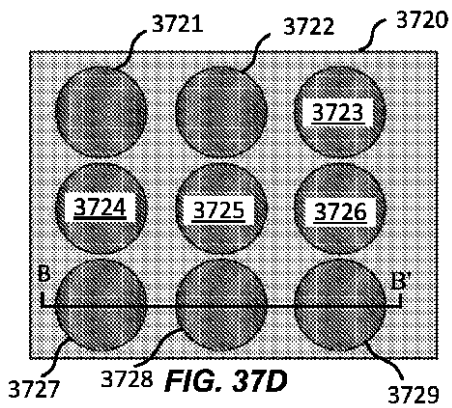
【図 37B】



【図 37C】



【図 37D】



【図 37E】



10

20

30

40

50

【図 37 F】

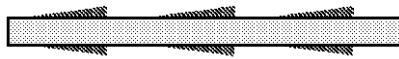


FIG. 37F

【図 38 A】

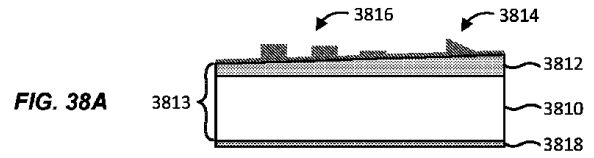


FIG. 38A

【図 38 B】

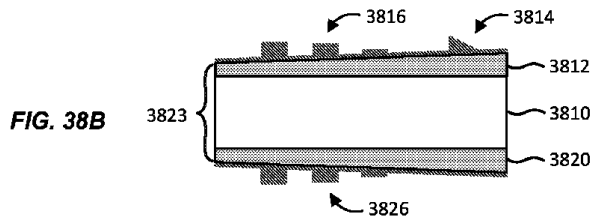


FIG. 38B

【図 38 C】

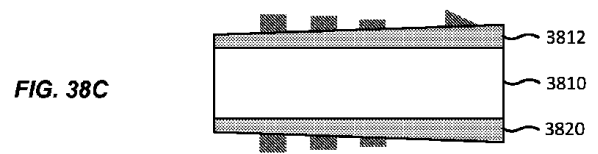


FIG. 38C

【図 38 D】

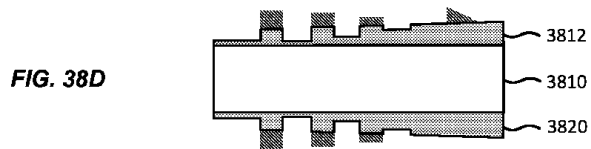


FIG. 38D

【図 38 E】

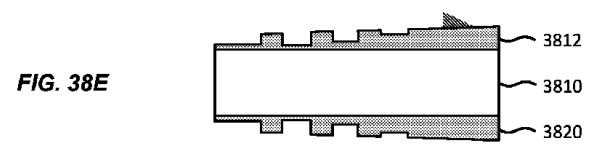


FIG. 38E

【図 38 F】

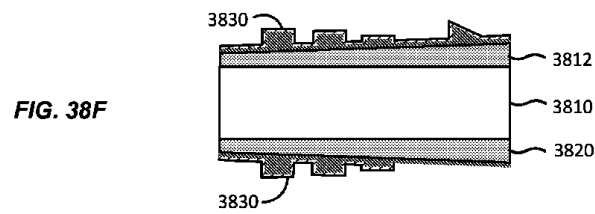


FIG. 38F

【図 39 A】

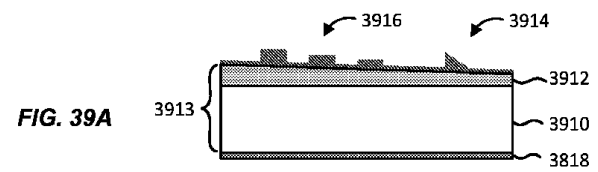


FIG. 39A

10

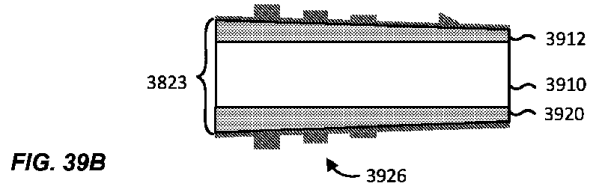
20

30

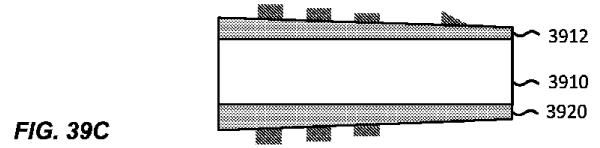
40

50

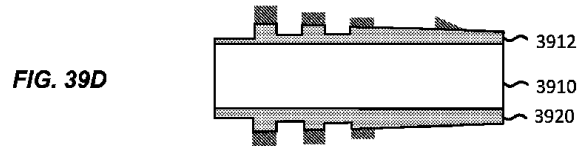
【図 39 B】



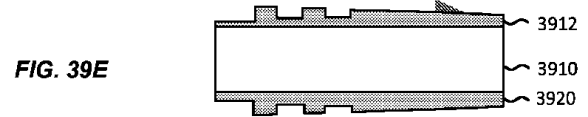
【図 39 C】



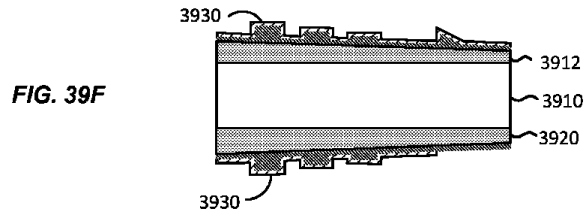
【図 39 D】



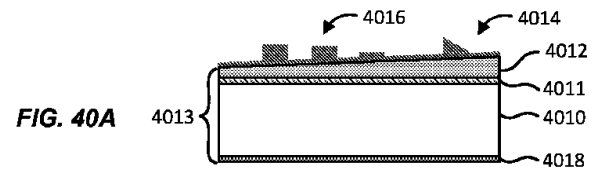
【図 39 E】



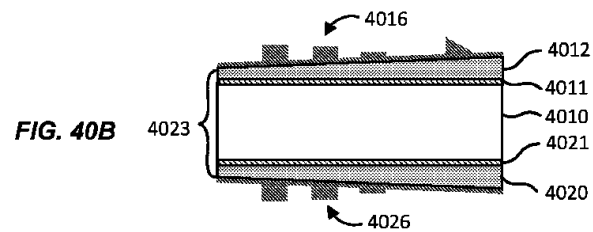
【図 39 F】



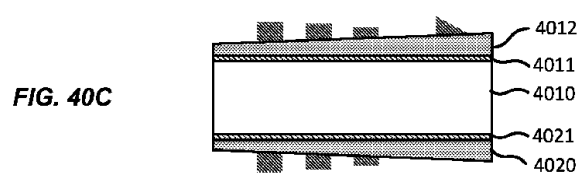
【図 40 A】



【図 40 B】



【図 40 C】



10

20

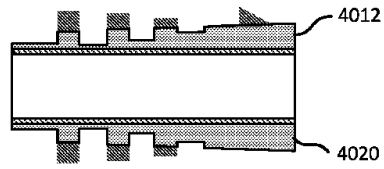
30

40

50

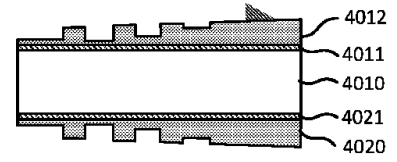
【図 40 D】

FIG. 40D



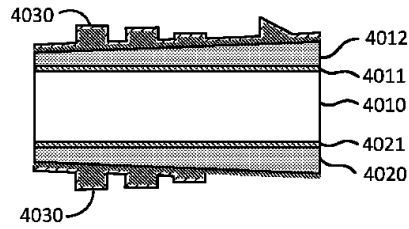
【図 40 E】

FIG. 40E



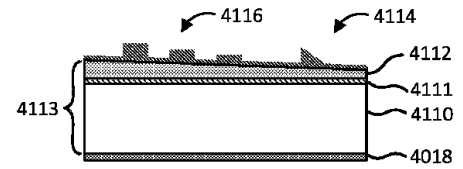
【図 40 F】

FIG. 40F



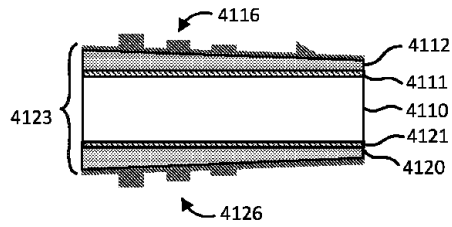
【図 41 A】

FIG. 41A



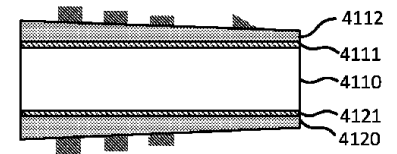
【図 41 B】

FIG. 41B



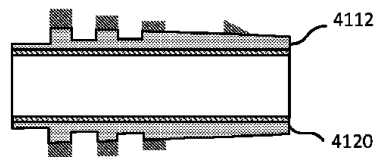
【図 41 C】

FIG. 41C



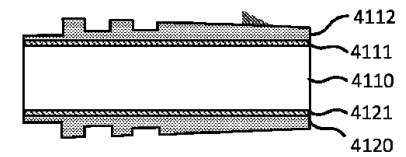
【図 41 D】

FIG. 41D



【図 41 E】

FIG. 41E



10

20

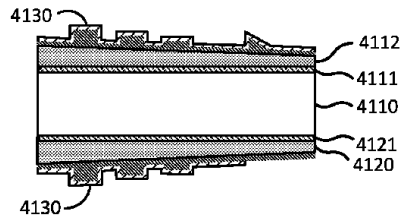
30

40

50

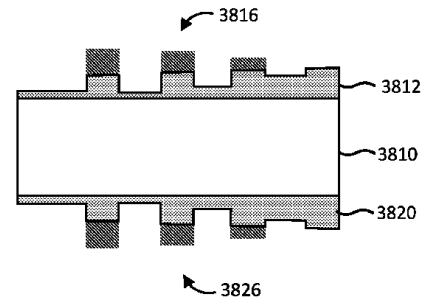
【図 4 1 F】

FIG. 41F



【図 4 2 A】

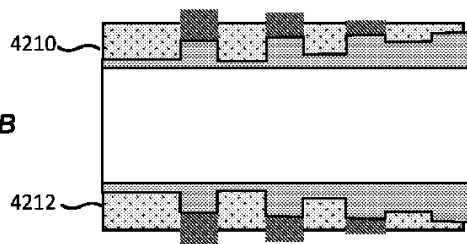
FIG. 42A



10

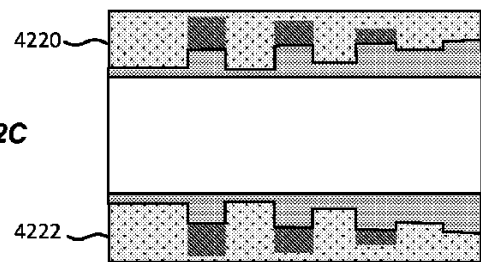
【図 4 2 B】

FIG. 42B



【図 4 2 C】

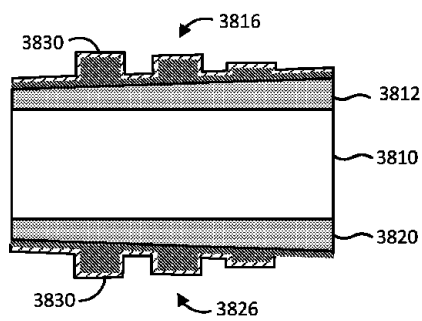
FIG. 42C



20

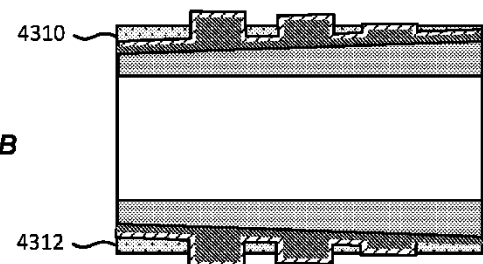
【図 4 3 A】

FIG. 43A



【図 4 3 B】

FIG. 43B



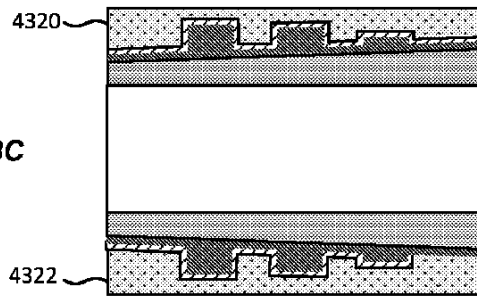
30

40

50

【図 4 3 C】

FIG. 43C



10

20

30

40

50

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 23/16266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC - INV. G02B 6/00, G02B 6/10, G02B 27/01 (2023.01) ADD. H04N 13/388, G02B 6/122, G06T 19/00 (2023.01) CPC - INV. G02B 6/0076, G02B 6/0011, G02B 6/29325, G02B 27/0172 ADD. H04N 13/388, G02B 6/10, G02B 6/122, G06T 19/006 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) See Search History document		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched See Search History document		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) See Search History document		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X --- Y --- A	US 2016/0195720 A1 (MICROSOFT TECHNOLOGY LICENSING, LLC) 07 July 2016 (07.07.2016), entire document especially Fig 4; paras [0066], [0069], [0288]-[0289]	1, 8, 9, 23, 32, 34, 35 2-7, 10-22, 24-31, 33, 38-38, 45, 52-58 39-44
Y	US 2019/0179149 A1 (MAGIC LEAP, INC.) 13 June 2019 (13.06.2019), entire document especially Fig 20A; para [0360]	2-7, 11-22, 26-31, 33, 36, 52-58
Y	US 2005/0189591 A1 (GOTHÖSKAR et al.) 01 September 2005 (01.09.2005), entire document especially Figs 4A-4C; paras [0007], [0035]	10, 37
Y	US 2008/0278812 A1 (AMITAI) 13 November 2008 (13.11.2008), entire document especially Figs 13, 16; paras [0059], [0064]	24-25
Y	US 2020/0264371 A1 (MAGIC LEAP, INC.) 20 August 2020 (20.08.2020), entire document especially para [0004]	38, 45 39-44
A	US 5,452,385 A (IZUMI et al.) 19 September 1995 (19.09.1995), entire document especially	1-45, 52-58
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 16 August 2023		Date of mailing of the international search report SEP 22 2023
Name and mailing address of the ISA/US Mail Stop PCT, Attn: ISA/US, Commissioner for Patents P.O. Box 1450, Alexandria, Virginia 22313-1450 Facsimile No. 571-273-8300		Authorized officer Kari Rodriguez Telephone No. PCT Helpdesk: 571-272-4300

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2022)

10

20

30

40

50

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 23/16266

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:
This application contains the following inventions or groups of inventions which are not so linked as to form a single general inventive concept under PCT Rule 13.1. In order for all inventions to be searched, the appropriate additional search fees must be paid.€

Group I: Claims 1-45, 52-58 drawn to an augmented reality device including an eyepiece.

Group II: Claim 46-51 drawn to an augmented reality device including a substrate structure.

—see extra sheet

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-45, 52-58

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/US 23/16266

Continuation of Box No. III – Observations where unity of invention is lacking

The inventions listed in the above-mentioned groups do not relate to a single general inventive concept under PCT Rule 13.1 because, under PCT Rule 13.2, they lack the same or corresponding special technical features for the following reasons:

Special Technical Features:

Group I includes the special technical features of an eyepiece optically coupled to the projector optics, wherein the eyepiece comprises an eyepiece waveguide characterized by lateral dimensions and an optical path length difference as a function of one or more of the lateral dimensions, not found in the other group.

Group II includes the special technical features of a substrate structure including: a substrate having an incident surface and an opposing exit surface; a first variable thickness film coupled to the incident surface, not found in the other group.

Common Technical Features:

The only technical features shared by Groups I-II is an augmented reality device comprising: a projector; and projector optics optically coupled to the projector. However, these shared technical features do not represent a contribution over prior art, because the shared technical features are disclosed by US 2021/0011305 A1 to Magic Leap, Inc. (hereinafter 'Magic Leap').

Magic Leap discloses an augmented reality device (para [0195]), comprising: a projector; and projector optics optically coupled to the projector (Fig. 1; para [0086]-[0087]).

As the common technical feature was known in the art at the time of the invention, this cannot be considered a special technical feature that would otherwise unify the groups.

Therefore, Groups I-II lack unity under PCT Rule 13.

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MU,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

(72)発明者 テコルスト, ロバート ディー.

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 オング, ライアン ジェイソン

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 リウ, ビクター カイ

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 バーガバ, サマース

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 ペロス, クリストフ

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 シン, ビ克蘭ジット

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 メネゼス, マーロン エドワード

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 ヤン, シューチャン

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

(72)発明者 シュー, フランク ワイ.

アメリカ合衆国 フロリダ 33322, プランテーション, ダブリュー. サンライズ ブール
バード 7500, マジック リープ, インコーポレイテッド内

F ターム (参考) 2H199 BA23 BA49 BA53 BB10 BB15 BB22 BB25 BB29 BB52 BB60

BB62 CA04 CA12 CA24 CA27 CA30 CA34 CA42 CA50 CA53 CA54

CA55 CA63 CA65 CA66 CA67 CA69 CA73 CA74 CA92 CA93 CA94

CA95 CA97

2H249 AA03 AA13 AA50 AA60 AA62