

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6892827号
(P6892827)

(45) 発行日 令和3年6月23日 (2021.6.23)

(24) 登録日 令和3年6月1日 (2021.6.1)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 27/02 (2006.01)

G O 2 B 27/02

Z

請求項の数 19 (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2017-551633 (P2017-551633)
 (86) (22) 出願日 平成28年3月31日 (2016.3.31)
 (65) 公表番号 特表2018-514803 (P2018-514803A)
 (43) 公表日 平成30年6月7日 (2018.6.7)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2016/025363
 (87) 国際公開番号 W02016/161175
 (87) 国際公開日 平成28年10月6日 (2016.10.6)
 審査請求日 平成31年3月29日 (2019.3.29)
 (31) 優先権主張番号 62/142,327
 (32) 優先日 平成27年4月2日 (2015.4.2)
 (33) 優先権主張国・地域又は機関
 米国 (US)

(73) 特許権者 511105986
 ユニヴァーシティ オブ ロチェスター
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 146
 27 ロチェスター ハイラン ビルディ
 ング 611
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100175042
 弁理士 高橋 秀明
 (72) 発明者 ローランド, ジャニック
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 131
 48 セネカ フォールズ レイク ロー
 ド 2167

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 仮想現実および拡張現実ニアアイディスプレイ用の自由形状ナノ構造面

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

画像源と、

前記画像源に光学的に結合されたコンバイナ、ミラー、および導波路のうちの少なくとも1つを含むニアアイディスプレイアセンブリであって、

前記コンバイナ、前記ミラー、および前記導波路のうちの前記少なくとも1つが、各々複数のメタ原子を有する複数の単位セルを配列することによって形成されたメタ回折格子を有するナノ構造面を含み、

前記単位セル内の各前記メタ原子の長さ対幅の比率がそれぞれ異なることを特徴とするニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 2】

前記単位セルが、少なくとも4つのメタ原子を含む、請求項1記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 3】

前記メタ回折格子が、可視スペクトルにわたって少なくとも20%の+1次の絶対回折格子効率を有するよう選択された、請求項1または2記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 4】

前記ニアアイディスプレイアセンブリが、第1の反射面を有するコンバイナと、該コンバイナに光学的に結合された第2の反射面を有する二次ミラーとを含み、前記コンバイナ

と前記二次ミラーとが軸外し折り曲げ配置にあり、前記コンバイナおよび前記二次ミラーのうちの少なくとも一方が、複数のメタ原子を有する単位セルによって少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を有するナノ構造面を含む、請求項 1 ~ 3 のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 5】

各前記メタ原子が 1 nm より大きい寸法を有する、請求項 1 ~ 4 のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 6】

各前記メタ原子が 10 nm より大きい寸法を有する、請求項 5 記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 7】

前記ニアアイディスプレイアセンブリがコンバイナを含み、該コンバイナが、該コンバイナを観察者に対して略透明にするサイズおよび間隔を有する多数のアパチャーを含む、請求項 1 ~ 6 のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 8】

前記メタ回折格子が、少なくとも 60° の入射角にわたって少なくとも 20% の +1 次の絶対回折格子効率を有するよう選択された、請求項 1 ~ 7 のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 9】

前記ニアアイディスプレイアセンブリが、第 1 の反射面を有するコンバイナと第 2 の反射面を有する二次ミラーとを含み、前記コンバイナおよび前記二次ミラーの両方が自由形状面を含む、請求項 1 ~ 8 のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 10】

前記単位セルが約 555.5 nm の長さおよび約 221 nm の幅を有し、第 1 のメタ原子が約 105 nm の長さおよび約 84.6 nm の幅を有し、第 2 のメタ原子が約 105 nm の長さおよび約 47.7 nm の幅を有し、第 3 のメタ原子が約 50 nm の長さおよび約 177 nm の幅を有し、第 4 のメタ原子が約 105 nm の長さおよび約 150 nm の幅を有する、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 11】

前記ナノ構造面が、自由形状面を含む、請求項 1 記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 12】

前記ニアアイディスプレイアセンブリが、装着者の頭部に解除可能に係合するフレームと、該フレームに動作可能に接続された第 1 の反射面を有するコンバイナおよび第 2 の反射面を有する二次ミラーとを含み、

前記コンバイナおよび前記二次ミラーのうちの少なくとも一方が、複数のメタ原子を有する単位セルによって少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を有するナノ構造面を含み、前記単位セル内の前記メタ原子がそれぞれ異なる長さ対幅の比率を有すると共に、可視光スペクトルの大部分にわたって所与の所定の +1 次の絶対回折格子効率を提供するサイズおよび間隔を有する、請求項 1 記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 13】

前記画像源が、光路に沿って前記二次ミラーに光学的に結合されており、前記光路内に、球面、非球面、アナモルフィック、アナモルフィック非球面、または自由形状の光学部品またはレンズのうちの 1 つである光学要素を更に含む、請求項 12 記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 14】

前記単位セルが 4 つのメタ原子を有し、各前記メタ原子がそれぞれ異なる長さ対幅の比率を有する、請求項 12 または 13 記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項 15】

前記コンバイナおよび前記二次ミラーの各々が、複数のメタ原子を有する単位セルによ

10

20

30

40

50

って少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を有するナノ構造面を含み、前記単位セル内の前記メタ原子がそれぞれ異なる長さ対幅の比率を有すると共に、可視光スペクトルの大部分にわたって少なくとも20%の+1次の絶対回折格子効率を提供するサイズおよび間隔を有する、請求項12~14のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項16】

前記ナノ構造面が、自由形状面とナノ構造面との組合せを備える、請求項12~15のいずれか一項記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項17】

前記ニアアイディスプレイアセンブリが、フレームと、該フレームに第1の反射面として動作可能に接続されたコンバイナと、前記フレームに第2の反射面として動作可能に接続された二次ミラーとを含み、

10

前記コンバイナおよび前記二次ミラーの少なくとも1つがナノ構造面を含み、および前記コンバイナおよび前記二次ミラーの少なくとももう1つが自由形状面を含み、前記自由形状面の自由形状構成要素が、前記第1の反射面および前記第2の反射面の傾きおよび芯ずれによって生じる光学収差を補正する、請求項1記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【請求項18】

前記ナノ構造面が、自由形状面とナノ構造面との組合せを備える、請求項17記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

20

【請求項19】

前記ニアアイディスプレイアセンブリが、前記画像源に光学的に結合された導波路を含み、

前記導波路が、複数のメタ原子を有する単位セルによって少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を有するナノ構造面を含む、請求項1記載のニアアイディスプレイアセンブリ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、仮想現実および拡張現実ニアアイディスプレイ用の自由形状ナノ構造面に関する。

30

【背景技術】

【0002】

ニアアイディスプレイは、ユーザの視界の前に表示を生じるウェアラブルデバイスである。このディスプレイは透明または不透明であり得る。例えば、透明なディスプレイは、現実世界の視界の上に情報およびグラフィックをオーバーレイするものであり得、一方、不透明なディスプレイは、観察者に対して、ニアアイディスプレイからの情報のみを呈示する。

【発明の概要】

【0003】

40

本明細書に示される態様によれば、画像源と、画像源に光学的に結合されたコンバイナ、二次ミラー、および導波路のうちの少なくとも1つを含むニアアイディスプレイアセンブリであって、コンバイナ、二次ミラー、および導波路のうちの少なくとも1つが、複数のメタ原子を有する単位セルによって少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を有する自由形状ナノ構造面を含む、ニアアイディスプレイアセンブリが提供される。

【0004】

本明細書に示される更なる態様によれば、画像源に動作可能に接続されたコンバイナおよび二次ミラーのうちの少なくとも1つを有するニアアイディスプレイであって、コンバイナおよび二次ミラーのうちの少なくとも1つが自由形状ナノ構造面を含み、更に、自由形状ナノ構造面が、自由形状面、ナノ構造面、または自由形状面とナノ構造面との組合せ

50

を包含する、ニアアイディスプレイが提供される。

【0005】

本明細書に示される更なる態様によれば、コンバイナと、コンバイナに動作可能に接続された二次ミラーとを有するニアアイディスプレイであって、コンバイナおよび二次ミラーのうちの少なくとも一方が、複数のメタ原子を有する単位セルによって少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を含む、ニアアイディスプレイが提供される。

【0006】

別の態様によれば、装着者の頭部に解除可能に係合するフレームと、フレームに動作可能に接続されたコンバイナと、コンバイナおよびフレームのうちの一方に動作可能に接続された二次ミラーとを有するニアアイディスプレイアセンブリであって、コンバイナおよび二次ミラーのうちの少なくとも一方が、複数のメタ原子を有する単位セルによって少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を有する自由形状ナノ構造面を含み、単位セル内のメタ原子がそれぞれ異なる長さ対幅の比率を有すると共に、可視光スペクトルの大部分にわたって少なくとも50%の効率を提供するサイズおよび間隔を有する、ニアアイディスプレイアセンブリが提供される。

【0007】

別の態様において、画像源と、画像源に光学的に結合された導波路とを有するニアアイディスプレイアセンブリであって、導波路が、複数のメタ原子を有する単位セルによって少なくとも部分的に画成されたメタ回折格子を有する自由形状ナノ構造面を含む、ニアアイディスプレイアセンブリが提供される。

【0008】

更なる態様によれば、フレームと、フレームに第1の反射面として動作可能に接続されたコンバイナと、フレームに第2の反射面として動作可能に接続された二次ミラーとを有するニアアイディスプレイアセンブリであって、コンバイナおよび二次ミラーの各々が自由形状ナノ構造面を含み、その下の表面形状が自由形状であってもよく、表面上に重ねられたナノ構造が自由形状面を生じてよく、またはそれらの組合せであってもよく、自由形状特性が、第1の反射面および第2の反射面の傾きおよび芯ずれによって生じる光学収差を補正するよう構成された、ニアアイディスプレイアセンブリが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1a】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第1の態様を模式的に示す

【図1b】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第1の態様を模式的に示す

【図2a】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第2の態様を模式的に示す

【図2b】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第2の態様を模式的に示す

【図3a】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第3の態様を模式的に示す

【図3b】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第3の態様を模式的に示す

【図4a】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第4の態様を模式的に示す

【図4b】メタ回折格子を組み込んだニアアイディスプレイの第4の態様を模式的に示す

【図5】メタ回折格子の単位セルの上面図

【図6】図5の単位セルの側断面図

【図7】図5の単位セルの4つのメタ原子の個々の応答のプロットであり、4つのメタ原子の均一周期アレイに法線入射する平面波についての、波長に対する振幅を示す

【図8】図5の単位セルの4つのメタ原子の個々の応答のプロットであり、4つのメタ原子の均一周期アレイに法線入射する平面波についての、波長に対する複素反射係数、 $r = |r|e^{i\phi}$ の位相を示す

【図9】波長に対する、反射率に基づいて予測された絶対効率のプロット

【図10】機械刻線回折格子およびメタ回折格子についての、偏光、入射角、および波長の関数としての、 $m = +1$ でのシミュレーションされた絶対回折格子効率の比較を示す

【図11】広い視野に詳細にわたる入射角の関数としての、メタ回折格子の効率を示す

【図12】導波路を用いたニアアイディスプレイの態様を模式的に示す

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0010】

ニアアイディスプレイは、観察者に対して、観察瞳（「アイボックス」とも称する）内に画像情報を呈示し、この画像情報は、観察者の目の瞳と位置合わせされた際に、観察者の視野内にバーチャル画像を生じる。ニアアイディスプレイのコンバイナ、または導波路は、観察者の視野の外の位置から観察者の目に向かって画像情報を運ぶ。コンバイナ（または導波路）によって運ばれる画像情報は、バーチャル画像を観察者の目の中に投影するための角度的に符号化された形態を有し得る。

【0011】

コンバイナは、コンバイナの同じ側（反射／反射、または透過／透過）からの、またはコンバイナの異なる2つの側からの（反射／透過）2つの画像を合成する光学装置である。コンバイナは、ユーザが、外部の景色に重ねられたコンピュータ生成画像（CGI）を見ることを可能にするヘッドアップディスプレイ（HUD）（ヘッドマウントディスプレイ（HMD）と称される場合もある）またはニアアイディスプレイにおいて用いられ得る。HUDは、ユーザが通常の視点から目をそらさずにCGIを見ることを可能にする。

【0012】

一般的に、コンバイナには2つのバージョンがある。第1のバージョンは、2つの視野を、どちらの視野にもいかなるレンズ効果も加えずに、合成する（例えば、傾いたダイクロイックプレート等）。第2のバージョンは、合成機能に加えて、ディスプレイから入射する視野に対するレンズ効果機能（これが、全球面、軸外し円錐、非球面、または自由形状のレンズ効果であり得る）を含む。レンズ効果機能は、ディスプレイから発するバーチャル画像を遠視野またはコンバイナからの特定の距離に変位させるため、および、ユーザがターゲットのサイズにおいてバーチャル画像に焦点を合わせるのを可能にするために画像に特定の視野を与えるために用いられる。レンズ効果機能は、表示される視野を通して光学収差の適切な補正を提供するよう構成される。また、レンズ効果機能は、個々のユーザに対して眼科的な補正を提供するよう構成されてもよい。

【0013】

導波路（導光板と称する場合もある）としては、回折型、ホログラフィ式、偏向型、または反射型の導波路が挙げられるが、それらに限定されない。ナノ構造面の態様は、光を導波路に入らうおよび／または導波路から出よう結合するために用いられ得る。

【0014】

画像情報は、観察者の視野の外から（例えば、眼鏡フレームのテンプルに沿って等）発せられる。電子ビデオ表示データは、空間的パターンを角度的に変形する結像光学系と組み合わせられた空間光変調器を含むが、それに限定されない画像源または生成器（例えば、光学パターン生成器等）によって、または、空間的パターンの角度的変形を直接生成する走査光学系によって、画像情報に変換される。画像源は、光のパターンを生成またはコンバイナに伝達する任意の装置を包含する。画像源は、例えば、発光ダイオード（LED）および垂直キャビティ面発光レーザ（VCSEL）に基づくレーザ走査画像源生成器等であるがそれに限定されない画像生成器、並びに、液晶ディスプレイ、反射型もしくは透過型ディスプレイ、および有機発光ダイオード（OLED）を含むがそれらに限定されないマイクロディスプレイを含み、マイクロディスプレイは、光学収差を制御するために走査光路内にまたはマイクロディスプレイに近接してまたは接して配置されるアナモルフィックまたは自由形状の光学要素またはレンズと組み合わせ得る。二軸対称を有する非対称面は、アナモルフィック面と称される。二軸対称またはトロイダル形状の範囲を超えて非対称な非対称面は、自由形状面である。従って、画像源は、例えばOLEDディスプレイ等の発光型マイクロディスプレイ、および／または、例えばLCOS（液晶オンシリコン）ディスプレイまたはDLP（デジタル光処理）装置等の反射型マイクロディスプレイを含み得る。特定の態様では、表示される各色の光について別々のマイクロディスプレイが用いられてもよく、一方、他の態様では、（例えば、フィールドシーケンシャルカラー方式の画像を表示することによって）単一のマイクロディスプレイが用いられてもよい。同様

に、一部の態様では、観察者の左目および右目に対して別々の画像源が用いられてもよい。これは、立体視画像の表示を容易にし得る。そのような態様では、左目用の画像および右目用の別々の画像を生じるために、別々のコンバイナが用いられ得る。

【0015】

コンバイナ（または導波路）は、観察者の頭部に装着され得る眼鏡に動作可能に接続され得る。眼鏡は、耳に掛けられる左右のテンプルと、鼻に掛けられるノーズピースとを有するフレームを含む。フレームは、各光コンバイナ（または導波路）を、それぞれが対応する観察者の目の前に配置する形状およびサイズを有する。他の形状を有する他のフレーム（例えば、耳アームおよび鼻梁支持部を有するバイザー、単一の連続したヘッドセット部材、ヘッドバンド、ゴーグル型の眼鏡類等）が用いられてもよいことが理解されよう。眼鏡という用語は、補正レンズ、サングラス、保護レンズ、レンズを有するまたは有しないフレーム、補正レンズを有するまたは有しないフレーム、並びに、ニアアイディスプレイを観察者の視野内に動作可能に配置して保持するための他のヘッドマウントを含む。従って、眼鏡は、二次ミラーをコンバイナの近位にまたはコンバイナから離間して配置し得る。

10

【0016】

コンバイナ（または導波路）は、眼鏡レンズの代わりに、またはそれに加えて、観察者の目の前のニアアイディスプレイの厚さを最小化する形態で、フレームに動作可能に接続されて、観察者の視野の外からの画像情報を観察者の視野内に運んでもよい。コンバイナは、眼鏡レンズが眼鏡フレーム内に通常保持される空間に対応する限られた体積の空間を占める。即ち、コンバイナは、従来の眼鏡類の寸法により近くなるように、厚さ（即ち、深さ）が制限され得る、光が跳ね返る面であり得る。導波路は、平坦であっても、または湾曲していてもよく、光を導波路に結合する自由形状ナノ構造面を有する。

20

【0017】

図1～図4には、ナノ構造面を含む、二次自由形状ミラーを伴うコンバイナと、画像源とを組み込んだニアアイディスプレイアセンブリが示されている。図1～図4は、ニアアイディスプレイの様々な形状を示しており、図1aおよび図1bのベース形状、図2aおよび図2bの、コンバイナを有するベース形状、図3aおよび図3bの、自由形状ミラーが鼻に近接して配置されている形状、並びに、図4aおよび図4bの、自由形状ミラーが共形であるニアアイディスプレイの形状を含む。図1では、画像源はコンバイナおよび二次ミラーに光学的に結合されている。1つの態様において、コンバイナ、二次ミラー、および画像源は、接続する光路の折り曲げ配置を画成する。更なる態様では、必要に応じて、例えば、球面、非球面、アナモルフィック、アナモルフィック非球面、または自由形状の光学部品またはレンズ等であるがそれらに限定されない光学要素が、画像源と自由形状ナノ構造ミラー、導波路、またはコンバイナとの間に介在し得る。

30

【0018】

ニアアイディスプレイは、2つの反射面、コンバイナ、および二次ミラーを含み得るものであり、コンバイナおよび二次ミラーは軸外し折り曲げ配置にある。1つの態様において、コンバイナおよび二次ミラーの各々は、自由形状ナノ構造面を含む。別の態様において、コンバイナおよび二次ミラーの両方は、自由形状面、ナノ構造面、または自由形状面とナノ構造面との組合せを含み得る。

40

【0019】

ニアアイディスプレイは、例えば、画像源生成器の光路内のレンズ等であるがそれに限定されない更なる光学部品を含んでもよいことが理解されよう。レンズまたは更なる光学部品は、全球面、非球面、アナモルフィック、アナモルフィック非球面、もしくは自由形状であってもよく、または、全球面、非球面、アナモルフィック、アナモルフィック非球面もしくは自由形状の組合せであってもよい。

【0020】

自由形状ナノ構造面の、自由形状面、ナノ構造面、または自由形状面とナノ構造面との組合せの様々な組合せとしての特定の態様を説明する目的で、ニアアイディスプレイアセ

50

ンブリの複数の態様を述べるが、コンバイナおよび二次ミラーは、それぞれ独立して、自由形状面、ナノ構造面、または自由形状面とナノ構造面との組合せとしての自由形状ナノ構造面を有するよう構成されてもよいことが理解されよう。

【0021】

一般的に、自由形状面は、折り曲げ配置における反射面の傾きおよび芯ずれによって生じる光学収差を補正するために用いられる。本明細書において用いられる自由形状光学面とは、二軸対称またはトロイダル形状の範囲を超えて非対称な任意の回転非対称面である。自由形状面は、例えば、多項式（例えば、ゼルニケ集合、Q多項式、他の直交多項式の集合、XY多項式、放射基底関数、スプライン、または非一様有理Bスプライン（NURBS）等の正規化された基底関数によってパラメーター化され得る。本明細書において用いられる二軸対称を有する面は、アナモルフィック面と称される。

10

【0022】

ナノ構造面は波面制御を提供する。ナノ構造面は、典型的な特徴が約1～200nmの範囲内の寸法を有する面または基体である。

【0023】

少なくとも1つの選択された態様では、コンバイナおよび二次ミラーの両方は、ナノ構造面としてメタ回折格子を含む。更なる態様では、メタ回折格子は、可視スペクトルにわたって波面を制御する。単位セルの工学的構造および各単位セル内のサブ構造は、一種の自由形状面も生じる。即ち、自由形状面は、メタ回折格子面そのものであってもよく、または、自由形状基体と組み合わされたものであってもよい。

20

【0024】

メタ回折格子は複数の単位セルで構成されており、各単位セルは複数のメタ原子を含む。メタ原子のサイズおよび間隔は、少なくとも部分的に、メタ回折格子の動作特性を決定する。1つの態様において、メタ回折格子は、1800線/mmの可視スペクトルメタ回折格子として構成される。

【0025】

図5および図6を参照すると、1800線/mmの可視スペクトルメタ回折格子の単位セルが示されている。図5および図6に示されるように、単位セルは4つのメタ原子を含み得る。図5では、メタ原子は、位相が減少する順に1～4の番号で示されている。

【0026】

1つの態様において、単位セルは、ベース層、誘電層、およびメタ原子層の3つの層を含む。誘電層はベース層によって支持されており、メタ原子層は誘電層によって支持されている。

30

【0027】

ベース層は、例えば銀等の金属層である。誘電層はフッ化マグネシウムで形成されている。以下の表に示すように、ベース層は約130nmの厚さを有し、誘電層は約75nmの厚さを有する。反射率および透過率の両方を確保するために、メタ回折格子装置には、光がメタ回折格子を透過するのを可能にするアバチャーパターンおよびサイズを有する穿孔が施されている。穿孔は、装置を観察者に対して略透明にするのに十分なものである。

【0028】

1800線/mmの可視スペクトルメタ回折格子の、4つのメタ原子を有する単位セル内のメタ原子の寸法は、以下の表に示されていると共に、図5および図6においてラベルづけされている。

40

【0029】

【表 1】

L_x	555.5 nm
L_y	221 nm
T_b	130 nm
T_m	75 nm
T_t	30 nm
l_1	84.6 nm
w_1	105 nm
l_2	47.7 nm
w_2	105 nm
l_3	177 nm
w_3	50 nm
l_4	150 nm
w_4	105 nm

10

【0030】

20

1つの態様において、各メタ原子の各寸法および隣接するメタ原子間の間隔を約10nmより大きく且つ約80nm未満とする単位セルの構成によって、製造時の考慮すべき事項が緩和される。一部の態様では、メタ原子の寸法または隣接するメタ原子間の間隔の最小製造寸法は、約25nmより大きく且つ約60nm未満である。しかし、製造プロセスは、単位セルの構成が約1nmの寸法を含むことを可能にし得ることが理解されよう。

【0031】

ニアアイディスプレイの軸外し折り曲げ配置において、コンバイナおよび二次ミラーの一方または両方は、自由形状面とナノ構造面（例えば、メタ回折格子等）とを有する自由形状ナノ構造面を含むことが考えられる。

【0032】

30

図7からわかるように、4つのメタ原子の全ては、575nmより長い波長については、80%より大きい振幅を示す。スペクトル範囲の大部分にわたって、第2、第3、および第4のメタ原子間の位相差は一定である。

【0033】

図8において、実線は、第4のメタ原子を用いた隣接するメタ原子間の理想的な2/4の位相差をベースラインとして表す。

【0034】

メタ回折格子の波長依存効率は、図9の予測された効率と質的に概ね一致する。効率は、個々のメタ原子の効率が高まるにつれて、赤色に向かって高まり、メタ原子間の位相間隔が悪化するより長い波長については低下する。角度依存性は、 $\theta = 0^\circ$ の条件については、TE偏光された機械刻線回折格子の効率と形状が類似しており、その後には最大値が続く。このことは、原因が、生じた伝搬位相におけるばらつきであることを示唆している。

40

【0035】

図10は、横電場（TE）および横磁場（TM）についての、入射角に対するメタ回折格子および機械刻線回折格子のシミュレーションされた $m = +1$ での絶対回折格子効率のプロットである。プロットに示されている各曲線は、単一の波長についての入射角依存応答を表しており、90°未満の回折角度を生じる入射角のみにわたるものである。このシミュレーションは、周期的な面に入射角 θ を有する平面波を照射し、次に、反射場を遠視野に投影して回折格子効率を決定することによって行われた。

【0036】

50

全体的に、メタ回折格子のTE偏光効率は、600nmより長い波長については、機械刻線回折格子のTE偏光効率より高く、500nm～650nmの波長については、TM偏光効率と対等である。

【0037】

メタ回折格子は、1800線/mmの機械刻線回折格子と比較して、偏光応答に感度を示す。TM偏光の電場は、メタ原子と揃っていないので、波面変調を生じる共鳴を励起しない。

【0038】

図11を参照すると、650nmの照明波長における、約555.5nmの長さおよび上記の表に示したメタ原子を有する単位セルの、入射角の関数としての回折効率が示されている。図11からわかるように、水平方向の点線は約50%の効率を表しており、内側のシェードがついた領域は20°の視野に対応し、外側のシェードがついた領域は60°の視野に対応する。従って、メタ回折格子は、可視光スペクトルの大部分にわたって少なくとも約50%の効率を提供する。メタ回折格子は、例えば50%未満等の所与の所定の効率を提供するよう構成されてもよいことが理解されよう。このように、メタ回折格子は、可視光スペクトルの大部分にわたって少なくとも約20%、30%、40%、または50%の効率を提供し得る。

【0039】

1つの態様において、メタ回折格子は、反射における所望の波長において、代替の形状において、約20°から高々80°までわたる動作範囲内において、メタ回折格子に入射する光の入射角の関数として、少なくとも約50%の効率を提供するよう構成される。平均入射角は、単位セルの異なる形状毎に様々であることが理解されよう。

【0040】

自由形状構成要素は、コンパクトな折り曲げ形状において軸から外れている際の、反射面の傾きおよび芯ずれによって生じる光学収差を補正するよう選択される。自由形状面は、例えば、多項式（例えば、ゼルニケ集合、Q多項式、他の直交多項式の集合、XY多項式、放射基底関数、スプライン、またはNURBS等の正規化された基底関数によってパラメータ化され得る。

【0041】

図12を参照すると、導波路に対する入力カプラーおよび導波路に対する出力カプラー内にナノ構造面を有する導波路が示されている。

【0042】

製造においては、ナノ構造面のメタ回折格子は、機械刻線回折格子において問題を生じ得る必要な高さプロファイルの制御および周期制御を、メタ回折格子の製造に用いられる二次元二成分表面制御と置き換えることが見込まれる。上述のように、1800線/mmの可視表面として構成されるメタ回折格子に必要な寸法は、約10nmより大きいものであり得る。必要な寸法が約10nmより大きいことは、製造の助けとなり得るが、製造プロセスが1nm台の寸法の製造を提供できる場合には、ナノ構造面は、少なくとも約1nmの寸法を用いてもよい。

【0043】

自由形状光学面は、例えば、米国カリフォルニア州のSynopsis社のCODEV光学設計ソフトウェア等の市販のソフトウェアを用いて設計され得ると共に、例えば、ダイヤモンド旋盤またはフライス盤上のスローまたはファストツールサーボ等であるがそれらに限定されない市販の設備を用いて製造され得る。また、自由形状面は、製造されたマスター型から成形されてもよい。

【0044】

このように、少なくとも1つの反射面が、自由形状面、ナノ構造面（例えば、上述のメタ回折格子等）、または自由形状面とナノ構造面（例えば、メタ回折格子等）との組合せである、仮想現実または拡張現実ヘッドマウントディスプレイが提供される。従って、自由形状ナノ構造面が、自由形状面、ナノ構造面、または自由形状面とナノ構造面との組合

10

20

30

40

50

せを包含する態様において、ニアアイディスプレイアセンブリは、コンバイナを含むか、または、コンバイナと、コンバイナに動作可能に接続された二次ミラーとを含み、コンバイナおよび二次ミラーのうちの少なくとも一方は、自由形状ナノ構造面を含む。1つの態様では、コンバイナおよび二次ミラーの両方が自由形状ナノ構造面を含む。

【0045】

更なる態様では、導波路を有し、導波路内の少なくとも1つ光学面がナノ構造面（例えば、メタ回折格子等）である仮想現実または拡張現実ニアアイディスプレイが提供される。

【0046】

なお、上記および他の特徴および機能、またはそれらの代替の特徴および機能は、他の多くの異なるシステムまたは用途に組み込まれ得る。当業者によって、現時点で予見または予期されない様々な代替、変更、変形、または改良がその後に行われ得るものであり、それらも以下の特許請求の範囲によって包含されることが意図される。

10

【図1a】

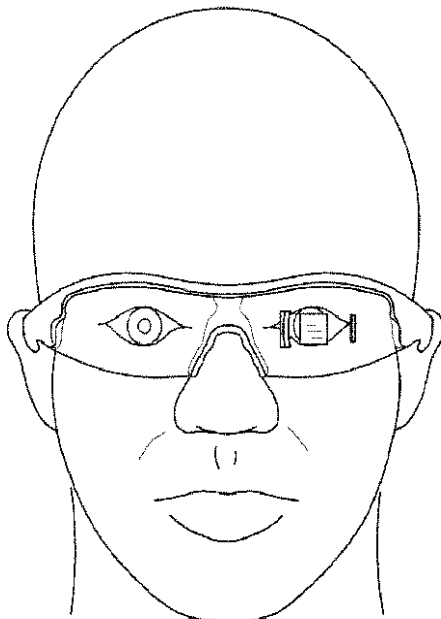
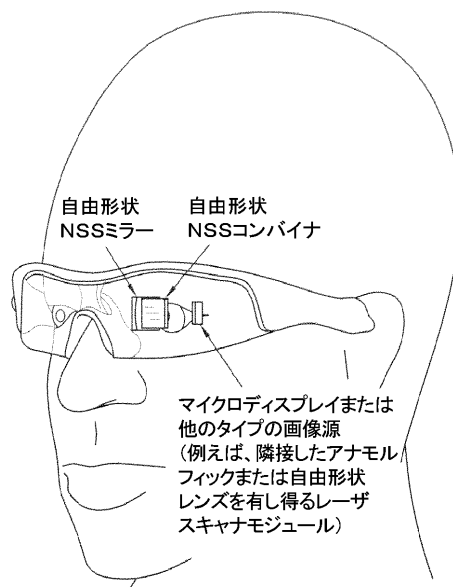


FIG. 1a

【図1b】



【図 2 a】

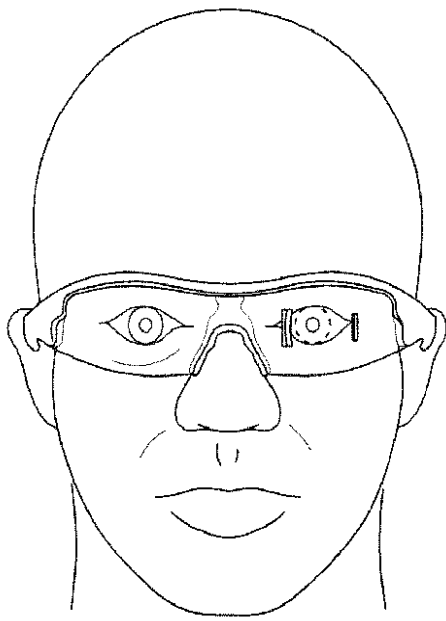
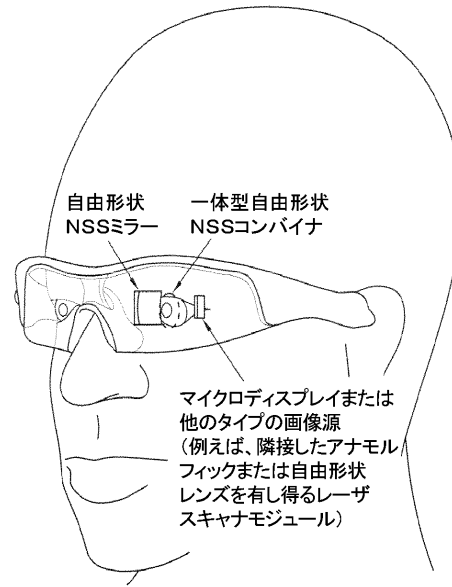


FIG. 2a

【図 2 b】



【図 3 a】

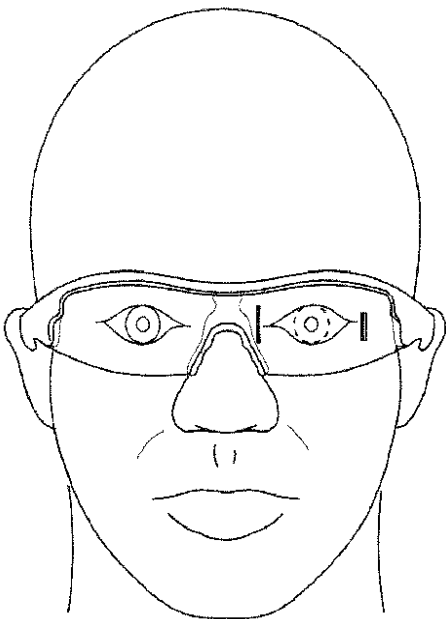
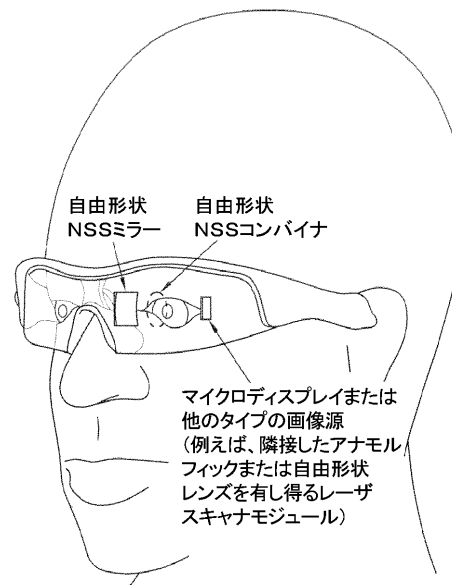


FIG. 3a

【図 3 b】



【図 4 a】

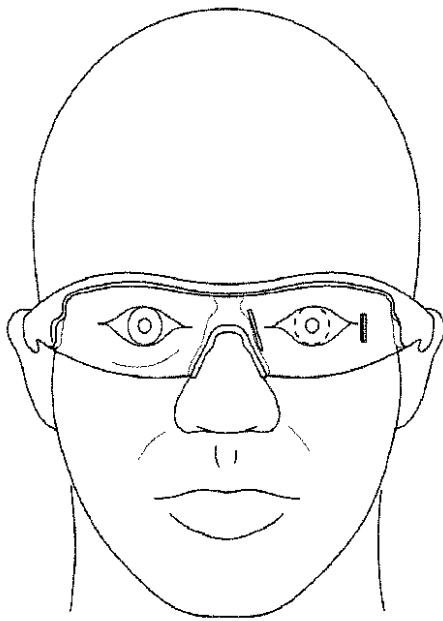
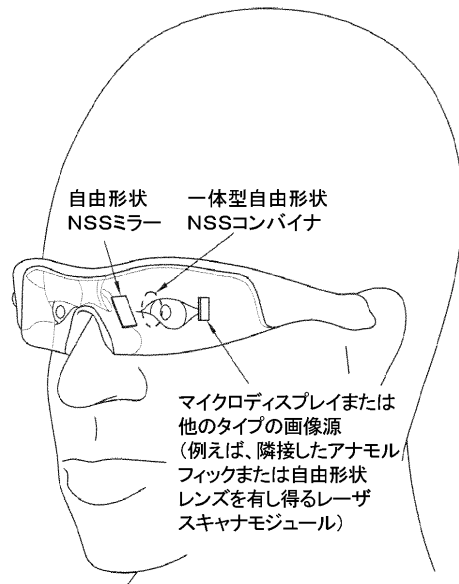


FIG. 4a

【図 4 b】



【図 5 - 6】

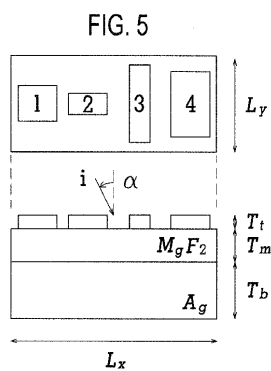
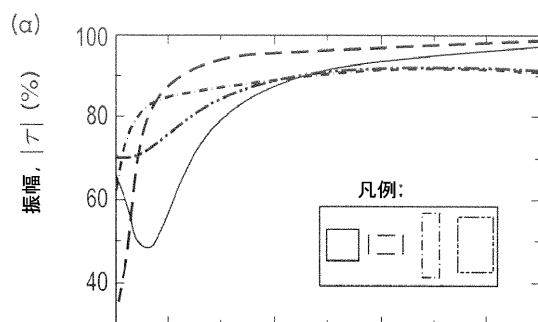
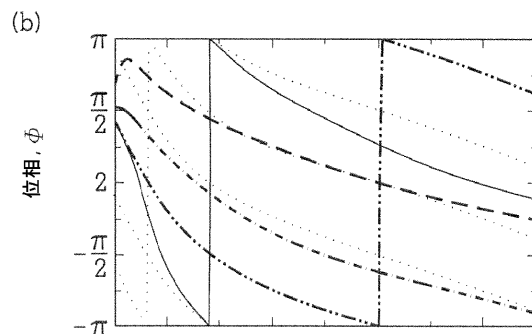


FIG. 6

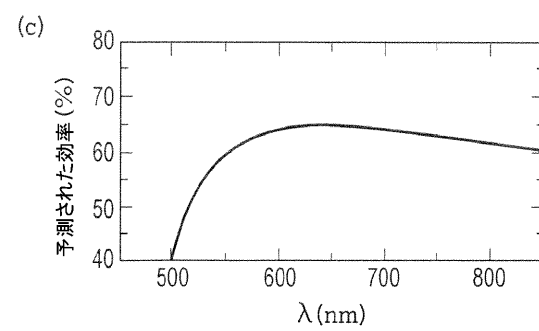
【図 7】



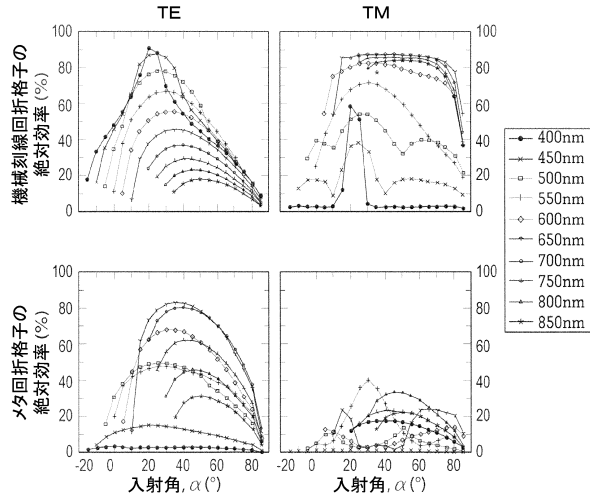
【図 8】



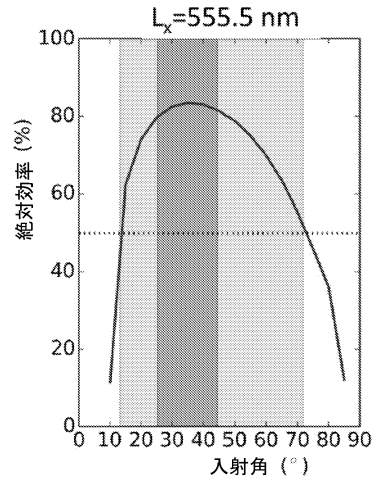
【図 9】



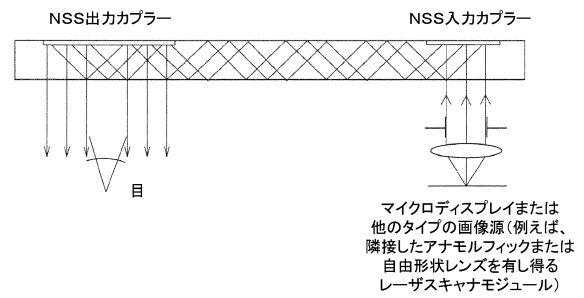
【図 10】



【図 11】



【図 12】



フロントページの続き

- (72)発明者 ヴァミヴァカス, ニック
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 6 2 7 ブライトン モントレー パークウェイ 4 1
- (72)発明者 キット, アレクサンダー
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 2 0 9 バッファロー ポトマック アヴェニュー 8 0
3 アpartment 1
- (72)発明者 パウアー, アーロン
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 6 2 3 ロチェスター バスティアン ロード 1 0 0

審査官 横井 亜矢子

- (56)参考文献 米国特許出願公開第2013/0242392(US, A1)
米国特許出願公開第2009/0245730(US, A1)
特開2007-265581(JP, A)
特表2002-529790(JP, A)
特開2010-026273(JP, A)
特開2016-161797(JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G 0 2 B 2 7 / 0 0 - 2 7 / 6 4
G 0 2 B 5 / 1 8 , 5 / 3 2