

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6961619号

(P6961619)

(45) 発行日 令和3年11月5日(2021.11.5)

(24) 登録日 令和3年10月15日(2021.10.15)

(51) Int.Cl.

F I

GO 2 B 27/02 (2006.01)  
 GO 2 B 5/00 (2006.01)  
 GO 2 B 5/18 (2006.01)  
 GO 2 B 5/30 (2006.01)  
 GO 2 B 6/34 (2006.01)

GO 2 B 27/02 Z  
 GO 2 B 5/00 Z  
 GO 2 B 5/18  
 GO 2 B 5/30  
 GO 2 B 6/34

請求項の数 45 (全 63 頁)

(21) 出願番号 特願2018-556886 (P2018-556886)  
 (86) (22) 出願日 平成29年5月5日(2017.5.5)  
 (65) 公表番号 特表2019-523895 (P2019-523895A)  
 (43) 公表日 令和1年8月29日(2019.8.29)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2017/031328  
 (87) 国際公開番号 W02017/193012  
 (87) 国際公開日 平成29年11月9日(2017.11.9)  
 審査請求日 令和2年5月7日(2020.5.7)  
 (31) 優先権主張番号 62/333,067  
 (32) 優先日 平成28年5月6日(2016.5.6)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 62/474,432  
 (32) 優先日 平成29年3月21日(2017.3.21)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 米国 (US)

(73) 特許権者 514108838  
 マジック リープ, インコーポレイテッド  
 Magic Leap, Inc.  
 アメリカ合衆国 フロリダ 33322,  
 プランテーション, ウェスト サンライズ  
 ブールバード 7500  
 7500 W SUNRISE BLVD  
 , PLANTATION, FL 3332  
 2 USA  
 (74) 代理人 100078282  
 弁理士 山本 秀策  
 (74) 代理人 100113413  
 弁理士 森下 夏樹

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光を再指向させるための非対称格子を有するメタ表面および製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

拡張現実ディスプレイシステムであって、前記拡張現実ディスプレイシステムは、接眼レンズを備え、前記接眼レンズは、仮想コンテンツを表示するための画像情報を伴う光を出力し、現実世界の視野を提供するように構成されており、前記接眼レンズは、光学的に透過性の導波管と外部結合光学要素とを含み、前記外部結合光学要素は、前記導波管上に形成されたマルチレベルメタ表面を含み、前記マルチレベルメタ表面は、下方レベルと上方レベルとを含み、前記下方レベルは、複数の反復ユニットセルを含み、各ユニットセルは、前記導波管の少なくとも一部にわたって所定方向に延びている第1のナノビームであって、前記第1のナノビームは、第1の幅を有する、第1のナノビームと、前記第1のナノビームから離間された第2のナノビームであって、前記第2のナノビームは、前記導波管の少なくとも一部にわたって前記所定方向に延びており、前記第2のナノビームは、前記第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームと  
を含み、前記第1のナノビームおよび前記第2のナノビームの高さは、10nm～450nmの範囲内にあり、前記上方レベルは、前記第1のナノビームおよび前記第2のナノビームの各々の表面上の材料の層を含み、前記材料の層を形成する材料は、前記第1のナノビームまたは前記第

10

20

2 のナノビームのどちらかを形成する材料と異なり、

前記材料の層の材料は、前記第 1 のナノビームまたは前記第 2 のナノビームまたは前記導波管のいずれかを形成する材料よりも高い屈折率を有し、

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームを形成する材料は、前記導波管を形成する材料よりも低い屈折率を有する、拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 2】

前記ユニットセルは、相互に平行である、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 3】

前記マルチレベルメタ表面は、可視波長の入射光を第 1 の回折次数に回折するように構成されている、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 4】

前記第 2 の幅は、10 nm 以上、かつ、1 μm 以下である、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 5】

前記第 2 の幅は、10 nm 以上、かつ、300 nm 以下である、請求項 4 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 6】

前記ユニットセルのピッチは、10 nm 以上、かつ、1 μm 以下である、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 7】

前記ユニットセルのピッチは、10 nm 以上、かつ、500 nm 以下である、請求項 6 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 8】

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームは、10 nm 以上、かつ、1 μm 以下の距離によって分離されている、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 9】

前記距離は、10 nm 以上、かつ、300 nm 以下の幅である、請求項 8 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 10】

前記光学的に透過性の導波管は、ガラスを含む、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 11】

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームは、シリコンを含む、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 12】

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームは、窒化ケイ素を含む、請求項 11 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 13】

前記光学的に透過性の導波管および前記マルチレベルメタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 14】

前記光学的に透過性の導波管は、プレートである、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 15】

前記光学的に透過性の導波管のスタックをさらに含み、前記ユニットセルの特徴の寸法は、前記導波管間で変動する、請求項 14 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 16】

前記マルチレベルメタ表面は、内部結合光学要素であり、光を前記内部結合光学要素に投影するように構成された画像投入デバイスをさらに含み、前記マルチレベルメタ表面は

10

20

30

40

50

、前記光を再指向し、全内部反射によって前記導波管を通して前記光を伝搬するように構成されている、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 17】

拡張現実ディスプレイのための接眼レンズを形成するための方法であって、

前記方法は、光学的に透過性の導波管の上に外部結合光学要素を形成することを含み、

前記外部結合光学要素は、マルチレベルメタ表面を含み、

前記マルチレベルメタ表面を形成することは、

前記光学的に透過性の導波管を提供することと、

光学的に透過性の層を前記導波管にわたって提供することと、

前記光学的に透過性の層をパターン化することにより、前記マルチレベルメタ表面の下方レベルの上に複数のユニットセルを画定することであって、各ユニットセルは、

前記導波管の少なくとも一部にわたって所定の方向に延びている第 1 のナノビームであって、前記第 1 のナノビームは、第 1 の幅を有する、第 1 のナノビームと、

前記第 1 のナノビームから離間された第 2 のナノビームであって、前記第 2 のナノビームは、前記導波管の少なくとも一部にわたって前記所定の方向に延びており、前記第 2 のナノビームは、前記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

を含み、前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームの高さは、10 nm ~ 450 nm の範囲内にある、ことと、

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームの各々の表面上に材料の層を堆積させることによって、前記マルチレベルメタ表面の上方レベルを形成することであって、前記材料の層の材料は、前記第 1 のナノビームと前記第 2 のナノビームとの間の間隙を画定し、前記材料の層を形成する材料は、前記第 1 のナノビームまたは前記第 2 のナノビームのどちらかを形成する材料と異なる、ことと

を含み、

前記材料の層の材料は、前記第 1 のナノビームまたは前記第 2 のナノビームまたは前記導波管のいずれかを形成する材料よりも高い屈折率を有し、

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームを形成する材料は、前記導波管を形成する材料よりも低い屈折率を有する、方法。

【請求項 18】

前記光学的に透過性の層をパターン化することは、

レジスト層を前記光学的に透過性の層にわたって提供することと、

パターンを前記レジスト層内に画定することと、

前記パターンを前記レジスト層から前記光学的に透過性の層に転写することと

を含む、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

反射層を前記材料の層上に形成することをさらに含む、請求項 17 に記載の方法。

【請求項 20】

前記転写することは、異方性エッチングを実施することを含む、請求項 18 に記載の方法。

【請求項 21】

拡張現実ディスプレイであって、

前記拡張現実ディスプレイは、接眼レンズを備え、前記接眼レンズは、仮想コンテンツを表示するための画像情報を伴う光を出力し、現実世界の視野を提供するように構成されており、

前記接眼レンズは、光学的に透過性の導波管と外部結合光学要素とを含み、

前記外部結合光学要素は、前記導波管上に形成されたマルチレベルメタ表面とを含み、

前記マルチレベルメタ表面は、下方レベルと上方レベルとを含み、

前記下方レベルは、複数のユニットセルを含み、各ユニットセルは、

前記導波管の少なくとも一部にわたって所定の方向に延びている第 1 のナノビームであって、前記第 1 のナノビームは、第 1 の幅を有する、第 1 のナノビームと、

前記第 1 のナノビームから離間された第 2 のナノビームであって、前記第 2 のナノビームは、前記導波管の少なくとも一部にわたって前記所定の方向に延びており、前記第 2 のナノビームは、前記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

を含み、

前記ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm}$ 以上、かつ、 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以下であり、

前記上方レベルは、前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームの各々の表面上の材料の層を含み、前記材料の層を形成する材料は、前記第 1 のナノビームまたは前記第 2 のナノビームのどちらかを形成する材料と異なり、

前記材料の層の材料は、前記第 1 のナノビームまたは前記第 2 のナノビームまたは前記導波管のいずれかを形成する材料よりも高い屈折率を有し、

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームを形成する材料は、前記導波管を形成する材料よりも低い屈折率を有する、拡張現実ディスプレイ。

【請求項 2 2】

前記ピッチは、 $300\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ である、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 2 3】

前記マルチレベルメタ表面は、可視波長の入射光を第 1 の回折次数に回折するように構成されている、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 2 4】

前記ユニットセルは、相互に平行である、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 2 5】

前記第 2 の幅は、 $10\text{ nm}$ 以上、かつ、 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以下である、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 2 6】

前記第 2 の幅は、 $10\text{ nm}$ 以上、かつ、 $300\text{ nm}$ 以下である、請求項 2 5 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 2 7】

前記ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm}$ 以上、かつ、 $500\text{ nm}$ 以下である、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 2 8】

前記ユニットセルのピッチは、 $300\text{ nm}$ 以上、かつ、 $500\text{ nm}$ 以下である、請求項 2 7 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 2 9】

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームは、 $10\text{ nm}$ 以上、かつ、 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以下の距離によって分離されている、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 3 0】

前記距離は、 $10\text{ nm}$ 以上、かつ、 $300\text{ nm}$ 以下の幅である、請求項 2 9 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 3 1】

前記光学的に透過性の導波管は、ガラスを含む、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 3 2】

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームは、シリコンを含む、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 3 3】

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームは、窒化ケイ素を含む、請求項 3 2 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【請求項 3 4】

前記光学的に透過性の導波管および前記マルチレベルメタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

10

20

30

40

50

## 【請求項 3 5】

前記光学的に透過性の導波管は、プレートである、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

## 【請求項 3 6】

前記光学的に透過性の導波管のスタックをさらに含み、前記ユニットセルの特徴の寸法は、前記導波管間で変動する、請求項 3 5 に記載の拡張現実ディスプレイ。

## 【請求項 3 7】

前記マルチレベルメタ表面は、内部結合光学要素であり、光を前記内部結合光学要素に投影するように構成された画像投入デバイスをさらに含み、前記マルチレベルメタ表面は、前記光を再指向し、全内部反射によって前記導波管を通して前記光を伝搬するように構成されている、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

10

## 【請求項 3 8】

前記マルチレベルメタ表面は、外部結合光学要素であり、前記マルチレベルメタ表面は、光を前記導波管から抽出するように構成されている、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

## 【請求項 3 9】

拡張現実ディスプレイのための接眼レンズを形成するための方法であって、  
前記方法は、光学的に透過性の導波管の上に外部結合光学要素を形成することを含み、  
前記外部結合光学要素は、マルチレベルメタ表面を含み、  
前記マルチレベルメタ表面を形成することは、  
前記光学的に透過性の導波管を提供することと、  
光学的に透過性の層を前記導波管にわたって提供することと、  
前記光学的に透過性の層をパターン化することにより、前記マルチレベルメタ表面の下方レベルの上に複数のユニットセルを含む格子を画定することであって、各ユニットセルは、

20

前記導波管の一部にわたって所定の方向に延びている第 1 のナノビームであって、前記第 1 のナノビームは、第 1 の幅を有する、第 1 のナノビームと、

前記第 1 のナノビームから離間された第 2 のナノビームであって、前記第 2 のナノビームは、前記導波管の一部にわたって前記所定の方向に延びており、前記第 2 のナノビームは、前記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

30

を含み、前記ユニットセルのピッチは、10 nm 以上、かつ、1  $\mu$ m 以下である、ことと、

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームの各々の表面上に材料の層を堆積させることによって、前記マルチレベルメタ表面の上方レベルを形成することであって、前記材料の層の材料は、前記第 1 のナノビームと前記第 2 のナノビームとの間の間隙を画定し、前記材料の層を形成する材料は、前記第 1 のナノビームまたは前記第 2 のナノビームのどちらかを形成する材料と異なり、

前記材料の層の材料は、前記第 1 のナノビームまたは前記第 2 のナノビームまたは前記導波管のいずれかを形成する材料よりも高い屈折率を有し、

前記第 1 のナノビームおよび前記第 2 のナノビームを形成する材料は、前記導波管を形成する材料よりも低い屈折率を有する、ことと

40

を含む、方法。

## 【請求項 4 0】

前記ピッチは、300 nm 以上、かつ、500 nm 以下である、請求項 3 9 に記載の方法。

## 【請求項 4 1】

前記材料の層の材料は、前記下方レベルの上の前記第 1 のナノビームと前記第 2 のナノビームとの間に延在する、請求項 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

## 【請求項 4 2】

前記材料の層は、前記第 1 のナノビームの上部から前記第 1 のナノビームの側壁まで、

50

前記第 1 のナノビームと前記第 2 のナノビームとの間の前記導波管上の分離部にわたって、前記第 2 のナノビームの側壁まで、および、前記第 2 のナノビームの上部まで、連続的に延在する、請求項 4 1 に記載の拡張現実ディスプレイシステム。

【請求項 4 3】

前記材料の層を堆積させることは、共形性ブランケット堆積によって前記材料の層を形成することを含む、請求項 1 7 に記載の方法。

【請求項 4 4】

前記材料の層を堆積させることは、指向性堆積によって前記材料の層を形成することを含む、請求項 1 7 に記載の方法。

【請求項 4 5】

前記材料の層は、前記第 1 のナノビームの上部から前記第 1 のナノビームの側壁まで、前記第 1 のナノビームと前記第 2 のナノビームとの間の前記導波管上の分離部にわたって、前記第 2 のナノビームの側壁まで、および、前記第 2 のナノビームの上部まで、連続的に延在する、請求項 2 1 に記載の拡張現実ディスプレイ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

(優先権主張)

本願は、2016年5月6日に出願された米国仮出願第62/333,067号および2017年3月21日に出願された米国特許出願第62/474,432号の35 U. S. C. § 119(e)のもとでの優先権の利益を主張するものである。これらの優先権ドキュメントの各々の全体の開示は、参照により本明細書中に援用される。

【0002】

(参照による援用)

本願は、米国出願公開第2015/0016777号、米国出願公開第2015/0178939号、および米国出願公開第2015/0346490号の各々の全体を参照により援用する。

【0003】

本開示は、拡張現実イメージングおよび光学デバイスを含む、ディスプレイシステムに関する。

【背景技術】

【0004】

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促進しており、デジタル的に再現された画像またはその一部が、現実であるように見える、またはそのように知覚され得る様式でユーザに提示される。仮想現実または「VR」シナリオは、典型的には、他の実際の実世界の視覚的入力に対する透明性を伴わずに、デジタルまたは仮想画像情報の提示を伴い、拡張現実または「AR」シナリオは、典型的には、ユーザの周囲の実際の世界の可視化に対する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。複合現実または「MR」シナリオは、一種のARシナリオであって、典型的には、自然世界の中に統合され、それに応答する、仮想オブジェクトを伴う。例えば、MRシナリオは、実世界内のオブジェクトによってブロックされて見える、または別様にそれと相互作用するように知覚される、AR画像コンテンツを含んでもよい。

【0005】

図1を参照すると、拡張現実場面10が、描写されている。AR技術のユーザには、背景における人々、木々、建物を特徴とする実世界公園状設定20と、コンクリートプラットフォーム30とが見える。ユーザはまた、実世界プラットフォーム30上に立っているロボット像40と、マルハナバチの擬人化のように見える、飛んでいる漫画のようなアバターキャラクタ50等の「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、実世界には存在しないという点で、「仮想」である。ヒトの視知覚系は、複雑

10

20

30

40

50

であって、他の仮想または実世界画像要素間における仮想画像要素の快適で、自然のような感覚で、かつ豊かな提示を促進する、AR技術の生成は、困難である。

【0006】

本明細書に開示されるシステムおよび方法は、ARまたはVR技術に関連する種々の課題に対処する。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

いくつかの実施形態では、光学システムは、複数のユニットセルを含む格子を含むメタ表面を含む、光学的に透過性の基板を含む。各ユニットセルは、第1の幅を有する、側方に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームとを含み、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する。第1および第2のナノビームの高さは、10nm～450nmであって、基板の屈折率は、3.3を上回り、10nm～1μmであって、屈折率は、3.3またはそれ未満である。

10

【0008】

いくつかの他の実施形態では、光学システムは、複数のユニットセルを含む格子を含むメタ表面を含む、光学的に透過性の基板を含む。各ユニットセルは、第1の幅を有する、側方に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームとを含む。第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する。光学システムはまた、反射体を含む。反射体および基板は、格子の反対側にある。

20

【0009】

さらに他の実施形態では、メタ表面を形成するための方法は、光学的に透過性の基板を提供することと、光学的に透過性の層を基板にわたって提供することと、光学的に透過性の層をパターン化し、複数のユニットセルを含む格子を画定することとを含む。各ユニットセルは、第1の幅を有する、側方に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームとを含み、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する。第1および第2のナノビームの高さは、10nm～450nmであって、基板の屈折率は、3.3を上回り、10nm～1μmであって、屈折率は、3.3またはそれ未満である。

30

【0010】

いくつかの他の実施形態では、メタ表面を形成するための方法は、光学的に透過性の基板を提供することと、複数のユニットセルを含む格子を形成することとを含む。各ユニットセルは、第1の幅を有する、側方に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームとを含み、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する。本方法はまた、反射材料の層を間隙内およびユニットセル間に提供することを含む。

【0011】

いくつかの他の実施形態では、メタ表面を形成するための方法は、光学的に透過性の基板を提供することと、複数のユニットセルを含む格子を形成することとを含む。各ユニットセルは、第1の幅を有する、側方に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームとを含み、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する。本方法はさらに、光学的に透過性のスペーサ材料の層を間隙内およびユニットセル間に堆積させることと、反射層をスペーサ材料の層上に堆積させることであって、スペーサ材料は、格子を反射層から分離する、こととを含む。

40

【0012】

さらに他の実施形態では、光学システムは、複数のユニットセルを含む格子を含むメタ表面を含む、光学的に透過性の基板を含む。各ユニットセルは、第1の幅を有する、側方

50

に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームとを含み、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する。ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{ m}$ である。

#### 【0013】

いくつかの他の実施形態では、メタ表面を形成するための方法は、光学的に透過性の基板を提供することと、光学的に透過性の層を基板にわたって提供することと、光学的に透過性の層をパターン化し、複数のユニットセルを含む格子を画定することとを含む。各ユニットセルは、第1の幅を有する、側方に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームとを含み、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する。ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{ m}$ である。

10

#### 【0014】

さらに他の実施形態では、光学システムは、マルチレベルメタ表面を含む、光学的に透過性の基板を含む。マルチレベルメタ表面は、複数のマルチレベルユニットセルを含む、格子を含む。各ユニットセルは、ユニットセルの最下レベルには、第1の幅を有する、側方に伸長の第1の最下レベルナノビームと、第2の幅を有する、側方に伸長の第2の最下レベルナノビームとを含み、第2の幅は、第1の幅より大きい。ユニットセルの最上レベルには、第1の最下レベルナノビームの上方の側方に伸長の第1の最上レベルナノビームと、第2の最下レベルナノビームの上方の側方に伸長の第2の最上レベルナノビームとがある。

20

#### 【0015】

いくつかの他の実施形態では、メタ表面を形成するための方法は、光学的に透過性の基板を提供することと、光学的に透過性の層を基板にわたって提供することと、光学的に透過性の層をパターン化し、複数の反復ユニットを画定することとを含む。各反復ユニットは、第1の幅を有する、側方に伸長の第1のナノビームと、間隙によって第1のナノビームから離間される、側方に伸長の第2のナノビームであって、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームとを含む。本方法はまた、光学的に透過性の材料を第1および第2のナノビーム上およびナノビーム間の間隙の中に堆積させ、光学的に透過性の材料の離間されたプラトー (plateau) をナノビームの上方に形成することを含む。

30

#### 【0016】

付加的例示の実施形態が、以下に提供される。

1. 光学システムであって、

メタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、メタ表面は、上下図に見られるように、

複数のユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームとを含み、第1および第2のナノビームの高さは、

$10\text{ nm} \sim 450\text{ nm}$ であり、基板の屈折率は、3.3を上回り、

$10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{ m}$ であり、屈折率は、3.3またはそれ未満である、格子

40

を含む、基板

を含む、光学システム。

2. ユニットセルは、側方に伸長かつ相互に平行である、実施形態1に記載の光学システム。

3. メタ表面は、可視波長の入射光を第1の回折次数に回折するように構成される、実施形態1に記載の光学システム。

4. 第2の幅は、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{ m}$ である、実施形態1に記載の光学システム。

5. 第2の幅は、 $10\text{ nm} \sim 300\text{ nm}$ である、実施形態4に記載の光学システム。

6. ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{ m}$ である、実施形態1に記載の光学システ

50



ム。

7．ユニットセルのピッチは、10 nm ~ 500 nmである、実施形態6に記載の光学システム。

8．第1のナノビームおよび第2のナノビームは、10 nm ~ 1 μmの間隙によって分離される、実施形態1に記載の光学システム。

9．間隙は、10 nm ~ 300 nm幅である、実施形態8に記載の光学システム。

10．光学的に透過性の基板は、ガラスを含む、実施形態1に記載の光学システム。

11．第1および第2のナノビームは、シリコンを含む、実施形態1に記載の光学システム。

12．第1および第2のナノビームは、窒化ケイ素を含む、実施形態11に記載の光学システム。

13．光学的に透過性の基板およびメタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、実施形態1に記載の光学システム。

14．光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、実施形態1に記載の光学システム。

15．光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、ユニットセルの特徴の寸法は、基板間で変動する、実施形態14に記載の光学システム。

16．メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、メタ表面は、光を再指向し、全内部反射によって基板を通して光を伝搬するように構成される、実施形態1に記載の光学システム。

17．メタ表面は、外部結合光学要素であり、メタ表面は、光を基板から抽出するように構成される、実施形態1に記載の光学システム。

18．光学システムであって、

メタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、メタ表面は、  
複数のユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームとを含む、格子

を含む、基板と、

反射体であって、反射体および基板は、格子の反対側にある、反射体と

を含む、光学システム。

19．反射体は、格子から離間される、実施形態18に記載の光学システム。

20．格子は、光学的に透過性の材料内に内蔵される、実施形態19に記載の光学システム。

21．光学的に透過性の材料は、反射体を格子から離間させる、実施形態20に記載の光学システム。

22．基板は、

メタ表面と反対の基板の側の第2のメタ表面であって、第2のメタ表面は、  
複数の第2のユニットセルを含む第2の格子であって、各第2のユニットセルは、上下図に見られるように、

側方に伸長の第3のナノビームと、

間隙によって第3のナノビームから離間される側方に伸長の第4のナノビームであって、第4のナノビームは、第3のナノビームより広い、第4のナノビームと

を含む、第2の格子

を含む、第2のメタ表面

を含む、実施形態18に記載の光学システム。

23．ユニットセルは、側方に伸長かつ相互に平行である、実施形態18に記載の光学システム。

10

20

30

40

50

24．メタ表面は、可視波長の入射光を第1の回折次数に回折するように構成される、実施形態18に記載の光学システム。

25．第2の幅は、10nm～1μmである、実施形態18に記載の光学システム。

26．第2の幅は、10nm～300nmである、実施形態25に記載の光学システム。

27．ユニットセルのピッチは、10nm～1μmである、実施形態18に記載の光学システム。

28．ユニットセルのピッチは、10nm～500nmである、実施形態27に記載の光学システム。

29．第1のナノビームおよび第2のナノビームは、10nm～1μmの間隙によって分離される、実施形態18に記載の光学システム。

10

30．間隙は、10nm～300nm幅である、実施形態29に記載の光学システム。

31．光学的に透過性の基板は、ガラスを含む、実施形態18に記載の光学システム。

32．第1および第2のナノビームは、シリコンを含む、実施形態18に記載の光学システム。

33．第1および第2のナノビームは、窒化ケイ素を含む、実施形態32に記載の光学システム。

34．光学的に透過性の基板およびメタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、実施形態18に記載の光学システム。

35．光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、実施形態27に記載の光学システム。

20

36．光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、ユニットセルの特徴の寸法は、基板間で変動する、実施形態35に記載の光学システム。

37．メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、メタ表面は、光を再指向し、全内部反射によって基板を通して光を伝搬するように構成される、実施形態18に記載の光学システム。

38．メタ表面は、外部結合光学要素であり、メタ表面は、光を基板から抽出するように構成される、実施形態18に記載の光学システム。

39．メタ表面を形成するための方法であって、該方法は、

光学的に透過性の基板を提供することと、

光学的に透過性の層を基板にわたって提供することと、

30

光学的に透過性の層をパターン化し、複数のユニットセルを含む格子を画定することであって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームと

を含み、第1および第2のナノビームの高さは、

10nm～450nmであり、基板の屈折率は、3.3を上回り、

10nm～1μmであり、屈折率は、3.3またはそれ未満である、ことと

を含む、方法。

40．光学的に透過性の層をパターン化することは、

40

レジスト層を光学的に透過性の層にわたって提供することと、

パターンをレジスト層内に画定することと、

パターンをレジスト層から光学的に透過性の層に転写することと

を含む、実施形態39に記載の方法。

41．光学的に透過性の材料を格子間およびそれにわたって堆積させることをさらに含む、実施形態40に記載の方法。

42．反射層を光学的に透過性の材料上に形成することをさらに含む、実施形態41に記載の方法。

43．転写することは、異方性エッチングを実施することを含む、実施形態40に記載の方法。

50

44．メタ表面を形成するための方法であって、該方法は、  
光学的に透過性の基板を提供することと、  
複数のユニットセルを含む格子を形成することであって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームとを含む、ことと、

反射材料の層を間隙内およびユニットセル間に提供することとを含む、方法。

10

45．反射材料の層を提供することは、反射材料を第1および第2のナノビーム間およびそれにわたって堆積させることを含む、実施形態44に記載の方法。

46．反射材料は、アルミニウムを含む、実施形態45に記載の方法。

47．格子を形成することは、

光学的に透過性の層を基板にわたって堆積させることと、

光学的に透過性の層をパターン化し、格子を画定することと

を含む、実施形態44に記載の方法。

48．光学的に透過性の層をパターン化することは、

レジスト層を光学的に透過性の層にわたって提供することと、

パターンをレジスト層内に画定することと、

パターンをレジスト層から光学的に透過性の層に転写することと

を含む、実施形態47に記載の方法。

20

49．メタ表面を形成するための方法であって、該方法は、

光学的に透過性の基板を提供することと、

複数のユニットセルを含む格子を形成することであって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームとを含む、ことと、

30

光学的に透過性のスペーサ材料の層を間隙内およびユニットセル間に堆積させることと、

反射層をスペーサ材料の層上に堆積させることであって、スペーサ材料は、格子を反射層から分離することと

を含む、方法。

50．スペーサ材料は、1～2の屈折率を有する、実施形態49に記載の方法。

51．光学システムであって、

メタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、メタ表面は、

複数のユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

40

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームとを含み、ユニットセルのピッチは、10nm～1μmである、格子

を含む、基板

を含む、光学システム。

52．ピッチは、300nm～500nmである、実施形態51に記載のシステム。

53．メタ表面は、可視波長の入射光を第1の回折次数に回折するように構成される、実施形態51に記載のシステム。

54．ユニットセルは、側方に伸長かつ相互に平行である、実施形態51に記載の光学シ

50

ステム。

55．第2の幅は、10 nm ~ 1 μmである、実施形態51に記載の光学システム。

56．第2の幅は、10 nm ~ 300 nmである、実施形態55に記載の光学システム。

57．ユニットセルのピッチは、10 nm ~ 1 μmである、実施形態51に記載の光学システム。

58．ユニットセルのピッチは、10 nm ~ 500 nmである、実施形態57に記載の光学システム。

59．第1のナノビームおよび第2のナノビームは、10 nm ~ 1 μmの間隙によって分離される、実施形態51に記載の光学システム。

60．間隙は、10 nm ~ 300 nm幅である、実施形態59に記載の光学システム。

61．光学的に透過性の基板は、ガラスを含む、実施形態51に記載の光学システム。

62．第1および第2のナノビームは、シリコンを含む、実施形態51に記載の光学システム。

63．第1および第2のナノビームは、窒化ケイ素を含む、実施形態62に記載の光学システム。

64．光学的に透過性の基板およびメタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、実施形態51に記載の光学システム。

65．光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、実施形態51に記載の光学システム。

66．光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、ユニットセルの特徴の寸法は、基板間で変動する、実施形態65に記載の光学システム。

67．メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、メタ表面は、光を再指向し、全内部反射によって基板を通して光を伝搬するように構成される、実施形態51に記載の光学システム。

68．メタ表面は、外部結合光学要素であり、メタ表面は、光を基板から抽出するように構成される、実施形態51に記載の光学システム。

69．メタ表面を形成するための方法であって、該方法は、

光学的に透過性の基板を提供することと、

光学的に透過性の層を基板にわたって提供することと、

光学的に透過性の層をパターン化し、複数のユニットセルを含む格子を画定することであって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームと

を含み、ユニットセルのピッチは、10 nm ~ 1 μmである、ことと、

を含む、方法。

70．ピッチは、300 nm ~ 500 nmである、実施形態69に記載の方法。

メタ表面は、可視波長の入射光を第1の回折次数に回折するように構成される、実施形態51に記載の方法。

71．光学システムであって、

マルチレベルメタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、マルチレベルメタ表面は、

複数のマルチレベルユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

ユニットセルの最下レベルには、

第1の幅を有する側方に伸長の第1の最下レベルナノビームと、

第2の幅を有する側方に伸長の第2の最下レベルナノビームであって、第2の幅は、第1の幅より大きい、第2の最下レベルナノビームと、

ユニットセルの最上レベルには、

第1の最下レベルナノビームの上方の側方に伸長の第1の最上レベルナノビーム

10

20

30

40

50

と、

第2の最下レベルナノビームの上方の側方に伸長の第2の最上レベルナノビームと

を含む、格子

を含む、基板

を含む、光学システム。

72. 第1および第2の最上レベルナノビームは、第1および第2の最下レベルナノビームと異なる材料を含む、実施形態71に記載の光学システム。

73. 第1および第2の最下レベルナノビームは、フォトレジストを含む、実施形態71に記載の光学システム。

74. 第1および第2の最下レベルナノビームは、シリコンを含む、実施形態73に記載の光学システム。

75. 第1および第2の最下レベルナノビームは、窒化ケイ素を含む、実施形態74に記載の光学システム。

76. 第1および第2の最下レベルナノビームは、酸化物を含む、実施形態73に記載の光学システム。

77. 第1および第2の最下レベルナノビームは、酸化チタンを含む、実施形態76に記載の光学システム。

78. 複数のユニットセルの第1および第2の最下レベルナノビームは、相互に平行に延在する、実施形態71に記載の光学システム。

79. 第1の幅は、10nm~250nmである、実施形態71に記載の光学システム。

80. 第2の幅は、10nm~300nmである、実施形態79に記載の光学システム。

81. ユニットセルのピッチは、300nm~500nmである、実施形態71に記載の光学システム。

82. 第1のナノビームおよび第2のナノビームは、10nm~300nmの間隙によって分離される、実施形態71に記載の光学システム。

83. 光学的に透過性の基板およびメタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、実施形態71に記載の光学システム。

84. 光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、実施形態71に記載の光学システム。

85. メタ表面は、内部結合光学要素を形成し、光を内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、メタ表面は、光を再指向し、全内部反射によって基板を通して光を伝搬するように構成される、実施形態71に記載の光学システム。

86. 光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、ユニットセルの特徴の寸法は、基板間で変動し、メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、メタ表面は、光を再指向し、全内部反射によって基板を通して光を伝搬するように構成される、実施形態84に記載の光学システム。

87. メタ表面は、外部結合光学要素であり、メタ表面は、光を基板から抽出するように構成される、実施形態71に記載の光学システム。

88. 格子は、光学的に透過性の材料内に内蔵される、実施形態71に記載の光学システム。

89. メタ表面を形成するための方法であって、該方法は、

光学的に透過性の基板を提供することと、

光学的に透過性の層を基板にわたって提供することと、

光学的に透過性の層をパターン化し、複数の反復ユニットを画定することであって、各反復ユニットは、上下図に見られるように、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、

間隙によって第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、第2のナノビームは、第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームと

10

20

30

40

50

を含む、ことと、

光学的に透過性の材料を第 1 および第 2 のナノビーム上およびナノビーム間の間隙の中に堆積させ、光学的に透過性の材料の離間されたプラトーをナノビームの上方に形成することと

を含む、方法。

90．光学的に透過性の材料は、パターン化されたレジストまたは基板のいずれかより高い屈折率を有する、実施形態 89 に記載の方法。

91．光学的に透過性の層をパターン化することは、レジストをパターン化することを含む、実施形態 89 に記載の方法。

92．レジストをパターン化することは、パターンをレジストの中にインプリントすることを含む、実施形態 91 に記載の方法。

93．光学的に透過性の材料を堆積させることは、光学的に透過性の材料をパターン化されたレジスト上にスパッタリングすることを含む、実施形態 91 に記載の方法。

94．光学的に透過性の材料を堆積させることは、光学的に透過性の材料の共形性堆積または指向性堆積を実施することを含む、実施形態 91 に記載の方法。

95．共形性堆積は、光学的に透過性の材料の化学蒸着または原子層堆積を含む、実施形態 94 に記載の方法。

96．指向性堆積は、光学的に透過性の材料の蒸発またはスパッタリングを含む、実施形態 95 に記載の方法。

97．第 1 の幅は、10 nm ~ 250 nm である、実施形態 89 に記載の方法。

98．第 2 の幅は、10 nm ~ 300 nm である、実施形態 97 に記載の方法。

99．ユニットセルのピッチは、300 nm ~ 500 nm である、実施形態 89 に記載の方法。

100．第 1 のナノビームおよび第 2 のナノビームは、10 nm ~ 300 nm の間隙によって分離される、実施形態 89 に記載の光学システム。

101．光学的に透過性の基板は、導波管である、実施形態 89 に記載の方法。

#### 【0017】

本発明の付加のおよび他の目的、特徴、および利点は、詳細説明、図、および請求項に説明される。

本発明は、例えば、以下を提供する。

#### (項目 1)

光学システムであって、

メタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、上記メタ表面は、上下図に見られるように、

複数のユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、

第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 のナノビームと、

間隙によって上記第 1 のナノビームから離間される側方に伸長の第 2 のナノビームであって、上記第 2 のナノビームは、上記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

を含み、上記第 1 および第 2 のナノビームの高さは、

10 nm ~ 450 nm であり、上記基板の屈折率は、3.3 を上回り、

10 nm ~ 1 μm であり、上記屈折率は、3.3 またはそれ未満である、格子

を含む、基板

を含む、光学システム。

#### (項目 2)

上記ユニットセルは、側方に伸長かつ相互に平行である、項目 1 に記載の光学システム。

#### (項目 3)

上記メタ表面は、可視波長の入射光を第 1 の回折次数に回折するように構成される、項目 1 に記載の光学システム。

(項目4)

上記第2の幅は、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ である、項目1に記載の光学システム。

(項目5)

上記第2の幅は、 $10\text{ nm} \sim 300\text{ nm}$ である、項目4に記載の光学システム。

(項目6)

上記ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ である、項目1に記載の光学システム。

(項目7)

上記ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ である、項目6に記載の光学システム。

(項目8)

上記第1のナノビームおよび上記第2のナノビームは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ の間隙によって分離される、項目1に記載の光学システム。

(項目9)

上記間隙は、 $10\text{ nm} \sim 300\text{ nm}$ 幅である、項目8に記載の光学システム。

(項目10)

上記光学的に透過性の基板は、ガラスを含む、項目1に記載の光学システム。

(項目11)

上記第1および第2のナノビームは、シリコンを含む、項目1に記載の光学システム。

(項目12)

上記第1および第2のナノビームは、窒化ケイ素を含む、項目11に記載の光学システム。

(項目13)

上記光学的に透過性の基板および上記メタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、項目1に記載の光学システム。

(項目14)

上記光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、項目1に記載の光学システム。

(項目15)

上記光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、上記ユニットセルの特徴の寸法は、上記基板間で変動する、項目14に記載の光学システム。

(項目16)

上記メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を上記内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、上記メタ表面は、上記光を再指向し、全内部反射によって上記基板を通して上記光を伝搬するように構成される、項目1に記載の光学システム。

(項目17)

上記メタ表面は、外部結合光学要素であり、上記メタ表面は、光を上記基板から抽出するように構成される、項目1に記載の光学システム。

(項目18)

光学システムであって、  
メタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、上記メタ表面は、  
複数のユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第1の幅を有する側方に伸長の第1のナノビームと、  
間隙によって上記第1のナノビームから離間される側方に伸長の第2のナノビームであって、上記第2のナノビームは、上記第1の幅より大きい第2の幅を有する、第2のナノビームと

を含む、格子

を含む、基板と、

反射体であって、上記反射体および上記基板は、上記格子の反対側にある、反射体と

10

20

30

40

50

を含む、光学システム。

(項目 19)

上記反射体は、上記格子から離間される、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 20)

上記格子は、光学的に透過性の材料内に内蔵される、項目 19 に記載の光学システム。

(項目 21)

上記光学的に透過性の材料は、上記反射体を上記格子から離間させる、項目 20 に記載の光学システム。

(項目 22)

上記基板は、

上記メタ表面と反対の上記基板の側の第 2 のメタ表面であって、上記第 2 のメタ表面は

複数の第 2 のユニットセルを含む第 2 の格子であって、各第 2 のユニットセルは、上下図に見られるように、

側方に伸長の第 3 のナノビームと、

間隙によって上記第 3 のナノビームから離間される側方に伸長の第 4 のナノビームであって、上記第 4 のナノビームは、上記第 3 のナノビームより広い、第 4 のナノビームと

を含む、第 2 の格子

を含む、第 2 のメタ表面

を含む、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 23)

上記ユニットセルは、側方に伸長かつ相互に平行である、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 24)

上記メタ表面は、可視波長の入射光を第 1 の回折次数に回折するように構成される、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 25)

上記第 2 の幅は、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ である、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 26)

上記第 2 の幅は、 $10\text{ nm} \sim 300\text{ nm}$ である、項目 25 に記載の光学システム。

(項目 27)

上記ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ である、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 28)

上記ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ である、項目 27 に記載の光学システム。

(項目 29)

上記第 1 のナノビームおよび上記第 2 のナノビームは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ の間隙によって分離される、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 30)

上記間隙は、 $10\text{ nm} \sim 300\text{ nm}$ 幅である、項目 29 に記載の光学システム。

(項目 31)

上記光学的に透過性の基板は、ガラスを含む、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 32)

上記第 1 および第 2 のナノビームは、シリコンを含む、項目 18 に記載の光学システム。

(項目 33)

上記第 1 および第 2 のナノビームは、窒化ケイ素を含む、項目 32 に記載の光学システム。

10

20

30

40

50



(項目 3 4)

上記光学的に透過性の基板および上記メタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、  
項目 1 8 に記載の光学システム。

(項目 3 5)

上記光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、項目 2 7 に記載の光学システム  
。

(項目 3 6)

上記光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、上記ユニットセルの特徴の寸法は、  
上記基板間で変動する、項目 3 5 に記載の光学システム。

(項目 3 7)

上記メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を上記内部結合光学要素に投影するように  
構成される画像投入デバイスをさらに含み、上記メタ表面は、上記光を再指向し、全内  
部反射によって上記基板を通して上記光を伝搬するように構成される、項目 1 8 に記載の  
光学システム。

(項目 3 8)

上記メタ表面は、外部結合光学要素であり、上記メタ表面は、光を上記基板から抽出す  
るように構成される、項目 1 8 に記載の光学システム。

(項目 3 9)

メタ表面を形成するための方法であって、上記方法は、  
光学的に透過性の基板を提供することと、  
光学的に透過性の層を上記基板にわたって提供することと、  
上記光学的に透過性の層をパターン化し、複数のユニットセルを含む格子を画定するこ  
とであって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、  
第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 のナノビームと、  
間隙によって上記第 1 のナノビームから離間される側方に伸長の第 2 のナノビームで  
あって、上記第 2 のナノビームは、上記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナ  
ノビームと

を含み、上記第 1 および第 2 のナノビームの高さは、

1 0 n m ~ 4 5 0 n m であり、上記基板の屈折率は、3 . 3 を上回り、

1 0 n m ~ 1 μ m であり、上記屈折率は、3 . 3 またはそれ未満である、ことと

を含む、方法。

(項目 4 0)

上記光学的に透過性の層をパターン化することは、  
レジスト層を上記光学的に透過性の層にわたって提供することと、  
パターンを上記レジスト層内に画定することと、  
上記パターンを上記レジスト層から上記光学的に透過性の層に転写することと  
を含む、項目 3 9 に記載の方法。

(項目 4 1)

光学的に透過性の材料を上記格子間およびそれにわたって堆積させることをさらに含む  
、項目 4 0 に記載の方法。

(項目 4 2)

反射層を上記光学的に透過性の材料上に形成することをさらに含む、項目 4 1 に記載の  
方法。

(項目 4 3)

上記転写することは、異方性エッチングを実施することを含む、項目 4 0 に記載の方法  
。

(項目 4 4)

メタ表面を形成するための方法であって、上記方法は、  
光学的に透過性の基板を提供することと、  
複数のユニットセルを含む格子を形成することであって、各ユニットセルは、上下図に

10

20

30

40

50

見られるように、

第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 のナノビームと、

間隙によって上記第 1 のナノビームから離間される側方に伸長の第 2 のナノビームであって、上記第 2 のナノビームは、上記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

を含む、ことと

反射材料の層を上記間隙内および上記ユニットセル間に提供することと

を含む、方法。

(項目 4 5)

上記反射材料の層を提供することは、反射材料を上記第 1 および第 2 のナノビーム間およびそれにわたって堆積させることを含む、項目 4 4 に記載の方法。

10

(項目 4 6)

上記反射材料は、アルミニウムを含む、項目 4 5 に記載の方法。

(項目 4 7)

上記格子を形成することは、

光学的に透過性の層を上記基板にわたって堆積させることと、

上記光学的に透過性の層をパターン化し、上記格子を画定することと

を含む、項目 4 4 に記載の方法。

(項目 4 8)

上記光学的に透過性の層をパターン化することは、

レジスト層を上記光学的に透過性の層にわたって提供することと、

パターンを上記レジスト層内に画定することと、

上記パターンを上記レジスト層から上記光学的に透過性の層に転写することと

を含む、項目 4 7 に記載の方法。

20

(項目 4 9)

メタ表面を形成するための方法であって、上記方法は、

光学的に透過性の基板を提供することと、

複数のユニットセルを含む格子を形成することであって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 のナノビームと、

間隙によって上記第 1 のナノビームから離間される側方に伸長の第 2 のナノビームであって、上記第 2 のナノビームは、上記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

30

を含む、ことと、

光学的に透過性のスペーサ材料の層を上記間隙内および上記ユニットセル間に堆積させることと、

反射層を上記スペーサ材料の層上に堆積させることであって、上記スペーサ材料は、上記格子を上記反射層から分離する、ことと

を含む、方法。

(項目 5 0)

上記スペーサ材料は、1 ~ 2 の屈折率を有する、項目 4 9 に記載の方法。

40

(項目 5 1)

光学システムであって、

メタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、上記メタ表面は、

複数のユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 のナノビームと、

間隙によって上記第 1 のナノビームから離間される側方に伸長の第 2 のナノビームであって、上記第 2 のナノビームは、上記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

50

<p>を含む、上記ユニットセルのピッチは、<math>10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}</math>である、格子を含む、基板を含む、光学システム。</p>	
<p>(項目52) 上記ピッチは、<math>300\text{ nm} \sim 500\text{ nm}</math>である、項目51に記載のシステム。</p>	
<p>(項目53) 上記メタ表面は、可視波長の入射光を第1の回折次数に回折するように構成される、項目51に記載のシステム。</p>	
<p>(項目54) 上記ユニットセルは、側方に伸長かつ相互に平行である、項目51に記載の光学システム。</p>	10
<p>(項目55) 上記第2の幅は、<math>10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}</math>である、項目51に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目56) 上記第2の幅は、<math>10\text{ nm} \sim 300\text{ nm}</math>である、項目55に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目57) 上記ユニットセルのピッチは、<math>10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}</math>である、項目51に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目58) 上記ユニットセルのピッチは、<math>10\text{ nm} \sim 500\text{ nm}</math>である、項目57に記載の光学システム。</p>	20
<p>(項目59) 上記第1のナノビームおよび上記第2のナノビームは、<math>10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}</math>の間隙によって分離される、項目51に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目60) 上記間隙は、<math>10\text{ nm} \sim 300\text{ nm}</math>幅である、項目59に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目61) 上記光学的に透過性の基板は、ガラスを含む、項目51に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目62) 上記第1および第2のナノビームは、シリコンを含む、項目51に記載の光学システム。</p>	30
<p>(項目63) 上記第1および第2のナノビームは、窒化ケイ素を含む、項目62に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目64) 上記光学的に透過性の基板および上記メタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、項目51に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目65) 上記光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、項目51に記載の光学システム。</p>	40
<p>(項目66) 上記光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、上記ユニットセルの特徴の寸法は、上記基板間で変動する、項目65に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目67) 上記メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を上記内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、上記メタ表面は、上記光を再指向し、全内部反射によって上記基板を通して上記光を伝搬するように構成される、項目51に記載の光学システム。</p>	
<p>(項目68) 上記メタ表面は、外部結合光学要素であり、上記メタ表面は、光を上記基板から抽出す</p>	50

るように構成される、項目 5 1 に記載の光学システム。

(項目 6 9)

メタ表面を形成するための方法であって、上記方法は、  
 光学的に透過性の基板を提供することと、  
 光学的に透過性の層を上記基板にわたって提供することと、  
 上記光学的に透過性の層をパターン化し、複数のユニットセルを含む格子を画定することであって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、  
 第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 のナノビームと、  
 間隙によって上記第 1 のナノビームから離間される側方に伸長の第 2 のナノビームであって、上記第 2 のナノビームは、上記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと  
 を含み、上記ユニットセルのピッチは、 $10\text{ nm} \sim 1\text{ }\mu\text{m}$ である、ことと  
 を含む、方法。

10

(項目 7 0)

上記ピッチは、 $300\text{ nm} \sim 500\text{ nm}$ である、項目 6 9 に記載の方法。  
 上記メタ表面は、可視波長の入射光を第 1 の回折次数に回折するように構成される、項目 5 1 に記載の方法。

(項目 7 1)

光学システムであって、  
 マルチレベルメタ表面を含む光学的に透過性の基板であって、上記マルチレベルメタ表面は、

20

複数のマルチレベルユニットセルを含む格子であって、各ユニットセルは、上下図に見られるように、

上記ユニットセルの最下レベルには、  
 第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 の最下レベルナノビームと、  
 第 2 の幅を有する側方に伸長の第 2 の最下レベルナノビームであって、上記第 2 の幅は、上記第 1 の幅より大きい、第 2 の最下レベルナノビームと、

上記ユニットセルの最上レベルには、  
 上記第 1 の最下レベルナノビームの上方の側方に伸長の第 1 の最上レベルナノビームと、

30

上記第 2 の最下レベルナノビームの上方の側方に伸長の第 2 の最上レベルナノビームと

を含む、格子

を含む、基板

を含む、光学システム。

(項目 7 2)

上記第 1 および第 2 の最上レベルナノビームは、上記第 1 および第 2 の最下レベルナノビームと異なる材料を含む、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 7 3)

上記第 1 および第 2 の最下レベルナノビームは、フォトリジストを含む、項目 7 1 に記載の光学システム。

40

(項目 7 4)

上記第 1 および第 2 の最下レベルナノビームは、シリコンを含む、項目 7 3 に記載の光学システム。

(項目 7 5)

上記第 1 および第 2 の最下レベルナノビームは、窒化ケイ素を含む、項目 7 4 に記載の光学システム。

(項目 7 6)

上記第 1 および第 2 の最下レベルナノビームは、酸化物を含む、項目 7 3 に記載の光学システム。

50

(項目 7 7)

上記第 1 および第 2 の最下レベルナノビームは、酸化チタンを含む、項目 7 6 に記載の光学システム。

(項目 7 8)

上記複数のユニットセルの上記第 1 および第 2 の最下レベルナノビームは、相互に平行に延在する、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 7 9)

上記第 1 の幅は、10 nm ~ 250 nm である、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 8 0)

上記第 2 の幅は、10 nm ~ 300 nm である、項目 7 9 に記載の光学システム。

10

(項目 8 1)

上記ユニットセルのピッチは、300 nm ~ 500 nm である、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 8 2)

上記第 1 のナノビームおよび上記第 2 のナノビームは、10 nm ~ 300 nm の間隙によって分離される、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 8 3)

上記光学的に透過性の基板および上記メタ表面は、偏光ビームスプリッタを形成する、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 8 4)

上記光学的に透過性の基板は、導波管プレートである、項目 7 1 に記載の光学システム。

20

(項目 8 5)

上記メタ表面は、内部結合光学要素を形成し、光を上記内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、上記メタ表面は、上記光を再指向し、全内部反射によって上記基板を通して上記光を伝搬するように構成される、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 8 6)

上記光学的に透過性の基板のスタックをさらに含み、上記ユニットセルの特徴の寸法は、上記基板間で変動し、上記メタ表面は、内部結合光学要素であり、光を上記内部結合光学要素に投影するように構成される画像投入デバイスをさらに含み、上記メタ表面は、上記光を再指向し、全内部反射によって上記基板を通して上記光を伝搬するように構成される、項目 8 4 に記載の光学システム。

30

(項目 8 7)

上記メタ表面は、外部結合光学要素であり、上記メタ表面は、光を上記基板から抽出するように構成される、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 8 8)

上記格子は、光学的に透過性の材料内に内蔵される、項目 7 1 に記載の光学システム。

(項目 8 9)

メタ表面を形成するための方法であって、上記方法は、  
光学的に透過性の基板を提供することと、  
光学的に透過性の層を上記基板にわたって提供することと、  
上記光学的に透過性の層をパターン化し、複数の反復ユニットを画定することであって、各反復ユニットは、上下図に見られるように、

40

第 1 の幅を有する側方に伸長の第 1 のナノビームと、  
間隙によって上記第 1 のナノビームから離間される側方に伸長の第 2 のナノビームであって、上記第 2 のナノビームは、上記第 1 の幅より大きい第 2 の幅を有する、第 2 のナノビームと

を含む、ことと、  
光学的に透過性の材料を上記第 1 および第 2 のナノビーム上および上記ナノビーム間の

50

間隙の中に堆積させ、上記光学的に透過性の材料の離間されたプラトーを上記ナノビームの上方に形成することと

を含む、方法。

(項目 9 0)

上記光学的に透過性の材料は、上記パターン化されたレジストまたは上記基板のいずれかより高い屈折率を有する、項目 8 9 に記載の方法。

(項目 9 1)

上記光学的に透過性の層をパターン化することは、レジストをパターン化することを含む、項目 8 9 に記載の方法。

(項目 9 2)

上記レジストをパターン化することは、上記パターンを上記レジストの中にインプリントすることを含む、項目 9 1 に記載の方法。

(項目 9 3)

上記光学的に透過性の材料を堆積させることは、上記光学的に透過性の材料を上記パターン化されたレジスト上にスピンコーティングすることを含む、項目 9 1 に記載の方法。

(項目 9 4)

上記光学的に透過性の材料を堆積させることは、上記光学的に透過性の材料の共形性堆積または指向性堆積を実施することを含む、項目 9 1 に記載の方法。

(項目 9 5)

上記共形性堆積は、上記光学的に透過性の材料の化学蒸着または原子層堆積を含む、項目 9 4 に記載の方法。

(項目 9 6)

上記指向性堆積は、上記光学的に透過性の材料の蒸発またはスパッタリングを含む、項目 9 5 に記載の方法。

(項目 9 7)

上記第 1 の幅は、1 0 n m ~ 2 5 0 n m である、項目 8 9 に記載の方法。

(項目 9 8)

上記第 2 の幅は、1 0 n m ~ 3 0 0 n m である、項目 9 7 に記載の方法。

(項目 9 9)

上記ユニットセルのピッチは、3 0 0 n m ~ 5 0 0 n m である、項目 8 9 に記載の方法。

(項目 1 0 0)

上記第 1 のナノビームおよび上記第 2 のナノビームは、1 0 n m ~ 3 0 0 n m の間隙によって分離される、項目 8 9 に記載の光学システム。

(項目 1 0 1)

上記光学的に透過性の基板は、導波管である、項目 8 9 に記載の方法。

【図面の簡単な説明】

【0 0 1 8】

【図 1】図 1 は、A R デバイスを通した拡張現実 ( A R ) のユーザのビューを図示する。

【0 0 1 9】

【図 2】図 2 は、ユーザのための 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図示する。

【0 0 2 0】

【図 3】図 3 A - 3 C は、曲率半径と焦点半径との間の関係を図示する。

【0 0 2 1】

【図 4 A】図 4 A は、ヒト視覚系の遠近調節 ( a c c o m m o d a t i o n ) - 輻輳・開散運動 ( v e r g e n c e ) 応答の表現を図示する。

【0 0 2 2】

【図 4 B】図 4 B は、一対のユーザの眼の異なる遠近調節状態および輻輳・開散運動状態

10

20

30

40

50

の実施例を図示する。

【0023】

【図4C】図4Cは、ディスプレイシステムを介してコンテンツを視認しているユーザの上下図の表現の実施例を図示する。

【0024】

【図4D】図4Dは、ディスプレイシステムを介してコンテンツを視認しているユーザの上下図の表現の別の実施例を図示する。

【0025】

【図5】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アプローチの側面を図示する。

10

【0026】

【図6】図6は、画像情報をユーザに出力するための導波管スタックの実施例を図示する。

【0027】

【図7】図7は、導波管によって出力された出射ビームの実施例を図示する。

【0028】

【図8】図8は、スタックされた導波管アセンブリの実施例を図示し、各深度平面は、複数の異なる原色を使用して形成される画像を含む。

【0029】

【図9A】図9Aは、それぞれが内部結合光学要素を含むスタックされた導波管のセットの実施例の断面側面図を図示する。

20

【0030】

【図9B】図9Bは、図9Aの複数のスタックされた導波管の実施例の斜視図を図示する。

【0031】

【図9C】図9Cは、図9Aおよび9Bの複数のスタックされた導波管の実施例の上下平面図を図示する。

【0032】

【図9D】図9Dは、ウェアラブルディスプレイシステムの実施例を図示する。

【0033】

30

【図10】図10Aおよび10Bは、それぞれ、メタ表面の断面側および上下図の実施例を図示する。

【0034】

【図11A】図11Aは、反射モードで機能するように構成されるメタ表面の断面側面図の実施例を図示する。

【0035】

【図11B】図11Bは、図11Aの平面11B上で視認されるような図11Aのメタ表面の断面上下図の実施例を図示する。

【0036】

【図12】図12は、反射モードで機能するように構成される別のメタ表面の断面側面図の実施例を図示する。

40

【0037】

【図13】図13は、図12の平面13上で視認されるような図12のメタ表面の断面上下図の実施例を図示する。

【0038】

【図14A】図14Aは、透過メタ表面および反射メタ表面の両方を有する基板の断面側面図の実施例を図示する。

【0039】

【図14B】図14Bは、図14Aのメタ表面の上下図の実施例を図示する。

【0040】

50

【図14C】図14Cは、図14Aの平面14C上で視認されるような図14Aのメタ表面の上下図の実施例を図示する。

【0041】

【図15】図15A - 15Eは、メタ表面を形成するためのプロセスフローの実施例を図示する。

【0042】

【図16】図16Aおよび16Bは、メタ表面の走査電子顕微鏡写真を図示する。

【0043】

【図17】図17は、透過メタ表面のための回折効率対光の入射角度を示す、プロットの実施例を図示する。

10

【0044】

【図18】図18A - 18Cは、反射メタ表面のための、回折効率対光の入射角度を示す、プロットの実施例を図示する。入射光の波長は、図18A - 18Cの各々に対して異なる。

【0045】

【図19】図19Aおよび19Bは、図10Aおよび10Bのメタ表面の偏光感度を示す、プロットの実施例を図示する。

【0046】

【図20】図20は、図10Aおよび10Bのメタ表面のための振幅および位相偏移対ナノビーム幅のプロットを図示する。

20

【0047】

【図21A】図21Aは、マルチレベルメタ表面の断面側面図の実施例を図示する。

【0048】

【図21B】図21Bは、図21Aに示される一般的構造を有する光学構造のための光の入射角度の関数として、透過および反射のプロットの実施例を図示する。

【0049】

【図22A】図22Aは、マルチレベルメタ表面の断面側面図の実施例を図示する。

【0050】

【図22B】図22Bは、図22Aに示される一般的構造を有する光学構造のための光の入射角度の関数として、透過および反射のプロットの実施例を図示する。

30

【0051】

【図23】図23A - 23Dは、マルチレベルメタ表面を形成するためのプロセスフローの実施例を図示する。

【0052】

図面は、本明細書に説明される例示の実施形態を図示するために提供され、本開示の範囲を限定することを意図するものではない。図面は、概略であって、必ずしも、正確な縮尺で描かれていないことを理解されたい。

【発明を実施するための形態】

【0053】

メタ表面、すなわち、メタ材料表面は、事実上平坦な無収差光学を幾何学的光学と比較してはるかに小さいスケールで実現する機会を提供する。理論によって限定されるわけではないが、いくつかの実施形態では、メタ表面は、共振光学アンテナとして機能する、表面構造の高密度配列を含む。光表面構造相互作用の共振性質は、光学波面を操作する能力を提供する。ある場合には、メタ表面は、嵩張るまたは製造が困難である光学コンポーネントと単純パターン化プロセスによって形成される薄い平面要素の置換を可能にし得る。

40

【0054】

1つのタイプの従来の光学要素は、ブレース格子であって、これは、いくつかの用途では、光を再指向する際、高選択性を有するため、望ましくあり得る。しかしながら、これらの格子は、典型的には、傾き表面を有し、製造が困難であり得る。有利には、いくつかの実施形態では、可視範囲内で、ブレース格子と同様に、光を再指向することが可能であ

50



る一方、広範囲の入射角度にわたって比較的平坦な応答を有し、かつより容易に製造される構造を提供する、メタ表面が、開示される。

【0055】

メタ表面は、複数の反復ユニットセルによって形成される、非対称格子の形態をとってもよい。各ユニットセルは、2つの側方に伸長の突出部を含み、これは、ナノビームまたはナノワイヤとも称され得、一方の突出部は、他方より広い。本明細書で使用されるように、突出部、ナノビームまたはナノワイヤは、伸長体積の材料、例えば、単一の実質的に同種の材料である。これらの伸長構造は、何らかの特定の断面形状に限定されないことを理解されたい。いくつかの実施形態では、断面形状は、長方形である。好ましくは、ナノビームは、サブ波長幅および相互からの間隔を有する。例えば、ナノビームの幅は、メタ表面が再指向するように構成される、光の波長未満であってもよい。いくつかの実施形態では、ナノビームによって形成されるユニットセルは、光学的に透過性の基板、例えば、導波管の表面上またはそれに近接してもよい。

10

【0056】

いくつかの実施形態では、メタ表面は、光が、メタ表面の第1の側からメタ表面上に入射し、メタ表面を通して伝搬し、続いて、メタ表面の反対側のメタ表面から離れるように伝搬する、透過モードで機能してもよい。光は、メタ表面から離れるように、第1の側の光の入射方向と異なる方向に伝搬する。

【0057】

いくつかの他の実施形態では、メタ表面は、光が、メタ表面の第1の側から入射し、第1の側に反射され、メタ表面から離れるように伝搬する、反射モードで機能してもよい。反射モードでは、メタ表面は、反射層内に内蔵されたナノビームを含んでもよい。いくつかの他の実施形態では、ナノビームは、スペーサ層内に内蔵されてもよく、反射層は、第1の側と反対のメタ表面の側において、直接、スペーサ層上に提供されてもよい。

20

【0058】

好ましくは、メタ表面を形成する特徴は、例えば、回折によって、光を再指向するように構成される。いくつかの実施形態では、光は、350 nm ~ 800 nmの範囲内である波長を有する、可視光である。いくつかの実施形態では、メタ表面は、可視波長の入射光を第1の回折次数に回折するように構成される。

【0059】

いくつかの実施形態では、ユニットセルを形成するナノビームの幅は、10 nm ~ 300 nmまたは10 nm ~ 250 nmを含む、10 nm ~ 1 μmの範囲内である。ナノビームは、10 nm ~ 1 μm幅または10 nm ~ 300 nm幅を含む、5 nm ~ 1 μm幅の範囲内である間隙によって分離されてもよい。ユニットセルのピッチ（すなわち、直接隣接するユニットセル内の同じ点間の距離）は、10 nm ~ 500 nmまたは300 nm ~ 500 nmを含む、10 nm ~ 1 μmの範囲内であってもよい。いくつかの実施形態では、ナノビームの高さは、10 nm ~ 500 nmまたは10 nm ~ 450 nmを含む、10 nm ~ 1 μmの範囲内であってもよい。

30

【0060】

ユニットセルの特徴の寸法は、メタ表面を形成するために使用される材料の性質に応じて変動し得ることが見出されている。例えば、ナノビームの高さは、それらのナノビームのために使用される材料の性質に応じて変動し得る。いくつかの実施形態では、ナノビームの高さは、10 nm ~ 450 nmであってもよく、材料の屈折率は、3.3を上回り、10 nm ~ 1 μmであって、屈折率は、3.3またはそれ未満である。別の実施例として、ナノビームの高さは、10 nm ~ 450 nmであってもよく、ナノビームは、シリコン（例えば、非晶質またはポリシリコン）から形成される。

40

【0061】

いくつかの実施形態では、メタ表面は、前述のように、最下レベル上に比較的狭いおよび比較的広いナノビームを伴うユニットセルと、最下レベル上のナノビーム間の第2の光学的に透過性の材料とを有する、マルチレベル（例えば、双レベル）構造である。メ

50

タ表面はまた、ナノビームの上部表面上に配置される第2の光学的に透過性の材料によって形成される、第2のレベルを含んでもよい。第2のレベル上の材料は、ナノビームの上部表面上に局在化されてもよく、ナノビームの長さ軸に直交する平面に沿って得られた断面図に見られるように、材料の離間されたプラトーを形成してもよい。いくつかの実施形態では、第2のレベル上の材料の高さは、10 nm ~ 600 nmを含む、10 nm ~ 1 μmの範囲内であってもよい。

#### 【0062】

いくつかの実施形態では、メタ表面は、光の一部の波長を選択的に再指向する一方、光の他の波長には透過性であることを理解されたい。そのような性質は、典型的には、ミクロンスケールで構造とともに加工される（例えば、光子結晶ファイバまたは分散型ブラッグ反射体内に）一方、本明細書の種々の実施形態は、ナノスケール（例えば、10 ~ 100分の1のより小さいスケール）での幾何学形状を含み、電磁スペクトルの可視部分内の光の選択的再指向を提供する。いくつかの実施形態では、ナノビームは、基板の表面上に単一レベルで形成され、それによって、単純に製造構造を提供してもよい。有利には、メタ表面は、パターン化および堆積プロセス、例えば、リソグラフィおよび化学エッチングを使用して、形成されてもよい。いくつかの実施形態では、メタ表面は、ナノインプリントを使用してパターン化され、それによって、コストがかかるリソグラフィおよびエッチングプロセスを回避してもよい。

#### 【0063】

種々の実施形態に従って形成されるメタ表面は、以下の利点のうちの1つ以上のものを提供する。例えば、メタ表面は、光を再指向または回折し得る、比較的に大角度の帯域幅を有してもよい。加えて、メタ表面は、本帯域幅にわたって良好な回折効率を有してもよい。例えば、回折効率は、40°または50°（表面に対して法線方向から測定される）の角度帯域幅（FWHM）にわたって、25%以上、30%以上、または40%以上であってもよい。さらに、角度帯域幅にわたる回折効率は、有利には、平坦であって、例えば、角度帯域幅にわたって25%、20%、15%、または10%未満変動し得る。メタ表面はまた、大偏向角度を有してもよく、これは、有利には、全内部反射（TIR）のために好適な角度で伝搬するように光を再指向することによって、角度帯域幅内の光を内部結合するために適用され得る。加えて、上記に記載の利点は、画像を形成するための異なる原色に対応する光の一部の波長において実現されてもよい。例えば、波長は、赤色、緑色、および青色（例えば、455 nm、520 nm、および638 nmの波長）の色に対応し得る。反射モードでは、メタ表面は、高消光比（例えば、5以上、10以上、20以上）を伴う色選択的ビーム成形を提供し得る。いくつかの実施形態では、メタ表面は、強固な偏光依存性を呈し、偏光ビームスプリッタとして機能してもよい。例えば、異なる偏光の光に関して、メタ表面は、5以上、7以上、または9以上の消光比を呈し得る。

#### 【0064】

いくつかの実施形態では、メタ表面を支持する導波管は、直視型ディスプレイデバイスまたは接眼ディスプレイデバイスを形成してもよく、導波管は、入力画像情報を受信し、入力画像情報に基づいて、出力画像を生成するように構成される。これらのデバイスは、いくつかの実施形態では、ウェアラブルであって、アイウェアを構成してもよい。導波管によって受信された入力画像情報は、1つ以上の導波管の中に内部結合される、異なる波長（例えば、赤色、緑色、および青色光）の多重化された光ストリーム内にエンコードされることができる。内部結合される光は、全内部反射に起因して、導波管を通して伝搬し得る。内部結合される光は、1つ以上の外部結合光学要素によって、導波管から外部結合（または出力）されてもよい。

#### 【0065】

いくつかの実施形態では、メタ表面は、内部結合光学要素および/または外部結合光学要素である。メタ表面のコンパクト性および平面性は、コンパクトな導波管と複数の導波管がスタックを形成するコンパクトな導波管のスタックとを可能にする。加えて、メタ表面の高波長選択性は、内部結合光および/または外部結合光における高精度を可能にし、

10

20

30

40

50

これは、光が画像情報を含む用途において高画質を提供することができる。例えば、高選択性は、フルカラー画像が異なる色または波長の光を同時に出力することによって形成される構成において、チャネルクロストークを低減させ得る。

【0066】

ここで、図を参照するが、同様の参照番号は、全体を通して同様の特徴を指す。

【0067】

#### 例示的ディスプレイシステム

本明細書に開示される種々の実施形態は、光学デバイス内に実装され、光を操向また再指向してもよく、特に、有利には、ディスプレイシステムの一部として採用されてもよい。いくつかの実施形態では、ディスプレイシステムは、アイウェア（例えば、それらは、ウェアラブルである）の形態をとり、これは、有利には、高没入感VRまたはAR体験を提供し得る。例えば、複数の深度平面、例えば、導波管のスタック（深度平面の各々に対して1つの導波管または導波管のセット）を表示するために導波管を含む、ディスプレイは、ユーザまたは視認者の眼の正面に位置付けられて装着されるように構成されてもよい。いくつかの実施形態では、複数の導波管、例えば、導波管の2つのスタック（視認者の各眼に対して1つ）が、異なる画像を各眼に提供するために利用されてもよい。

【0068】

図2は、ユーザのための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図示する。ユーザの眼は、離間されており、空間内の実オブジェクトを見ているとき、各眼は、オブジェクトの若干異なるビューを有し、オブジェクトの画像を各眼の網膜上の異なる場所に形成し得ることを理解されたい。これは、両眼視差と称され得、ヒト視覚系によって、深度の知覚を提供するために利用され得る。従来のディスプレイシステムは、仮想オブジェクトが所望の深度における実オブジェクトであるように各眼によって見えるであろう仮想オブジェクトのビューに対応する、各眼210、220に対して1つの同一仮想オブジェクトの若干異なるビューを伴う2つの明確に異なる画像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、ユーザの視覚系が深度の知覚を導出するために解釈する、両眼キューを提供する。

【0069】

図2を継続して参照すると、画像190、200は、z-軸上で距離230だけ眼210、220から離間される。z-軸は、その眼が視認者の直前の光学無限遠におけるオブジェクトを凝視している状態の視認者の光学軸と平行である。画像190、200は、平坦であって、眼210、220から固定距離にある。それぞれ、眼210、220に提示される画像内の仮想オブジェクトの若干異なるビューに基づいて、眼は、必然的に、オブジェクトの画像が眼のそれぞれの網膜上の対応する点に来て、単一両眼視を維持するように回転し得る。本回転は、眼210、220のそれぞれの視線を仮想オブジェクトが存在するように知覚される空間内の点上に収束させ得る。その結果、3次元画像の提供は、従来、ユーザの眼210、220の輻輳・開散運動を操作し得、ヒト視覚系が深度の知覚を提供するように解釈する、両眼キューを提供することを伴う。

【0070】

しかしながら、深度の現実的かつ快適な知覚の生成は、困難である。眼からの異なる距離におけるオブジェクトからの光は、異なる発散量を伴う波面を有することを理解されたい。図3A-3Cは、距離と光線の発散との間の関係を図示する。オブジェクトと眼210との間の距離は、減少距離R1、R2、およびR3の順序で表される。図3A-3Cに示されるように、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。逆に言えば、距離が増加するにつれて、光線は、よりコリメートされる。換言すると、点（オブジェクトまたはオブジェクトの一部）によって生成されるライトフィールドは、点がユーザの眼からいかに離れているかに応じた球状波面曲率を有すると言え得る。曲率は、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。単眼210のみが、例証を明確にするために、図3A-3Cおよび本明細書の種々の他の図に図示されるが、眼210に関する議論は、視認者の両眼210および220に適用され得る。

## 【 0 0 7 1 】

図 3 A - 3 C を継続して参照すると、視認者の眼が凝視しているオブジェクトからの光は、異なる波面発散度を有し得る。異なる波面発散量に起因して、光は、眼の水晶体によって異なるように集束され得、これは、ひいては、水晶体に、異なる形状をとり、集束された画像を眼の網膜上に形成することを要求し得る。集束された画像が、網膜上に形成されない場合、結果として生じる網膜ぼけは、集束された画像が網膜上に形成されるまで、眼の水晶体の形状に変化を生じさせる、遠近調節のためのキューとして作用する。例えば、遠近調節のためのキューは、眼の水晶体を囲繞する毛様筋の弛緩または収縮をトリガし、それによって、レンズを保持する提鞅帯に印加される力を変調し、したがって、網膜ぼけが排除または最小限にされるまで、眼の水晶体の形状を変化させ、それによって、凝視されているオブジェクトの集束された画像を眼の網膜 / 中心窩上に形成し得る。眼の水晶体が形状を変化させるプロセスは、遠近調節と称され得、凝視されているオブジェクトの集束された画像を眼の網膜 / 中心窩上に形成するために要求される眼の水晶体の形状は、遠近調節状態と称され得る。

10

## 【 0 0 7 2 】

ここで図 4 A を参照すると、ヒト視覚系の遠近調節 - 輻輳・開散運動応答の表現が、図示される。オブジェクトを凝視するための眼の移動は、眼にオブジェクトからの光を受信させ、光は、画像を眼の網膜のそれぞれ上に形成する。網膜上に形成される画像内の網膜ぼけの存在は、遠近調節のためのキューを提供し得、網膜上の画像の相対的场所は、輻輳・開散運動のためのキューを提供し得る。遠近調節するためのキューは、遠近調節を生じさせ、眼の水晶体がオブジェクトの集束された画像を眼の網膜 / 中心窩上に形成する特定の遠近調節状態をとる結果をもたらす。一方、輻輳・開散運動のためのキューは、各眼の各網膜上に形成される画像が単一両眼視を維持する対応する網膜点にあるように、輻輳・開散運動による移動（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・開散運動状態をとっていると言え得る。図 4 A を継続して参照すると、遠近調節は、眼が特定の遠近調節状態を達成するプロセスであると理解され得、輻輳・開散運動は、眼が特定の輻輳・開散運動状態を達成するプロセスであると理解され得る。図 4 A に示されるように、眼の遠近調節および輻輳・開散運動状態は、ユーザが別のオブジェクトを凝視する場合、変化し得る。例えば、遠近調節された状態は、ユーザが  $z$  - 軸上の異なる深度における新しいオブジェクトを凝視する場合、変化し得る。

20

30

## 【 0 0 7 3 】

理論によって限定されるわけではないが、オブジェクトの視認者は、輻輳・開散運動および遠近調節の組み合わせに起因して、オブジェクトを「3次元」であると知覚し得ると考えられる。前述のように、2つの眼の相互に対する輻輳・開散運動による移動（例えば、瞳孔が相互に向かって、またはそこから移動し、眼の視線を収束させ、オブジェクトを凝視するような眼の回転）は、眼の水晶体の遠近調節と密接に関連付けられる。通常条件下では、眼の水晶体の形状を変化させ、1つのオブジェクトから異なる距離における別のオブジェクトに焦点を変化させることは、自動的に、「遠近調節 - 輻輳・開散運動反射」として知られる関係下、同一距離まで輻輳・開散運動における整合する変化を生じさせるであろう。同様に、輻輳・開散運動における変化は、通常条件下、水晶体形状における整合する変化をトリガするであろう。

40

## 【 0 0 7 4 】

ここで図 4 B を参照すると、眼の異なる遠近調節および輻輳・開散運動状態の実施例が、図示される。一対の眼 2 2 2 a は、光学無限遠におけるオブジェクトを凝視する一方、一対の眼 2 2 2 b は、光学無限遠未満におけるオブジェクト 2 2 1 を凝視する。着目すべきこととして、各対の眼の輻輳・開散運動状態は、異なり、一対の眼 2 2 2 a は、まっすぐ指向される一方、一対の眼 2 2 2 b は、オブジェクト 2 2 1 上に収束する。各対の眼 2 2 2 a および 2 2 2 b を形成する眼の遠近調節状態もまた、水晶体 2 1 0 a、2 2 0 a の異なる形状によって表されるように異なる。

## 【 0 0 7 5 】

50

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遠近調節と輻輳・開散運動状態との間の不整合に起因して、そのような従来のシステムを不快であると見出すか、または、奥行感を全く知覚しない場合がある。前述のように、多くの立体視または「3-D」ディスプレイシステムは、若干異なる画像を各眼に提供することによって、場面を表示する。そのようなシステムは、それらが、とりわけ、単に、場面の異なる提示を提供し、眼の輻輳・開散運動状態に変化を生じさせるが、それらの眼の遠近調節状態における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、眼が全ての画像情報を単一遠近調節状態において視認するように、ディスプレイによって眼から固定距離に示される。そのような配列は、遠近調節状態における整合する変化を伴わずに輻輳・開散運動状態における変化を生じさせることによって、「遠近調節・輻輳・開散運動反射」に逆らう。本不整合は、視認者不快感を生じさせると考えられる。遠近調節と輻輳・開散運動との間のより良好な整合を提供する、ディスプレイシステムは、3次元画像のより現実的かつ快適なシミュレーションを形成し得る。

【0076】

理論によって限定されるわけではないが、ヒトの眼は、典型的には、有限数の深度平面を解釈し、深度知覚を提供することができると考えられる。その結果、知覚された深度の高度に真実味のあるシミュレーションが、眼にこれらの限定数の深度平面のそれぞれに対応する画像の異なる提示を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・開散運動のためのキューおよび遠近調節するための整合するキューの両方を提供し、それによって、生理学的に正しい遠近調節・輻輳・開散運動整合を提供してもよい。

【0077】

図4Bを継続して参照すると、眼210、220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、図示される。所与の深度平面240に関して、輻輳・開散運動キューが、各眼210、220に対し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てもよい。加えて、所与の深度平面240に関して、各眼210、220に提供される画像を形成する光は、その深度平面240の距離におけるある点によって生成されたライトフィールドに対応する波面発散を有してもよい。

【0078】

図示される実施形態では、点221を含有する、深度平面240のz-軸に沿った距離は、1mである。本明細書で使用されるように、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を用いて測定されてもよい。したがって、1mの深度に位置する深度平面240は、それらの眼の光学軸上のユーザの眼の射出瞳から1m離れた距離に対応する。近似値として、z-軸に沿った深度または距離は、ユーザの眼の正面のディスプレイ（例えば、導波管の表面）から測定され、デバイスとユーザの眼の射出瞳との間の距離に関する値が加えられてもよい。その値は、瞳距離と呼ばれ、ユーザの眼の射出瞳と眼の正面のユーザによって装着されるディスプレイとの間の距離に対応し得る。実際は、瞳距離に関する値は、概して、全ての視認者に関して使用される、正規化された値であってもよい。例えば、瞳距離は、20mmであると仮定され得、1mの深度における深度平面は、ディスプレイの正面の980mmの距離にあり得る。

【0079】

ここで図4Cおよび4Dを参照すると、整合された遠近調節・輻輳・開散運動距離および不整合の遠近調節・輻輳・開散運動距離の実施例が、それぞれ、図示される。図4Cに図示されるように、ディスプレイシステムは、仮想オブジェクトの画像を各眼210、220に提供してもよい。画像は、眼210、220に、眼が深度平面240上の点15上に収束する、輻輳・開散運動状態をとらせ得る。加えて、画像は、その深度平面240における実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得る。その結果、眼210、220は、画像がそれらの眼の網膜上に合焦する、遠近調節状態をとる。したがって、ユーザは、仮想オブジェクトを深度平面240上の点15にあるように知覚し得

る。

#### 【0080】

眼210、220の遠近調節および輻輳・開散運動状態はそれぞれ、 $z$ -軸上の特定の距離と関連付けられることを理解されたい。例えば、眼210、220からの特定の距離におけるオブジェクトは、それらの眼に、オブジェクトの距離に基づいて、特定の遠近調節状態をとらせる。特定の遠近調節状態と関連付けられた距離は、遠近調節距離 $A_d$ と称され得る。同様に、特定の輻輳・開散運動状態における眼と関連付けられた特定の輻輳・開散運動距離 $V_d$ または相互に対する位置が、存在する。遠近調節距離および輻輳・開散運動距離が整合する場合、遠近調節と輻輳・開散運動との間の関係は、生理学に正しいと言える。これは、視認者に最も快適なシナリオであると見なされる。

10

#### 【0081】

しかしながら、立体視ディスプレイでは、遠近調節距離および輻輳・開散運動距離は、常時、整合しない場合がある。例えば、図4Dに図示されるように、眼210、220に表示される画像は、深度平面240に対応する波面発散を伴って表示され得、眼210、220は、その深度平面上の点15a、15bが合焦する、特定の遠近調節状態をとり得る。しかしながら、眼210、220に表示される画像は、眼210、220を深度平面240上に位置しない点15上に収束させる、輻輳・開散運動のためのキューを提供し得る。その結果、遠近調節距離は、いくつかの実施形態では、眼210、220の射出瞳から深度平面240の距離に対応する一方、輻輳・開散運動距離は、眼210、220の射出瞳から点15までのより大きい距離に対応する。遠近調節距離は、輻輳・開散運動距離と異なる。その結果、遠近調節・輻輳・開散運動不整合が存在する。そのような不整合は、望ましくないと見なされ、不快感をユーザに生じさせ得る。不整合は、距離(例えば、 $V_d - A_d$ )に対応し、ジオプタを使用して特徴付けられ得ることを理解されたい。

20

#### 【0082】

理論によって限定されるわけではないが、ユーザは、依然として、不整合自体が有意な不快感を生じさせずに、生理学的に正しい最大0.25ジオプタ、最大0.33ジオプタ、および最大約0.5ジオプタの遠近調節・輻輳・開散運動不整合を知覚し得ると考えられる。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、ディスプレイシステム250、図6)は、波面発散を伴う光と、0.5ジオプタまたはそれ未満の遠近調節・輻輳・開散運動不整合を提供する両眼キューを伴う画像とを使用して、画像を視認者に提示するように構成される。いくつかの他の実施形態では、ディスプレイシステムは、波面発散を伴う光と、0.33ジオプタまたはそれ未満の遠近調節・輻輳・開散運動不整合を提供する両眼キューを伴う画像とを使用して、画像を視認者に提示するように構成される。さらに他の実施形態では、ディスプレイシステムは、波面発散を伴う光と、約0.1ジオプタまたはそれ未満を含む、0.25ジオプタまたはそれ未満の遠近調節・輻輳・開散運動不整合を提供する両眼キューを伴う画像とを使用して、画像を視認者に提示するように構成される。

30

#### 【0083】

いくつかの実施形態では、同一参照点が遠近調節距離および輻輳・開散運動距離のために利用される限り、眼210、220の射出瞳以外の参照点が、距離を判定するために利用されてもよいことを理解されたい。例えば、距離は、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管)から深度平面まで等で測定され得る。

40

#### 【0084】

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アプローチの側面を図示する。ディスプレイシステムは、画像情報でエンコードされた光770を受信し、その光をユーザの眼210に出力するように構成される、導波管270を含む。導波管270は、所望の深度平面240上のある点によって生成されたライトフィールドの波面発散に対応する定義された波面発散量を伴って光650を出力してもよい。いくつかの実施形態では、同一量の波面発散が、その深度平面上に提示される全てのオブジ

50

ェクトのために提供される。加えて、ユーザの他方の眼は、類似導波管からの画像情報を提供され得るように図示されるであろう。

【 0 0 8 5 】

いくつかの実施形態では、単一導波管が、単一または限定数の深度平面に対応する設定された波面発散量を伴う光を出力するように構成されてもよく、および / または導波管は、限定された範囲の波長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、複数の導波管または導波管のスタックが、異なる深度平面のための異なる波面発散量を提供し、および / または異なる範囲の波長の光を出力するために利用されてもよい。

【 0 0 8 6 】

図 6 は、画像情報をユーザに出力するための導波管スタックの実施例を図示する。ディスプレイシステム 2 5 0 は、複数の導波管 2 7 0、2 8 0、2 9 0、3 0 0、3 1 0 を使用して 3 次元知覚を眼 / 脳に提供するために利用され得る、導波管のスタックまたはスタックされた導波管アセンブリ 2 6 0 を含む。ディスプレイシステム 2 5 0 は、いくつかの実施形態では、ライトフィールドディスプレイと見なされてもよいことを理解されたい。加えて、導波管アセンブリ 2 6 0 はまた、接眼レンズとも称され得る。

【 0 0 8 7 】

いくつかの実施形態では、ディスプレイシステム 2 5 0 は、輻輳・開散運動するための実質的に連続キューおよび遠近調節するための複数の離散キューを提供するように構成されてもよい。輻輳・開散運動のためのキューは、異なる画像をユーザの眼のそれぞれに表示することによって提供されてもよく、遠近調節のためのキューは、離散量の波面発散を伴う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。いくつかの実施形態では、波面発散の各離散レベルは、特定の深度平面に対応し、導波管 2 7 0、2 8 0、2 9 0、3 0 0、3 1 0 のうちの特定の 1 つによって提供されてもよい。

【 0 0 8 8 】

図 6 を継続して参照すると、導波管アセンブリ 2 6 0 はまた、複数の特徴 3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0 を導波管間に含んでもよい。いくつかの実施形態では、特徴 3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0 は、1 つ以上のレンズであってもよい。導波管 2 7 0、2 8 0、2 9 0、3 0 0、3 1 0 および / または複数のレンズ 3 2 0、3 3 0、3 4 0、3 5 0 は、種々のレベルの波面曲率または光線発散を用いて画像情報を眼に送信するように構成されてもよい。各導波管レベルは、特定の深度平面と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 3 6 0、3 7 0、3 8 0、3 9 0、4 0 0 は、導波管のための光源として機能してもよく、画像情報を導波管 2 7 0、2 8 0、2 9 0、3 0 0、3 1 0 の中に投入するために利用されてもよく、それぞれ、本明細書に説明されるように、眼 2 1 0 に向かって出力のために各個別の導波管にわたって入射光を分散させるように構成されてもよい。光は、画像投入デバイス 3 6 0、3 7 0、3 8 0、3 9 0、4 0 0 の出力表面 4 1 0、4 2 0、4 3 0、4 4 0、4 5 0 から出射し、導波管 2 7 0、2 8 0、2 9 0、3 0 0、3 1 0 の対応する入力表面 4 6 0、4 7 0、4 8 0、4 9 0、5 0 0 の中に投入される。いくつかの実施形態では、入力表面 4 6 0、4 7 0、4 8 0、4 9 0、5 0 0 はそれぞれ、対応する導波管の縁であってもよい、または対応する導波管の主要表面の一部（すなわち、世界 5 1 0 または視認者の眼 2 1 0 に直接面する導波管表面のうちの 1 つ）であってもよい。いくつかの実施形態では、光の単一ビーム（例えば、コリメートされたビーム）が、各導波管の中に投入され、クローン化されたコリメートビームの全体場を出力してもよく、これは、特定の導波管と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）において眼 2 1 0 に向かって指向される。いくつかの実施形態では、画像投入デバイス 3 6 0、3 7 0、3 8 0、3 9 0、4 0 0 のうちの単一の 1 つは、複数（例えば、3 つ）の導波管 2 7 0、2 8 0、2 9 0、3 0 0、3 1 0 と関連付けられ、その中に光を投入してもよい。

【 0 0 8 9 】

いくつかの実施形態では、画像投入デバイス 3 6 0、3 7 0、3 8 0、3 9 0、4 0 0

10

20

30

40

50

はそれぞれ、それぞれが対応する導波管 270、280、290、300、310 の中への投入のために画像情報を生成する、離散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 1 つ以上の光学導管（光ファイバケーブル等）を介して画像投入デバイス 360、370、380、390、400 のそれぞれに送り得る、単一の多重化されたディスプレイの出力端である。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、本明細書に議論されるように、異なる原色）の光を含んでもよいことを理解されたい。

#### 【0090】

いくつかの実施形態では、導波管 270、280、290、300、310 の中に投入される光は、光プロジェクタシステム 520 によって提供され、これは、光モジュール 530 を含み、これは、発光ダイオード（LED）等の光エミッタを含んでもよい。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、光変調器 540、例えば、空間光変調器によって指向および修正されてもよい。光変調器 540 は、導波管 270、280、290、300、310 の中に投入される光の知覚される強度を変化させ、光を画像情報でエンコードするように構成されてもよい。空間光変調器の実施例は、液晶ディスプレイ（LCD）を含み、シリコン上液晶（LCOS）ディスプレイを含む。画像投入デバイス 360、370、380、390、400 は、図式的に図示され、いくつかの実施形態では、これらの画像投入デバイスは、光を導波管 270、280、290、300、310 の関連付けられたものの中に出力するように構成される、共通投影システム内の異なる光経路および場所を表し得ることを理解されたい。いくつかの実施形態では、導波管アセンブリ 260 の導波管は、導波管の中に投入された光をユーザの眼に中継しながら、理想的レンズとして機能し得る。本概念では、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。

#### 【0091】

いくつかの実施形態では、ディスプレイシステム 250 は、光を種々のパターン（例えば、ラスタ走査、螺旋走査、リサージュパターン等）で 1 つ以上の導波管 270、280、290、300、310 の中に、最終的には、視認者の眼 210 に投影するように構成される、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、図示される画像投入デバイス 360、370、380、390、400 は、光を 1 つまたは複数の導波管 270、280、290、300、310 の中に投入するように構成される、単一走査ファイバまたは走査ファイバの束を図式的に表し得る。いくつかの他の実施形態では、図示される画像投入デバイス 360、370、380、390、400 は、複数の走査ファイバまたは走査ファイバの複数の束を図式的に表し得、それぞれ、光を導波管 270、280、290、300、310 のうちの関連付けられた 1 つの中に投入するように構成される。1 つ以上の光ファイバは、光を光モジュール 530 から 1 つ以上の導波管 270、280、290、300、310 に透過するように構成されてもよいことを理解されたい。1 つ以上の介在光学構造が、走査ファイバまたは複数の走査ファイバと、1 つ以上の導波管 270、280、290、300、310 との間に提供され、例えば、走査ファイバから出射する光を 1 つ以上の導波管 270、280、290、300、310 の中に再指向してもよいことを理解されたい。

#### 【0092】

コントローラ 560 は、画像投入デバイス 360、370、380、390、400、光源 530、および光モジュール 540 の動作を含む、スタックされた導波管アセンブリ 260 のうちの 1 つ以上のものの動作を制御する。いくつかの実施形態では、コントローラ 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種々のスキームのいずれかに従って、導波管 270、280、290、300、310 への画像情報のタイミングおよびプロビジョニングを調整する、プログラミング（例えば、非一過性媒体内の命令）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通信チャネルまたは無線通信チャ

10

20

30

40

50



ネルによって接続される分散型システムであってもよい。コントローラ 560 は、いくつかの実施形態では、処理モジュール 140 または 150 (図 2) の一部であってもよい。

【0093】

図 6 を継続して参照すると、導波管 270、280、290、300、310 は、全内部反射 (TIR) によって各個別の導波管内で光を伝搬するように構成されてもよい。導波管 270、280、290、300、310 はそれぞれ、主要上部表面および主要底部表面およびそれらの主要上部表面と主要底部表面との間に延在する縁を伴う、平面状であるかまたは別の形状 (例えば、湾曲) を有してもよい。図示される構成では、導波管 270、280、290、300、310 はそれぞれ、各個別の導波管内で伝搬する光を導波管から再指向し、画像情報を眼 210 に出力することによって、光を導波管から抽出するように構成される、外部結合光学要素 570、580、590、600、610 を含んでもよい。抽出された光はまた、外部結合光と称され得、外部結合光学要素はまた、光抽出光学要素と称され得る。抽出された光のビームは、導波管によって、導波管内を伝搬する光が光抽出光学要素に衝突する場所において出力され得る。外部結合光学要素 570、580、590、600、610 は、例えば、本明細書にさらに議論されるような回折光学特徴を含む、格子であってもよい。説明の容易性および図面の明確性のために、導波管 270、280、290、300、310 の底部主要表面に配置されて図示されるが、いくつかの実施形態では、外部結合光学要素 570、580、590、600、610 は、本明細書にさらに議論されるように、上部主要表面および / または底部主要表面に配置されてもよい、および / または導波管 270、280、290、300、310 の体積内に直接配置されてもよい。いくつかの実施形態では、外部結合光学要素 570、580、590、600、610 は、透明基板に取り付けられ、導波管 270、280、290、300、310 を形成する、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、導波管 270、280、290、300、310 は、材料のモノリシック部品であってもよく、外部結合光学要素 570、580、590、600、610 は、材料のその部品の表面上および / またはその内部に形成されてもよい。

【0094】

図 6 を継続して参照すると、本明細書に議論されるように、各導波管 270、280、290、300、310 は、光を出力し、特定の深度平面に対応する画像を形成するように構成される。例えば、眼の最近傍の導波管 270 は、眼 210 にコリメートされた光 (そのような導波管 270 の中に投入された) を送達するように構成されてもよい。コリメートされた光は、光学無限遠焦点面を表し得る。次の上方の導波管 280 は、眼 210 に到達し得る前に、第 1 のレンズ 350 (例えば、負のレンズ) を通して通過する、コリメートされた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、その次の上方の導波管 280 から生じる光を光学無限遠から眼 210 に向かって内向きにより近い第 1 の焦点面から生じるように解釈するように、若干の凸面波面曲率を生成するように構成されてもよい。同様に、第 3 の上方の導波管 290 は、眼 210 に到達する前に、その出力光を第 1 のレンズ 350 および第 2 のレンズ 340 の両方を通して通過させる。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 の導波管 290 から生じる光が次の上方の導波管 280 からの光であった光学無限遠から人物に向かって内向きにさらに近い第 2 の焦点面から生じるように解釈するように、別の漸増量の波面曲率を生成するように構成されてもよい。

【0095】

他の導波管層 300、310 およびレンズ 330、320 も同様に構成され、スタック内の最高導波管 310 は、人物に最も近い焦点面を表す集約焦点力のために、その出力をそれと眼との間のレンズの全てを通して送出的。スタックされた導波管アセンブリ 260 の他側の世界 510 から生じる光を視認 / 解釈するとき、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 が、スタックの上部に配置され、下方のレンズスタック 320、330、340、350 の集約力を補償してもよい。そのような構成は、利用可能な導波管 / レンズ対と同じ数の知覚される焦点面を提供す

る。導波管の外部結合光学要素およびレンズの集束側面は両方とも、静的であってもよい（すなわち、動的または電気活性ではない）。いくつかの代替実施形態では、一方または両方とも、電気活性特徴を使用して動的であってもよい。

#### 【0096】

いくつかの実施形態では、導波管270、280、290、300、310のうちの2つ以上のものは、同一の関連付けられた深度平面を有してもよい。例えば、複数の導波管270、280、290、300、310が、同一深度平面に設定される画像を出力するように構成されてもよい、または導波管270、280、290、300、310の複数のサブセットが、各深度平面に対して1つのセットを伴う、同一の複数の深度平面に設定される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ようにタイル化された画像を形成する利点を提供し得る。

10

#### 【0097】

図6を継続して参照すると、外部結合光学要素570、580、590、600、610は、導波管と関連付けられた特定の深度平面のために、光をその個別の導波管から再指向し、かつ本光を適切な量の発散またはコリメーションを伴って出力するように構成されてもよい。その結果、異なる関連付けられた深度平面を有する導波管は、外部結合光学要素570、580、590、600、610の異なる構成を有してもよく、これは、関連付けられた深度平面に応じて、異なる量の発散を伴う光を出力する。いくつかの実施形態では、光抽出光学要素570、580、590、600、610は、体積特徴または表面特徴であってもよく、これは、具体的角度において光を出力するように構成されてもよい。例えば、光抽出光学要素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320、330、340、350は、レンズではなくてもよい。むしろ、それらは、単に、スペーサ（例えば、クラディング層および/または空隙を形成するための構造）であってもよい。

20

#### 【0098】

いくつかの実施形態では、外部結合光学要素570、580、590、600、610は、回折パターンまたは「回折光学要素」（また、本明細書では、「DOE」とも称される）を形成する、回折特徴である。好ましくは、DOEは、ビームの光の一部のみがDOEの各交差部で眼210に向かって偏向される一方、残りがTIRを介して導波管を通して移動し続けるように、十分に低い回折効率を有する。画像情報を搬送する光は、したがって、様々な場所において導波管から出射するいくつかの関連出射ビームに分割され、その結果は、導波管内でバウンスする本特定のコレメートされたビームに関して、眼210に向かう非常に均一なパターンの出射放出となる。

30

#### 【0099】

いくつかの実施形態では、1つ以上のDOEは、能動的に回折する「オン」状態と有意に回折不ない「オフ」状態との間で切替可能であってもよい。例えば、切替可能なDOEは、ポリマー分散液晶の層を含んでもよく、その中で微小液滴は、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に実質的に整合するように切り替えられてもよい（その場合、パターンは、入射光を著しく回折させない）、または微小液滴は、ホスト媒体のものに整合しない屈折率に切り替えられてもよい（その場合、パターンは、入射光を能動的に回折させる）。

40

#### 【0100】

いくつかの実施形態では、カメラアセンブリ630（例えば、可視光および赤外線カメラを含む、デジタルカメラ）が、眼210および/または眼210の周囲の組織の画像を捕捉し、例えば、ユーザ入力を検出する、および/またはユーザの生理学的状態を監視するために提供されてもよい。本明細書で使用されるように、カメラは、任意の画像捕捉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、画像捕捉デバイスと、光（例えば、赤外線光）を眼に投影し、その光が次いで、眼によって反射され、画像捕捉デバイスによって検出され得る、光源とを含んでもよい。いくつかの実施

50

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し得る、処理モジュール 140 および / または 150 と電気通信してもよい。いくつかの実施形態では、1つのカメラアセンブリ 630 が、各眼に対して利用され、各眼を別個に監視してもよい。

#### 【0101】

ここで図 7 を参照すると、導波管によって出力された出射ビームの実施例が、示される。1つの導波管が図示されるが、導波管アセンブリ 260 (図 6) 内の他の導波管も同様に機能し得、導波管アセンブリ 260 は、複数の導波管を含むことを理解されたい。光 640 が、導波管 270 の入力表面 460 において導波管 270 の中に投入され、TIR によって導波管 270 内を伝搬する。光 640 が DOE 570 上に衝突する点では、光の一部は、導波管から出射ビーム 650 として出射する。出射ビーム 650 は、略平行として図示されるが、本明細書に議論されるように、また、導波管 270 と関連付けられた深度平面に応じて、ある角度 (例えば、発散出射ビーム形成) において眼 210 に伝搬するように再指向されてもよい。略平行出射ビームは、眼 210 からの遠距離 (例えば、光学無限遠) における深度平面に設定されるように現れる画像を形成するように光を外部結合する、外部結合光学要素を伴う導波管を示し得ることを理解されたい。他の導波管または他の外部結合光学要素のセットは、より発散する、出射ビームパターンを出力してもよく、これは、眼 210 がより近い距離に遠近調節し、網膜に合焦させることを要求し、光学無限遠より眼 210 に近い距離からの光として脳によって解釈されるであろう。

#### 【0102】

いくつかの実施形態では、フルカラー画像が、原色、例えば、3つ以上の原色のそれぞれに画像をオーバーレイすることによって、各深度平面において形成されてもよい。図 8 は、スタックされた導波管アセンブリの実施例を図示し、各深度平面は、複数の異なる原色を使用して形成される画像を含む。図示される実施形態は、深度平面 240a - 240f を示すが、より多いまたはより少ない深度もまた、検討される。各深度平面は、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、それと関連付けられた 3 つ以上の原色画像を有してもよい。異なる深度平面は、文字 G、R、および B に続くジオプタに関する異なる数字によって図に示される。単なる実施例として、これらの文字のそれぞれに続く数字は、ジオプタ (1/m)、すなわち、視認者からの深度平面の逆距離を示し、図中の各ボックスは、個々の原色画像を表す。いくつかの実施形態では、異なる波長の光の眼の集束における差異を考慮するために、異なる原色に関する深度平面の正確な場所は、変動してもよい。例えば、所与の深度平面に関する異なる原色画像は、ユーザからの異なる距離に対応する深度平面上に設置されてもよい。そのような配列は、視力およびユーザ快適性を増加させ得、および / または色収差を減少させ得る。

#### 【0103】

いくつかの実施形態では、各原色の光は、単一の専用導波管によって出力されてもよく、その結果、各深度平面は、それと関連付けられた複数の導波管を有してもよい。そのような実施形態では、文字 G、R、または B を含む、図中の各ボックスは、個々の導波管を表すものと理解され得、3つの導波管は、深度平面毎に提供されてもよく、3つの原色画像が、深度平面毎に提供される。各深度平面と関連付けられた導波管は、本図面では、説明を容易にするために相互に隣接して示されるが、物理的デバイスでは、導波管は全て、レベル毎に 1つの導波管を伴うスタックで配列されてもよいことを理解されたい。いくつかの他の実施形態では、複数の原色が、例えば、単一導波管のみが深度平面毎に提供され得るように、同一導波管によって出力されてもよい。

#### 【0104】

図 8 を継続して参照すると、いくつかの実施形態では、G は、緑色であって、R は、赤色であって、B は、青色である。いくつかの他の実施形態では、マゼンタ色およびシアン色を含む、光の他の波長と関連付けられた他の色も、赤色、緑色、または青色のうちの 1 つ以上のものに加えて使用されてもよい、またはそれらに取って代わってもよい。

## 【 0 1 0 5 】

本開示全体を通した所与の光の色の言及は、その所与の色として視認者によって知覚される、光の波長の範囲内の1つ以上の波長の光を包含するものと理解されたと理解されたい。例えば、赤色光は、約620～780nmの範囲内である1つ以上の波長の光を含んでもよく、緑色光は、約492～577nmの範囲内である1つ以上の波長の光を含んでもよく、青色光は、約435～493nmの範囲内である1つ以上の波長の光を含んでもよい。

## 【 0 1 0 6 】

いくつかの実施形態では、光源530(図6)は、視認者の視覚的知覚範囲外の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の導波管の内部結合、外部結合、および他の光再指向構造は、例えば、イメージングおよび/またはユーザ刺激用途のために、本光をディスプレイからユーザの眼210に向かって指向および放出するように構成されてもよい。

## 【 0 1 0 7 】

ここで図9Aを参照すると、いくつかの実施形態では、導波管に衝突する光は、その光を導波管の中に内部結合するために再指向される必要があり得る。内部結合光学要素が、光をその対応する導波管の中に再指向および内部結合するために使用されてもよい。図9Aは、それぞれが内部結合光学要素を含む、複数のスタックされた導波管またはスタックされた導波管のセット660のスタックされた導波管の実施例の断面側面図を図示する。導波管はそれぞれ、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の図示される導波管は、複数の導波管270、280、290、300、310の一部に対応してもよいが、画像投入デバイス360、370、380、390、400のうちの1つ以上のものからの光が、光が内部結合のために再指向されることを要求する位置から導波管の中に投入されることを理解されたい。

## 【 0 1 0 8 】

スタックされた導波管の図示されるセット660は、導波管670、680、および690を含む。各導波管は、関連付けられた内部結合光学要素(導波管上の光入力面積とも称され得る)を含み、例えば、内部結合光学要素700は、導波管670の主要表面(例えば、上側主要表面)上に配置され、内部結合光学要素710は、導波管680の主要表面(例えば、上側主要表面)上に配置され、内部結合光学要素720は、導波管690の主要表面(例えば、上側主要表面)上に配置される。いくつかの実施形態では、内部結合光学要素700、710、720のうちの1つ以上のものは、個別の導波管670、680、690の底部主要表面上に配置されてもよい(特に、1つ以上の内部結合光学要素は、反射性偏向光学要素である)。図示されるように、内部結合光学要素700、710、720は、その個別の導波管670、680、690の上側主要表面(または次の下側導波管の上部)上に配置されてもよく、特に、それらの内部結合光学要素は、透過性偏向光学要素である。いくつかの実施形態では、内部結合光学要素700、710、720は、個別の導波管670、680、690の本体内に配置されてもよい。いくつかの実施形態では、本明細書に議論されるように、内部結合光学要素700、710、720は、他の光の波長を透過しながら、1つ以上の光の波長を選択的に再指向するような波長選択的である。その個別の導波管670、680、690の片側または角に図示されるが、内部結合光学要素700、710、720は、いくつかの実施形態では、その個別の導波管670、680、690の他の面積内に配置されてもよいことを理解されたい。

## 【 0 1 0 9 】

図示されるように、内部結合光学要素700、710、720は、相互から側方にオフセットされてもよい。いくつかの実施形態では、各内部結合光学要素は、その光が別の内部結合光学要素を通して通過せずに、光を受信するようにオフセットされてもよい。例えば、各内部結合光学要素700、710、720は、図6に示されるように、光を異なる画像投入デバイス360、370、380、390、および400から受信するように構

成されてもよく、光を内部結合光学要素 700、710、720 の他のものから実質的に受信しないように、他の内部結合光学要素 700、710、720 から分離されてもよい（例えば、側方に離間される）。

#### 【0110】

各導波管はまた、関連付けられた光分散要素を含み、例えば、光分散要素 730 は、導波管 670 の主要表面（例えば、上部主要表面）上に配置され、光分散要素 740 は、導波管 680 の主要表面（例えば、上部主要表面）上に配置され、光分散要素 750 は、導波管 690 の主要表面（例えば、上部主要表面）上に配置される。いくつかの他の実施形態では、光分散要素 730、740、750 は、それぞれ、関連付けられた導波管 670、680、690 の底部主要表面上に配置されてもよい。いくつかの他の実施形態では、光分散要素 730、740、750 は、それぞれ、関連付けられた導波管 670、680、690 の上部主要表面および底部主要表面の両方の上に配置されてもよい、または光分散要素 730、740、750 は、それぞれ、異なる関連付けられた導波管 670、680、690 内の上部主要表面および底部主要表面の異なるもの上に配置されてもよい。

10

#### 【0111】

導波管 670、680、690 は、例えば、材料のガス、液体および/または固体層によって離間および分離されてもよい。例えば、図示されるように、層 760a は、導波管 670 および 680 を分離してもよく、層 760b は、導波管 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、導波管 670、680、690 の直近のものを形成する材料より低い屈折率を有する材料）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、導波管 670、680、690 を形成する材料の屈折率を 0.05 またはそれを上回る、または、0.10 またはそれを下回る。有利には、より低い屈折率層 760a、760b は、導波管 670、680、690 を通して光の全内部反射（TIR）（例えば、各導波管の上部主要表面および底部主要表面の間の TIR）を促進する、クラディング層として機能してもよい。いくつかの実施形態では、層 760a、760b は、空気から形成される。図示されないが、導波管の図示されるセット 660 の上部および底部は、直近クラディング層を含んでもよいことを理解されたい。

20

#### 【0112】

好ましくは、製造および他の考慮点を容易にするために、導波管 670、680、690 を形成する材料は、類似または同一であって、層 760a、760b を形成する材料は、類似または同一である。いくつかの実施形態では、導波管 670、680、690 を形成する材料は、1 つ以上の導波管間で異なってもよい、および/または層 760a、760b を形成する材料は、依然として、前述の種々の屈折率関係を保持しながら、異なってもよい。

30

#### 【0113】

図 9A を継続して参照すると、光線 770、780、790 が、導波管のセット 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）によって導波管 670、680、690 の中に投入されてもよいことを理解されたい。

40

#### 【0114】

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、異なる性質、例えば、異なる波長または異なる波長範囲を有する。内部結合光学要素 700、710、720 はそれぞれ、光が、TIR によって、導波管 670、680、690 のうちの個別の 1 つを通して伝搬するように、入射光を偏向させる。いくつかの実施形態では、内部結合光学要素 700、710、720 はそれぞれ、他の波長を下層導波管および関連付けられた内部結合光学要素に透過させながら、1 つ以上の特定の光の波長を選択的に偏向させる。

#### 【0115】

例えば、内部結合光学要素 700 は、それぞれ、異なる第 2 および第 3 の波長または波

50

長範囲を有する、光線 780 および 790 を透過させながら、第 1 の波長または波長範囲を有する、光線 770 を偏向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る、内部結合光学要素 710 に衝突し、それによって偏向される。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る、内部結合光学要素 720 によって偏向される。

#### 【0116】

図 9 A を継続して参照すると、偏向された光線 770、780、790 は、対応する導波管 670、680、690 を通して伝搬するように偏向される。すなわち、各導波管の内部結合光学要素 700、710、720 は、光をその対応する導波管 670、680、690 の中に偏向させ、光をその対応する導波管の中に内部結合する。光線 770、780、790 は、光を TIR によって個別の導波管 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、導波管の対応する光分散要素 730、740、750 に衝突するまで、TIR によって個別の導波管 670、680、690 を通して伝搬する。

#### 【0117】

ここで図 9 B を参照すると、図 9 A の複数のスタックされた導波管の実施例の斜視図が、図示される。前述のように、内部結合された光線 770、780、790 は、それぞれ、内部結合光学要素 700、710、720 によって偏向され、次いで、それぞれ、導波管 670、680、690 内で TIR によって伝搬する。光線 770、780、790 は、次いで、それぞれ、光分散要素 730、740、750 に衝突する。光分散要素 730、740、750 は、それぞれ、外部結合光学要素 800、810、820 に向かって伝搬するように、光線 770、780、790 を偏向させる。

#### 【0118】

いくつかの実施形態では、光分散要素 730、740、750 は、直交瞳エクспанダ (OPE) である。いくつかの実施形態では、OPE は、光を外部結合光学要素 800、810、820 に偏向または分散し、いくつかの実施形態では、また、外部結合光学要素に伝搬するにつれて、本光のビームまたはスポットサイズを増加させ得る。いくつかの実施形態では、光分散要素 730、740、750 は、省略されてもよく、内部結合光学要素 700、710、720 は、光を外部結合光学要素 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 9 A を参照すると、光分散要素 730、740、750 は、それぞれ、外部結合光学要素 800、810、820 と置換されてもよい。いくつかの実施形態では、外部結合光学要素 800、810、820 は、光を視認者の眼 210 (図 7) に指向させる、射出瞳 (EP) または射出瞳エクспанダ (EPE) である。OPE は、少なくとも 1 つの軸において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を理解されたい。例えば、各 OPE は、光の残りの部分が導波管を辿って伝搬し続けることを可能にしながら、OPE に衝突する光の一部を同一導波管の EPE に再指向するように構成されてもよい。OPE への衝突に応じて、再び、残りの光の別の部分は、EPE に再指向され、その部分の残りの部分は、導波管等を辿ってさらに伝搬し続ける。同様に、EPE への衝突に応じて、衝突光の一部は、導波管からユーザに向かって指向され、その光の残りの部分は、EP に再び衝突するまで、導波管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、導波管から指向される等となる。その結果、内部結合された光の単一ビームは、その光の一部が OPE または EPE によって再指向される度に、「複製」され、それによって、図 6 に示されるように、クローン化された光のビーム野を形成し得る。いくつかの実施形態では、OPE および / または EPE は、光のビームのサイズを修正するように構成されてもよい。

#### 【0119】

故に、図 9 A および 9 B を参照すると、いくつかの実施形態では、導波管のセット 660 は、各原色に対し、導波管 670、680、690 と、内部結合光学要素 700、710、720 と、光分散要素 (例えば、OPE) 730、740、750 と、外部結合光学

要素（例えば、E P）800、810、820とを含む。導波管670、680、690は、各1つの間に空隙/クラディング層を伴ってスタックされてもよい。内部結合光学要素700、710、720は、（異なる波長の光を受信する異なる内部結合光学要素を用いて）入射光をその導波管の中に再指向または偏向させる。光は、次いで、個別の導波管670、680、690内にTIRをもたらずであろう角度で伝搬する。示される実施例では、光線770（例えば、青色光）は、前述の様式において、第1の内部結合光学要素700によって偏光され、次いで、導波管を辿ってバウンスし続け、光分散要素（例えば、OPE）730、次いで、外部結合光学要素（例えば、E P）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、導波管670を通して通過し、光線780は、内部結合光学要素710上に入射し、それによって偏向される。光線780は、次いで、TIRを介して、導波管680を辿ってバウンスし、その光分散要素（例えば、OPE）740、次いで、外部結合光学要素（例えば、E P）810に進むであろう。最後に、光線790（例えば、赤色光）は、導波管690を通して通過し、導波管690の光内部結合光学要素720に衝突する。光内部結合光学要素720は、光線が、TIRによって、光分散要素（例えば、OPE）750、次いで、外部結合光学要素（例えば、E P）820に伝搬するように、光線790を偏向させる。外部結合光学要素820は、次いで、最後に、光線790を視認者に外部結合し、視認者はまた、他の導波管670、680からの外部結合した光も受信する。

#### 【0120】

図9Cは、図9Aおよび9Bの複数のスタックされた導波管の実施例の上下平面図を図示する。図示されるように、導波管670、680、690は、各導波管の関連付けられた光分散要素730、740、750および関連付けられた外部結合光学要素800、810、820とともに、垂直に整合されてもよい。しかしながら、本明細書に議論されるように、内部結合光学要素700、710、720は、垂直に整合されない。むしろ、内部結合光学要素は、好ましくは、非重複する（例えば、上下図に見られるように、側方に離間される）。本明細書でさらに議論されるように、本非重複空間配列は、1対1ベースで異なるリソースから異なる導波管の中への光の投入を促進し、それによって、具体的光源が具体的導波管に一意に結合されることを可能にする。いくつかの実施形態では、非重複の空間的に分離される内部結合光学要素を含む、配列は、偏移瞳システムと称され得、これらの配列内の内部結合光学要素は、サブ瞳に対応し得る。

#### 【0121】

図9Dは、本明細書に開示される種々の導波管および関連システムが統合され得る、ウェアラブルディスプレイシステム60の実施例を図示する。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であって、図6は、そのシステム60のいくつかの部分をもより詳細に図式的に示す。例えば、図6の導波管アセンブリ260は、ディスプレイ70の一部であってもよい。

#### 【0122】

図9Dを継続して参照すると、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種々の機械的および電子的モジュールおよびシステムとを含む。ディスプレイ70は、フレーム80に結合されてもよく、これは、ディスプレイシステムユーザまたは視認者90によって装着可能であって、ディスプレイ70をユーザ90の眼の正面に位置付けるように構成される。ディスプレイ70は、いくつかの実施形態では、接眼レンズと見なされ得る。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、ユーザ90の外耳道に隣接して位置付けられるように構成される（いくつかの実施形態では、示されない別のスピーカも、随意に、ユーザの他方の外耳道に隣接して位置付けられ、ステレオ/成形成可能音制御を提供してもよい）。ディスプレイシステム60はまた、1つ以上のマイクロホン110または他のデバイスを含み、音を検出してもよい。いくつかの実施形態では、マイクロホンは、ユーザが入力またはコマンドをシステム60に提供することを可能にするように構成され（例えば、音声メニューコマンドの選択、自然言語質問等）、および/または他の人物（例えば、類似デ

イスプレイシシステムの他のユーザ)とのオーディオ通信を可能にしてもよい。マイクロホンはさらに、周辺センサとして構成され、オーディオデータ(例えば、ユーザおよび/または環境からの音)を収集してもよい。いくつかの実施形態では、ディスプレイシステムはまた、周辺センサ120aを含んでもよく、これは、フレーム80と別個であって、ユーザ90の身体(例えば、ユーザ90の頭部、胴体、四肢等)上に取り付けられてもよい。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入力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。

#### 【0123】

図9Dを継続して参照すると、ディスプレイ70は、有線導線または無線コネクティビティ等の通信リンク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、これは、フレーム80に固定して取り付けられる、ユーザによって装着されるヘルメットまたは帽子に固定して取り付けられる、ヘッドホン内に埋設される、または別様にユーザ90に除去可能に取り付けられる(例えば、リュック式構成、ベルト結合式構成において)等、種々の構成で搭載されてもよい。同様に、センサ120aは、通信リンク120b、例えば、有線導線または無線コネクティビティによって、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もよい。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等のデジタルメモリ(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)を含んでもよく、両方とも、データの処理、キャッシュ、および記憶を補助するために利用されてもよい。随意に、ローカルプロセッサおよびデータモジュール140は、1つ以上の中央処理ユニット(CPU)、グラフィック処理ユニット(GPU)、専用処理ハードウェア等を含んでもよい。データは、a)センサ(画像捕捉デバイス(カメラ等)、マイクロホン、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스코プ、および/または本明細書に開示される他のセンサ(例えば、フレーム80に動作可能に結合される、または別様にユーザ90に取り付けられ得る))から捕捉されたデータ、および/または、b)可能性として処理または読出後にディスプレイ70への通過のための遠隔処理モジュール150および/または遠隔データリポジトリ160(仮想コンテンツに関連するデータを含む)を使用して取得および/または処理されたデータを含む。ローカル処理およびデータモジュール140は、これらの遠隔モジュール150、160が相互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に対するリソースとして利用可能であるように、有線通信リンクまたは無線通信リンクを介して等、通信リンク170、180によって、遠隔処理モジュール150および遠隔データリポジトリ160に動作可能に結合されてもよい。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、画像捕捉デバイス、マイクロホン、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스코プのうちの1つ以上のものを含んでもよい。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つ以上のものは、フレーム80に取り付けられてもよい、または有線通信経路また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、独立構造であってもよい。

#### 【0124】

図9Dを継続して参照すると、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つ以上の中央処理ユニット(GPU)、グラフィック処理ユニット(GPU)、専用処理ハードウェア等を含む、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る、1つ以上のプロセッサを含んでもよい。いくつかの実施形態では、遠隔データリポジトリ160は、インターネットまたは「クラウド」リソース構成における他のネットワーク構成を通して利用可能であり得る、デジタルデータ記憶設備を含んでもよい。いくつかの実施形態では、遠隔データリポジトリ160は、1つ以上の遠隔サーバを含んでもよく、これは、情報、例えば、拡張現実コンテンツ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に生成するための情報を提供する。いくつかの実施形態では、全てのデータが、記憶され、全ての計算は、口

10

20

30

40

50



ーカル処理およびデータモジュール内で行われ、遠隔モジュールからの完全に自律的な使用を可能にする。随意に、CPU、GPU等を含む、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（例えば、画像情報を生成する、データを処理する）の少なくとも一部を実施し、例えば、無線接続または有線接続を介して、情報をモジュール140、150、160に提供し、情報をそこから受信してもよい。

#### 【0125】

##### メタ表面

図10Aおよび10Bは、それぞれ、いくつかの実施形態による、メタ表面の2002の断面側面図および上下図の実施例を図示する。基板2000は、複数のメタ表面ユニットセル2010を含むメタ表面2002が配置される、表面2000aを有する。ユニットセルはそれぞれ、光学的に透過性の材料から形成される、複数のナノビーム2020a、2020bを含む。ナノビーム2020a、2020bは、隆起（またはナノワイヤ）であってもよく、これは、ページの内外に側方に伸長であって、隣接するナノビーム間のトレンチを画定する。いくつかの実施形態では、ナノビーム2020a、2020bは、線形であってもよい。好ましくは、ナノビーム2020a、2020bは、その長さに沿って連続であって、これは、高回折効率を提供するための利点を有することができる。いくつかの他の実施形態では、ナノビーム2020a、2020bは、その長さに沿って断続的であってもよく、例えば、ナノビーム2020a、2020bはそれぞれ、線に沿って延在してもよく、それらの線に沿って、ナノビーム2020a、2020b内に間隙を伴う。

#### 【0126】

ユニットセル2010は、表面2000aにわたって規則的インターバルで反復してもよく、ナノビーム2020a、2020bもまた相互に平行であるように、相互に平行であってよい。ユニットセル2010は、幅Pを有してもよく、これは、直接隣接するユニットセル2010の同じ点間の距離である。いくつかの実施形態では、Pは、10nm~500nmまたは300nm~500nmを含む、10nm~1μmの範囲内であってもよい。Pは、ユニットセル2010のピッチと見なされ得、それらのユニットセルによって形成される格子にわたって実質的に一定であってもよいことを理解されたい。いくつかの他の実施形態では、Pは、表面2000aにわたって変動してもよい。

#### 【0127】

好ましくは、ナノビーム2020a、2020bを形成する材料の屈折率は、基板2000の屈折率より高い。いくつかの実施形態では、基板2000は、導波管であってもよく、導波管270、280、290、300、310（図6）および/または導波管670、680、および690（図9A）に対応してもよい。そのような用途では、基板は、好ましくは、比較的到高屈折率、例えば、1.5、1.6、1.7、1.8、1.9、またはより高い屈折率を有し、これは、光をその基板2000から出力することによって画像を形成するディスプレイの視野を増加させる利点を提供することができる。基板2000を形成するための材料の実施例は、ガラス（例えば、ドープされたガラス）、ニオブ酸リチウム、プラスチック、ポリマー、サファイヤ、または他の光学的に透過性の材料を含む。いくつかの実施形態では、ナノビーム2020a、2020bを形成する材料の屈折率は、2.0またはより高い、2.5またはより高い、3.0またはより高い、3.3またはより高い、または3.5またはより高くてもよい。ナノビーム2020a、2020bを形成するための材料の実施例は、シリコン含有材料（例えば、非晶質またはポリシリコン、および窒化ケイ素）、酸化物、およびリン化ガリウムを含む。酸化物の実施例は、酸化チタン、酸化ジルコニウム、および酸化亜鉛を含む。好ましくは、ナノビーム2020a、2020bを形成する材料は、同一であって、これは、メタ表面2002の加工を簡略化する利点を有する。

#### 【0128】

図10Aおよび10Bを継続して参照すると、ナノビームのうちの1つのもの2020

bは、図示されるナノビームのうちの他のもの2020aの幅 $NW_1$ より大きい幅 $NW_2$ を有する。いくつかの実施形態では、幅 $NW_1$ および $NW_2$ はそれぞれ、10nm~300nmを含む、10nm~1 $\mu$ mの範囲内であって、 $NW_1$ は、前述のように、 $NW_2$ を上回る。図示されるように、ナノビーム2020a、2020bは、10nm~300nm幅を含む、10nm~1 $\mu$ m幅の範囲内の間隙によって分離されてもよい。また、図示されるように、ナノビーム2020a、2020bは、高さ $h_{nw}$ を有し、これは、10nm~450nmを含む、10nm~1 $\mu$ mの範囲内であってもよい。好ましくは、ナノビーム2020a、2020bの高さは、実質的に等しい。

#### 【0129】

本明細書に開示されるように、ユニットセル2010およびナノビーム2020a、2020bの種々の特徴の寸法は、メタ表面2002を形成するために使用される材料の性質および基板2000等の囲繞構造の性質に応じて変動してもよい。いくつかの実施形態では、ナノビーム2020a、2020bの高さ $h_{nw}$ は、それらのナノビームのために使用される材料の屈折率に応じて変動してもよい。いくつかの実施形態では、ナノビームの高さは、10nm~450nmであってもよく、材料の屈折率は、3.3を上回り、10nm~1 $\mu$ mであって、屈折率は、3.3またはそれ未満である。別の実施例として、ナノビームの高さは、10nm~450nmであってもよく、ナノビームは、シリコン（例えば、非晶質またはポリシリコン）から形成される。

#### 【0130】

図10Aおよび10Bを継続して参照すると、これらの図に図示されるメタ表面2002は、透過モードで機能する。光線2021a、2021bは、ナノビーム2020a、2020bによって形成されるメタ表面2002を通して伝搬することに応じて、再指向される。図示されるように、光線2021aは、表面2000aの法線に対して角度でメタ表面2002に入射する。好ましくは、角度は、光線2021aが、メタ表面2002によって再指向され、基板2000内の全内部反射を促進する角度でその基板2000内を伝搬するように、メタ表面2002のための角度帯域幅内にある。図示されるように、光線2021bは、表面2000aの法線に対して角度 $\theta_{TIR}$ を作成するように再指向される。好ましくは、角度 $\theta_{TIR}$ は、基板2000内の全内部反射を促進する角度の範囲内である。本明細書に開示されるように、いくつかの実施形態では、メタ表面2002は、内部結合光学要素として（例えば、内部結合光学要素700、710、720（図9A）のうちの1つ以上のものとして）利用され、光が全内部反射を介して基板2000を通して伝搬するように、入射光を内部結合してもよい。

#### 【0131】

メタ表面2002はまた、基板2000内からそこに衝突する光を偏向させるであろう。本機能性を利用して、いくつかの実施形態では、本明細書に開示されるメタ表面は、内部結合光学要素を表面2000a上の異なる場所に形成する代わりに、またはそれに加え、外部結合光学要素570、580、590、600、610（図6）または800、810、820（図9B）のうちの1つ以上のもの等の外部結合光学要素を形成するように適用されてもよい。異なる導波管が、異なる関連付けられた原色を有する場合、各導波管と関連付けられた外部結合光学要素および/または内部結合光学要素は、導波管が伝搬するように構成される光の波長または色に特有の幾何学的サイズおよび/または周期性を有してもよいことを理解されたい。したがって、異なる導波管は、異なる幾何学的サイズおよび/または周期性を伴うメタ表面を有してもよい。実施例として、赤色光、緑色光、または青色光を内部結合または外部結合するためのメタ表面は、それぞれ、例えば、638nm、520nm、および455nmの波長で光を再指向または回折するように構成される、幾何学的サイズおよび/または周期性（ピッチ）を有してもよい。いくつかの実施形態では、ナノビーム2020a、2020bおよびユニットセル2010の幾何学的サイズおよび周期性は、波長がより長くなるにつれて増加し、ナノビーム2020a、2020bの一方または両方の高さまたは厚さもまた、波長がより長くなるにつれて増加する。

#### 【0132】

いくつかの実施形態では、メタ表面 2002 が、外部結合光学要素として利用される場合、メタ表面 2002 は、メタ表面が屈折力を回折される光に付与することを引き起こす幾何学的サイズおよび/またはピッチを有してもよい。例えば、メタ表面は、光をメタ表面から発散または収束方向に出射させるように構成されてもよい。メタ表面の異なる部分は、異なるピッチを有してもよく、これは、例えば、光線が発散または収束するように、異なる光線を異なる方向に偏向させる。

#### 【0133】

いくつかの他の実施形態では、メタ表面 2002 は、光がコリメートされた光の光線としてメタ表面 2002 から離れるように伝搬するように、光を再指向してもよい。例えば、コリメートされた光が類似角度においてメタ表面 2002 上に衝突する場合、メタ表面 2002 は、メタ表面 2002 の全体にわたって一貫した幾何学的サイズおよび一貫したピッチを有し、類似角度で光を再指向し得る。

#### 【0134】

ここで図 11A - 11B を参照すると、メタ表面 2002 は、再指向された光がメタ表面に衝突する前および後にメタ表面 2002 の同一側に留まる、「反射モード」で光を偏向させてもよい。図 11A は、反射モードで機能するように構成されるメタ表面の断面側面図の実施例を図示し、図 11B は、平面 11B 上で視認されるような図 11A のメタ表面の断面上下図の実施例を図示する。示されるように、メタ表面 2002 のナノビーム 2020a、2020b は、反射層 2100 内に内蔵されてもよい。反射層 2100 は、反射材料、例えば、アルミニウム、銀、金、および銅等の金属から形成されてもよい。好ましくは、反射層 2100 を形成する材料は、ナノビーム 2020a、2020b 間およびユニットセル 2010 間の空間を充填する。加えて、反射層 2100 の高さまたは厚さ  $h_r$  は、ナノビーム 2020a、2020b の高さ  $h_{nw}$  を上回ってもよい。いくつかの実施形態では、高さ  $h_r$  は、150nm またはより厚いまたは  $1\mu m$  またはより厚くてもよい。好ましくは、反射層 2100 は、入射光を遮断するために十分に厚く、 $h_r$  は、層 2100 の光学深度を上回る。ユニットセル 2010 を形成する種々の特徴の寸法の範囲は、図 10A および 10B に関して本明細書で議論されるものに類似することを理解されたい。

#### 【0135】

ここで図 12 - 13 を参照すると、反射モードメタ表面の別の実施例が、図示される。図 12 は、反射モードで機能するように構成される、メタ表面 2002 の断面側面図の実施例を図示し、図 13 は、図 13 の平面 13 上で視認されるような図 12 のメタ表面の断面上下図の実施例を図示する。図示されるように、ナノビーム 2020a、2020b は、光学的に透過性のスペーサ層 2110 内に内蔵される。これらの実施形態では、反射層 2100 は、直接、基板 2000 の反対のスペーサ層 2110 の表面上に配置される。スペーサ層 2110 は、高さまたは厚さ  $h_s$  を有し、これは、高さ  $h_s$  だけナノビーム 2020a、2020b の高さを上回り、それによって、ナノビーム 2020a、2020b を  $h_s$  と等しい距離だけ反射層 2100 から離間させる。いくつかの実施形態では、高さ  $h_s$  は、10nm ~ 300nm を含む、5nm ~  $1\mu m$  の範囲内であってもよい。スペーサ層 2100 のための好適な材料の実施例は、ポリ(メタクリル酸メチル)(PMMA)、スピンオンガラス、電子ビームレジストまたはフォトレジスト、およびポリマーを含む、スピンオンコートによって堆積され得る、材料を含むことができることを理解されたい。いくつかの実施形態では、スペーサ層は、1 ~ 2 の屈折率を有する。

#### 【0136】

いくつかの実施形態では、基板 2000 は、透過メタ表面および反射メタ表面の両方を具備してもよい。図 14A は、それぞれ、透過メタ表面および反射メタ表面 2002a、2002b を有する、基板 2000 の断面側面図の実施例を図示する。いくつかの実施形態では、透過メタ表面および反射メタ表面 2002a、2002b は、基板の対向側にあってもよい。図 14B は、図 14A のメタ表面 2002a の上下図の実施例を図示する。図 14C は、図 14A の平面 14C 上で視認されるような図 14A のメタ表面 2002b

10

20

30

40

50

の上下図の実施例を図示する。

【0137】

図14Aを参照すると、メタ表面2002aは、ナノビーム2020a、2020bを含む、複数のユニットセル2010aを含む。同様に、メタ表面2002bは、ナノビーム2020c、2020dを含む、複数のユニットセル2010bを含む。ナノビーム2020a、2020bと同様に、ナノビーム2020c、2020dのうちの一方は、他方より広い。本明細書に開示されるように、ユニットセル2010a、2010bの特徴の寸法は、メタ表面が再指向するように構成される光の波長および所望の再指向度に基づいて選択されてもよい。メタ表面が、異なる波長の光を再指向するように構成される場合、ナノビーム2020aおよび2020cの幅は、相互から異なってもよく、および/またはナノビーム2020bおよび2020dの幅も、相互から異なってもよい。例えば、メタ表面2002aは、緑色の色に対応する光を再指向するように構成されてもよい一方、メタ表面2002bは、赤色の色に対応する光を再指向するように構成されてもよい。いくつかの実施形態では、各メタ表面が異なる範囲の波長の光を再指向するように構成される、そのような配列は、有利には、異なる導波管が異なる波長の光を伝搬するために使用される、導波管スタックのサイズを低減させ得る。有利には、メタ表面2002a、2002bは、内部結合光学要素および/または外部結合光学要素として使用され、単一導波管が異なる原色に対応する光を誘導するために使用されることを可能にし、それによって、1つの導波管の使用を回避し得る。

10

【0138】

図示されるように、メタ表面2002aは、透過モードで機能し、光線2040aを選択的に再指向する一方、光線2040bが再指向されずにメタ表面を通して伝搬することを可能にする。光線2040bは、次いで、反射モードメタ表面2002b上に衝突し、これは、所望の方向（鏡面反射体に関して予期される方向と異なる）に伝搬するように、光線2040bを反射させる。

20

【0139】

ここで図15A - 15Eを参照すると、透過メタ表面を形成するためのプロセスフローの実施例が、図示される。図15Aを参照すると、ナノビーム2020a、2020bを形成するための光学的に透過性の材料の層2020が、基板2000上に堆積される。堆積は、例えば、プラズマ増強化学蒸着を含む、化学蒸着（CVD）等の蒸着プロセスを使用して遂行されてもよい。続いて、図15Bを参照すると、選択的に画定可能な材料、例えば、レジスト（ナノインプリントレジスト等）が、層2022上に堆積される。レジスト2022は、ジェットコーティング（例えば、インクジェット印刷）によって堆積されてもよく、これは、非常に薄い層と、また、可変組成および/または厚さを伴う層とを形成する利点を提供し得る。

30

【0140】

図15Cを参照すると、インプリントテンプレートまたはマスク2024が、レジスト2022と接触させられ、そのレジストをパターン化する。いくつかの他の実施形態では、インプリントテンプレート2024内のパターンは、例えば、電子ビームリソグラフィまたはEUVリソグラフィを含む、リソグラフィによって形成されてもよい。

40

【0141】

図15Dを参照すると、レジスト層2022内に形成されるパターンは、光学的に透過性の層2020に転写される。本パターン転写は、他の暴露材料に対して光学的に透過性の層2020を形成する材料のためのエッチング選択性を使用して遂行されてもよいことを理解されたい。いくつかの実施形態では、パターン転写エッチングは、反応イオンエッチング等の異方性エッチングであってもよい。続いて、いくつかの実施形態では、レジスト層2022は、例えば、アッシングプロセスを使用して除去されてもよい。

【0142】

ここで図15Eを参照すると、ナノビーム2020a、2020bを含む、複数のユニットセル2010が、形成される。例証の容易性のために、類似幅を有するように図式的

50

に示されるが、ナノビーム 2020a、2020b は、本明細書に開示されるように、異なる幅を有することを理解されたい。

【0143】

図16Aおよび16Bは、メタ表面の走査電子顕微鏡画像を図示する。メタ表面が、概して、図15A - 15Eに関して説明されるように形成され、レジストが、電子ビームリソグラフィによってパターン化された。有利には、ナノビーム 2020a、2020b に対応する非常に均一な材料の列が、形成された。図16Bに示されるように、各ナノビームは、図示される側面図に見られるように、実質的に均一な断面形状を有する。

【0144】

図示されないが、反射モードメタ表面が、図15Eに示される構造の付加的処理を通して形成されてもよいことを理解されたい。例えば、反射材料は、ナノビーム 2020a、2020b 間の開放体積内およびそれらのナノビームにわたって堆積され、図11Aおよび11Bに図示される構造を形成してもよい。いくつかの他の実施形態では、ナノビーム 2020a、2020b は、トレンチを反射層内にエッチングし、続いて、トレンチをナノビーム 2020a、2020b の材料で充填することによって形成されてもよい。

【0145】

別の実施例として、図12に図示される構造は、光学的に透過性のスペーサ材料の層をナノビーム 2020a、2020b 上およびそれらの間に堆積させることによって形成されてもよい。反射層は、続いて、スペーサ層上に堆積されてもよい。いくつかの実施形態では、堆積は、蒸着プロセス、例えば、化学蒸着 (CVD) プロセスおよび/または物理蒸着 (PVD) プロセスを使用して遂行されてもよい。

【0146】

本明細書に議論されるように、種々の実施形態によるメタ表面は、広範囲の入射角度にわたって非常に均一な回折効率を提供する。図17は、透過メタ表面のための回折効率対光の入射角度を示す、プロットの実施例を図示する。有利には、約 50° に及ぶ角度の範囲にわたる回折効率は、非常に均一である。

【0147】

高均一性はまた、反射メタ表面の種々の実施形態によって提供される。図18A - 18Cは、反射メタ表面のための回折効率対光の入射角度を示す、プロットの実施例を図示する。入射光の波長は、図18A - 18Cの各々に対して異なる。有利には、プロットは、広範囲の入射角度にわたって非常に平坦である。加えて、プロットは、有利には、赤色、緑色、および青色の色に対応する異なる波長に関して類似する。そのような均一性は、異なる原色を利用するディスプレイシステムに有益に適用され得る。回折の均一性は、高色正確度を伴う高品質画像の形成を補助し得る。

【0148】

また、メタ表面の回折効率は、瞬間光の偏光に非常に依存することが見出されている。図19Aおよび19Bは、図10Aおよび10Bの透過メタ表面の偏光感度を示す、プロットの実施例を図示する。図19Aに示されるように、回折効率は、非対称格子を形成するナノビームと平行な偏光を伴う入射光に関して高い。しかしながら、ナノビームと垂直な偏光を伴う光は、低回折効率を有する。偏光の本感度を前提として、本明細書に記載されるように、メタ表面は、有利には、偏光ビームスプリッタとして利用されてもよい。好ましくは、メタ表面は、異なる偏光の光に関して5以上、7以上、または9以上の消光比を提供する。

【0149】

本明細書に議論されるように、本明細書に開示されるメタ表面によって再指向される光の振幅および位相は、金属表面を形成するナノビームの幅に依存する。図20は、図10Aおよび10Bのメタ表面のための振幅および位相偏移対ナノビーム幅のプロットを図示する。プロットによって示されるように、ナノビームまたはナノワイヤの幅は、再指向される光の振幅および位相を操作するように調節されてもよい。

【0150】

ここで図 2 1 A を参照すると、いくつかの実施形態では、メタ表面は、マルチレベル非対称格子を含んでもよい。図 2 1 A は、光学的に透過性の材料の複数のレベルを含む、マルチレベルメタ表面 2 0 0 8 の断面側面図の実施例を図示する。断面側面図は、図示されるナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b の伸長軸に直交する平面上で得られることを理解されたい。ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b は、基板 2 0 0 0 の表面 2 0 0 0 a 上に形成される。図示されるように、いくつかの実施形態では、メタ表面 2 0 0 8 は、それぞれ、最下レベルおよび最上レベル 2 0 1 2、2 0 1 4 を有する、双レベル構造である。最下レベル 2 0 1 2 は、第 1 の光学的に透過性の材料から形成されるナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b と、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b 間の第 2 の光学的に透過性の材料の質量 2 0 3 0 c とを含む。最上レベル 2 0 1 4 は、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b に直接垂直に隣接してもよく、ナノビーム 2 0 2 0 a 上に直接形成される第 2 の光学的に透過性の材料の最上レベルナノビーム 2 0 3 0 a と、ナノビーム 2 0 2 0 b 上に直接形成される第 2 の光学的に透過性の材料の最上レベルナノビーム 2 0 3 0 b とを含む。第 2 の光学的に透過性の材料の最上レベルナノビーム 2 0 3 0 a、2 0 3 0 b は、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b に接触し得ることを理解されたい。図示されるように、最上レベル 2 0 1 4 上には、第 2 の光学的に透過性の材料のナノビーム 2 0 3 0 a、2 0 3 0 b が、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b の表面上に局在化され、第 2 の光学的に透過性の材料の他の局在化堆積物（またはプラトー）から離間される材料のプラトーを形成してもよい。

#### 【 0 1 5 1 】

図 2 1 A を継続して参照すると、好ましくは、ナノビーム 2 0 3 0 a、2 0 3 0 b および質量 2 0 3 0 c を形成する第 2 の光学的に透過性の材料の屈折率は、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b を形成する第 1 の光学的に透過性の材料および基板 2 0 0 0 を形成する材料の両方の屈折率より高い。いくつかの実施形態では、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b を形成する第 1 の光学的に透過性の材料の屈折率は、基板 2 0 0 0 を形成する材料の屈折率より低いかまたはそれに類似する。

#### 【 0 1 5 2 】

図 2 1 A を継続して参照すると、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b の第 1 の光学的に透過性の材料は、好ましくは、例えば、リソグラフィおよびエッチングプロセスによってパターン化され得る、材料である。より好ましくは、第 1 の光学的に透過性の材料は、ナノインプリントによってパターン化され得る、ナノインプリントレジストである。本明細書に議論されるように、ナノビーム 2 0 3 0 a、2 0 3 0 b および質量 2 0 3 0 c を形成する第 2 の光学的に透過性の材料は、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b の第 1 の光学的に透過性の材料および基板 2 0 0 0 を形成する材料の両方より高い屈折率を有してもよい。いくつかの実施形態では、第 2 の光学的に透過性の材料の屈折率は、1.6、1.7、1.8、または 1.9 より高い。第 2 の光学的に透過性の材料のための材料の実施例は、シリコン含有材料および酸化物を含む、半導体材料を含む。シリコン含有材料の実施例は、窒化ケイ素および炭化ケイ素を含む。酸化物の実施例は、酸化チタン、酸化ジルコニウム、および酸化亜鉛を含む。いくつかの実施形態では、第 2 の光学的に透過性の材料は、これらの酸化物より低い光学透過性を有してもよい。例えば、第 2 の光学的に透過性の材料は、シリコンまたはその誘導体であってもよい。いくつかの実施形態では、第 1 および第 2 の光学的に透過性の材料は、非晶質固体状態材料または結晶性固体状態材料である。理論によって限定されるわけではないが、非晶質材料は、より低い温度で、かついくつかの結晶性材料のより広範囲の表面にわたって形成され得るため、いくつかの用途において望ましくあり得る。いくつかの実施形態では、特徴 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b、2 0 3 0 a、2 0 3 0 b、2 0 3 0 c を形成する第 1 および第 2 の光学的に透過性の材料はそれぞれ、非晶質または結晶性半導体材料のうちの 1 つであってもよい。

#### 【 0 1 5 3 】

前述のように、いくつかの実施形態では、それぞれ、ユニットセル 2 0 1 0 を形成する、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b の幅  $NW_1$ 、 $NW_2$  は、10 nm ~ 300 nm または 10 nm ~ 250 nm を含む、10 nm ~ 1  $\mu$ m の範囲内であってもよい。ユニットセ

10

20

30

40

50

ル 2010 のナノビーム 2020 a、2020 b は、10 nm ~ 1 μm 幅または 10 nm ~ 300 nm 幅を含む、5 nm ~ 1 μm 幅の範囲内である間隙によって分離されてもよい。ユニットセル 2010 のピッチ P は、10 nm ~ 500 nm または 300 nm ~ 500 nm を含む、10 nm ~ 1 μm の範囲内であってもよい。いくつかの実施形態では、ナノビーム 2020 a、2020 b の高さ  $h_{nw}$  は、10 nm ~ 500 nm または 10 nm ~ 450 nm を含む、10 nm ~ 1 μm の範囲内であってもよい。質量 2030 c の高さ  $h_m$  は、10 nm ~ 600 nm を含む、10 nm ~ 1 μm の範囲内であってもよい。好ましくは、ナノビーム 2030 a、2030 b および質量 2030 c の高さは、実質的に類似する。

#### 【0154】

10

ユニットセルの特徴の寸法は、メタ表面を形成するために使用される材料の性質に応じて変動し得ることが見出されている。例えば、ナノビームの高さは、それらのナノビームのために使用される材料の屈折率に応じて変動し得る。いくつかの実施形態では、ナノビームの高さは、10 nm ~ 450 nm であってもよく、材料の屈折率は、3.3 を上回り、10 nm ~ 1 μm であって、屈折率は、3.3 またはそれ未満である。別の実施例として、ナノビームの高さは、10 nm ~ 450 nm であってもよく、ナノビームは、シリコン（例えば、非晶質またはポリシリコン）から形成される。いくつかの実施形態では、ナノビーム 2030 a、2030 b および質量 2030 c の材料の高さは、10 nm ~ 600 nm を含む、10 nm ~ 1 μm の範囲内であってもよい。

#### 【0155】

20

前述の寸法の範囲内では、いくつかの実施形態では、メタ表面は、特徴 2030 a、2030 b、2030 c のための材料と併せて寸法の適切な選択に応じて、主に反射モードまたは主に透過モードで機能し得ることを理解されたい。例えば、光の所与の波長に関して、反射モードで機能するメタ表面 2008 のための特徴 2030 a、2030 b、2030 c の厚さは、透過モードで機能するメタ表面のための特徴 2030 a、2030 b、2030 c の厚さより低くてもよい。加えて、透過モードまたは反射モードのいずれかでは、特徴 2030 a、2030 b、2030 c のためのより高い屈折率材料の使用は、それらの特徴の厚さの低減を可能にする一方、類似した光再指向性質を達成し得る。

#### 【0156】

図 21 A を継続して参照すると、メタ表面 2008 は、反射モードで機能しており、入射光線 2200 は、メタ表面 2008 上に衝突し、全内部反射によって基板 2000 を通して伝搬するような角度で回折によって再指向される。いくつかの実施形態では、特徴 2030 a、2030 b、2030 c の高さは、図示されるように、ナノビーム 2020 a、2020 b の高さより低くてもよい。光は、反射モードで機能しているメタ表面を通して 2 回通過し（1 回目は、入射光が、メタ表面上に衝突し、2 回目は、メタ表面を通して、かつそこから離れるように反射される）、それによって、メタ表面より低い高さを伴う特徴 2030 a、2030 b、2030 c およびナノビーム 2020 a、2020 b が、類似光再指向能力を伴って透過モードで機能することを可能にし得ることを理解されたい。

#### 【0157】

40

ここで図 21 B を参照すると、図 21 A に示される一般的構造を有するメタ表面のための光の入射角度の関数として、透過および反射のプロットの実施例が、図示される。透過および反射された光の種々の回折次数が、それぞれ、「T」および「R」によって示される。本実施例では、ナノビーム 2020 a、2020 b は、光学的に透過性のレジストから形成され、特徴 2030 a、2030 b、2030 c は、酸化チタンから形成される。酸化チタンは、有利には、2.6 の高屈折率を有し、これは、より低い屈折率材料に対して特徴 2030 a、2030 b、2030 c およびナノビーム 2020 a、2020 b の厚さまたは高さの低減を促進し得る。各ユニットセルに対し、ナノビーム 2020 a の幅は、50 nm であって、ナノビーム 2020 b の幅は、110 nm であって、ナノビーム 2020 a と 2020 b との間の間隙は、40 nm であって、ナノビーム 2020 a、2

50

020bの高さは、100nmであって、特徴2030a、2030b、2030cの高さは、50nmであって、ユニットセル2010のピッチは、382nmである。

【0158】

図22Bを継続して参照すると、反射され、TIRのために好適な角度に一次回折( $R_1$ )を受ける、メタ表面2008上に入射する光のパーセンテージは、 $0^\circ$ の入射角度に関して約25%であって、約 $-10^\circ$ ~約 $10^\circ$ の入射角度に関して25%~42%で変動する。図示されるように、ゼロ次反射は、有利には、低い。メタ表面2008が、反射空間光変調器を利用する、ディスプレイシステム250(図6)等のディスプレイデバイス内で利用される場合、ゼロ次反射が、望ましくなく、光の反射を空間光変調器に対して生じさせ得、これは、次いで、光を視認者に反射させ、それによって、残影等の望ましくない画像アーチファクトを生じさせる。その結果、低量ゼロ次反射は、そのような用途では望ましくあり得る。加えて、図示されるように、入射光の一部は、透過され( $T_0$ )、入射光の別の部分は、負の一次回折( $R_{-1}$ )を受ける。

10

【0159】

ここで図22Aを参照すると、透過モードで動作するメタ表面2008が、図示される。着目すべきこととして、本実施形態では、メタ表面2008は、図21Aに示されるものに類似するが、特徴2030a、2030b、2030cの高さと、随意に、これらの特徴2030a、2030b、2030cを形成する材料とを除く。図示されるように、質量2030cの高さ(およびナノビーム2030a、2030bの対応する高さ)は、いくつかの実施形態では、ナノビーム2020a、2020bの高さを上回ってもよい。図示される実施形態では、光線2200は、メタ表面2008を通して伝搬し、全内部反射によって、基板2000を通して伝搬するような角度に回折される。

20

【0160】

ここで図22Bを参照すると、図22Aに示される一般的構造を有するメタ表面のための光の入射角度の関数として、透過および反射のプロットの実施例が、図示される。上記のように、透過および反射された光の回折次数は、それぞれ、「T」および「R」によって示される。各ユニットセルに対し、ナノビーム2020aの幅は、50nmであって、ナノビーム2020bの幅は、110nmであって、ナノビーム2020aと2020bとの間の間隙は、50nmであって、ナノビーム2020a、2020bの高さは、150nmであって、特徴2030a、2030b、2030cの高さは、190nmであって、ユニットセルのピッチ2010は、382nmである。本実施例では、ナノビーム2020a、2020bは、光学的に透過性のレジストから形成され、特徴2030a、2030b、2030cは、窒化ケイ素から形成され、これは、2.0の屈折率を有する。

30

【0161】

図22Bを継続して参照すると、透過され、TIRのために好適な角度に負の一次回折( $T_{-1}$ )を受ける、メタ表面上に入射する光のパーセンテージは、 $0^\circ$ の入射角度に関して約35%であって、約 $-10^\circ$ ~約 $10^\circ$ の入射角度に関して35%~56%で変動する。ゼロ次反射は、有利には、低いままである。また、図示されるように、入射光の一部は、再指向されずに、透過され( $T_0$ )、入射光の別の部分は、正の一次回折( $T_1$ )を受ける。

40

【0162】

ここで図23A-23Dを参照すると、メタ表面2008を形成するためのプロセスフローの実施例が、図示される。図14Aを参照すると、第1の材料、例えば、レジスト(ナノインプリントレジスト等)の層2020が、基板2000上に堆積される。層2020は、好ましくは、光学的に透過性であって、例えば、スピンコーティングによって堆積されてもよい。いくつかの実施形態では、層2020は、ジェットコーティング(例えば、インクジェット印刷)によって堆積されてもよく、これは、非常に薄い層と、また、可変組成および/または厚さを伴う層とを形成する利点を提供し得る。

【0163】

図23Bを参照すると、インプリントテンプレートまたはマスタ2024が、レジスト

50



層 2 0 2 0 と接触させられ、その層をパターン化する。インプリントテンプレート 2 0 2 4 内のパターンは、形成されるべきメタ表面のナノビームのパターンのネガ型であってもよいことを理解されたい。インプリントテンプレート 2 0 2 4 内のパターンは、例えば、電子ビームリソグラフィまたは E U V リソグラフィを含む、リソグラフィによって形成されてもよい。有利には、同一テンプレート 2 0 2 4 が、再使用され、レジストを複数の基板上にパターン化し、それによって、最終的に形成されるメタ表面のためのユニットあたり加工コストを低減させ得る。

#### 【 0 1 6 4 】

インプリントテンプレート 2 0 2 4 に接触後、レジスト 2 0 2 0 は、テンプレート 2 0 2 4 内の開口部によって画定されたパターンをとる。いくつかの実施形態では、レジスト 2 0 2 0 は、例えば、光（U V 光等）および / または熱への暴露によって硬化され、レジストをイモビライズしてもよい。テンプレート 2 0 2 4 は、次いで、図 2 3 C に示されるように、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b を有するパターン化されたレジストが残るように後退されてもよい。いくつかの他の実施形態では、レジスト層内のパターンは、材料の下層に転写されてもよく（例えば、図 1 5 A - 1 5 E に示されるように）、レジストは、除去され、それによって、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b をその材料の下層内に形成してもよい。

#### 【 0 1 6 5 】

ここで図 2 3 D を参照すると、第 2 の材料が、続いて、ナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b 上に堆積され、ナノビーム 2 0 3 0 a、2 0 3 0 b を形成する。第 2 の材料のための材料の実施例は、シリコン、窒化ケイ素、炭化ケイ素等のシリコン含有材料、酸化ジルコニウム、酸化亜鉛、および酸化チタンを含む、酸化物、および光学的に透過性のレジストを含む、半導体材料を含む。本明細書に開示されるように、第 2 の材料 2 0 3 0 は、好ましくは、光学的に透過性の材料である。第 2 の材料 2 0 3 0 は、ブランケット堆積、指向性堆積、およびスピンまたはジェットコーティングを含む、種々のプロセスによって堆積されてもよい。ブランケット堆積の実施例は、レジストが基板 2 0 0 0 を含有する堆積チャンバ内に同時に存在する相互に反応性の前駆体に暴露される、化学蒸着（C V D）と、レジストが代替として前駆体に暴露される、原子層堆積（A L D）とを含む。A L D は、高精度が所望される場合の堆積される層の厚さを精密に制御し、また、材料を低温で堆積させる利点を提供し得る。指向性堆積の実施例は、第 2 の材料をナノビーム 2 0 2 0 a、2 0 2 0 b および基板 2 0 0 0 の上部表面上に優先的に送達するための蒸発およびスパッタリングを含む。

#### 【 0 1 6 6 】

本明細書に開示される種々の実施形態によるメタ表面を有する、基板 2 0 0 0 は、本明細書に開示されるシステム 1 0 0 0（図 6）等のディスプレイシステムを形成するために使用されてもよいことを理解されたい。例えば、メタ表面は、本明細書に記載されるように、内部結合光学要素および / または外部結合光学要素として利用されてもよい。いくつかの実施形態では、メタ表面の加工後、導波管 2 0 0 0 は、画像情報を導波管の中に投入するための光パイプ等の光パイプに光学的に結合されてもよい。光パイプは、いくつかの実施形態では、光ファイバであってもよい。光パイプの実施例は、画像投入デバイス 2 0 0、2 0 2、2 0 4、2 0 6、2 0 8（図 6）および走査光ファイバを含む。いくつかの実施形態では、それぞれがメタ表面 2 0 1 0 を有する複数の導波管が、提供されてもよく、これらの導波管はそれぞれ、1 つ以上の画像投入デバイスに光学的に結合されてもよい。

#### 【 0 1 6 7 】

本発明の種々の例示的实施形態が、本明細書で説明される。非限定的な意味で、これらの実施例が参照される。それらは、本発明のより広くて適用可能な側面を例証するように提供される。種々の変更が、説明される本発明に行われてもよく、本発明の真の精神および範囲から逸脱することなく、同等物が置換されてもよい。

#### 【 0 1 6 8 】

例えば、有利には、複数の深度平面にわたって画像を提供する、ARディスプレイとともに利用されるが、本明細書に開示される拡張現実コンテンツはまた、単一深度平面上に画像を提供するシステムによって、および／または仮想現実ディスプレイを用いて表示されてもよい。多重化された画像情報（例えば、異なる色の光）が導波管の中に指向される、いくつかの実施形態では、複数のメタ表面、例えば、光の各色に対して1つのアクティブなメタ表面が、導波管上に提供されてもよい。いくつかの実施形態では、ナノビームまたはメタ表面を形成するナノビームのピッチまたは周期性および／または幾何学的サイズは、メタ表面にわたって変動してもよい。そのようなメタ表面は、光がメタ表面上に衝突する場所における幾何学形状およびピッチに応じて、異なる波長の光を再指向する際にアクティブであってもよい。いくつかの他の実施形態では、メタ表面特徴の幾何学形状およびピッチは、偏向された光線が、類似波長であっても、異なる角度でメタ表面から離れるように伝搬するように変動するように構成される。また、複数の分離されたメタ表面が、基板表面にわたって配置されてもよく、メタ表面はそれぞれ、いくつかの実施形態では、同一幾何学形状およびピッチを有し、メタ表面の少なくともいくつかは、いくつかの他の実施形態では、他のメタ表面と異なる幾何学形状および／またはピッチを有することを理解されたい。

10

**【0169】**

配向を規定する種々の用語が、本明細書で利用される。例えば、ナノビームは、基板の上またはそれにわたって存在するように説明され得、高さ（または厚さ）を有するように説明され得る。これらの用語は、基板がナノビームの垂直方向下方に存在する基準配向で設置されるときのナノビームおよび基板に関することを理解されたい。そのような配向では、高さは、垂直寸法を説明する一方、間隙、ピッチ、または幅は、例えば、ナノビームが配置される基板の表面に面した（例えば、それと略平行な）平面に延在する、側方寸法を説明する。しかしながら、ナノビームおよび基板は、その相対的配向に限定されず、相互に対して他の配向に位置付けられてもよいことを理解されたい。

20

**【0170】**

また、有利には、ウェアラブルディスプレイ等のディスプレイに適用されるが、メタ表面は、コンパクトかつ薄型の光再指向要素が所望される、種々の他のデバイスに適用されてもよい。例えば、金属表面は、概して、光学プレート（例えば、ガラスプレート）、光ファイバ、顕微鏡、センサ、腕時計、カメラ、および画像投影デバイスの光再指向部分を形成するために適用されてもよい。

30

**【0171】**

加えて、特定の状況、材料、物質組成、プロセス、プロセス行為、またはステップを本発明の目的、精神、または範囲に適合させるように、多くの修正が行われてもよい。さらに、当業者によって理解されるように、本明細書で説明および例証される個々の変形例のそれぞれは、本発明の範囲または精神から逸脱することなく、他のいくつかの実施形態のうちのいずれかの特徴から容易に分離され、またはそれらと組み合わせられ得る、離散コンポーネントおよび特徴を有する。全てのそのような修正は、本開示と関連付けられる請求項の範囲内にあることを目的としている。

**【0172】**

40

本発明は、本デバイスを使用して行われ得る方法を含む。本方法は、そのような好適なデバイスを提供する行為を含んでもよい。そのような提供は、ユーザによって行われてもよい。換言すると、「提供する」行為は、本方法において必要デバイスを提供するために、取得する、アクセスする、接近する、位置付ける、設定する、起動する、電源投入する、または別様に作用するようにユーザに要求するにすぎない。本明細書に記載される方法は、論理的に可能である記載された事象の任意の順序で、および事象の記載された順序で実行されてもよい。

**【0173】**

本発明の例示的側面は、材料選択および製造に関する詳細とともに、上記に記載されている。本発明の他の詳細に関して、これらは、前述で参照された特許および刊行物と併せ

50

て理解され、概して、当業者に公知である、または理解される。同じことは、一般的または論理的に採用されるような付加的行為の観点から本発明の方法ベースの側面に関しても当てはまり得る。

【 0 1 7 4 】

説明の容易性のために、特徴の相対的位置を示す種々の単語が、本明細書で使用される。例えば、種々の特徴は、他の特徴の「上」にある、それに「わたって」ある、その「側面」にある、それ「より高い」、またはそれ「より低い」ように説明され得る。相対的位置の他の単語もまた、使用されてもよい。相対的位置の全てのそのような単語は、全体として特徴によって形成される集約構造またはシステムが、説明目的のための参照点として特定の配向にあると仮定するが、使用時、構造は、横並びに、反転されて、または任意の数の他の配向に位置付けられてもよいことを理解されたい。

10

【 0 1 7 5 】

加えて、本発明は、種々の特徴を随意に組み込む、いくつかの実施例を参照して説明されているが、本発明は、本発明の各変形例に関して考慮されるように説明または指示されるものに限定されるものではない。種々の変更が、説明される本発明に行われてもよく、本発明の真の精神および範囲から逸脱することなく、（本明細書に記載されるか、またはいづれか簡潔にするために含まれないかどうかにかかわらず）均等物が置換されてもよい。加えて、値の範囲が提供される場合、その範囲の上限と下限との間の全ての介在値、およびその規定範囲内の任意の他の規定または介在値が、本発明内に包含されることが理解される。

20

【 0 1 7 6 】

また、本明細書で説明される発明の変形例の任意の随意的な特徴が、独立して、または本明細書で説明される特徴のうちのいずれか1つ以上の特徴と組み合わせ、記載および請求され得ることが考慮される。単数形の項目の言及は、複数の同一項目が存在する可能性を含む。より具体的には、本明細書で、およびそれに関連付けられる請求項で使用されるように、「1つの(a、an)」、「該(said)」、および「前記(the)」という単数形は、特に別様に記述されない限り、複数の指示対象を含む。換言すると、冠詞の使用は、上記の説明および本開示と関連付けられる請求項で、対象項目の「少なくとも1つ」を可能にする。さらに、そのような請求項は、任意の随意的な要素を除外するように起草され得ることに留意されたい。したがって、この記述は、請求項要素の記載に関連する「だけ」、「のみ」、および同等物等のそのような排他的用語の使用、または「否定的」制限の使用のための先行詞としての機能を果たすことを目的としている。

30

【 0 1 7 7 】

そのような排他的用語を使用することなく、本開示と関連付けられる請求項での「含む」という用語は、所与の数の要素がそのような請求項で列挙されるか、または特徴の追加をそのような請求項に記載される要素の性質を変換するものと見なすことができるかどうかにかかわらず、任意の付加的な要素の包含を可能にするものとする。本明細書で特に定義される場合を除いて、本明細書で使用される全ての技術および科学用語は、請求項の有効性を維持しながら、可能な限り広義の一般的に理解されている意味を与えられるものである。

40

【 0 1 7 8 】

本発明の範疇は、提供される実施例および/または本明細書に限定されるものではないが、むしろ本開示と関連付けられる請求項の範囲のみによって限定されるものとする。

【図 1】

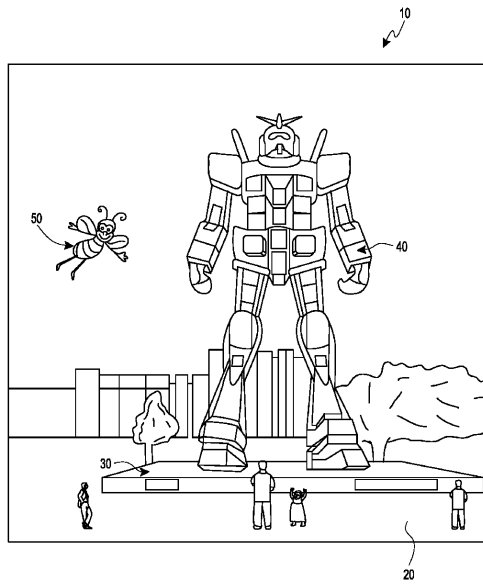


FIG. 1

【図 2】

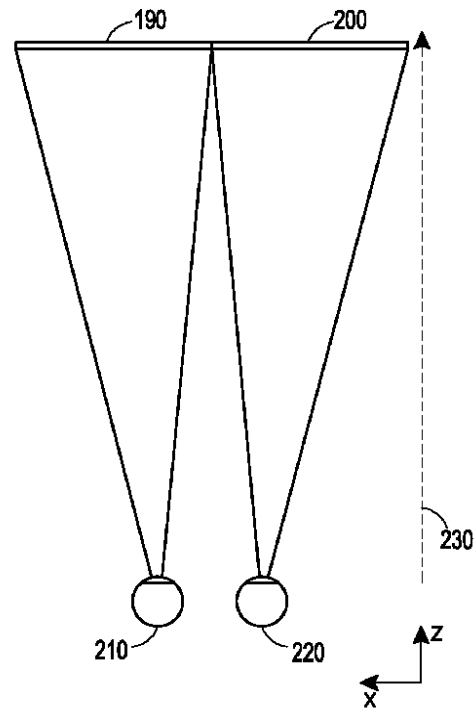


FIG. 2

【図 3 A】

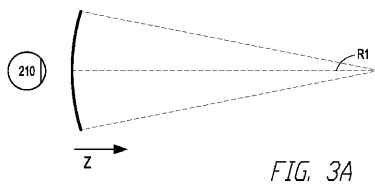


FIG. 3A

【図 3 B】

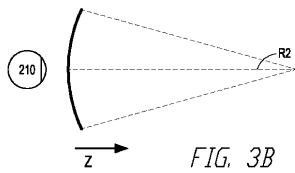


FIG. 3B

【図 3 C】

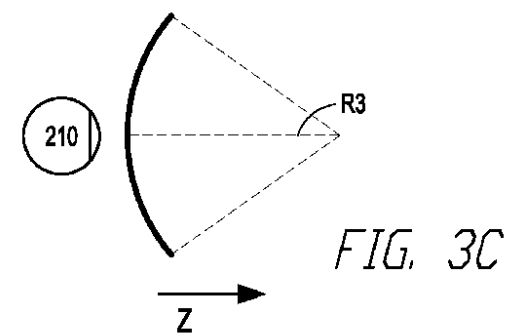


FIG. 3C

【図 4 A】

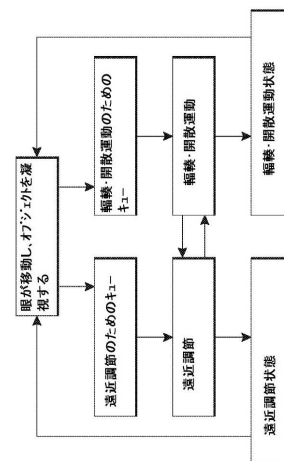


FIG. 4A

【図 4 B】

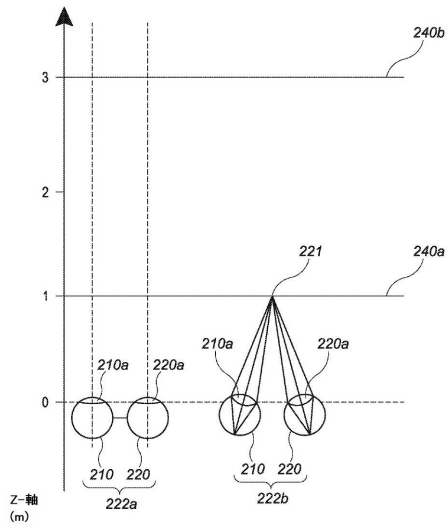


FIG. 4B

【図 4 C】

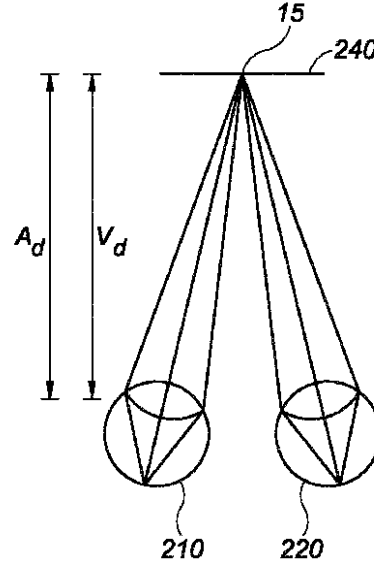


FIG. 4C

【図 4 D】

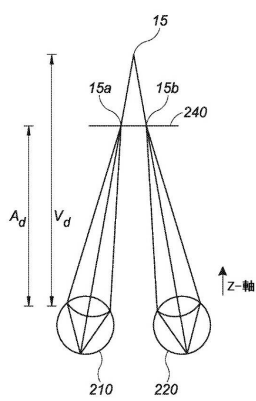


FIG. 4D

【図 5】

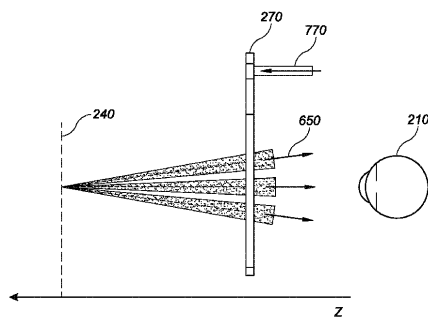


FIG. 5



【図 9 B】

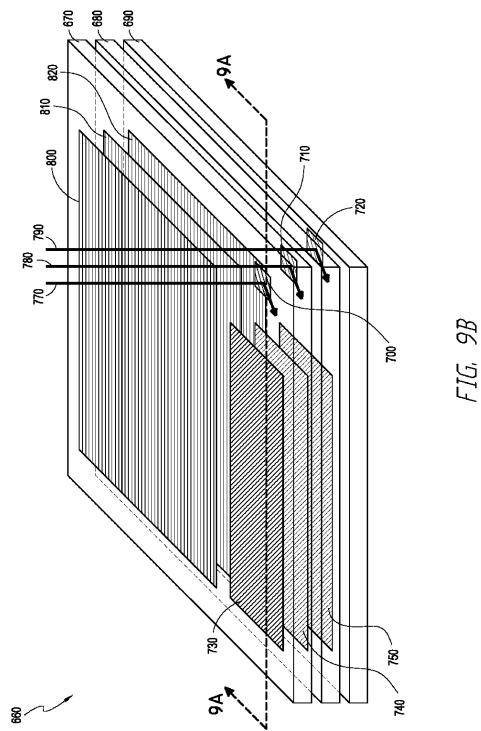


FIG. 9B

【図 9 C】

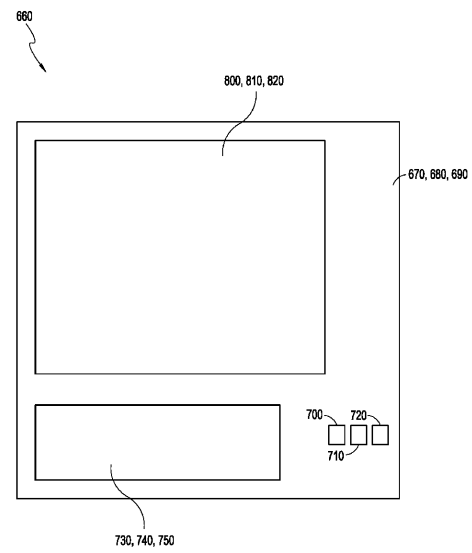


FIG. 9C

【図 9 D】

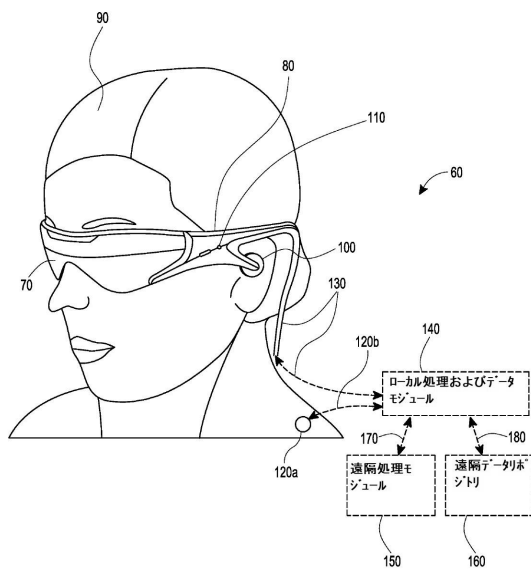


FIG. 9D

【図 10 A】

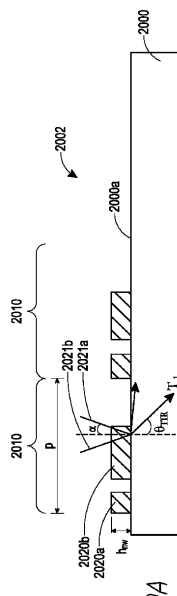
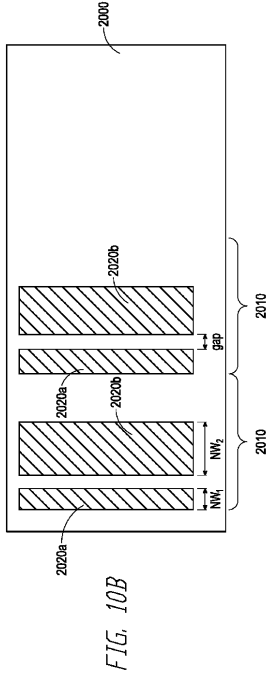
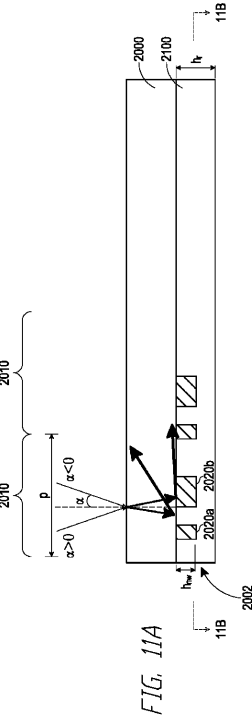


FIG. 10A

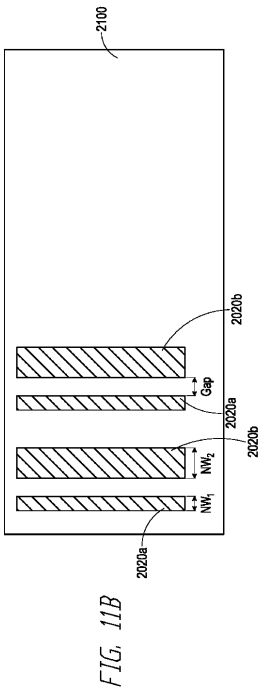
【図 10B】



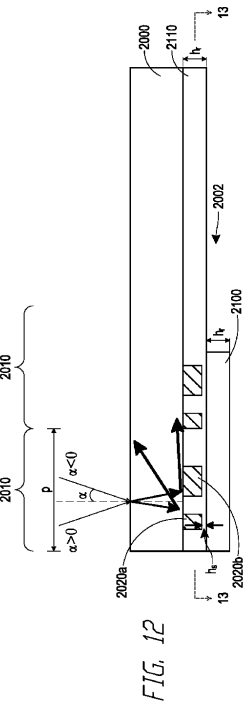
【図 11A】



【図 11B】



【図 12】





【図 13】

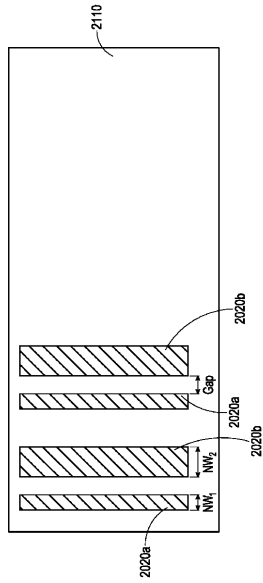


FIG. 13

【図 14 B】

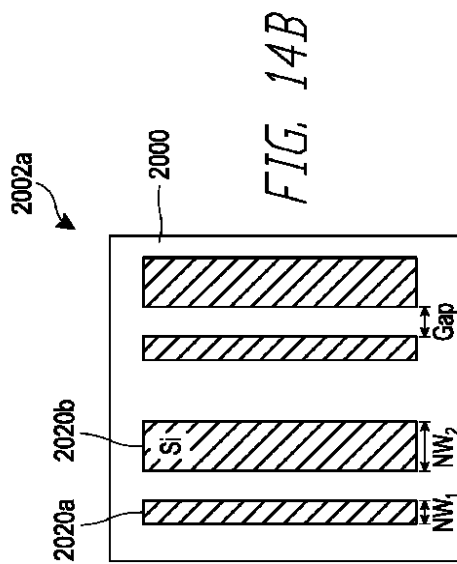


FIG. 14B

【図 14 A】

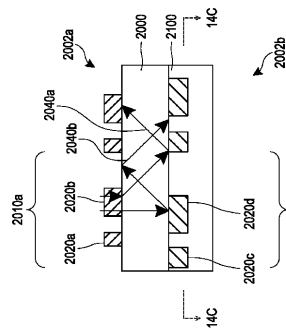


FIG. 14A

【図 14 C】

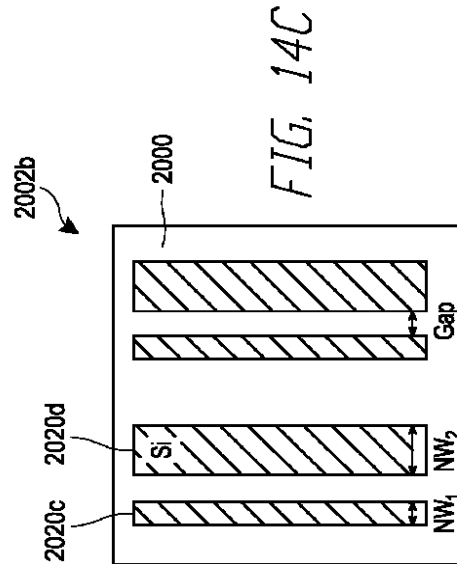


FIG. 14C

【図 15 A】

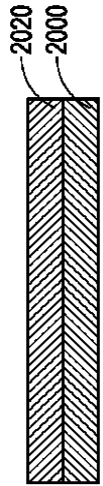


FIG. 15A

【図 15 B】

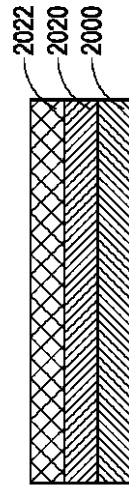


FIG. 15B

【図 15 C】

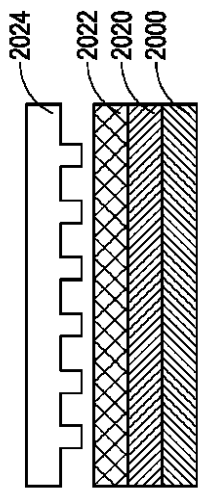


FIG. 15C

【図 15 D】

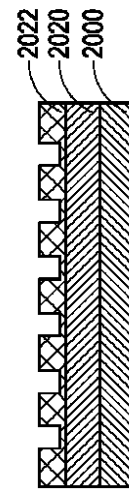
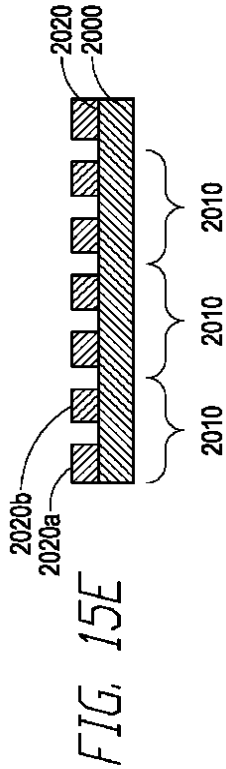


FIG. 15D

【図 15 E】



【図 17】

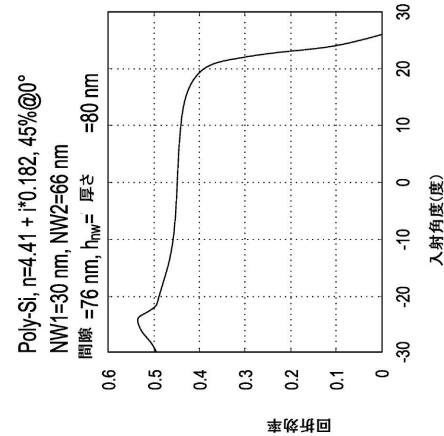
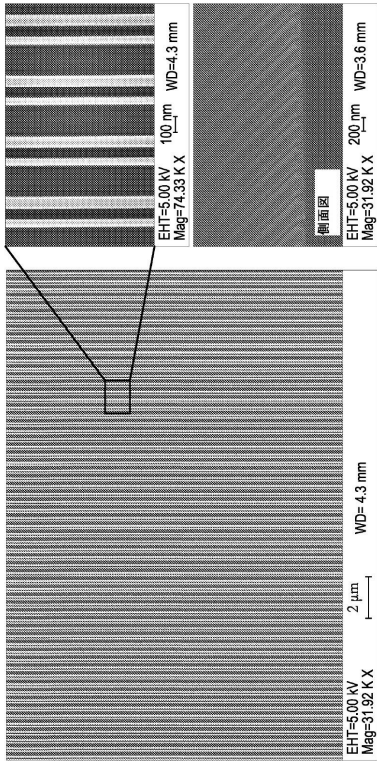


FIG. 17

【図 16】



【図 18】

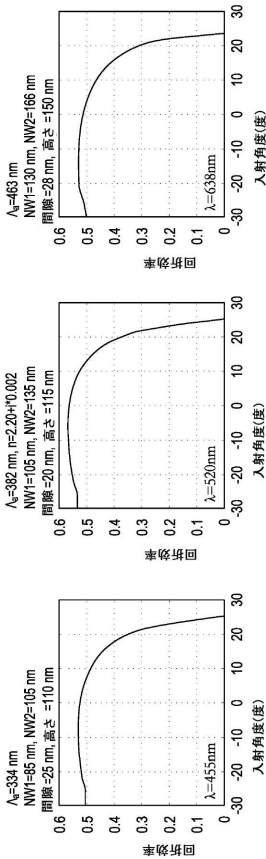


FIG. 18A

FIG. 18B

FIG. 18C

FIG. 16A

FIG. 16B

【図 19】

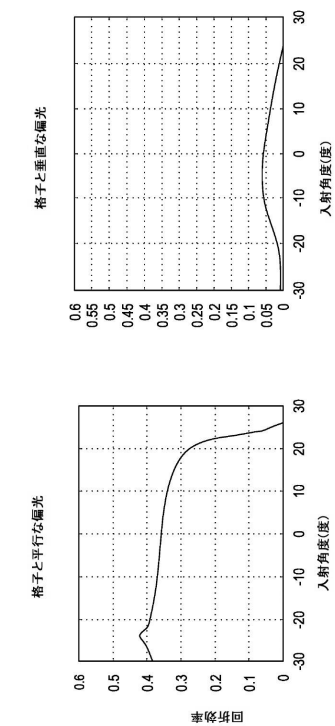


FIG. 19B

FIG. 19A

【図 20】

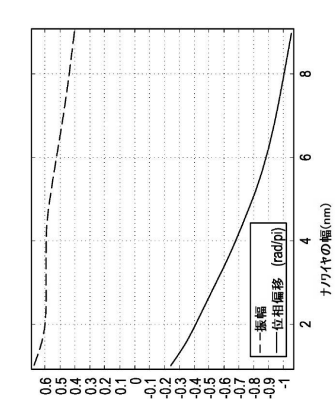


FIG. 20

【図 21 A】

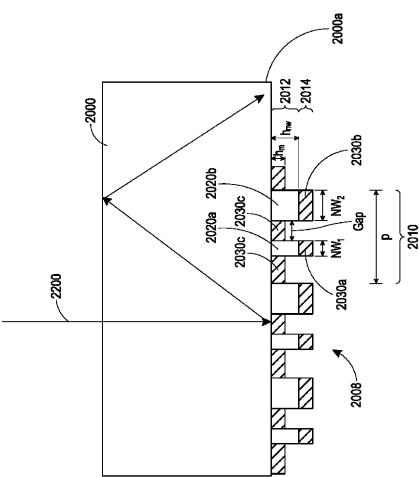


FIG. 21A

【図 21 B】

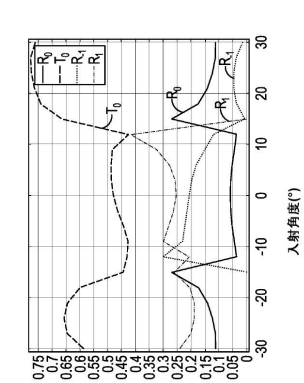


FIG. 21B

【図 22 A】

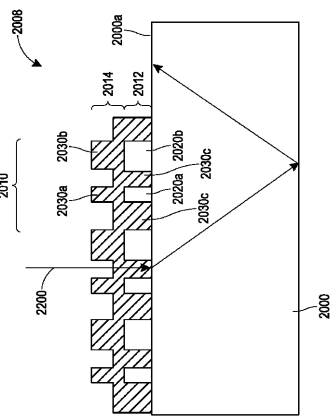
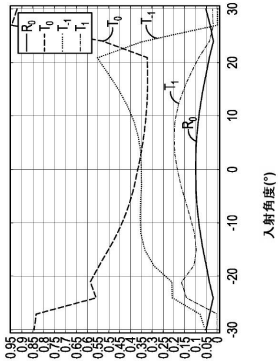


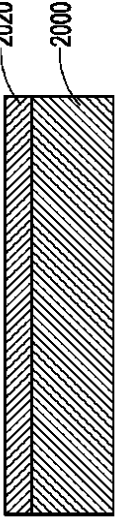
FIG. 22A

【図 2 2 B】



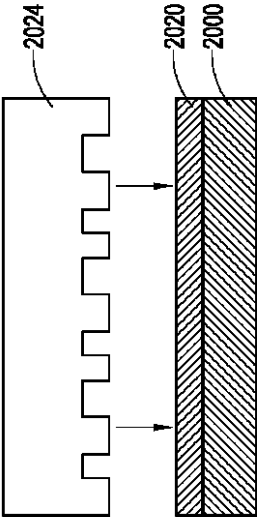
FIG, 22B

【図 2 3 A】



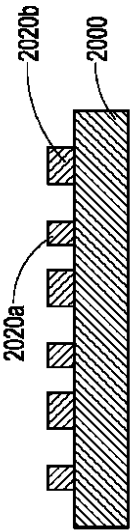
FIG, 23A

【図 2 3 B】



FIG, 23B

【図 2 3 C】



FIG, 23C

【図 23D】

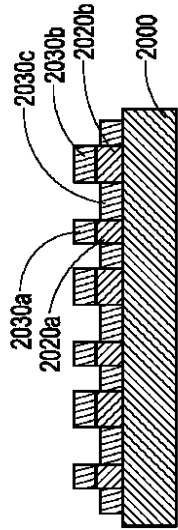


FIG. 23D

## フロントページの続き

## 早期審査対象出願

- (74)代理人 100181674  
弁理士 飯田 貴敏
- (74)代理人 100181641  
弁理士 石川 大輔
- (74)代理人 230113332  
弁護士 山本 健策
- (72)発明者 リン, ディアンミン  
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  
ールバード 7500
- (72)発明者 メッリ, マウロ  
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  
ールバード 7500
- (72)発明者 サン ティレール, ビエール  
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  
ールバード 7500
- (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  
ールバード 7500
- (72)発明者 ポリアコフ, エフゲニー ユーリー  
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  
ールバード 7500

審査官 竹村 真一郎

- (56)参考文献 特表2016-527571(JP,A)  
特表2008-523422(JP,A)  
特開2012-256055(JP,A)  
中国特許出願公開第101556356(CN,A)  
特開2012-027221(JP,A)  
特表2003-502708(JP,A)  
特表2015-534117(JP,A)  
特開2015-049376(JP,A)  
米国特許出願公開第2011/0069727(US,A1)  
特表2015-524935(JP,A)  
米国特許出願公開第2014/0233126(US,A1)  
米国特許出願公開第2015/0219842(US,A1)  
米国特許出願公開第2015/0219807(US,A1)

## (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 27/02

G02B 5/00、5/18、5/306/34