

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2015-501510

(P2015-501510A)

(43) 公表日 平成27年1月15日(2015.1.15)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>F 2 1 S 2/00 (2006.01)</b>	F 2 1 S 2/00 4 3 2	2 H 0 3 8
<b>G 0 2 B 6/00 (2006.01)</b>	G 0 2 B 6/00 3 3 1	2 H 0 8 8
<b>G 0 2 B 6/036 (2006.01)</b>	G 0 2 B 6/22	2 H 1 3 7
<b>G 0 2 B 6/42 (2006.01)</b>	G 0 2 B 6/42	2 H 1 5 0
<b>G 0 2 F 1/13357 (2006.01)</b>	G 0 2 F 1/13357	2 H 1 9 1
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 29 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2014-535829 (P2014-535829)  
 (86) (22) 出願日 平成24年10月11日 (2012.10.11)  
 (85) 翻訳文提出日 平成26年6月9日 (2014.6.9)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2012/059634  
 (87) 国際公開番号 W02013/055842  
 (87) 国際公開日 平成25年4月18日 (2013.4.18)  
 (31) 優先権主張番号 61/545, 713  
 (32) 優先日 平成23年10月11日 (2011.10.11)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

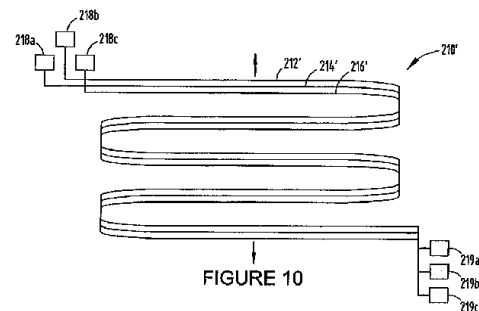
(71) 出願人 397068274  
 コーニング インコーポレイテッド  
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148  
 31 コーニング リヴァーフロント ブ  
 ラザ 1  
 (74) 代理人 100073184  
 弁理士 柳田 征史  
 (74) 代理人 100090468  
 弁理士 佐久間 剛  
 (72) 発明者 ログノフ, ステファン リヴォヴィッチ  
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148  
 30 コーニング パインウッド サーク  
 ル 2780

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光拡散ファイバを使用した多波長光源

## (57) 【要約】

少なくとも1つの可撓性光拡散導波路(210')が、互いに実質的に平行に配置された複数の光拡散導波路セグメント(212', 214', 216')を画成するように配置されており、汎用照明目的のために、またはビデオディスプレイなどのディスプレイにおけるバックライトとして使用するのに適した可撓性照明パネルを提供するために少なくとも1つの光源(218a, 218b, 218c, 219a, 219b, 219c)に結合されている。可撓性ビデオディスプレイを提供するように可撓性マトリクス・アドレス型パネルと組み合わせ使用できる多色可撓性バックライトを提供するために、多数の導波路を異なるカラー光源に結合することができる。



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

可撓性照明パネルにおいて、

あるものから別のものに対して実質的に平行な縦軸を有する複数の導波路セグメントであって、各々が、隣接する導波路セグメントに対して密接に近接している導波路セグメントを画成するように配置された、1つの可撓性光拡散導波路または複数の可撓性光拡散導波路、および

前記1つの可撓性光拡散導波路または前記複数の可撓性光拡散導波路に結合された1つの光源または複数の光源、  
を備えた可撓性照明パネル。

10

**【請求項 2】**

前記光拡散導波路が、

(i) ガラスコアであって、

(a) 前記コア内に複数のナノサイズ構造を有する領域であって、前記光拡散導波路が照明波長で50 dB/km超の散乱誘起減衰を有するように、前記ナノサイズ構造を介して外面に向かって導光を散乱させるように構成されたナノサイズ構造を有する領域と、

(b) 前記複数のナノサイズ構造を有する領域よりも高い屈折率デルタを有する、該複数のナノサイズ構造を有する領域を取り囲む中実ガラス領域と、  
を含むガラスコア、および

20

(ii) 前記コアを取り囲む低屈折率クラッドであって、前記中実ガラス領域よりも低い屈折率デルタを有するクラッド、  
を含む、請求項1または8記載の可撓性照明パネル。

**【請求項 3】**

(i) 前記低屈折率クラッドが、シリカに対して-0.5%未満の屈折率デルタを有する、および/または(ii) 前記低屈折率クラッドが、ガラスまたはポリマーである、および/または(iii) 前記導波路がファイバである、および/または(iv) 前記ナノサイズ構造が、気体が充満した空隙である、および/または(v) 前記ファイバのコアが、50 μm超かつ500 μm未満の直径および/または0.2超の開口数を有する、請求項2記載の可撓性照明パネル。

30

**【請求項 4】**

前記照明パネルから放出される光の色を制御するための手段をさらに備えた、請求項1記載の可撓性照明パネル。

**【請求項 5】**

前記照明パネルから放出される光の色を制御するための手段が、(i) 前記導波路セグメント上および/またはその内部に配置された発光団を備える、および/または(ii) 前記1つの可撓性光拡散導波路または前記複数の可撓性光拡散導波路を、異なる波長で放出する複数の光源に結合させる、請求項4記載の可撓性照明パネル。

**【請求項 6】**

前記導波路セグメント上またはその内部に白色発光団が配置されている、請求項4記載の可撓性照明パネル。

40

**【請求項 7】**

(i) 複数のレーザ光源が、前記1つの可撓性光拡散導波路または複数の可撓性光拡散導波路の各々に多重化される、および/または(ii) 前記導波路セグメントが、2ミリメートル未満の距離だけ、隣接する導波路セグメントから間隔が置かれている、請求項1記載の可撓性照明パネル。

**【請求項 8】**

可撓性表示パネルにおいて、

あるものから別のものに対して実質的に平行な縦軸を有する複数の導波路セグメントであって、各々が、隣接する導波路セグメントに対して密接に近接している導波路セグメン

50

トを画成するように配置された、少なくとも3つの可撓性光拡散導波路、および

画素アレイを画成するように前記複数の導波路セグメントに隣接して配置された平面において点アレイの各々で光を選択的に透過させるまたは遮断するための画素要素、を備えた可撓性表示パネル。

【請求項9】

(i) 前記光を選択的に透過させるまたは遮断するための画素要素が液晶表示パネルである、および/または(ii) 前記画素要素がシャッター要素である、および/または(iii) 各々が異なる波長で放出する少なくとも3つの光源が、前記少なくとも3つの可撓性光拡散導波路の異なる1つに光学的に結合している、請求項8記載の可撓性表示パネル。

10

【請求項10】

(i) 前記3つの光源が赤色、青色および緑色である、および/または(ii) 前記3つの可撓性光拡散導波路の各々の上にまたはその内部に異なる発光団が配置されている、および/または(iii) 前記3つの可撓性光拡散導波路の各々の上にまたはその内部に異なる発光団が配置されており、3つの該発光団が赤色光、青色光および緑色光を放出する、請求項8または9記載の可撓性表示パネル。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の説明】

【0001】

本出願は、その内容がここに依拠され、全てがここに引用される、2011年10月11日に出版された米国仮特許出願第61/545713号の米国法典第35編第119条の下での優先権の恩恵を主張するものである。

20

【技術分野】

【0002】

本開示は、1つ以上の光源に接続できる可撓性光拡散導波路を用いた可撓性照明パネルに関する。

【背景技術】

【0003】

柱、支柱または平らではない他の表面を包み込むためなどの、様々なディスプレイ用途および建築および/または装飾用途において、可撓性照明シートまたはパネルが有用であることが分かっている。そのような可撓性照明シートは、一般に、電極層の間に配された発光団を含むエレクトロルミネセント装置であった。その例に、そのうちの少なくとも一方が透明(例えば、インジウムスズ酸化物膜)である2つの電極の間に設置された有機発光団を有するエレクトロルミネセント層を備えた可撓性有機発光ダイオード(OLED)装置がある。

30

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

OLED装置は比較的急激に劣化するために、可撓性照明シートまたはパネルを提供するための代替の技術が望ましい。

40

【課題を解決するための手段】

【0005】

ある実施の形態によれば、互いに対して実質的に平行な縦軸を有し、互いに対して密接に接近して配置された複数の導波路セグメントを画成するように配置された、1つの可撓性光拡散導波路または複数の可撓性光拡散導波路を含む可撓性照明パネルが提供される。1つの可撓性導波路または複数の可撓性導波路に、1つの光源または複数の光源が結合されている。

【0006】

ある実施の形態において、照明パネルから放出される光の色を制御するための手段が提供される。例えば、ある実施の形態において、照明パネルから放出される光の色は、導波

50

路セグメント上またはその内部に発光団を含ませることによって、予め決定することができる。いくつかの実施の形態において、照明パネルから放出される光の色は、前記可撓性光拡散導波路または複数の光拡散導波路を、異なる波長で発光する複数の光源に結合することによって制御できる。

【0007】

主に照明器具として使用される可撓性照明パネルの場合、導波路セグメント上またはその内部に白色発光団を配置してよい。

【0008】

ある実施の形態によれば、複数の異なる波長の光のいずれかを放出できる可撓性照明パネルは、1つの光拡散導波路または複数の光拡散導波路の各々に多重化された複数の光源を使用することによって、提供される。

10

【0009】

ある実施の形態によれば、光拡散導波路から構成された可撓性照明パネルは、可撓性マトリクス・アドレス型表示パネルのためのバックライトとして使用してよい。いくつかの実施の形態において、可撓性表示パネルは、複数の可撓性光拡散導波路により背面照明されたマトリクス・アドレス型液晶表示パネルを含んでもよい。カラーディスプレイは、例えば、それぞれ対応する赤色、青色および緑色の光源に結合された少なくとも3つの可撓性光拡散導波路を使用することによって、提供できる。

【0010】

追加の特徴および利点は、以下の詳細な説明に述べられており、一部は、その説明から当業者に容易に明白であるか、または以下の詳細な説明、特許請求の範囲、並びに添付図面を含む、ここに記載された実施の形態を実施することによって認識されるであろう。

20

【0011】

先の一般的な説明および以下の詳細な説明は、単なる例示であり、特許請求の範囲の性質および特徴を理解するための概要または骨子を提供することが意図されていることを理解すべきである。添付図面は、さらに理解するために含まれており、本明細書に包含され、その一部を構成する。図面は、1つ以上の実施の形態を図解しており、説明と共に、様々な実施の形態の原理および作動を説明する働きをする。

【図面の簡単な説明】

【0012】

30

【図1】光拡散光ファイバの例示の実施の形態の一部分の側面図

【図2】方向2-2に沿って見たときの、図1の光ファイバの断面図

【図3A】光拡散ファイバの例示の実施の形態に関するファイバの半径に対する相対屈折率プロット

【図3B】光拡散ファイバの別の例示の実施の形態に関するファイバの半径に対する相対屈折率プロット

【図3C】光拡散ファイバの別の例示の実施の形態を示す断面図

【図4A】波長(nm)に対するdB/mで表されたファイバ減衰(損失)を示すグラフ

【図4B】波長(nm)に対するdB/mで表されたファイバ減衰(損失)を示すグラフ

【図5】単一ファイバ内の2回の光通過を利用するファイバ配置を示す説明図

40

【図6A】均一な張力(例a)および可変張力(例b)でファイバが製造された場合の、ファイバに沿った強度分布を示すグラフ

【図6B】白色インクを有する場合とインクを有さない場合の散乱分布関数を示すグラフ

【図7】図5に示されたファイバ(ファイバの後端に結合された反射鏡を有する)に関する散乱と、被覆に白色インクを利用したファイバに関する散乱を示すグラフ

【図8A】照明系の例示の実施の形態を示す説明図

【図8B】フラスコの形態にある生物学的槽と組み合わせて使用された照明系の例示の実施の形態の説明図

【図9】その上にまたはその中に赤色、緑色および青色の蛍光体が配置された3つの異なる可撓性光拡散導波路に結合されたただ1種類の紫外線源を使用した可撓性カラー表示パ

50

ネルのバックライトの説明図

【図 1 0】個々の可撓性光拡散導波路に結合された多数のレーザを使用したカラーディスプレイのバックライトの説明図

【図 1 1】ある実施の形態による可撓性照明パネルの正面図

【図 1 2】可撓性照明パネルが多種多様な非平坦形状に従えることを説明するための管を包み込んだ図 1 1 の可撓性照明パネルの斜視図

【図 1 3】可撓性バックライトおよび液晶ディスプレイを使用した、ある実施の形態によるカラーディスプレイの説明図

【発明を実施するための形態】

【0013】

10

ここで、その実施例が添付図面に図解されている、現在好ましい実施の形態を詳しく参照する。できるときはいつでも、図面に亘り、同じ部品または同様の部品を称するために、同じ参照番号が使用される。

【0014】

以下の詳細な説明は、特許請求の範囲の性質および特徴を理解するための概要または骨子を提供することが意図された実施の形態を提示している。添付図面は、特許請求の範囲のさらなる理解を提供し、本明細書の一部を構成するように含まれ。図面は、様々な実施の形態を図解しており、説明と共に、特許請求の範囲に記載されたこれらの実施の形態の原理および作動を説明する働きをする。

【0015】

20

特許請求の範囲の範囲内の実施例に、様々な改変および変更が行われてよく、異なる実施例の態様は、さらに別の実施例を達成するために異なる様式で組み合わせてもよい。したがって、請求項の真の範囲は、以下に限られないが、ここに記載された実施の形態を考慮して、本開示の全てから判断すべきである。

【0016】

「可撓性光拡散導波路」という用語は、ファイバの側面から光を散乱または拡散して出し、よって、光が導波路のコアから導波路の外面を通して照明を提供するように導波されるために利用されるナノサイズ構造を利用した可撓性光導波路（例えば、光ファイバ）を称する。可撓性光拡散導波路が、ここに全てが引用される、米国特許出願第 12 / 950 045 号（米国特許出願公開第 2011 / 0122646 A 1 号）明細書に開示されている。

30

【0017】

「導波路セグメント」という用語は、ただ 1 本の線状光拡散導波路、もしくは同じ可撓性光拡散導波路の曲げ部分またはセグメントの間に位置する可撓性光拡散導波路の線状部分のいずれかを称してもよい。例えば、ただ 1 本の可撓性光拡散導波路は、あるものが別のものに隣接して配置された一連の平行な導波路セグメントであって、概してある面内に配列された導波路セグメントを提供するために、繰り返し 180 度曲げることができる。

【0018】

「光源」という用語は、レーザ、発光ダイオード、または可視波長範囲内にあるか、または発光団と相互作用して、可視波長範囲の光を放出できる波長のいずれかである電磁放射線を放出できる他の構成要素を称する。

40

【0019】

「放出される光の色を制御する」という表現は、放射光の波長を経時的に所望のように変更できる動的制御、または特定の発光団および / または光源の選択などにより、放出色が予め決定されている受動制御のいずれかを称する。

【0020】

「発光団」という用語は、発光を生じる原子または化合物であって、多種多様なフルオロフォアおよび蛍光体を含む原子または化合物を称する。

【0021】

「水平」、「垂直」、「前方」、「後方」などの用語、およびデカルト座標の使用は、

50

図面における参照のため、および説明を容易にするためであり、説明または特許請求の範囲のいずれにおいても、絶対的な方向および／または向きへの厳密な制限を意図するものではない。

【 0 0 2 2 】

以下の用語および句は、ナノサイズの構造を有する光拡散ファイバに関して使用される。

【 0 0 2 3 】

「屈折率プロファイル」は、屈折率と導波路（ファイバ）の半径との間の関係である。

【 0 0 2 4 】

「相対屈折率パーセント」は、

$$(r)\% = 100 \times [n(r)^2 - n_{\text{REF}}^2] / 2n(r)^2$$

として定義され、式中、別記しない限り、 $n(r)$  は半径  $r$  での屈折率である。屈折率パーセントは、別記しない限り、 $850\text{ nm}$  で定義される。1つの態様において、基準屈折率  $n_{\text{REF}}$  は、 $850\text{ nm}$  での  $1.452498$  の屈折率を有するシリカガラスであり、別の態様において、基準屈折率は、 $850\text{ nm}$  でのクラッドガラスの最大屈折率である。ここに用いたように、別記しない限り、相対屈折率は により表され、その値は「%」の単位で与えられる。ある領域の屈折率が基準屈折率  $n_{\text{REF}}$  より小さい場合、相対屈折率パーセントは負であり、低下領域または低下屈折率を有すると称され、最小相対屈折率は、別記しない限り、相対屈折率が最も負である地点で計算される。ある領域の屈折率が基準屈折率  $n_{\text{REF}}$  より大きい場合、相対屈折率パーセントは正であり、その領域は、上昇している、または正の屈折率を有すると言うことができる。

【 0 0 2 5 】

「アップドーパント (updopant)」は、ここでは、純粋な未ドーブの  $\text{SiO}_2$  に対して屈折率を上昇させる性質を有するドーパントと考えられる。「ダウンドーパント (downdopant)」は、ここでは、純粋な未ドーブの  $\text{SiO}_2$  に対して屈折率を低下させる性質を有するドーパントと考えられる。アップドーパントは、アップドーパントではない 1 種類以上の他のドーパントが含まれるときに、負の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。同様に、アップドーパントではない 1 種類以上の他のドーパントは、正の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。ダウンドーパントは、ダウンドーパントではない 1 種類以上の他のドーパントが含まれるときに、正の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。

【 0 0 2 6 】

同様に、ダウンドーパントではない 1 種類以上の他のドーパントは、負の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在してもよい。

【 0 0 2 7 】

「プロファイル」または「アルファプロファイル」という用語は、 $r$  が半径である、「%」の単位で表される  $(r)$  の観点で表される相対屈折率プロファイルであって、式  $(r) = (r_0) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)])$  に従い、式中、 $r_0$  は、 $(r)$  が最大である地点であり、 $r_1$  は、 $(r)\%$  がゼロである地点であり、 $r$  は範囲  $r_i - r_f$  内にあり、 $r_i$  は先に定義されており、 $r_i$  はプロファイルの開始点であり、 $r_f$  はプロファイルの最終点であり、 $\alpha$  は実数の指数である。

【 0 0 2 8 】

したがって、ここに用いたように、「放物線」という用語は、コア内の 1 つ以上の地点で  $2.0$  の値からわずかに変動してもよい実質的に放物線状の屈折率プロファイル、並びにわずかな変動および／または中心線の下落を有するプロファイルを含む。いくつかの例示の実施の形態において、 $\alpha$  は、 $850\text{ nm}$  で測定して、 $1.5$  より大きくかつ  $2.5$  未満、より好ましくは  $1.7$  より大きくかつ  $2.3$  まで、さらにより好ましくは  $1.8$  と  $2.3$  の間である。他の実施の形態において、屈折率プロファイルの 1 つ以上のセグメントが、 $850\text{ nm}$  で測定して、 $8$  より大きい、より好ましくは  $10$  より大きい、さらにより

好ましくは20より大きい 値を有する実質的にステップ型形状を有する。

#### 【0029】

「ナノ構造のファイバ領域」という用語は、多数(50より多い)の気体充填空隙、または他のナノサイズの構造、例えば、ファイバの断面における50超、100超、または200超の空隙を有する領域または区域を有するファイバを描写する。気体充填空隙は、例えば、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{Kr}$ 、 $\text{Ar}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{N}_2$ 、 $\text{O}_2$ 、またはそれらの混合物を含有してよい。ここに記載されたナノサイズ構造(例えば、空隙)の断面サイズ(例えば、直径)は、10nmから1 $\mu\text{m}$ (例えば、50nm~500nm)で様々であってよく、その長さは、1ミリメートルから50メートルまで(例えば、2mmから5メートル、または5mmから1mの範囲)で様々であってよい。

10

#### 【0030】

標準的な単一モードまたは多モードの光ファイバにおいて、1300nm未満の波長での損失はレイリー散乱により占められる。これらのレイリー散乱損失 $L_s$ は、材料の性質により決まり、典型的に、可視波長(400~700nm)では約20dB/kmである。レイリー散乱損失は強力な波長依存性も有し(すなわち、 $L_s \propto 1/\lambda^4$ 、図4B、比較ファイバAを参照)、これは、入力光の95%超を消散させるためには、少なくとも約1kmから2kmのファイバが必要であることを意味する。より短い長さのそのようなファイバでは、照明効率がより低下するであろうのに対し、長い長さ(1kmから2km、またはそれ以上)を使用すると、より費用がかかり、管理するのが難しくなり得る。長い長さのファイバを、バイオリアクタまたは他の照明系で使用すると、取付けが厄介であろう。

20

#### 【0031】

照明用途のある構成において、より短い長さ、例えば、1~100メートルのファイバを使用することが望ましい。これには、ファイバからの散乱損失の増加が必要とされるのに対し、良好な角散乱特性(ファイバの軸から離れる光の均一な消散)およびファイバの曲げ部での輝点を避けるための良好な曲げ性能を維持することができる。ここに記載された実施の形態の少なくともいくつかの望ましい属性は、ファイバ照明器の長手方向に沿って均一であり、高照度である。光ファイバは可撓性であるので、幅広い照明形状を展開することができる。ファイバの曲げ地点で(高い曲げ損失による)輝点を持たず、よって、ファイバにより提供される照明が、30%を超えて変動しない、好ましくは20%未満、より好ましくは10%未満しか変動しないことが好ましい。例えば、少なくともいくつかの実施の形態において、ファイバの平均散乱損失は50dB/km超であり、散乱損失は、0.2mの長さの任意の所定のファイバセグメントに亘り30%を超えて変動しない(すなわち、散乱損失は平均散乱損失の $\pm 30\%$ 以内である)。少なくともいくつかの実施の形態によれば、ファイバの平均散乱損失は50dB/km超であり、散乱損失は、0.05m未満の長さのファイバセグメントに亘り30%を超えて変動しない。少なくともいくつかの実施の形態によれば、ファイバの平均散乱損失は50dB/km超であり、散乱損失は、0.01mの長さのファイバセグメントに亘り30%を超えて変動しない(すなわち、 $\pm 30\%$ )。少なくともいくつかの実施の形態によれば、ファイバの平均散乱損失は50dB/km超であり、散乱損失は、0.05m未満の長さのファイバセグメントに亘り20%を超えて変動せず(すなわち、 $\pm 20\%$ )、好ましくは10%以下しか変動しない(すなわち、 $\pm 10\%$ )。

30

40

#### 【0032】

少なくともいくつかの実施の形態において、ファイバの側面を通して入る積分(拡散)光強度の強度変動は、ファイバの目標長さについて30%未満であり、この目標長さは、例えば、0.02~100mの長さであり得る。特定の照明波長でファイバの側面を通る積分光の強度は、クラッドまたは被覆中に蛍光物質を組み込むことによって変えることができる。蛍光物質による光散乱の波長は、ファイバ中を伝搬する光の波長とは異なる。

#### 【0033】

以下の例示の実施の形態のいくつかにおいて、ファイバのコア区域に、またはコアの非

50

常に近くに配置されたナノ構造ファイバ領域（ナノサイズ構造を有する領域）を有するファイバ設計について記載する。ファイバの実施の形態のいくつかは、50 dB/kmを上回る（例えば、100 dB/km超、200 dB/km超、500 dB/km超、1000 dB/km超、3000 dB/km超、5000 dB/km超の）散乱損失を有し、その散乱損失（およびそれゆえ照明、またはこれらのファイバにより照射される光）は角度間隔で均一である。

#### 【0034】

ファイバにおける曲げ部での輝点を減少させるまたはなくすために、ファイバにおける90°の曲げでの減衰の増加は、曲げ直径が50 mm未満である場合、5 dB/turn未満（例えば、3 dB/turn未満、2 dB/turn未満、1 dB/turn未満）であることが望ましい。例示の実施の形態において、これらの低い曲げ損失は、さらに小さい曲げ直径、例えば、20 mm未満、10 mm未満、さらには5 mm未満で達成される。減衰の総増加が、5 mmの曲げ半径で90度の曲げ当たり1 dB未満であることが好ましい。

10

#### 【0035】

いくつかの実施の形態によれば、曲げ損失は、真っ直ぐなファイバのコアからの固有散乱損失と等しいまたはそれより低いことが好ましい。固有損失は主に、ナノサイズ構造からの散乱によるものである。それゆえ、少なくとも光ファイバの曲げに対して感度の低い実施の形態によれば、曲げ損失は、ファイバの固有散乱を超えない。しかしながら、散乱レベルは曲げ直径の関数であるので、ファイバの曲げ部の配置は、その散乱レベルに依存する。例えば、実施の形態のいくつかにおいて、ファイバは、3 dB/turn未満、好ましくは2 dB/turn未満の曲げ損失を有し、ファイバは、輝点を形成せずに、5 mmの半径ほど小さい半径を有する円弧に曲げることができる。

20

#### 【0036】

図1は、中心軸（「中心線」）16を有する光拡散光ファイバ（以後、「ファイバ」）12のコアに複数の空隙を有する光拡散ファイバの例示の実施の形態の一部分の説明のための側面図である。図2は、図1の方向2-2に沿って見た場合の光拡散光ファイバ12の説明のための断面図である。光拡散ファイバ12は、例えば、周期的または非周期的ナノサイズ構造32（例えば、空隙）を有するナノサイズファイバ領域を持つ様々なタイプの光ファイバのいずれの1つであって差し支えない。例示の実施の形態において、ファイバ12は、3つの部分または領域に分割されたコア20を有する。これらのコア領域は、中実中央部分22、ナノ構造リング部分（内側環状コア領域）26、および内側環状コア領域26を取り囲む外側中実部分28である。クラッド領域40（「クラッド」）は、環状コア20を取り囲み、外面を有する。クラッド40は、高い開口数（NA）を提供するために低い屈折率を有してもよい。クラッド40は、例えば、UVまたは熱硬化性フルオロアクリレートまたはシリコンなどの低屈折率ポリマーであって差し支えない。

30

#### 【0037】

随意的な被覆44がクラッド40を取り囲んでいる。被覆44は、低い弾性率の一次被覆層および高い弾性率の二次被覆層を含んでもよい。少なくともいくつかの実施の形態において、被覆44は、アクリレート系またはシリコン系ポリマーなどのポリマー被覆を含む。少なくともいくつかの実施の形態において、その被覆は、ファイバの長手方向に沿って一定の直径を有する。

40

#### 【0038】

下記に記載される他の例示の実施の形態において、被覆44は、コア20からクラッド40に通過する「放射光」の分布および/または性質を向上させるように設計されている。クラッド40の外面または随意的な被覆44の外面は、ファイバ12の「側面」48を表し、そこを通過して、ファイバを移動する光は、ここに記載されるように、散乱によって出る。

#### 【0039】

保護カバーまたはシース（図示せず）がクラッド40を必要に応じて覆う。ファイバ1

50



2 はフッ素化クラッド 40 を含んでもよいが、漏れ損失により照明特性が低下しない長さの短い用途にファイバを使用する場合には、フッ素化クラッドは必要ない。

【0040】

いくつかの例示の実施の形態において、光拡散ファイバ 12 のコア領域 26 はガラス基質（「ガラス」）31 を含み、図 2 の拡大された挿入図に詳しく示されている例示の空隙などの非周期的に配置された複数のナノサイズ構造（例えば、「空隙」）32 がその中に位置している。別の例示の実施の形態において、空隙 32 は、フォトニック結晶光ファイバにおけるように周期的に配置されていてもよく、この空隙は典型的に、約  $1 \times 10^{-6} \text{m}$  と  $1 \times 10^{-5} \text{m}$  の間の直径を有する。空隙 32 は、非周期的すなわち無作為に配置されていてよい。いくつかの例示の実施の形態において、領域 26 におけるガラス 31 はフッ素ドープトシリカであるのに対し、他の実施の形態において、そのガラスは未ドープの純粋なシリカである。空隙の直径が少なくとも 10 nm であることが好ましい。

10

【0041】

ナノサイズ構造 32 は、コア 20 からファイバの外面向かって光を散乱させる。次いで、散乱光は、ファイバ 12 の外面を通して「拡散されて」、所望の照明を提供する。すなわち、光のほとんどは、ファイバの長手方向に沿って、ファイバ 12 の側面を通して拡散される（散乱により）。ファイバがその長さに亘り実質的に均一な放射線を放出し、ファイバが、放出された放射線の波長（照明波長）において 50 dB/km 超の散乱誘起減衰を有することが好ましい。散乱誘起減衰がこの波長で 100 dB/km 超であることが好ましい。いくつかの実施の形態において、散乱誘起減衰は、この波長で 500 dB/km 超であり、いくつかの実施の形態において、1000 dB/km 超、2000 dB/km 超、または 5000 dB/km 超である。これらの高い散乱損失は、標準的な単一モードおよび多モードの光ファイバにおけるレイリー散乱損失よりも約 2.5 から 250 倍大きい。

20

【0042】

コア領域 22 および 28 におけるガラスは、Ge、Al、および/または P などのアップドープメントを含んでもよい。「非周期的に配置された」または「非周期的分布」により、光ファイバの（図 2 に示されるような）断面をとったときに、空隙 32 がファイバの一部に亘り無作為にすなわち非周期的に分布していることを意味する。ファイバの長手方向に沿った異なる地点でとられた類似の断面は、異なる断面空隙パターンを示す、すなわち、様々な断面は異なる空隙パターンを有し、空隙の分布と空隙のサイズは一致しない。すなわち、空隙は非周期的である、すなわち、それらは、ファイバ構造内に周期的に配置されていない。これらの空隙は、光ファイバの長手方向に沿って（すなわち、縦軸に対して平行に）引き伸ばされて（細長くなって）いるが、伝送ファイバの一般的な長さについて、ファイバ全体の全長に延在しない。理論により拘束することを意図するものではないが、空隙は 10 メートル未満しか、多くの場合には、ファイバの長手方向に沿って 1 メートル未満しか延在しないと考えられる。

30

【0043】

以下に論じられる照明系においてここに使用される光拡散ファイバ 12 は、固結されたガラスブランクにおいて多量の気体が捕捉され、それによって、固結ガラス製光ファイバプリフォームにおいて空隙を形成するプリフォーム固結条件を利用する方法によって、製造することができる。これらの空隙を除去するための工程をとらずに、結果として得られたプリフォームを使用して、その中に空隙、すなわちナノサイズ構造を有する光ファイバを形成する。得られたファイバのナノサイズ構造または空隙は、ファイバの長手方向に沿って、ファイバから、その側面を通じて光を散乱させる、または導くために用いられる。すなわち、その光は、コア 20 から離れて、ファイバの外面を通じて導波されて、所望の照明を提供する。

40

【0044】

ここに用いたように、空隙などのナノサイズ構造の直径は、ナノサイズ構造内に収容された最長の線セグメントであり、その端点は、光ファイバが、ファイバの縦軸を横断する

50

垂直断面で見たときに、ナノサイズ構造の境界にある。ナノサイズ空隙を有する光ファイバを製造する方法が、例えば、ここに引用する米国特許出願第 11 / 583098 号（米国特許出願公開第 2007 / 0104437 A 1 号）明細書に記載されている。

【0045】

上述したように、ファイバ 12 のいくつかの実施の形態において、コア部分 22 および 28 は、ゲルマニウムがドーブされたシリカ、すなわち、ゲルマニアドーブトシリカからなる。ゲルマニウム以外のドーバントが、単独でまたは組合せで、コア内に、特に光ファイバの中心線 16 にまたはその近くに用いられて、所望の屈折率と密度を得てもよい。少なくともいくつかの実施の形態において、ここに開示された光ファイバの相対屈折率プロファイルは、部分 22 および 28 において負ではない。これらのドーバントは、例えば、A1、Ti、P、Ge、またはそれらの組合せであってよい。少なくともいくつかの実施の形態において、光ファイバは、コアに屈折率減少ドーバントを含有しない。いくつかの実施の形態において、ここに開示された光ファイバの相対屈折率プロファイルは、部分 22、24 および 28 において負ではない。

10

【0046】

ここに使用したファイバ 12 のいくつかの例において、コア 20 は純粋なシリカからなる。1つの実施の形態において、ファイバの好ましい属性は、生物学的物質の感受性がある所望のスペクトル範囲の光をファイバから散乱させる（光を拡散させる）能力である。別の実施の形態において、散乱光は、装飾的特徴および白色光用途に使用してもよい。散乱による損失の量は、ファイバ中のガラスの性質、ナノ構造領域 26 の幅、およびナノサイズ構造のサイズと密度を変えることによって増加させることができる。

20

【0047】

ここに使用したファイバ 12 のいくつかの例において、コア 20 はグレーデッド型コアであり、そのコアの屈折率プロファイルは、放物線（または実質的に放物線）形状を有することが好ましい；例えば、いくつかの実施の形態において、コア 20 の屈折率プロファイルは、850 nm で測定して、約 2 の、好ましくは 1.8 と 2.3 の間の値を有する形状を有する。他の実施の形態において、屈折率プロファイルの 1 つ以上のセグメントは、850 nm で測定して、8 超の、より好ましくは 10 超の、さらにより好ましくは 20 超の値を有する実質的にステップ型形状を有する。いくつかの実施の形態において、コアの屈折率は、中心線の下落を有してよく、ここで、コアの最大屈折率、および全光ファイバの最大屈折率は、中心線 16 からわずかな距離だけ離れて位置しているが、他の実施の形態において、コアの屈折率は、中心線の下落は有さず、コアの最大屈折率、および全光ファイバの最大屈折率は、中心線に位置している。

30

【0048】

例示の実施の形態において、ファイバ 12 は、シリカ系コア 20 および屈折率が（シリカに対して）低下したポリマークラッド 40 を有する。低屈折率ポリマークラッド 40 は、好ましくは負の、より好ましくは -0.5% 未満の、さらにより好ましくは -1% 未満の相対屈折率を有する。いくつかの例示の実施の形態において、クラッド 40 は、20  $\mu$ m 以上の厚さを有する。いくつかの例示の実施の形態において、クラッド 40 は、コアより低い屈折率、および 10  $\mu$ m 以上の（例えば、20  $\mu$ m 以上の）厚さを有する。いくつかの例示の実施の形態において、クラッドは、外径の 2 倍の  $R_{max}$ 、例えば、約 125  $\mu$ m（例えば、120  $\mu$ m から 130  $\mu$ m、または 123  $\mu$ m から 128  $\mu$ m）の  $R_{max}$  を有する。他の実施の形態において、クラッドは、120  $\mu$ m 未満、例えば、60 または 80  $\mu$ m の直径を有する。他の実施の形態において、クラッドの外径は、200  $\mu$ m 超、300  $\mu$ m 超、または 500  $\mu$ m 超である。いくつかの実施の形態において、クラッドの外径は、ファイバ 12 の長手方向に沿って一定の直径を有する。いくつかの実施の形態において、ファイバ 12 の屈折率は放射対称である。コア 20 の外径  $2R_3$  がファイバの長手方向に沿って一定であることが好ましい。コア部分 22、26、28 の外径も、ファイバの長手方向に沿って一定であることが好ましい。一定により、平均値に対する直径の変動は、10% 未満、好ましくは 5% 未満、より好ましくは 2% 未満であることを意味する。

40

50

図 3 A は、図 2 に示された例示のファイバ 1 2 に関するファイバの半径に対する例示の相対屈折率のプロット（実線）である。コア 2 0 は、例えば、1.8 と 2.3 の間（例えば、1.8 から 2.1）の値を有する、プロファイルを有するクレデッド型コアプロファイルをもよい。

【0049】

図 3 A は、図 2 に示された例示のファイバ 1 2 に関するファイバの半径に対する例示の相対屈折率のプロット（実線）である。コア 2 0 は、例えば、1.7 と 2.3 の間（例えば、1.8 から 2.1）の値により特徴付けられる、クレデッド型コアプロファイルをもよい。代替の例示の屈折率プロファイルが点線により示されている。コア領域 2 2 は、中心線から放射状に外側に外径  $R_1$  まで延在し、最大屈折率  $n_1$  に対応する相対屈折率プロファイル  $_1(r)$ （および相対屈折率パーセント  $_{1MAX}$ ）を有する。この実施の形態において、基準屈折率  $n_{REF}$  は、クラッドの屈折率である。第 2 のコア領域（ナノ構造領域）2 6 は、最小相対屈折率  $n_2$ 、相対屈折率プロファイル  $_2(r)$ 、最大屈折率  $_{2MAX}$ 、および最小相対屈折率  $_{2MIN}$  を有し、いくつかの実施の形態において、 $_{2MAX} = _{2MIN}$  である。第 3 のコア領域 2 8 は、最大屈折率  $n_3$  と、最大屈折率  $_{3MAX}$ 、および最小相対屈折率  $_{3MIN}$  を有する相対屈折率プロファイル  $_3(r)$  とを有し、 $_{3MAX} = _{3MIN}$  である。この実施の形態において、環状クラッド 4 0 は、屈折率  $n_4$  と、最大屈折率  $_{4MAX}$ 、および最小相対屈折率  $_{4MIN}$  を有する相対屈折率プロファイル  $_4(r)$  とを有する。いくつかの実施の形態において、 $_{4MAX} = _{4MIN}$  である。いくつかの実施の形態において、 $_{1MAX} > _{4MAX}$  および  $_{3MAX} > _{4MAX}$  である。いくつかの実施の形態において、 $_{2MAX} > _{4MAX}$  である。図 2 および 3 A に示された実施の形態において、 $_{1MAX} > _{3MAX} > _{2MAX} > _{4MAX}$  である。この実施の形態において、これらの領域の屈折率は以下の関係を有する： $n_1 > n_3 > n_2 > n_4$ 。

【0050】

いくつかの実施の形態において、コア領域 2 2、2 8 は、 $_1(r)$  および  $_3(r)$  が一定である図 3 A に示されるように、実質的に一定の屈折率プロファイルをも有する。これらの実施の形態のいくつかにおいて、 $_2(r)$  は、わずかに正であるか（ $0 < _2(r) < 0.1\%$ ）、わずかに負であるか（ $-0.1\% < _2(r) < 0$ ）、または 0% のいずれかである。いくつかの実施の形態において、 $_2(r)$  の絶対大きさは、0.1% 未満、好ましくは 0.05% 未満である。いくつかの実施の形態において、外側のクラッド領域 4 0 は、 $_4(r)$  が一定である図 3 A に示されるように、実質的に一定の屈折率プロファイルをも有する。これらの実施の形態のいくつかにおいて、 $_4(r) = 0\%$  である。コア部分 2 2 は、 $_1(r) = 0\%$  である屈折率をも有する。いくつかの実施の形態において、空隙充填領域 2 6 は、絶対大きさが 0.05% 未満である負の屈折率をも有する相対屈折率プロファイル  $_2(r)$  を有し、コア領域 2 8 の  $_3(r)$  は、例えば、正またはゼロであって差し支えない。少なくともいくつかの実施の形態において、 $n_1 > n_2$  および  $n_3 > n_4$  である。

【0051】

いくつかの実施の形態において、クラッド 4 0 は、屈折率  $-0.05\% < _4(r) < 0.05\%$  を有する。他の実施の形態において、クラッド 4 0 およびコア部分 2 0、2 6 および 2 8 は、純粋な（未ドーピングの）シリカからなってもよい。

【0052】

いくつかの実施の形態において、クラッド 4 0 は、純粋なシリカまたは F ドーピングシリカからなる。いくつかの実施の形態において、クラッド 4 0 は、純粋な低屈折率ポリマーからなる。いくつかの実施の形態において、ナノ構造領域 2 6 は、複数の空隙 3 2 を含む純粋なシリカからなる。ナノ構造領域 2 6 の最小相対屈折率および平均有効相対屈折率は、空隙の存在を考慮すると、両方とも、 $-0.1\%$  未満である。空隙または空隙 3 2 は、アルゴン、窒素、酸素、クリプトン、または  $SO_2$  などの 1 種類以上の気体を含んでもよく、もしくは実質的に気体を含まない真空であっても差し支えない。しかしながら、気体の存在または不在にかかわらず、ナノ構造領域 2 6 の平均屈折率は、空隙 3 2 の存在に

より低下している。空隙 32 は、ナノ構造領域 26 において無作為に、すなわち非周期的に配置されて差し支えなく、他の実施の形態において、空隙はその中に周期的に配置されている。

#### 【0053】

いくつかの実施の形態において、複数の空隙 32 は、複数の非周期的に配置された空隙および複数の周期的に配置された空隙を含む。

#### 【0054】

例示の実施の形態において、コア部分 22 はゲルマニウムドーブトシリカからなり、コア内側環状領域 28 は純粋なシリカからなり、クラッド環状領域 40 はガラスまたは低屈折率ポリマーからなる。これらの実施の形態のいくつかにおいて、ナノ構造領域 26 は純粋なシリカ内に複数の空隙 32 を含み、これらの実施の形態のさらに他のものにおいて、ナノ構造領域 26 はフッ素ドーブトシリカ内に複数の空隙 32 を含む。

#### 【0055】

いくつかの実施の形態において、コアの外径  $R_c$  は、 $10\text{ }\mu\text{m}$  より大きく、 $600\text{ }\mu\text{m}$  未満である。いくつかの実施の形態において、コアの外径  $R_c$  は、 $30\text{ }\mu\text{m}$  超および/または  $400\text{ }\mu\text{m}$  未満である。例えば、 $R_c$  は  $125\text{ }\mu\text{m}$  から  $300\text{ }\mu\text{m}$  であってよい。他の実施の形態において、コア 20 の外径  $R_c$  (図 3A に示された実施の形態において、 $R_c = R_3$  であることに留意されたい) は、 $50\text{ }\mu\text{m}$  より大きく、 $250\text{ }\mu\text{m}$  未満である。コア 20 の中央部分 22 は、範囲  $0.1R_c \leq R_1 \leq 0.9R_c$ 、好ましくは  $0.5R_c \leq R_1 \leq 0.9R_c$  にある半径を有する。ナノ構造環領域 26 の幅  $W_2$  は、好ましくは  $0.05R_c \leq W_2 \leq 0.9R_c$ 、好ましくは  $0.1R_c \leq W_2 \leq 0.9R_c$ 、およびいくつかの実施の形態において、 $0.5R_c \leq W_2 \leq 0.9R_c$  である (より幅広いナノ構造領域は、同じ密度のナノサイズ構造について、より高い散乱誘起減衰を生じる)。中実ガラスコア領域 28 は、 $0.1R_c > W_3 > 0.9R_c$  となるような幅  $W_s = W_3$  を有する。コア 20 の各部分はシリカ系ガラスからなる。ナノ構造領域 26 の半径方向幅  $W_2$  は  $1\text{ }\mu\text{m}$  より大きいことが好ましい。例えば、 $W_2$  は、 $5\text{ }\mu\text{m}$  から  $300\text{ }\mu\text{m}$ 、好ましくは  $200\text{ }\mu\text{m}$  以下であってよい。いくつかの実施の形態において、 $W_2$  は、 $2\text{ }\mu\text{m}$  より大きく、 $100\text{ }\mu\text{m}$  未満である。他の実施の形態において、 $W_2$  は、 $2\text{ }\mu\text{m}$  より大きく、 $50\text{ }\mu\text{m}$  未満である。他の実施の形態において、 $W_2$  は、 $2\text{ }\mu\text{m}$  より大きく、 $20\text{ }\mu\text{m}$  未満である。いくつかの実施の形態において、 $W_2$  は少なくとも  $7\text{ }\mu\text{m}$  である。他の実施の形態において、 $W_2$  は、 $2\text{ }\mu\text{m}$  より大きく、 $12\text{ }\mu\text{m}$  未満である。コア領域 28 の幅  $W_3$  は  $(R_3 - R_2)$  であり、その中点  $R_{3MID}$  は  $(R_3 + R_2) / 2$  である。いくつかの実施の形態において、 $W_3$  は、 $1\text{ }\mu\text{m}$  より大きく、 $100\text{ }\mu\text{m}$  未満である。

#### 【0056】

ファイバ 12 の開口数 (NA) は、光をファイバに方向付ける光源の NA と等しいかまたはそれより大きいことが好ましい。ファイバ 12 の開口数 (NA) は、好ましくは  $0.2$  超、いくつかの実施の形態において  $0.3$  超、さらにより好ましくは  $0.4$  超である。

#### 【0057】

いくつかの実施の形態において、第 1 のコア領域 22 のコア外径  $R_1$  は、 $24\text{ }\mu\text{m}$  以上かつ  $50\text{ }\mu\text{m}$  以下であることが好ましい、すなわち、コアの直径が約  $48\text{ }\mu\text{m}$  と  $100\text{ }\mu\text{m}$  の間にある。他の実施の形態において、 $R_1 > 24\text{ }\mu\text{m}$ 、さらに他の実施の形態において、 $R_1 > 30\text{ }\mu\text{m}$ 、さらに他の実施の形態において、 $R_1 > 40\text{ }\mu\text{m}$  である。

#### 【0058】

いくつかの実施の形態において、環状内側領域 26 の半径方向幅  $W_2$  の  $50\%$  超について、 $|n_2(r)| < 0.025\%$  であり、他の実施の形態において、領域 26 の半径方向幅の  $50\%$  超について、 $|n_2(r)| < 0.01\%$  である。屈折率低下環状部分 26 は、クラッドの相対屈折率が  $-0.05\%$  の値に最初に到達する場所で始まり、中心線から放射状に外方に進む。いくつかの実施の形態において、クラッド 40 は、 $0.1\%$  未満の最大絶対大きさを有する相対屈折率プロファイル  $n_4(r)$  を有し、この実施の形態において、 $n_{4MAX} < 0.05\%$  および  $n_{4MIN} > -0.05\%$  であり、屈折率低下環状部分 2

10

20

30

40

50

6 は、最も外側の空隙が見つかる場所で終わる。

【0059】

クラッド構造40は半径 $R_4$ まで延在し、これは、光ファイバの最も外側の外周でもある。いくつかの実施の形態において、クラッドの幅 $R_4 - R_3$ は $20\mu\text{m}$ より大きく、他の実施の形態において、 $R_4 - R_3$ は少なくとも $50\mu\text{m}$ であり、いくつかの実施の形態において、 $R_4 - R_3$ は少なくとも $70\mu\text{m}$ である。

【0060】

別の実施の形態において、全コア20はナノ構造（例えば、空隙で満たされている）であり、コア20はクラッド40により取り囲まれている。コア20は、「ステップ型」屈折率デルタを有してよく、または例えば、1.8と2.3の間の値を有するプロファイルを持つグレーデッド型コアプロファイルを有してよい。

【0061】

例えば、図3C、4Aおよび6～8に示された光プリフォームおよび光ファイバの調製は以下のとおりであった：この例示の実施の形態において、470グラムの $\text{SiO}_2$ （ $0.5\text{g/cc}$ の密度）スートを、完全に固結された1メートル長、20mmの直径の純粋なシリカの、空隙なしコアケイン上に外付け法（OVD法）により堆積させて、シリカスート領域により取り囲まれた、固結済みの空隙なしシリカコア領域を含むプリフォームアセンブリ（ときには、プリフォーム、または光プリフォームと称される）が得られた。次いで、このプリフォームアセンブリのスートクラッドを以下のように焼結した。このプリフォームアセンブリを、最初に、炉の上部が1100である、ヘリウムおよび3パーセントの塩素（全て気体の体積パーセント）を含む雰囲気内で2時間に亘り乾燥させ、その後、100パーセントの $\text{SO}_2$ （体積）の焼結雰囲気内において約1500に設定された高温区域に通して、200mm/分（下方駆動プロセス中にスートプリフォームの外部について、約100/分の温度上昇に相当する）で下方に駆動した。次いで、プリフォームアセンブリを、100mm/分（下方駆動プロセス中にスートプリフォームの外部について、約50/分の温度上昇に相当する）の速度で高温区域に通して再び（すなわち、2回目）下方に駆動した。次いで、プリフォームアセンブリを、50mm/分（下方駆動プロセス中にスートプリフォームの外部について、約25/分の温度上昇に相当する）の速度で高温区域に通して再び（すなわち、3回目）下方に駆動した。次いで、プリフォームアセンブリを、25mm/分（下方駆動プロセス中にスートプリフォームの外部について、約12.5/分の温度上昇に相当する）の速度で高温区域に通して再び（すなわち、4回目）下方に駆動し、次いで、スートを $\text{SO}_2$ ぬかあわ入り(seeded)シリカオーバークラッドプリフォームに焼結するために、6mm/分（約3/分の熱上昇速度）で最後に焼結した。各下方駆動工程後、プリフォームアセンブリを、200mm/分で炉の上部（1100に設定されたまま）に上方駆動した。最初の一連のより高い下方供給速度は、プリフォーム内へのガス閉込めを容易にする、光ファイバプリフォームの外側をガラス化するために使用される。次いで、このプリフォームを、1000に設定されたアルゴンパージ保持オープン内に24時間に亘り配置して、プリフォーム内に残留するヘリウムをガス抜きした。次いで、このプリフォームを、約1700に設定した従来のリドロ用黒鉛炉のアルゴン雰囲気において、直径が10mmであり、長さが1メートルである、空隙のない $\text{SiO}_2$ コアの $\text{SO}_2$ ぬかあわ入り（すなわち、 $\text{SO}_2$ ガスを含有する非周期的に位置する空隙を含有する）シリカオーバークラッドケインにリドロした。

【0062】

10mmケインの内の1本を旋盤に戻し、そこで、約190グラムの追加の $\text{SiO}_2$ （ $0.52\text{g/cc}$ の密度）スートをOVD法により堆積させた。次いで、このアセンブリのこのクラッド（オーバークラッドと称してもよい）のスートを以下のように焼結した。最初に、アセンブリを、1100に設定した、ヘリウムおよび3%の塩素からなる雰囲気内で2時間に亘り乾燥させ、その後、スートを、ゲルマニウムを含有する、空隙なし $\text{SiO}_2$ コア、シリカ $\text{SO}_2$ ぬかあわ入りリング（すなわち、 $\text{SO}_2$ を含有する空隙を有するシリカ）、および空隙なしオーバークラッドプリフォームに焼結するために、100%の

ヘリウム（体積）雰囲気内で1500 に設定した高温区域に5 mm / 分で下方に駆動した。このプリフォームを、1000 に設定されたアルゴンパージ保持オープン内に24時間に亘り配置して、プリフォームから残留するヘリウムをガス抜きした。この光ファイバプリフォームを、黒鉛抵抗炉のヘリウム雰囲気内で約1900 から2000 で、3 kmの長さの125マイクロメートルの直径の光ファイバに線引きした。この光プリフォームの温度は、光ファイバの張力をモニタし、制御することによって制御した。この実施の形態において、ファイバの張力は、線引きしたファイバの各部分（例えば、3 kmの長さ）の作製中、30グラムと600グラムの間の1つの値に保持した。線引きプロセス中に、ファイバを低屈折率シリコン系被覆で被覆した。

#### 【0063】

先に記載した別の10 mmの空隙なしシリカコアSiO<sub>2</sub>ぬかあわ入りシリカオーバークラッドケイン（すなわち、第2のケイン）を使用して、図4Bに示された実施例のための光プリフォームおよび光ファイバを製造した。より詳しくは、第2の10 mmの空隙なしシリカコアSiO<sub>2</sub>ぬかあわ入りシリカオーバークラッドケインを旋盤に戻し、そこで、約3750グラムの追加のSiO<sub>2</sub>（0.67 g / ccの密度）スートをOVD法により堆積させた。次いで、このクラッドのスート（このアセンブリについてはオーバークラッドと呼んでもよい）を以下のように焼結した。最初に、アセンブリを、1100 に設定した、ヘリウムおよび3%の塩素を含む雰囲気内で2時間に亘り乾燥させ、その後、スートを、ゲルマニウムを含有する、空隙なしSiO<sub>2</sub>コア、シリカSiO<sub>2</sub>ぬかあわ入りリング（すなわち、SiO<sub>2</sub>を含有する空隙を有するシリカ）、および空隙なしオーバークラッドを含むプリフォームに焼結するために、100%のヘリウム（体積）雰囲気内で1500 に設定した高温区域に5 mm / 分で下方に駆動した。得られた光ファイバプリフォームを、1000 に設定されたアルゴンパージ保持オープン内に24時間に亘り配置して、プリフォームから残留するヘリウムをガス抜きした。最後に、この光ファイバプリフォームを、上述したように、5 kmの長さの125マイクロメートルの直径の光ファイバに線引きし、低屈折率ポリマーで被覆した。

#### 【0064】

図3Bは、光拡散ファイバ12のさらに別の例示の実施の形態を図解している。図3Bのファイバは、相対屈折率 $n_1$ を有するコア20、コア20上に位置するそれを取り囲むナノ構造領域26'を含む。コア20は、「ステップ型」屈折率プロファイル、または例えば、1.8と2.3の間の $n_1$ 値を有するプロファイルを持つグレーデッド型コアプロファイルを有してもよい。

#### 【0065】

この例示の実施の形態（図3B参照）において、ナノ構造領域26'は、複数の空隙32を有する環状リングである。領域26'の幅は、1~2 μmほど小さくて差し支えなく、負の平均相対屈折率 $n_2$ を有してもよい。クラッド40はナノ構造領域26'を取り囲んでいる。クラッド40の（半径方向）幅は1 μmほど小さくてもよく、クラッドは、（純粋なシリカに対して）負の、正の、または0%の相対屈折率のいずれを有してもよい。図3Aおよび3Bにおける実施例間の主な違いは、図3Aに示されたナノ構造領域は、光拡散ファイバ12のコア20内に位置しており、図3Bにおいて、ナノ構造領域はコア/クラッドの界面に位置していることである。屈折率低下環状部分26'は、コアの相対屈折率が最初に-0.05%未満の値に到達する場所で始まり、中心線から放射状に外方に進む。図3Bの実施の形態において、クラッド40は、0.1%未満の最大絶対大きさを有する相対屈折率プロファイル $n_3(r)$ を有し、この実施の形態において、 $n_{3MAX} < 0.05\%$ および $n_{3MIN} > -0.05\%$ であり、屈折率低下環状部分26'は、空隙で満たされた領域において最も外側の空隙が生じる場所で終わる。

#### 【0066】

図3Bに示された実施の形態において、コア20の屈折率は、環状領域26'の屈折率 $n_2$ より大きく、クラッド40の屈折率 $n_3$ も屈折率 $n_2$ より大きい。

#### 【0067】

10

20

30

40

50

図3Cは、製造された光ファイバ12の1つの実施の形態のコア20を図解している。このファイバは、約 $33.4\mu\text{m}$ の外径 $R_1$ を有する第1のコア領域22、外径 $R_2 = 42.8\mu\text{m}$ のナノ構造領域26、外径 $R_3 = 62.5\mu\text{m}$ を有する第3のコア領域28、および $82.5\mu\text{m}$ の外径 $R_4$ を有するポリマークラッド40（図示せず）を有する。この実施の形態において、コアの材料は純粋なシリカ（未ドーブシリカ）であり、クラッドの材料は低屈折率ポリマー（例えば、Q3-6696の商品名でミシガン州、ミッドランド所在のDow-Corning社から市販されている1.413の屈折率を有するUV硬化性シリコン）であり、これは、ガラスコアとともに、0.3のファイバNAをもたらした。光ファイバ12は、例えば、図4Bに示されるSMF-28e<sup>R</sup>ファイバなどの標準的な単一モード伝送ファイバと比べて、波長への依存性が比較的平ら（弱い）である。標準的な単一モード（SMF-28e<sup>R</sup>などの）または多モード光ファイバにおいて、1300nm未満の波長での損失はレイリー散乱により占められる。これらのレイリー散乱損失は、材料の性質により決まり、典型的に、可視波長（400~700nm）について約20dB/kmである。レイリー散乱損失の波長依存性は、 $p^{-4}$ で $\lambda^{-p}$ に比例する。少なくとも1つのナノ構造領域を含むファイバにおける波長依存性散乱損失の指数は、400nm~1100nm波長範囲の少なくとも80%（例えば、90%超）に亘り、2未満、好ましくは1未満である。400nmから1100nmまでの平均スペクトル減衰は、ファイバを40gの張力で線引きした場合、約0.4dB/mであり、ファイバ12を90gの張力で線引きした場合、約0.1dB/mであった。この実施の形態において、ナノサイズ構造はSO<sub>2</sub>ガスを含有している。出願人は、ナノ構造リングにおけるSO<sub>2</sub>が充満した空隙は散乱に大きく寄与することを発見した。さらに、ナノ構造を形成するためにSO<sub>2</sub>ガスを使用した場合、このガスにより、熱的に可逆の損失が得られる、すなわち、600未満では、ナノ構造ファイバは光を散乱させるが、600超では、その同じファイバは光を導波する。SO<sub>2</sub>が与えるこの独特の挙動は、同じファイバを600未満に冷却した際に、ファイバ12は、光拡散ファイバとして働き、再び、観察できる散乱効果を生じるといっても可逆である。

#### 【0068】

好ましい実施の形態において、ファイバの長手方向に沿った照明の均一性は、線引きプロセス中のファイバ張力を制御することにより、または適切な線引き張力（例えば、30gと100gの間、または40gと90gの間）を選択することにより、最小散乱照明強度が最大散乱照明強度の0.7以上であるように制御される。

#### 【0069】

したがって、いくつかの実施の形態によれば、ファイバの長手方向に沿った照明の均一性を制御するための光拡散ファイバを製造する方法であって、最小散乱照明強度が最大散乱照明強度の0.7以上である方法は、線引きプロセス中にファイバの張力を制御する工程を含む。

#### 【0070】

光拡散ファイバ12におけるナノサイズ構造の存在は、光散乱による損失を生じ、このファイバの外面を通る光散乱は、照明目的に使用することができる。図4Aは、図3Cのファイバ（SO<sub>2</sub>ガスが充満した空隙を有するファイバ）に関する波長（nm）に対するdB/mで表された減衰（損失）のプロットである。図4Aは、（i）光拡散ファイバ12は、可視波長範囲において非常に大きい散乱損失を達成できる（それゆえ、高い照明強度を提供できる）ことを示している。光ファイバ12の散乱損失は、可視波長範囲において約0.02dB/mの、または500nmの波長で約20dB/mのレイリー散乱損失、および $1/\lambda^4$ の比較的強い波長依存性を有する標準の125 $\mu\text{m}$ のグレーデッド型コア多モード比較ファイバA（ファイバAは、ナノ構造領域を持たないステップ型多モードファイバ）と比べて、弱い波長依存性を有する（ $L_s$ は $1/\lambda^p$ に比例し、 $p$ は2未満、好ましくは1未満、さらにより好ましくは0.5未満である）。ファイバ12の張力の影響も、図4A~4Bに示されている。より詳しくは、図4A~4Bは、ファイバの線引き張力が大きいほど、散乱損失が小さくなり、ファイバの線引き張力が小さいほど、散乱損

失が大きい、すなわち、照明が強いファイバ部分が得られることを示している。図 4 A は、90 g と 400 g の異なるファイバ張力で線引きされた光拡散ファイバ 1 2 ( コアに空隙を有する ) に関する波長の関数としての減衰を示している。図 4 B は、90 g と 400 g の異なるファイバ張力で線引きされた様々な光拡散ファイバ 1 2 ( コアに空隙を有する )、正規化された損失を有する比較の多モードファイバ ( ファイバ A )、および 1 / 損失依存性を有する理論ファイバに関する波長の関数としての減衰を示している。( 図 4 B のグラフは、損失の波長依存性を示していることに留意のこと。この実施例において、光ファイバ 1 2 とファイバ A の散乱の傾斜を比較するために、低損失ファイバ ( ファイバ A ) の損失は 20 倍にされており、それゆえ、2 つのプロットを、同じ図面で容易に示すことができる。 ) どの特定の理論により拘束するものではないが、線引き張力が、例えば、90 g から 400 g に、減少した場合の散乱損失の増加は、ナノ構造の平均直径の増加によるものであると考えられる。したがって、ファイバの張力のこの影響は、線引きプロセス中のファイバ張力を変えることによって、ファイバの長手方向に沿って一定の減衰 ( 照明強度 ) を生じるために使用できるであろう。例えば、高い張力  $T_1$  で線引きされた、 $\alpha_1$  dB / m の損失および長さ  $L_1$  を有する第 1 のファイバセグメントは、入力レベル  $P_0$  から  $P_0 \exp(-\alpha_1 \times L_1 / 4.343)$  まで光パワーを減衰させる。第 1 のファイバセグメントに光学的に結合された、低い張力  $T_2$  で線引きされた、 $\alpha_2$  dB / m の損失および長さ  $L_2$  を有する第 2 のファイバセグメントは、入力レベル  $P_0 \exp(-\alpha_1 \times L_1 / 4.343)$  から  $P_0 \exp(-\alpha_1 \times L_1 / 4.343) \exp(-\alpha_2 \times L_2 / 4.343)$  まで光パワーをさらに減衰させる。第 1 と第 2 のファイバセグメントの長さと減衰は、連結されたファイバの長手方向に沿って均一な強度を提供するために調節できる。

#### 【0071】

光拡散ファイバ 1 2 の利点の 1 つは、光拡散ファイバの長手方向に沿って均一な照明を提供する能力である。図 5 は、ファイバの長手方向に沿って均一な照明をもたらす、単一の光拡散ファイバ 1 2 において 2 回の光通過を使用するファイバ 1 2 の構成を図解している。この構成において、ミラー M が光拡散ファイバ 1 2 の端部に配置されている。光源 150 により光拡散ファイバ 1 2 に供給される入力光は光拡散ファイバ 1 2 の軸に沿って伝搬し、残留光がミラーで反射して、ファイバ 1 2 の軸に沿って入力に向かって戻るように伝搬する。ファイバ 1 2 の減衰および長さが適切に選択されれば、光源に戻る出力パワーは、元の光パワーの 2 % ~ 5 % 未満である。損失分布が一定のファイバ ( 図 4 A 参照 ) についての散乱損失強度は、ファイバの始まりで高く、ファイバの終わりで弱いであろう。しかしながら、光拡散ファイバ 1 2 が、散乱損失が、強度が高いファイバの始まりで低く、強度が低い端部で高いように周期的に制御された張力 ( 張力値は炉の温度に関連し、この温度は 1800 から 2100 まで変動してよい ) で線引きされた場合、結果として得られた散乱強度は、変動性が低く、すなわち、一定に ( 例えば、図 6 A の例 c に示されるように ) 製造することができる。ファイバの線引き張力は、制御され、例えば、40 g と 400 g の間で変えられ、それゆえ、幅広い範囲の散乱誘起減衰 ( 例えば、6 倍まで ) を提供するであろう。図 5 のミラー M は、より均一な照明を作り出すだけでなく、ファイバにより散乱される光の品質を高めるために、第 1 の光源のパワー密度の出力と類似の ( 2 の係数以内、すなわち、50 % から 200 % の範囲 ) パワー密度の出力を有する第 2 の光源により置き換えられてもよい。

#### 【0072】

バイオリアクタ / 照明系の例示の実施の形態の 1 つの態様は、散乱光強度の角度分布が、角度間隔で均一またはほぼ均一であることである。ファイバの表面から軸方向の光散乱は、50 % 未満、好ましくは 30 % 未満、好ましくは 20 % 未満、より好ましくは 10 % 未満の、平均散乱強度に対する変動性を有する。ナノサイズ構造を持たない従来のシリカ系光ファイバにおける主な散乱機構は、広い角度分布を有するレイリー散乱である。ナノ構造リング内の空隙による追加の散乱損失がある図 1 2 は、図 6 A ( 実施の形態 a および b ) および図 6 B ( 実施の形態 a' ) に示されるように、強力な順方向成分を有するであろう。しかしながら、この分布は、光拡散ファイバ 1 2 の被覆の上に散乱物質を配置する



ことによって補正することができる。TiO<sub>2</sub>系白色インクを含有する被覆により製造された光拡散ファイバ（図6B、実施の形態b'参照）は、順方向バイアスが著しく低い散乱光の角度分布を提供する。TiO<sub>2</sub>インクの追加の厚い層（例えば、1～5μm）により、順方向散乱成分をさらに減少させ、それによって、角度強度分布の均一性をさらに高めることが可能である。しかしながら、図7に示されるように、照明器の設計が、背面反射ミラーまたは追加の光源に光学的に結合されたファイバを使用する場合（図5参照）、ファイバがTiO<sub>2</sub>系白色インク被覆層を持たなくとも、この構成により比較的平らな（すなわち、非常に均一な）角度散乱強度を提供する（図6A参照）。いくつかの実施の形態において、ファイバの長手方向に沿ったインク被覆の制御された変動（インク被覆の厚さまたは被覆中のインク濃度の変動のいずれか）が、大きい角度で（15度より大きい）ファイバから散乱される光の強度においてより均一な変動を生じる追加の方法を提供する。

10

#### 【0073】

いくつかの実施の形態において、インクは、散乱光をより長い波長の光に変換する蛍光物質であって差し支えない。いくつかの実施の形態において、白色光は、そのような被覆を有する光拡散ファイバ12をUV光源、例えば、405nmまたは445nmのダイオードレーザに結合することによって、ファイバ12により放出させる（外面から拡散させる）ことができる。例示の実施の形態における蛍光白色光の角度分布は実質的に均一である（例えば、角度間隔において、25%から400%、好ましくは50%から200%、さらにより好ましくは50%から150%、または70%から130%、または80%から120%）。

20

#### 【0074】

発光ダイオード（LED）または日光などの低コスト光源に効率的に結合するには、ファイバは、高いNAおよび大きいコア直径を有する必要がある。図2に示された設計に類似の設計により、多モードコア20のサイズは、最大にすることができ、500μmまでの半径を有するであろう。クラッドの厚さは、ずっと小さくてもよい、例えば、約15～30μm（例えば、約20μm）であってよい。例えば、1つの実施の形態によれば、複数の光拡散ファイバ12を支持構造の周りに巻き付けてもよく、各光拡散光ファイバは、1つの光源または複数の光源のいずれかに光学的に結合されてもよい。複数の光拡散光ファイバ12は、リボン、リボン積層体、または丸い束の内の少なくとも1つと一緒に束ねることができる。ファイバ束またはリボン（すなわち、多数のファイバの集合体）も、結合効率を増加させるために、光源の形状に配列することができる。典型的な束/リボン構造の例としては、2～36本の光拡散ファイバ12が挙げられ、または数百本までのファイバ12を含んでもよい。多数のファイバのアセンブリであるケーブル設計が、周知であり、リボン、多数のリボンの集合体、または管内に集められたファイバを含み得る。そのようなファイバは、1つ以上の光拡散ファイバ12を含んでもよい。

30

#### 【0075】

標識、またはディスプレイ照明などの異なる用途に、光拡散ファイバに結合された明るい連続光源を使用することができる。照明系が、125～300μmのコア直径を有する1本のファイバ12を使用する場合、ファイバ12に光を供給するための光源として、多モードレーザダイオードを使用できるであろう。一方向に光を向ける反射被覆を有する1本のファイバ12を使用した例示の照明器具（表示画面のための明るい周辺照明器）が図8Aに示されている。いくつかの実施の形態によれば、光拡散ファイバ12を有する単一または多数ファイバ照明は、例えば、ボート用の棧橋、釣り系またはルアーを照らすための水環境、および光拡散ファイバ12の小さい変動サイズおよび水中に安全に浸漬できる能力が非常に望まれている関連用途において使用できる。光拡散ファイバ12は、出口照明、通路の照明、室内探知器のための赤外線放出のために有用であろう、または衣類、特に着用者の視認性をさらに向上させるための保護/反射衣類における系として使用できる。装飾照明における光拡散ファイバ12の使用例は多種多様であるが、いくつかの例には、器具の照明効果とエッジ効果、自動車/航空機の照明、または家庭用照明と家具照明

40

50

における使用がある。

【0076】

図8Bは、生物学的増殖装置98およびこの生物学的増殖装置に使用される照明系100の例示の実施の形態を示しており、生物学的槽170は、内部172を有するフラスコの形態にある。光源150および光結合系160が、その光源からの光を光伝導性ファイバの入力端に結合するように構成されている。低散乱光伝導性ファイバ12Aの出力端が、光拡散ファイバ12（光源ファイバ）の入力端に結合されている。図8Bの実施の形態において、光源ファイバ12は一本の逆巻きファイバから形成されている。ファイバ12を支持構造の周りに巻き付けて、光源ファイバ部分を形成することができ、そこで、導光がファイバの外面から散乱して、実質的に均一な放射線を放出する延長光源を形成することを留意する。光源ファイバ部分における曲げ部が、光拡散ファイバ12における散乱量を増加させるために形成される。少なくとも一本のファイバを逆巻きすることにより、光源ファイバ部分の長手方向に沿って放出される放射線を減少させる効果を補うことによって、放射線の均一性を増加させることができる。多数のファイバ12を、各ファイバを光源に結合させて、支持構造の周りに順に巻き付け、これを使用して、非常に長い延長光源を形成することができる。光拡散ファイバ12は、多種多様な生物学的槽の形状に適合するように構成することができ、光を、生物学的物質180の生物学的物質増殖に供給する。この生物学的物質180は、例えば、藻類（例えば、藻類コロニー、藻類ブルーム）または細菌（例えば、シアノバクテリア）であってよい。例示の実施の形態において、生物学的物質180は、水などの支持媒質184中に懸濁されていてよい。

10

20

【0077】

例示の実施の形態において、ファイバ12は、図2に関して上述したような被覆44を含んでもよい。1つの例示の実施の形態において、被覆44は、湿った状態での付着を改善する紫外線硬化アクリレート被覆などの親水性被覆層を含む。この被覆層は、ガラスに隣接した低弾性率一次被覆層（典型的に $< 3 \text{ MPa}$ ）および高弾性率二次被覆層（典型的に $> 50 \text{ MPa}$ ）を含む紫外線硬化性被覆であってよい。高弾性率二次被覆層は、一次（低弾性率）被覆層に隣接しており、その上に配置されている。単層被覆または多層被覆における一層のいずれかとして施される他の被覆、または追加の被覆を使用してもよい。そのような物質の例には、漏光に追加の散乱を提供するための物質を含有する被覆または細胞増殖培地として働く親水性被覆44A（図示せず）がある。これらの被覆は、ファイバ12の保護被膜として働いてもよい。

30

【0078】

被覆44に使用するための例示の親水性被覆44Aは、表面に対する細胞接着および増殖を改善するために一般に使用されるものであり、カルボン酸官能性およびアミン官能性（例えば、アクリル酸またはアクリルアミドを含有する配合物）を含有する。その上、親水性被覆44Aは、生物学的物質の増殖に必須の栄養素のための貯留部として働くことによって、強化されてもよい。

【0079】

いくつかの例示の実施の形態において、被覆44は、放射光を変える働きをする蛍光または紫外線吸収分子を含む。入力光源の波長とは異なる波長の光を生じるために、被覆中に適切なアップまたはダウン・コンバートする分子を含んでもよい。放射光の色または色相を変えるために、インク被覆層を施してもよい。他の被覆の実施の形態は、ファイバから放出された光に追加の散乱を提供できる分子を含む。さらに別の実施の形態は、光反応の速度を増加させるために使用してよい光活性触媒を被覆上に包含することであろう。そのような触媒の一例は、光触媒としてのルチル $\text{TiO}_2$ である。

40

【0080】

いくつかの実施の形態によれば、光拡散ファイバ12は、高分子、金属、またはガラスの被膜（または被覆）内に封じ込められてよく、その被覆または被膜は、 $250 \mu\text{m}$ 超の最小外径（例えば、直径）を有する。ファイバが金属被覆を有する場合、その金属被覆は、光を所定の区域に優先的に向けるために、開放部分を含んでもよい。これらの追加の被

50

覆または被膜は、ファイバに施された被覆について上述したのと同じ様式で、放出光を変えるまたは反応を触発するための追加の化合物も含有してよい。

【0081】

上述したように、光拡散ファイバ12は、光ファイバの外面に配置された親水性被覆を含んでもよい。また、蛍光種（例えば、紫外線吸収物質）、並びに放出光の追加の散乱を提供できる分子が、光ファイバの被覆中に配置されていてもよい。いくつかの実施の形態によれば、光拡散ファイバ12に結合された光源は、200nmから500nmの波長範囲の光を発生し、ファイバ被覆中の蛍光物質（蛍光種）が、白色光、緑色光、青色光、またはNIR（近赤外）光のいずれかを発生する。

【0082】

さらに、ファイバの外面に追加の被覆層を設けてもよい。この層は、放出光を変え、被覆材料の相互作用を変更するように構成されてもよい。そのような被覆の例には、以下に限られないが、ポリ（2-アクリルアミド-2-メタンスルホン酸）、オルトニトロベンジル基、またはそれぞれのアゾベンゼン部分などの物質を含有する被覆があるであろう。

【0083】

照明系のいくつかの例示の実施の形態は、(i) 200nmから2000nm範囲内の波長を少なくとも1つ有する光を発生する光源、および(ii) 少なくとも1つの光拡散光ファイバ12を含む。ファイバ12は、コア、クラッド、およびコア内にまたはコアとクラッドの界面に位置する複数のナノサイズ構造32を含む。この光ファイバはさらに、外面、および光源に光学的に結合した少なくとも1つの端部を含む。上述したように、光拡散光ファイバ12は、空隙などのナノサイズ構造を通じて導光をコアから離して外面を通じて散乱させて、長さに亘り実質的に均一な放射線を放出する、長さを有する光源ファイバ部分を形成するように構成されている。光拡散光ファイバ12は、200nmから2000nm範囲（例えば、400~700nm、または1μmから2μm）内の1つ以上の波長について、50dB/km超の散乱誘起減衰を有する。ファイバ12は、ナノサイズ構造32を介してコア20から離れ、特定の区域内の外面を通じて光を優先的に拡散させる様に、その中に形成された複数の曲げ部を有してもよい。散乱光の照明強度の偏差は、長手方向に沿った最大散乱照明強度の30%未満であることが好ましい。いくつかの実施の形態によれば、散乱誘起減衰は、100dB/kmと6000dB/kmとの間、またはそれより高い。いくつかの実施の形態において、ファイバ12の散乱による減衰は、200nmから2000nm範囲内の1つ以上の波長につい、6000dB/kmから20000dB/kmである。いくつかの実施の形態によれば、ファイバ12は0.5mと100mの間の長さを有し、散乱誘起減衰は、200nmから2000nm範囲内の1つ以上の波長について、300dB/kmと5000dB/kmの間、および/またはファイバの長さ当たり3dB超である。他の実施の形態において、ファイバ12は0.1mと0.5mの間の長さを有し、散乱誘起減衰は、200nmから2000nm範囲内の1つ以上の波長について、5000dB/kmと20,000dB/kmの間にある。ナノサイズ構造32が、直径が10nm超、好ましくは50nm超、より好ましくは100nm超である気体充填空隙（例えば、SO<sub>2</sub>充填空隙）であることが好ましい。ファイバのクラッドが、ガラスまたはポリマーのいずれかであり、少なくとも20μm厚であることが好ましい。このクラッドは、前記コアと組み合わせて、0.2以上のNAを提供する。上述したように、ファイバの長手方向に沿った照明の均一性（最大強度から約30%以内、好ましくは最大強度から約20%以内、より好ましくは最大強度から約10%以内）は、線引きプロセス中のファイバの張力を制御することによって、達成できる。先に論じたように、照明の均一性は、光源に結合したファイバの端部と反対のファイバの端部に結合した反射器を使用することによって、さらに減少させることができる。

【0084】

それゆえ、いくつかの実施の形態によれば、光拡散光ファイバ12は、光を散乱させるためのナノ構造により少なくとも部分的に充填したコア、そのコアを取り囲むクラッド、およびそのクラッドを取り囲む少なくとも1つの被覆を含む。例えば、コアとクラッドは

10

20

30

40

50

、一次被覆層と二次被覆層、および／またはインク層により取り囲まれていてよい。いくつかの実施の形態において、インク層は、追加の吸収を提供し、かつファイバにより散乱された光のスペクトルを変える（例えば、拡散光に追加の色を提供する）ための顔料を含有する。他の実施の形態において、被覆層の１つ以上は、ファイバ被覆から発散される光（ファイバにより拡散される光）が異なる波長であるように、ファイバのコアを通して伝搬する光の波長を変換する分子を含む。いくつかの実施の形態において、インク層および／または被覆層は、コアからの散乱光を異なる波長の光に変換するために、リンを含んでもよい。いくつかの実施の形態において、リンおよび／または顔料が一次被覆中に分散されている。いくつかの実施の形態において、顔料が二次被覆中に分散されており、いくつかの実施の形態において、顔料が一次被覆と二次被覆中に分散されている。いくつかの実施の形態において、リンおよび／または顔料が高分子クラッド中に分散されている。ナノ構造が、 $SiO_2$ が充満した空隙であることが好ましい。

10

#### 【0085】

いくつかの実施の形態によれば、光ファイバ１２は、一次被覆、その一次被覆を取り囲む随意的な二次被覆および／またはインク層（例えば、クラッド上に直接、または被覆の１つの上に配置された）を含む。一次および／または二次被覆は、顔料、リン、蛍光物質、紫外線吸収物質、親水性物質、光変更物質、またはそれらの組合せの少なくとも１つを含んでもよい。

#### 【0086】

複数の光拡散ファイバ１２は、リボン、リボン積層体、または丸い束の少なくとも１つと一緒に束ねることができる。ファイバ束またはリボン（すなわち、多数のファイバの集合体）も、結合効率を増加させるために、光源の形状に配列させることもできる。典型的な束／リボン構造は、例えば、２から３６本の光拡散ファイバ１２を含んで差し支えなく、またはファイバの過剰な積重ねにより、数百本までのファイバ１２を含んでもよい。

20

#### 【0087】

上述したように、光ファイバは、光ファイバの外面に配置された親水性被覆を含んでもよい。あるいは、親水性被覆がファイバリボンの外面に配置されていてもよい。リボンも、光拡散ファイバ１２と光源との間の結合を良好にするために、光源の形状に配列されていてよい。リボン構造に由来する利点は、リボンは、波形、ヘリックス(helices)、または螺旋形などの曲げ構造を形成し、それによって、光を所望の区域に散乱させられるので、個々のファイバの巻付けは必要ないかもしれないことである。さらに、マルチファイバリボンの使用により、リボンの大きい積層体を有する可能性が適う。そのようなリボン積層体は、より集中した量の光を提供し、また赤色レーザ、日光、発光ダイオード、または点光源の導波などの、様々な光源を使用する可能性を開くであろう。例えば、１つの実施の形態によれば、複数の光拡散光ファイバ１２は、単一光源または複数の光源いずれに光学的に結合していてもよく、一方で、光拡散光ファイバ１２は、リボン、リボン積層体、または丸い束の内の１つと一緒に束ねられている。さらに、光拡散ファイバ１２の束またはリボンは、最小の損失で光を光拡散ファイバに向けることのできる伝送ファイバによって光源に接続されていてもよい。この後者の構成は、光を送達すべき区域から遠くにある光源から光が集められる遠隔照明用途にとって非常に有用であると期待できる。

30

40

#### 【0088】

いくつかの実施の形態によれば、光拡散光ファイバは、（１）コア、クラッド、およびコア内にまたはコアとクラッドの境界に位置する複数のナノサイズ構造を含み、さらに外面を含み、（i）ナノサイズ構造を介して、コアから離れて外面を通じて導光を散乱させ、（ii）照明波長で５０dB/km超の散乱誘起減衰を有するように構成されており、（２）１つ以上の被覆を含み、よってクラッドまたは少なくとも１つの被覆のいずれかがリンまたは顔料を含む。いくつかの実施の形態によれば、これらの顔料は、ファイバの外面により提供される照明（拡散光）が、ファイバのコアを通して伝搬される光の波長とは異なる波長のものであるように、光の波長を変えることができてよい。ナノ構造が、 $SiO_2$ が充満した空隙であることが好ましい。

50

## 【 0 0 8 9 】

いくつかの実施の形態によれば、光拡散光ファイバは、コア、クラッド、およびコア内にまたはコアとクラッドの境界に位置する複数のナノサイズ構造を含む。この光ファイバは、外面をさらに含み、( i ) ナノサイズ構造を介して、コアから離れて外面を通じて導光を散乱させ、( i i ) 照明波長で 5 0 d B / k m 超の散乱誘起減衰を有するように構成されており、コア全体がナノサイズ構造を含む。そのようなファイバは、必要に応じて、少なくとも 1 つの被覆を含み、よって、クラッドまたは少なくとも 1 つの被覆のいずれかがリンまたは顔料を含む。いくつかの実施の形態によれば、ナノ構造は、S O<sub>2</sub> が充満した空隙である。

## 【 0 0 9 0 】

いくつかの実施の形態によれば、光拡散光ファイバは、コア、およびコア全体がナノ構造を含むようにコア内に位置する複数のナノサイズ構造を含み、この光ファイバは外面をさらに含み、( i ) ナノサイズ構造を介して、コアから離れて外面を通じて導光を散乱させ、( i i ) 照明波長で 5 0 d B / k m 超の散乱誘起減衰を有するように構成されており、ファイバはクラッドを含まない。いくつかの実施の形態によれば、ナノ構造は、S O<sub>2</sub> が充満した空隙である。ナノ構造区域内の S O<sub>2</sub> 充満空隙は、散乱に大きく寄与する（散乱を改善する）。

## 【 0 0 9 1 】

いくつかの実施の形態によれば、光拡散光ファイバは、コア、およびコア全体がナノ構造を含むようにコア内に位置する複数のナノサイズ構造を含み、この光ファイバは外面をさらに含み、( i ) ナノサイズ構造を介して、コアから離れて外面を通じて導光を散乱させ、( i i ) 照明波長で 5 0 d B / k m 超の散乱誘起減衰を有するように構成されており、ファイバはクラッドを含まない。いくつかの実施の形態によれば、ファイバは、クラッドまたは被覆のいずれかがリンまたは顔料を含むように少なくとも 1 つの被覆を含む。いくつかの実施の形態によれば、ナノ構造は、S O<sub>2</sub> が充満した空隙である。上述したように、ナノ構造区域内の S O<sub>2</sub> 充満空隙は、散乱に大きく寄与する（散乱を改善する）。

## 【 0 0 9 2 】

カラーディスプレイのためのバックライトの概略図が、図 9 に示されている。図面において、バックライト 2 1 0 は、あるものが別のものに対して実質的に平行に配列されている複数の導波路セグメント（3 つの導波路の各々について 5 つの導波路セグメントを含む、図解された実施の形態における 1 5 の導波路セグメント）を作り出すように往復して多数回曲げられた 3 つの異なる可撓性光拡散導波路 2 1 2 , 2 1 4 および 2 1 6 を備えている。導波路の各々の端部は、4 0 5 ナノメートルの波長で電磁放射線を放出する紫外線源 2 1 8 , 2 1 9 に結合されている。3 つのファイバ 2 1 2 , 2 1 4 および 2 1 6 の各々には、異なる発光団が配置されている（外側の高分子被覆内などに）。例えば、3 つの異なる発光団は、赤色、緑色および青色に対応してもよい。カラーテレビなどの液晶ディスプレイのためのバックライトを提供するために、図 9 に示されたタイプの複合ユニットが要求されるであろうことが当業者には認識されよう。例えば、可撓性照明器具のためには、例えば、白色発光団を使用した、図 9 に示された複合ユニットが望ましいであろう。

## 【 0 0 9 3 】

ディスプレイの非常に多数の個別領域で異なる色（例えば、赤色、緑色および青色）を放出する光拡散導波路 2 1 2 , 2 1 4 および 2 1 6 の内のゼロ、1 つまたは任意の組合せからの光を選択的に遮断するまたは通す、シャッター要素 2 6 1 a , 2 6 1 b および 2 6 1 c などの複数の画素要素 2 6 0 を使用することによって、バックライト 2 1 0 を使用したビデオ表示パネルを提供できる。各ファイバは、適切な色に対応する個別にアドレス可能なシャッターまたは画素に揃えられている。このシャッターまたは画素は、機械的であっても、液晶に基づいて、エレクトロクロミック的であっても、またはファイバから通過させられ、表示される光の量を制御するための概してどのような適切な手段を用いても差し支えない。十分に機能するビデオディスプレイを提供するために、非常に多数のそのような要素が使用される。要素は単なる実例であり、個々のシャッターまたは画素の 1 つま

10

20

30

40

50

たは概していくつを有するシャッター要素を使用してもよいことが認識されよう。

【0094】

フルカラーディスプレイを提供するために、ファイバ212'、214'および216'の各々が、異なる波長で光を放出する（赤色、緑色および青色など）光源218a、218b、218c、219a、219bおよび219c（レーザなど）に結合されている、別の実施の形態210'が、図10に示されている。図10は、単なる実施の形態であることが意図されており、カラーテレビを含むほとんどの用途に複合ユニット210'が必要とされるであろうことが理解されよう。先に記載され、図9に図解された実施の形態に使用されたものと類似のシャッター要素もバックライト210'に使用してもよい。

【0095】

図11は、可撓性パネル300は、非平坦物体を包み込むことができ、そのような非平坦物体の形状に従うであろうことを示している。

【0096】

図13は、可撓性バックライト210を構成する複数の導波路セグメントに対して平行に、直接隣接して配置された平面における点アレイの各々で光を選択的に透過させるまたは遮断する、液晶ディスプレイ220に隣接して配列された可撓性バックライト210（または210'）を備えた、テレビなどのためのカラーディスプレイを図解している。バックライト210および液晶ディスプレイ220は、隣接した平行な面に配置されており、そのディスプレイは、矢印230により示された、前記面に対して垂直な方向に沿って見られる。

【0097】

ここに開示されたバックライトおよび/またはビデオディスプレイのある実施の形態のさらに別の利点は、バックライトおよび/またはディスプレイの熱管理（すなわち、温度制御）が、課題として完全に除外されているか、もしくは単独で、またはほとんど無音であり得る小さな低速ファンとの組合せでの適切な換気の使用などにより、容易に扱われることである。一般に、照明中に光拡散ファイバを通じて実質的に熱が伝導されない、またはその中で熱が実質的に生成されず、発光団の直ぐ近傍の典型的な温度上昇が最大5 未満である、発光団によるある波長（例えば、白色、青色または紫外線）から別の波長への光の遷移中に、非常に少量のエネルギーしか熱に変換されない。

【0098】

潜在的に、レーザ光源の使用には、能動的熱管理が必要であり得る。しかしながら、開示されたバックライトおよび/またはディスプレイは、光源をそのバックライトおよび/またはディスプレイから遠く離れて設置できるという追加の利点を提示し、その光は、光源からバックライトおよび/またはディスプレイに伝送光ファイバ（光拡散ファイバではない）を通じて伝送される。そのような伝送は、どのような著しいパワー損失なくおよそ数百フィート（1フィートは約30cm）までであり得、バックライトおよび/またはディスプレイから光源の熱的および音響的分離が容易に可能である。

【0099】

様々な改変および変更が、特許請求の範囲の精神または範囲から逸脱せずに行えることが当業者には明白であろう。

【符号の説明】

【0100】

- 12 光拡散光ファイバ
- 16 中心線
- 20 コア
- 22 中実中央部分
- 26 ナノ構造環部分、内側環状コア領域
- 28 外側中実部分
- 32 ナノサイズ構造
- 40 クラッド

10

20

30

40

50

4 4	被覆	
4 8	側面	
1 5 0	光源	
1 6 0	光結合系	
1 7 0	生物学的槽	
1 8 0	生物学的物質	
2 1 0、2 1 0'	バックライト	
2 1 2、2 1 2'、2 1 4、2 1 4'、2 1 6、2 1 6'	光拡散導波路	
2 1 8、2 1 9	紫外線源	
2 1 8 a、2 1 8 b、2 1 8 c、2 1 9 a、2 1 9 b、2 1 9 c	光源	10
2 2 0	液晶ディスプレイ	
2 6 0	画素要素	
2 6 1 a、2 6 1 b、2 1 6 c	シャッター要素	
3 0 0	可撓性パネル	

【図 1】

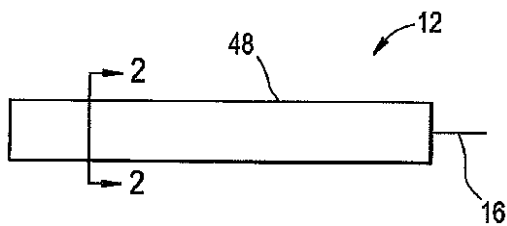


FIGURE 1

【図 2】

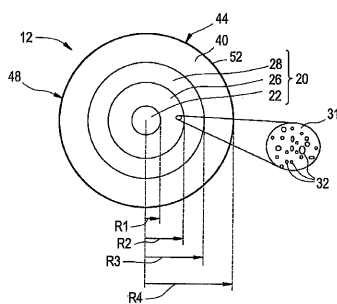


FIGURE 2

【図 3 A】

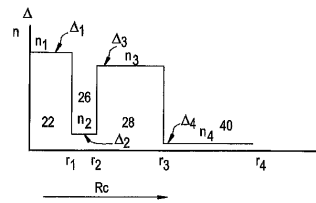


FIGURE 3A

【図 3 B】

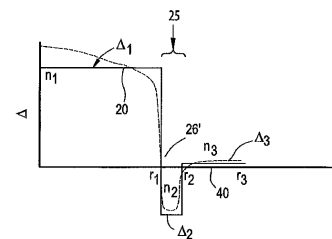


FIGURE 3B

【図 3 C】

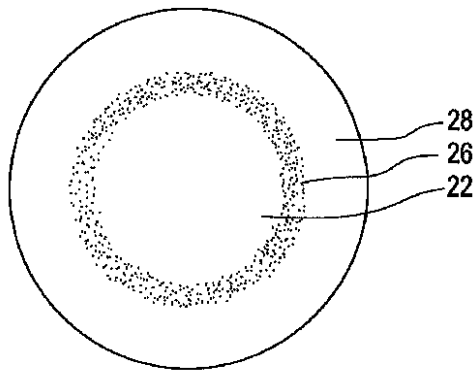
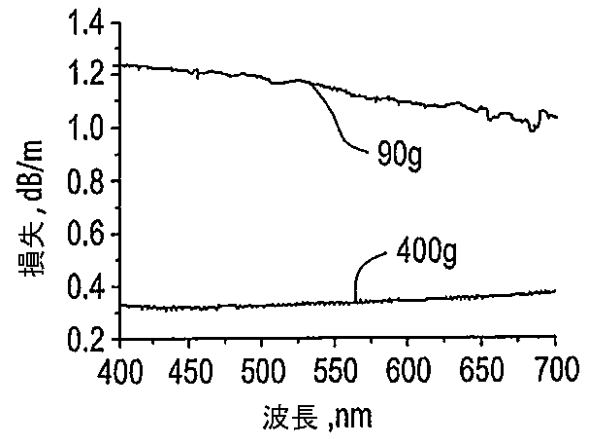
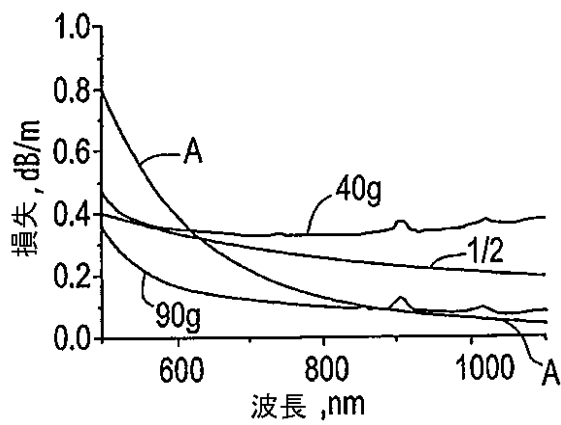


FIGURE 3C

【図 4 A】



【図 4 B】



【図 5】

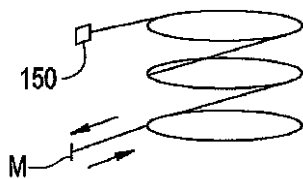
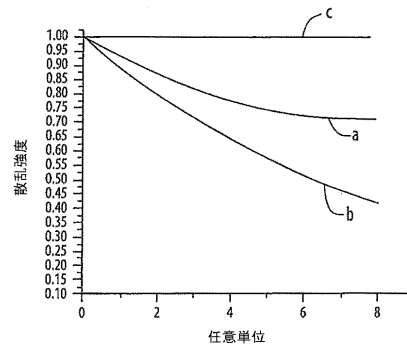
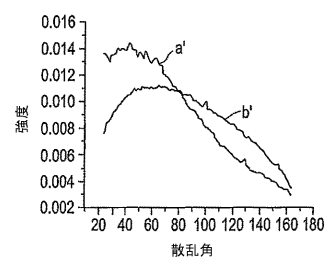


FIGURE 5

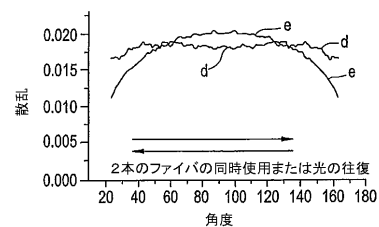
【図 6 A】



【図 6 B】

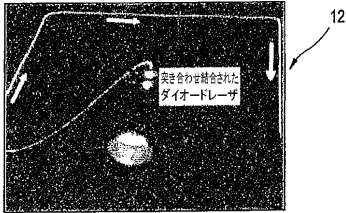


【図 7】





【図 8 A】



【図 8 B】

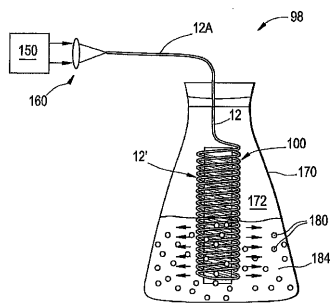


FIGURE 8B

【図 9】

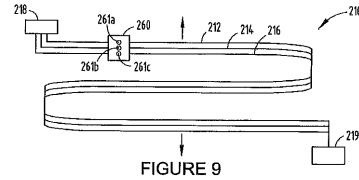


FIGURE 9

【図 10】

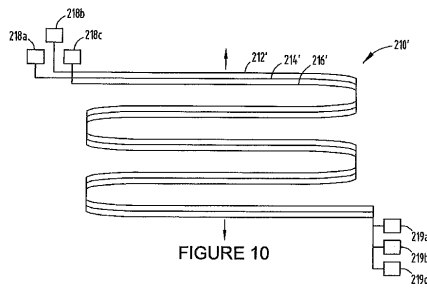


FIGURE 10

【図 11】

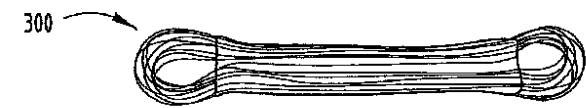


FIGURE 11

【図 12】

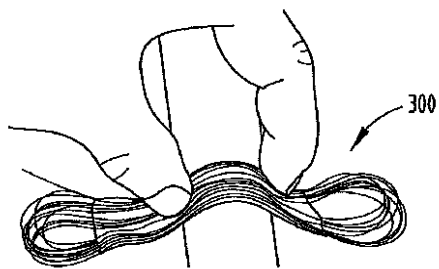


FIGURE 12

【図 13】

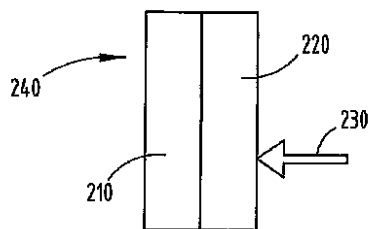


FIGURE 13

## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2012/059634

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G02B6/00 G02B6/02  
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	US 2010/066254 A1 (OTT HUBERT [DE] ET AL) 18 March 2010 (2010-03-18) paragraphs [0005], [0008], [0012], [0013], [0015], [0017], [0018], [0045], [0046], [0058], [0059], [0061], [0063], [0064]; figures 1-4 -----	1,6-11, 14-19,21 2-5,13, 20
X Y	US 2011/085319 A1 (HIKMET RIFAT ATA MUSTAFA [NL]) 14 April 2011 (2011-04-14) paragraphs [0053], [0061], [0068], [0070], [0078]; figure 4 -----	1,6-12 2-5,13
X Y	US 2008/158905 A1 (CHUANG CHIA-CHENG [TW] ET AL) 3 July 2008 (2008-07-03) paragraphs [0058] - [0060]; figures 15-18 ----- ----- -/-	1,14,15, 21 2-5,13, 20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier application or patent but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 November 2012

Date of mailing of the international search report

07/12/2012

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Verdrager, Véronique

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2012/059634

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2011/188261 A1 (DENG KUNG-LI [US] ET AL) 4 August 2011 (2011-08-04)	1,6,7,9, 11,12, 14,15, 18,19,21
Y	paragraphs [0005], [0023] - [0025], [0134], [0138]; figures 12-15 -----	2-5,13, 20
X	US 2007/281155 A1 (TAO XIAOMING [HK] ET AL) 6 December 2007 (2007-12-06)	1,6,7, 9-12
Y	paragraphs [0019], [0024]; figure 3 -----	2-5,13
X	US 4 977 487 A (OKANO SUSUMU [JP]) 11 December 1990 (1990-12-11)	1,7-12
Y	column 5, line 61 - column 6, line 4; figures 6d,6e -----	2-5,13
Y	US 2011/122646 A1 (BICKHAM SCOTT ROBERTSON [US] ET AL) 26 May 2011 (2011-05-26) paragraphs [0043], [0052], [0060], [0062], [0068], [0094]; claim 8; figures 2,3A -----	2-5,13, 20

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2012/059634

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2010066254	A1	18-03-2010	CN 101568865 A 28-10-2009
			DE 102006061164 A1 26-06-2008
			EP 2104872 A1 30-09-2009
			JP 2010514108 A 30-04-2010
			KR 20090101247 A 24-09-2009
			TW 200846602 A 01-12-2008
			US 2010066254 A1 18-03-2010
			WO 2008077380 A1 03-07-2008
-----			
US 2011085319	A1	14-04-2011	CN 102084276 A 01-06-2011
			EP 2294462 A2 16-03-2011
			JP 2011526060 A 29-09-2011
			US 2011085319 A1 14-04-2011
			WO 2009156939 A2 30-12-2009
-----			
US 2008158905	A1	03-07-2008	TW 200827795 A 01-07-2008
			US 2008158905 A1 03-07-2008
-----			
US 2011188261	A1	04-08-2011	NONE
-----			
US 2007281155	A1	06-12-2007	NONE
-----			
US 4977487	A	11-12-1990	NONE
-----			
US 2011122646	A1	26-05-2011	CN 102667551 A 12-09-2012
			EP 2502101 A1 26-09-2012
			US 2011122646 A1 26-05-2011
			US 2011305035 A1 15-12-2011
			WO 2011063214 A1 26-05-2011
-----			

## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G 0 2 F 1/13 (2006.01)</b>	G 0 2 F 1/13 5 0 5	3 K 2 4 4
<b>C 0 3 B 37/075 (2006.01)</b>	F 2 1 S 2/00 4 3 4	4 G 0 2 1
<b>F 2 1 V 8/00 (2006.01)</b>	C 0 3 B 37/075 A	
<b>F 2 1 Y 101/02 (2006.01)</b>	F 2 1 V 8/00 2 0 0	
	F 2 1 Y 101:02	

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

(72)発明者 関口 修利

2 2 7 - 0 0 6 7 日本国神奈川県横浜市青葉区松風台 2 2 - 2 2

(72)発明者 ゼンテノ, ルイス アルベルト

アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 7 0 ペインテッド ポスト カティ レイン 3 8

F ターム(参考) 2H038 AA51 BA10 BA42

2H088 EA33 HA28 HA30 MA20

2H137 AA10 AB06 BA04 BA15 BB02 BB17 BC02

2H150 AB04 AB05 AB06 AB07 AB08 AB10 AB20 AB33 AB36 AC53

AD04 AD12 AD15 AD18 AD22 AD34 BB04 BB07 BB22 BB26

BB33 BC02

2H191 FA72Y FA85Z FA86Z LA40

3K244 AA01 BA48 BA50 CA03 DA01 DA02 DA17 EA02 EA08 EA12

EA32 EA34 EA38

4G021 LA01