

(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2017-536655

(P2017-536655A)

(43) 公表日 平成29年12月7日 (2017. 12. 7)

(51) Int. Cl.	F 1	テーマコード (参考)
F 2 1 V 8/00 (2006. 01)	F 2 1 V 8/00 2 0 0	2 H 0 3 8
G 0 2 B 6/00 (2006. 01)	G 0 2 B 6/00 3 2 6	2 H 1 5 0
G 0 2 B 6/036 (2006. 01)	G 0 2 B 6/036	
G 0 2 B 6/032 (2006. 01)	G 0 2 B 6/032 Z	
G 0 2 B 6/02 (2006. 01)	G 0 2 B 6/02 4 5 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2017-519300 (P2017-519300)
 (86) (22) 出願日 平成27年10月9日 (2015. 10. 9)
 (85) 翻訳文提出日 平成29年6月8日 (2017. 6. 8)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/054966
 (87) 国際公開番号 W02016/057937
 (87) 国際公開日 平成28年4月14日 (2016. 4. 14)
 (31) 優先権主張番号 62/062, 381
 (32) 優先日 平成26年10月10日 (2014. 10. 10)
 (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 1 4 8
 3 1 コーニング リヴァーフロント プ
 ラザ 1
 (74) 代理人 100073184
 弁理士 柳田 征史
 (74) 代理人 100175042
 弁理士 高橋 秀明
 (72) 発明者 バウコ, アンソニー セバスチャン
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8
 4 5 ホースヘッズ リバティ ウェイ
 1 7

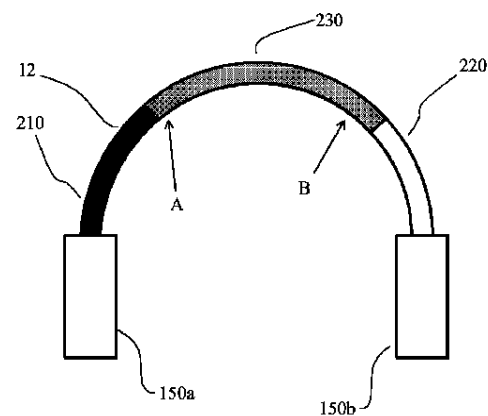
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 色の移動を生じる光ファイバ照明システム

(57) 【要約】

光ファイバの長さに沿った色の移動を生じるよう構成された照明システムである。このシステムは、第1の入射端部および第2の入射端部と、ガラスコア (20) と、ガラスコアを囲むクラッド (40) と、外面とを有する光拡散光ファイバ (12) を含み得る。光を散乱させるために、ガラスコア内またはコアークラッド境界に、ナノサイズ構造 (32) が位置する。第1の光源 (150 a) は第1の入射端部に光学的に結合され、第2の光源 (150 b) は第2の入射端部に光学的に結合される。光ファイバ内の、ファイバの各端部から発せられた光の接合部において、色の変化が生じ、第1の光源および第2の光源のうちの1以上から発せられる光の強度を調節することで、色の変化の位置が光ファイバの長さに沿って移動する。

FIG. 5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

照明システムにおいて、

第 1 の入射端部および第 2 の入射端部を有する光拡散光ファイバであって、該光拡散光ファイバが、ガラスコアと、該ガラスコアを囲むクラッドと、外面とを有し、前記ファイバ内に位置する、光を散乱させるよう構成された複数のナノサイズ構造を更に含む、前記光拡散光ファイバと、

前記光拡散光ファイバの前記第 1 の入射端部に光学的に結合され、第 1 の波長を有する光を発生するよう構成された第 1 の光源であって、該第 1 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 1 の光源と、

前記光拡散光ファイバの前記第 2 の入射端部に光学的に結合され、第 2 の波長を有する光を発生するよう構成された第 2 の光源であって、該第 2 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 2 の光源と、

を含み、

前記光拡散光ファイバ内の、前記第 1 の光源から発せられた前記光と前記第 2 の光源から発せられた前記光との接合部において、色の変化が生じ、

前記第 1 の光源および前記第 2 の光源のうちの 1 以上から発せられる光の強度を調節することにより、前記色の変化の位置を、前記光拡散光ファイバに沿って調節可能であることを特徴とする照明システム。

【請求項 2】

前記第 1 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 1 のポテンショメータと、

前記第 2 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 2 のポテンショメータと、

前記ポテンショメータのうちの少なくとも一方を制御するよう構成されたマイクロコントローラと

を更に含む、請求項 1 記載の照明システム。

【請求項 3】

(i) 前記第 2 の光源が LED であること、

(ii) 前記光ファイバ内に、導光された光を前記ナノサイズの空隙を介して前記コアから離れる方向に前記外面を通して優先的に散乱させるための複数の屈曲部が形成されていること、

(iii) 前記光ファイバが $0.5\text{ m} \sim 100\text{ m}$ の長さ L を有すること、

(iv) 前記光ファイバがマルチモードファイバであり、前記コアが、 $50\text{ }\mu\text{m}$ より大きく且つ $500\text{ }\mu\text{m}$ 未満のコア径と、 $NA > 0.2$ である開口数 NA とを有すること、および

(v) 前記コアが、Ge、F のうちの少なくとも 1 つのドーパントが添加されたシリカを含むこと

の条件のうちの少なくとも 1 つが満足された、請求項 1 または 2 記載の照明システム。

【請求項 4】

前記光拡散光ファイバの前記コアがシリカを含み、前記ナノサイズの空隙が前記コア内に位置し、前記コアが外径 R_c を有し、前記コアが、

$0.1R_c < R_1 < 0.9R_c$ である半径 R_1 を有する中実の内側コア部分と、

$0.05R_c < W_2 < 0.9R_c$ である幅 W_2 を有するナノ構造領域と、

$0.1R_c < W_s < 0.9R_c$ である幅 W_s を有する中実の外側コア領域と

を含み、

前記コアの各部分がシリカガラスを含む、

請求項 1 ～ 3 のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項 5】

前記コア全体がナノサイズの空隙を含む、請求項 1 記載の照明システム。

【請求項 6】

(i) 前記クラッドが、シリカ系ガラスまたはポリマーのいずれかを含み、および／も

10

20

30

40

50

しくは、前記光ファイバの前記外面上にコーティングが設けられ、前記光ファイバコーティング中に蛍光種が設けられ、並びに／または

(ii) 前記光ファイバが、顔料、蛍光体、蛍光材料、紫外線吸収材料、親水性材料、光改変材料、もしくはそれらの組合せのうちの少なくとも1つを含む

請求項1～5のいずれか一項に記載の照明システム。

【請求項7】

前記第1の光源または前記第2の光源が、2つ以上の波長を有する光を発生するよう構成された、請求項1記載の照明システム。

【請求項8】

請求項1～7のいずれか一項に記載の照明システムを含むことを特徴とする自動車。

10

【請求項9】

照明システムにおいて、

(i) 第1の入射端部および第2の入射端部を有する光拡散光ファイバと、好ましくは(a)導波路内の複数の構造的欠陥または(b)前記光ファイバ内の複数の空気の線を含む散乱機構と、

(ii) 前記光拡散光ファイバの前記第1の入射端部に光学的に結合され、第1の波長を有する光を発生するよう構成された第1の光源であって、該第1の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第1の光源と、

(iii) 前記光拡散光ファイバの前記第2の入射端部に光学的に結合され、第2の波長を有する光を発生するよう構成された第2の光源であって、前記第1の波長、該第2の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第2の光源とを含む、

20

前記光拡散光ファイバ内の、前記第1の光源から発せられた前記光と前記第2の光源から発せられた前記光との接合部において、色の変化が生じ、

前記第1の光源および前記第2の光源のうちの1以上から発せられる光の強度を調節することにより、前記色の変化の位置を、前記光拡散光ファイバに沿って調節可能であることを特徴とする照明システム。

【請求項10】

前記第1の光源への電力の入力を制御するよう構成された第1のポテンショメータと、前記第2の光源への電力の入力を制御するよう構成された第2のポテンショメータとを更に含む、請求項9記載の照明システム。

30

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本願は、合衆国法典第35巻第119条に基づき、2014年10月10日に出願された米国仮特許出願第62/06238号による優先権を主張するものであり、その内容に依拠すると共に、その全体を参照して本明細書に組み込む。

【技術分野】

【0002】

本明細書は、一般的に、照明用途で用いられる光拡散光ファイバに関し、より具体的には、ファイバの長さに沿った色の移動を生じることができる光拡散光ファイバに関する。

40

【背景技術】

【0003】

光ファイバは、光源からリモートの位置へと光を届けることが必要な様々な用途で用いられる。例えば、光通信システムは、サービスプロバイダからシステムのエンドユーザへと光を伝達するために、光ファイバのネットワークに依拠している。

【0004】

通信用光ファイバは、吸収および散乱に起因する減衰が比較的低レベルである800nm～1675nmの範囲内の近赤外波長で動作するよう設計されている。これは、ファイバの一端部に注入された光の大半が、ファイバの反対側の端部から出るのを可能にし、フ

50

ファイバの側面を通して周辺に出る量はごく僅かである。

【0005】

しかし、近年、従来のファイバよりも曲げの影響を受けにくい光ファイバを有する必要性が高まっている。その理由は、光ファイバをきつく曲げる必要がある構成で配置される通信システムが増えているからである。この必要性は、コア領域を囲む非周期的に設けられた小さい空隙のリングを用いた光ファイバの開発につながった。空隙を含むリングは、曲げの影響の受けにくさを高める役割をする。即ち、ファイバは、ファイバ内を伝搬する光信号の減衰に大きな変化を生じることなく、より小さい曲げ半径を有することができる。光ファイバの（コアから或る距離の）クラッド内に空隙を含むリング領域を配置することによって光損失が抑制され、それによって、空隙を含むリング領域を通して伝搬する光の量が抑制される。

10

【0006】

光ファイバは、典型的には、光をファイバの一端部からファイバの他端部へと長い距離にわたって効率的に届けるように設計されているので、典型的なファイバの側面から漏れる光は非常に少なく、従って、光ファイバは、長く延在する照明源を構成するための使用にはあまり適していないと考えられている。しかし、例えば、選択された量の光を指定された領域に効率的に供給する必要がある、特殊な照明、サイン照明、または生物学的な用途（細菌の増殖、光バイオエネルギーおよびバイオマス燃料の生成を含む）等の多くの用途がある。バイオマスの成長については、光エネルギーをバイオマス系燃料に変換するプロセスを開発する必要がある。特殊照明については、光源は、薄く、柔軟で、様々な異なる形状に容易に変形される必要がある。

20

【0007】

曲げの影響を受けない光拡散光ファイバは、光を装飾および／または特徴を示すものとして用いる自動車、家電、建築、小売り、および他の市場において多くの用途を有する。しかし、既存の光拡散光ファイバから発せられる色のついた光の大部分は静止したものであり、発せられる光の変化は、光ファイバの全長に沿って1つの光の色から別の光の色へと完全に変化するもののみである。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従って、当該技術分野において、ファイバの長さに沿った色の移動を生じることができる光拡散光ファイバシステムの必要性が存在する。

30

【課題を解決するための手段】

【0009】

本明細書は、ファイバの長さに沿った色の移動を生じることができる光拡散光ファイバを有する照明システムに関する。

【0010】

一実施形態によれば、照明システムは、第1の入射端部および第2の入射端部を有する光拡散光ファイバであって、該光拡散光ファイバが、ガラスコアと、ガラスコアを囲むクラッドと、外面とを有し、ファイバ内に位置する、光を散乱させるよう構成された複数のナノサイズ構造を更に含む、光拡散光ファイバと、光拡散光ファイバの第1の入射端部に光学的に結合され、第1の波長を有する光を発生するよう構成された第1の光源であって、第1の光源から発せられる光の強度が調節可能である第1の光源と、光拡散光ファイバの第2の入射端部に光学的に結合され、第2の波長を有する光を発生するよう構成された第2の光源であって、第2の光源から発せられる光の強度が調節可能である第2の光源とを含み、光拡散光ファイバ内の、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との接合部において、色の変化が生じ、第1の光源および第2の光源のうちの1以上から発せられる光の強度を調節することにより、色の変化の位置を光拡散光ファイバに沿って調節可能である。

40

【0011】

50

一実施形態によれば、照明システムは、(i) 第1の入射端部および第2の入射端部を有する光拡散光ファイバであって、該光拡散光ファイバが、ガラスコアと、ガラスコアを囲むクラッドと、外面とを有し、ガラスコア内またはコアークラッド境界に位置する、光を散乱させるよう構成された複数のナノサイズ構造を更に含む、光拡散光ファイバと、(ii) 光拡散光ファイバの第1の入射端部に光学的に結合され、第1の波長を有する光を発生するよう構成された第1の光源であって、第1の光源から発せられる光の強度が調節可能である第1の光源と、(iii) 光拡散光ファイバの第2の入射端部に光学的に結合され、第2の波長を有する光を発生するよう構成された第2の光源であって、第1の波長、第2の光源から発せられる光の強度が調節可能である第2の光源とを含む。光拡散光ファイバ内の、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との接合部において相互作用箇所が生じ、第1の光源および第2の光源のうちの1以上から発せられる光の強度を調節することにより、相互作用箇所の位置を光拡散光ファイバに沿って調節可能である。

10

【0012】

一実施形態によれば、本システムは、第1の光源への電力の入力を制御するよう構成された第1のポテンショメータと、第2の光源への電力の入力を制御するよう構成された第2のポテンショメータとを更に含む。

【0013】

一実施形態によれば、第1の光源および第2の光源はLEDである。

【0014】

一実施形態によれば、光ファイバ内には、導光された光をナノサイズの空隙を介してコアから離れる方向に外面を通して優先的に散乱させるための複数の屈曲部が形成される。

20

【0015】

一実施形態によれば、光ファイバは、0.5m~100mの長さLを有する。

【0016】

一実施形態によれば、光ファイバはマルチモードファイバであり、(i) 50μmより大きく且つ500μm未満のコア径と、(ii) $NA > 0.2$ である開口数NAとを有する。

【0017】

一実施形態によれば、光拡散光ファイバのコアはシリカを含み、コア内にはナノサイズの空隙が位置する。

30

【0018】

一実施形態によれば、コア内にはナノサイズの空隙が位置し、コアは外径 R_c を有し、コアは、 $0.1R_c < R_1 < 0.9R_c$ である半径 R_1 を有する中実の内側コア部分と、 $0.05R_c < W_2 < 0.9R_c$ である幅 W_2 を有するナノ構造領域と、 $0.1R_c < W_s < 0.9R_c$ である幅 W_s を有する中実の外側コア領域とを含み、コアの各部分はシリカガラスを含む。

【0019】

一実施形態によれば、コアは、Ge、Fのうちの少なくとも1つのドーパントが添加されたシリカを含む。

40

【0020】

一実施形態によれば、コア全体がナノサイズの空隙を含む。

【0021】

一実施形態によれば、クラッドは、シリカ系ガラスまたはポリマーのいずれかを含む。

【0022】

一実施形態によれば、本システムは、光ファイバの外面上に設けられたコーティングを更に含む、光ファイバのコーティング中には蛍光種が設けられる。

【0023】

一実施形態によれば、光源は200~2000nmの波長範囲内の光を発生する。

【0024】

50

一実施形態によれば、光ファイバは、顔料、蛍光体、蛍光材料、紫外線吸収材料、親水性材料、光改変材料、またはそれらの組合せのうちの少なくとも1つを含む。

【0025】

1つの態様によれば、自動車は、(i) 第1の入射端部および第2の入射端部を有する光拡散光ファイバであって、該光拡散光ファイバが、ガラスコアと、ガラスコアを囲むクラッドと、外面とを有し、ガラスコア内またはコア-クラッド境界に位置する、光を散乱させるよう構成された複数のナノサイズ構造を更に含む、光拡散光ファイバと、(ii) 光拡散光ファイバの第1の入射端部に光学的に結合され、第1の波長を有する光を発生するよう構成された第1の光源であって、第1の光源から発せられる光の強度が調節可能である第1の光源と、(iii) 光拡散光ファイバの第2の入射端部に光学的に結合され、第2の波長を有する光を発生するよう構成された第2の光源であって、第1の波長、第2の光源から発せられる光の強度が調節可能である第2の光源とを含む照明システムを含む。光拡散光ファイバ内の、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との接合部において相互作用箇所が生じ、第1の光源および第2の光源のうちの1以上から発せられる光の強度を調節することにより、相互作用箇所の位置を光拡散光ファイバに沿って調節可能である。

10

【0026】

1つの態様によれば、照明システムは、(i) 第1の入射端部および第2の入射端部を有する光拡散光ファイバであって、該光拡散光ファイバが、ガラスコアと、ガラスコアを囲むクラッドと、外面とを有し、ガラスコア内またはコア-クラッド境界に位置する、光を散乱させるよう構成された複数のナノサイズ構造を更に含む、光拡散光ファイバと、(ii) 光拡散光ファイバの第1の入射端部に光学的に結合され、第1の波長を有する光を発生するよう構成された第1の光源であって、第1の光源から発せられる光の強度が調節可能である第1の光源と、(iii) 光拡散光ファイバの第2の入射端部に光学的に結合され、第2の波長を有する光を発生するよう構成された第2の光源であって、第1の波長、第2の光源から発せられる光の強度が調節可能である第2の光源と、(iv) 第1の光源への電力の入力を制御するよう構成された第1のポテンショメータと、(v) 第2の光源への電力の入力を制御するよう構成された第2のポテンショメータとを含む。光拡散光ファイバ内の、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との接合部において相互作用箇所が生じ、第1のポテンショメータおよび第2のポテンショメータのうちの1つ以上を用いて第1の光源および第2の光源のうちの1以上から発せられる光の強度を調節することにより、相互作用箇所の位置を光拡散光ファイバに沿って調節可能である。

20

30

【0027】

一実施形態によれば、第1の光源および第2の光源はLEDである。

【0028】

一実施形態によれば、光源は、200～2000nmの波長範囲内の光を発生する。

【0029】

少なくとも1つの実施形態によれば、照明システムは、(i) 第1の入射端部および第2の入射端部を有する光拡散光ファイバと、(ii) 光拡散光ファイバの第1の入射端部に光学的に結合され、第1の波長を有する光を発生するよう構成された第1の光源であって、第1の光源から発せられる光の強度が調節可能である第1の光源と、(iii) 光拡散光ファイバの第2の入射端部に光学的に結合され、第2の波長を有する光を発生するよう構成された第2の光源であって、第1の波長、第2の光源から発せられる光の強度が調節可能である第2の光源とを含む。光拡散光ファイバ内の、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との接合部において相互作用箇所が生じ、第1の光源および第2の光源のうちの1以上から発せられる光の強度を調節することにより、相互作用箇所の位置を光拡散光ファイバに沿って調節可能である。即ち、例えば、光源の少なくとも一方、幾つかの実施形態では両方は、調節可能なまたは可変の光強度を提供するよう構成される。幾つかの実施形態では、光源によって提供される光の強度は、他の手段(例えば、それぞれ異なる位置において異なる吸収特性を有する回転可能またはスライド可能な吸収フ

40

50

ィルタ)によって調節され得る。

【0030】

一実施形態によれば、照明システムは、第1の光源への電力の入力を制御するよう構成された第1のポテンショメータと、第2の光源への電力の入力を制御するよう構成された第2のポテンショメータとを更に含む。

【0031】

一実施形態によれば、第1の光源および第2の光源はLEDである。

【0032】

本開示の目的で本明細書において用いられる例えば「水平」、「垂直」、「前」、「後」等の用語、およびデカルト座標の使用は、図面中における参照のため、および、説明を容易にするためのものであり、説明または特許請求の範囲のいずれにおいても、絶対的な向きおよび／または方向に厳密に限定することは意図しない。

【0033】

以下の本開示の説明において、ナノサイズ構造を有する光拡散光ファイバに関連して、以下の用語および語句が用いられる。「屈折率プロファイル」とは、屈折率または相対屈折率と導波路(ファイバ)の半径との関係である。「相対屈折率パーセント」とは、 $\Delta(r)\% = 100 \times [n(r)^2 - n_{REF}^2] / 2n(r)^2$ として定義され、式中、 $n(r)$ は、特に明記しない限り、半径 r における屈折率である。相対屈折率パーセントは、特に明記しない限り、850nmにおいて定められたものである。1つの態様において、基準屈折率 n_{REF} は、850nmにおいて1.452498の屈折率を有するシリカガラスであり、別の態様では、850nmにおけるクラッドガラスの最大屈折率である。本明細書において用いられる相対屈折率は、 Δ によって表され、その値は、特に明記しない限り、「%」の単位で与えられる。或る領域の屈折率が基準屈折率 n_{REF} より小さい場合には、相対屈折率パーセントは負であり、低下した領域、即ち低下した屈折率を有するものとして参照され、最小相対屈折率は、特に明記しない限り、相対屈折率が最も負である点において算出される。或る領域の屈折率が基準屈折率 n_{REF} より大きい場合には、相対屈折率パーセントは正であり、その領域は、上昇した領域である、即ち正の屈折率を有すると言える。

【0034】

本明細書において用いられる「アップドープメント」という用語は、ドーピングされていない純粋な SiO_2 と比べて屈折率を上昇させる傾向を有するドープメントであると見なされる。本明細書において用いられる「ダウンドープメント」という用語は、ドーピングされていない純粋な SiO_2 と比べて屈折率を低下させる傾向を有するドープメントであると見なされる。アップドープメントは、アップドープメントではない1以上の他のドープメントを伴った際に、光ファイバの負の相対屈折率を有する領域内に存在し得る。同様に、アップドープメントではない1以上の他のドープメントは、光ファイバの正の相対屈折率を有する領域内に存在し得る。ダウンドープメントは、ダウンドープメントではない1以上の他のドープメントを伴った際に、光ファイバの正の相対屈折率を有する領域内に存在し得る。同様に、ダウンドープメントではない1以上の他のドープメントは、光ファイバの負の相対屈折率を有する領域内に存在し得る。

【0035】

本明細書において用いられる「 α 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、「%」を単位とする $\Delta(r)$ (ここで、 r は半径である)に関して表された相対屈折率プロファイルを指し、 $\Delta(r)$ は以下の式に従う。

$$\Delta(r) = \Delta(r_0) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha)$$

式中、 r_0 は $\Delta(r)$ が最大になる点であり、 r_1 は $\Delta(r)\%$ が0になる点であり、 r は $r_i \leq r \leq r_f$ の範囲内であり、 Δ は上述の定義の通りであり、 r_i は α プロファイルの最初の点であり、 r_f は α プロファイルの最後の点であり、 α は実数である指数である。

【0036】

従って、本明細書において用いられる「放物線」という用語は、コア内の1以上の点において2.0の α 値から僅かに変化し得る略放物線形状の屈折率プロファイル、並びに、小さいばらつきおよび／または中心線の沈みを有するプロファイルを含む。幾つかの実施形態では、 α は1.5より大きく且つ2.5未満である。他の実施形態では、 α は1.7より大きく且つ2.3未満である。更に他の実施形態では、 α は850nmにおいて測定された場合に1.8～2.3である。他の実施形態では、屈折率プロファイルの1以上の部分が、8より大きい α 値を有する略階段状の屈折率形状を有する。他の実施形態では、 α は850nmにおいて測定された場合に10より大きい、または20より大きい。

【0037】

本明細書において用いられる「ナノ構造ファイバ領域」という用語は、ガスが充填された多数の(50個を超える)空隙または他のナノサイズ構造(例えば、ファイバの断面において50個を超える、100個を超える、または200個を超える空隙)を有する領域を有するファイバを指す。ガスが充填された空隙は、例えば、 SO_2 、 Kr 、 Ar 、 CO_2 、 N_2 、 O_2 、またはそれらの混合物を含み得る。本明細書において記載されるナノサイズ構造(例えば、空隙)の断面サイズ(例えば、直径)は、10nm～1 μm (例えば、50nm～500nm)の範囲で様々であり得、長さは、1ミリメートル～50メートルの範囲(例えば、2mm～5メートル、または5mm～1mの範囲)で様々であり得る。

【0038】

標準的なシングルモードまたはマルチモード光ファイバでは、1300nm未満の波長における損失は、レイリー散乱によって支配される。これらのレイリー散乱損失 L_s は、材料の特性によって決定され、可視波長(400～700nm)については典型的には約20dB/kmである。レイリー散乱損失は、強い波長依存性も有し、これは、入射した光の95%を超える光を放散させるには、少なくとも約1km～2kmのファイバが必要であることを意味する。そのようなファイバの長さがより短い場合には、照明効率がより低くなり、一方、長い長さ(1km～2km、またはそれ以上)を用いる場合には、よりコストがかかり得ると共に、管理が困難であり得る。バイオリアクターまたは他の照明システムにおいて、長い長さのファイバを用いる場合には、設置が面倒であり得る。

【0039】

照明用途の特定の構成においては、より短い長さ(例えば、1～100メートル)のファイバを用いるのが望ましいが、1メートルよりかなり短い長さ、および100メートルよりかなり長い長さもあり得る。これには、ファイバの屈曲部における明るい点を回避するために、良好な角度散乱特性(ファイバの軸から離れる方向に均一な光の放散)および良好な曲げ性能を維持しつつ、ファイバからの散乱損失を増加することが必要である。本明細書において記載される本開示の実施形態の少なくとも一部の望ましい属性は、ファイバ照明器の長さに沿った高い照度である。光ファイバは柔軟であるので、様々な照明形状の配置が可能である。ファイバの屈曲点における(上昇した曲げ損失に起因する)明るい点は実質的に存在せず、ファイバによって供給される照明のばらつきは30%を超えない。幾つかの実施形態では、照明のばらつきは20%未満であり、10%未満の場合もある。例えば、少なくとも幾つかの実施形態では、ファイバの平均散乱損失は50dB/kmより大きく、0.2mの長さの任意の所与のファイバ部分にわたる散乱損失のばらつきは30%を超えない(即ち、散乱損失は平均散乱損失の $\pm 30\%$ 以内である)。少なくとも幾つかの実施形態によれば、ファイバの平均散乱損失は50dB/kmより大きく、0.05m未満の長さのファイバ部分にわたる散乱損失のばらつきは30%を超えない。少なくとも幾つかの実施形態によれば、ファイバの平均散乱損失は50dB/kmより大きく、0.01mの長さのファイバ部分にわたる散乱損失のばらつきは30%を超えない(即ち、 $\pm 30\%$)。少なくとも幾つかの実施形態によれば、ファイバの平均散乱損失は50dB/kmより大きく、0.01mの長さのファイバ部分にわたる散乱損失のばらつきは20%を超えず(即ち、 $\pm 20\%$)、幾つかの実施形態では10%以下(即ち、 $\pm 10\%$)である。

10

20

30

40

50

【0040】

少なくとも幾つかの実施形態では、ファイバのターゲット長さ（例えば、0.02～100mの長さであり得る）についての、照明波長における、ファイバの側面を通ってくる積分（拡散）光強度の強度のばらつきは、30%未満である。なお、特定の照明波長におけるファイバの側面を通る積分光強度の強度は、クラッドまたはコーティングに蛍光材料を組み込むことによって変わり得る。蛍光材料による光の散乱の波長は、ファイバ内を伝搬する光の波長とは異なる。

【0041】

以下の例示的な実施形態の幾つかにおいて、ファイバのコア領域内に配置された、またはコアに非常に近接して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が記載される。ファイバの実施形態の幾つかは、50dB/kmを超える（例えば、100dB/kmより大きい、200dB/kmより大きい、500dB/kmより大きい、1000dB/kmより大きい、3000dB/kmより大きい、または5000dB/kmより大きい）散乱損失を有し、散乱損失（およびそれによって照度、即ちこれらのファイバによって放射される光）は角度空間内において均一である。

【0042】

ファイバにおける屈曲部としての明るい点を低減または解消するために、曲げ直径が50mm未満であるとき、ファイバの90°の屈曲部における減衰の増加は5dB/turn未満（例えば、3dB/turn未満、2dB/turn未満、1dB/turn未満）であるのが望ましい。例示的な実施形態では、より小さい曲げ直径（例えば、20mm未満、10mm未満、およびたとえ5mm未満）でも、低い曲げ損失が達成される。5mmの曲げ半径において、減衰の増加の合計は、90度の曲げ（turn）当たり1dB未満である。

【0043】

幾つかの実施形態によれば、曲げ損失は、直線状のファイバのコアからの固有の散乱損失に等しいか、またはそれより低い。固有の散乱は、主に、ナノサイズ構造からの散乱に起因する。従って、少なくとも光ファイバの曲げの影響を受けない実施形態によれば、曲げ損失はそのファイバの固有の散乱を超えない。しかし、散乱レベルは曲げ直径の関数であるので、ファイバの曲げ配置は、その散乱レベルに依存する。例えば、実施形態の幾つかにおいて、ファイバは3dB/turn未満、および幾つかの実施形態では2dB/turn未満の曲げ損失を有し、ファイバを、明るい点を生じることなく、半径5mm程度の小さい半径を有する円弧状に曲げることができる。

【0044】

また、以下の説明において、光反応性材料にわたって散乱した化学線が供給されるまたは届けられると記載されている幾つかの実施形態では、散乱した化学線は、光反応性材料に対して妥当な時間内に光反応を行うのに十分な強度を有するものとする。

【0045】

本発明の上記および他の態様は、以下に記載される実施形態から自明であると共に、これらの実施形態を参照して明らかになる。

【図面の簡単な説明】

【0046】

【図1】一実施形態による光拡散光ファイバの部分の模式的な側面図

【図2】図1の光ファイバの方向2-2に沿って見た模式的な断面図

【図3A】一実施形態による光拡散ファイバについてのファイバ半径に対する相対屈折率のプロットを模式的に示す

【図3B】一実施形態による光拡散ファイバについてのファイバ半径に対する相対屈折率のプロットを模式的に示す

【図3C】一実施形態による光拡散光ファイバを模式的に示す

【図4】一実施形態による光拡散光ファイバを模式的に示す

10

20

30

40

50

【図 5】一実施形態による光拡散光ファイバ内における色の前線を模式的に示す

【図 6】一実施形態による光拡散光ファイバ内における色の前線の移動を模式的に示す

【図 7】一実施形態による光拡散光ファイバ内における色の前線の移動を模式的に示す

【発明を実施するための形態】

【0047】

図面中、類似の参照文字は、異なる図面を通して、同じ部分を概ね参照している。また、図面は必ずしも縮尺通りではなく、むしろ、本発明の原理を説明する際に強調されている。

【0048】

本開示は、光拡散光ファイバの長さに沿った色の移動の外観を生じる装置、システム、およびデバイスの様々な実施形態を記載している。既存の曲げの影響を受けない光拡散光ファイバから発せられる光および色の大半は静止したものであるが、本出願人は、光拡散光ファイバの長さに沿った移動の外観を生じることが有益であることを認識した。

【0049】

上記に鑑みて、様々な実施形態および実装例は、光の移動の外観を生じよう設計された、ファイバの各端部に光源が光学的に接続された光拡散光ファイバを含む照明システムに関するものである。2つの光源は、強度を調節可能な、それぞれ異なる波長の光を発し、それらの光は、光ファイバの長さに沿った接合部において合わさる。2つの光源の一方または両方によって発せられる光の強度を調節することにより、光ファイバの長さに沿った接合部の位置が変わり、移動の外観が生じる。

【0050】

ここで、添付の図面に例が示されている本開示の好ましい実施形態を詳細に参照する。可能な場合には常に、同一または類似の部分参照するために、図面を通して同一または類似の参照番号が用いられる。本明細書において開示される実施形態は、本開示の特定の利益をそれぞれ組み込んだ単なる例であることを理解されたい。

【0051】

本開示の範囲内の以下の例に対して様々な変形および変更が行われ得るものであり、それぞれ異なる例の態様が、更に別の例を達成するために様々な混合され得る。従って、本開示の真の範囲は、本明細書に記載される実施形態に照らしつつ、それらに限定されない、本開示全体から理解されるものである。

【0052】

光拡散光ファイバ

ここで、図 1 A を参照すると、光拡散ファイバの例示的な一実施形態の部分の模式的な側面図が開示されている。中心軸（「中心線」）16 を有する光拡散光ファイバ（以下、「ファイバ」）12 のコア内に、複数の空隙が設けられている。

【0053】

図 2 は、図 1 の方向 2-2 に沿って見た光拡散光ファイバ 12 の一実施形態の模式的な断面図である。光拡散光ファイバ 12 は、例えば、周期的または非周期的なナノサイズ構造 32（例えば空隙）を有するナノ構造ファイバ領域を有する様々なタイプの光ファイバの任意の 1 つであり得る。例示的な一実施形態では、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 を含む。これらのコア領域は、例えば、中実の中心部分 22 と、ナノ構造リング部分（内側の環状コア領域）26 と、内側の環状コア領域を囲む中実の外側部分 28 とであり得る。クラッド領域 40（「クラッド」）は、環状のコア 20 を囲んでおり、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得る。クラッド 40 は、例えば、紫外線硬化性もしくは熱硬化性フルオロアクリレートまたはシリコン等の低屈折率ポリマー材料であり得る。

【0054】

必要に応じて設けられるコーティング 44 がクラッド 40 を囲んでいる。コーティング 44 は、低弾性率の一次コーティング層と高弾性率の二次コーティング層とを含み得る。幾つかの実施形態では、コーティング層 44 は、例えばアクリレート系またはシリコン

系ポリマー等のポリマーコーティングを含む。他の実施形態では、コーティングはファイバの長さに一定の直径を有する。幾つかの例示的な実施形態では、コーティング 44 は、コア 20 からクラッド 40 を通過する「放射光」の分布および／または性質を強化するように設計される。クラッド 40 の外面、または必要に応じて設けられるコーティング 44 の外面は、ファイバ 12 の「側面」 48 を表し、そこを通して、本明細書において記載されるように、ファイバ内を進む光が散乱によって外に出る。必要に応じて、保護カバーまたはシース（図示せず）がクラッド 40 を覆う。ファイバ 12 は、フッ素化されたクラッド 40 を含み得るが、リーク損失によって照明特性が劣化しない短い長さの用途でファイバが用いられる場合には、フッ素化されたクラッドは必要ない。

【0055】

10

幾つかの例示的な実施形態では、光拡散ファイバ 12 のコア領域 26 は、非周期的に設けられた複数のナノサイズ構造（例えば、「空隙」） 32（例えば、図 2 の拡大された部分に詳細に示されている例示的な空隙等）を内部に有するガラスマトリックス（「ガラス」） 31 を含む。別の例示的な実施形態では、空隙 32 は周期的に設けられてもよく（例えばフォトニック結晶光ファイバ等）、この場合、空隙は典型的には約 $1 \times 10^{-6} \text{ m}$ ~ 10^{-5} m の直径を有する。また、空隙 32 は、材料内に非周期的またはランダムに設けられてもよい。幾つかの例示的な実施形態では、領域 26 内のガラス 31 はフッ素添加シリカであり、他の実施形態では、ガラスはドーピングされていない純粋なシリカである。空隙の直径は少なくとも 10 nm である。

【0056】

20

ナノサイズ構造 32 は、コア 20 から離れる方向にファイバの外面に向かって光を散乱させる。次に、所望の照明を提供するために、散乱した光はファイバ 12 の外面を通して「拡散され」る。即ち、光の大半は、ファイバの長さに沿ってファイバ 12 の側面を通して（散乱によって）拡散される。ファイバは、発せられる放射の波長（照明波長）において、散乱によって生じる 50 dB/km より大きい減衰を有し得る。この波長については、散乱によって生じる減衰は 100 dB/km より大きい。幾つかの実施形態では、この波長において、散乱によって生じる減衰は 500 dB/km より大きく、幾つかの実施形態では、散乱によって生じる減衰は、例えば、1000 dB/km、2000 dB/km より大きい、または 5000 dB/km より大きいものであり得る。これらの高い散乱損失は、標準的なシングルモードおよびマルチモード光ファイバにおけるレイリー散乱損失より約 2.5 ~ 250 倍高い。

30

【0057】

コア領域 22 および 28 内のガラスは、例えば Ge、Al、および／または P 等のアップドープメントを含み得る。「非周期的に設けられた」または「非周期的分布」とは、（図 2 に示されているような）光ファイバの断面を見た際に、空隙 32 がファイバの一部分にわたってランダムまたは非周期的に分布していることを意味する。ファイバの長さに沿ったそれぞれ異なる点において見た類似の断面は、それぞれ異なる断面空隙パターンを見せる。即ち、様々な断面は、それぞれ異なる空隙パターンを有し、空隙の分布および空隙のサイズは一致しない。即ち、空隙は非周期的である、即ち、空隙はファイバ構造内に周期的には設けられていない。これらの空隙は光ファイバの長さに沿って（即ち、縦軸に対して平行に）引き延ばされ（伸長され）ているが、伝送ファイバの典型的な長さについては、ファイバ全体の全長には延びていない。理論によって縛られることは望まないが、空隙は、ファイバの長さに沿って 10 メートル未満、多くのケースでは 1 メートル未満延びていると考えられる。

40

【0058】

本明細書において、後述する照明システムで用いられる光拡散光ファイバ 12 は、固化したガラスブランク内に、かなりの量のガスが閉じ込められることにより、固化したガラス光ファイバプリフォーム内における空隙の形成を生じる、プリフォーム固化条件を用いる方法によって製造され得る。これらの空隙を除去する工程を行うのではなく、得られたプリフォームは、空隙、即ちナノサイズ構造を内部に有する光ファイバを形成するために

50

用いられる。得られたファイバのナノサイズ構造、即ち空隙は、ファイバから出る光を、ファイバ長さに沿ってファイバの側面を介して散乱または導光するために用いられる。即ち、所望の照明を提供するために、光は、ファイバの外面を通して、コア20から離れる方向に導光される。

【0059】

上述のように、ファイバ12の幾つかの実施形態では、コアの部分22および28は、ゲルマニウムが添加されたシリカ、即ち、ゲルマニウム添加シリカを含む。光ファイバのコア内、特に、中心線16またはその付近においては、所望の屈折率および密度を得るために、ゲルマニウム以外のドーパントが、単独でまたは組み合わせて用いられてもよい。少なくとも幾つかの実施形態では、本明細書において開示される光ファイバの相対屈折率プロファイルは、コアの部分22および28において負ではない。少なくとも幾つかの実施形態では、光ファイバは、コア内に屈折率を低下させるドーパントを含まない。幾つかの実施形態では、本明細書において開示される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。

【0060】

本明細書において用いられるファイバ12の幾つかの例では、コア20は、純粋なシリカを含む。一実施形態において、ファイバの好ましい属性は、生物学的材料が感度を有する所望のスペクトル範囲内において、ファイバから出る光を散乱させる（光を拡散する）能力である。他の実施形態では、散乱した光は、装飾的なアクセントおよび白色光の用途で用いられ得る。散乱による損失の量は、ファイバ中のガラスの特性、ナノ構造領域26の幅、およびナノサイズ構造のサイズおよび密度を変えることによって増加させることができる。

【0061】

ファイバ12の幾つかの実施形態では、コア20は、屈折率の勾配を有するコアであり、コアの屈折率プロファイルは放物線（または略放物線）形状を有する。幾つかの実施形態では、例えば、コア20の屈折率プロファイルは、850nmにおいて測定された α 値が約2である（幾つかのケースでは1.8~2.3である） α 形状を有する。他の実施形態では、屈折率プロファイルの1以上の部分は、850nmにおいて測定された α 値が8より大きい（幾つかのケースでは10より大きい、または20より大きい）略階段状の屈折率形状を有する。幾つかの実施形態では、コアの屈折率は、コアの最大屈折率および光ファイバ全体の最大屈折率が、中心線16から小さい距離だけ離れて位置するような、中心線の沈みを有してもよいが、他の実施形態では、コアの屈折率には中心線の沈みはなく、コアの最大屈折率および光ファイバ全体の最大屈折率は中心線に位置する。

【0062】

例示的な実施形態では、ファイバ12は、シリカ系コア20と、（シリカと比較して）低い屈折率のポリマークラッド40とを有する。低屈折率ポリマークラッド40は、負の（幾つかのケースでは-0.5%未満、または-1%未満の）相対屈折率を有し得る。幾つかの例示的な実施形態では、クラッド40は20 μ m以上の厚さを有する。幾つかの例示的な実施形態では、クラッド40はコアより低い屈折率を有し、10 μ m以上（例えば、20 μ m以上）の厚さを有する。幾つかの例示的な実施形態では、クラッドは、Rmaxの2倍の外径（例えば、約125 μ m（例えば、120 μ m~130 μ m、または123 μ m~128 μ m））を有する。他の実施形態では、クラッドは120 μ m未満（例えば60または80 μ m）の直径を有する。他の実施形態では、クラッドの外径は、200 μ mより大きい、300 μ mより大きい、または500 μ mより大きい。幾つかの実施形態では、クラッドの外径は、ファイバ12の長さに沿って一定の直径を有する。他の実施形態では、ファイバ12の屈折率は半径方向に対称である。コア20の外径はファイバの長さに沿って略一定であり、コアの部分22、26、28の外径もファイバの長さに沿って略一定である。この項において用いられる「略一定」という用語は、平均値に関する直径のばらつきが、幾つかの実施形態では10%未満、他の実施形態では5%未満、および更に他の実施形態では2%未満であることを意味する。

【0063】

図3Aは、図2に示されている例示的なファイバ12についての、ファイバ半径に対する例示的な相対屈折率 Δ のプロットである（実線）。コア20は、例えば、1.7～2.3（例えば、1.8～2.3）の α 値によって特徴づけられる勾配のあるコアプロファイル（例えば、1.8～2.3）の α 値によって特徴づけられる勾配のあるコアプロファイルを有してもよい。コア領域22は、中心線から半径方向外側に、その外半径R1まで延び、最大屈折率 n_1 に対応する相対屈折率プロファイル $\Delta_1(r)$ （および相対屈折率パーセント Δ_{1MAX} ）を有する。この実施形態では、基準屈折率 n_{REF} はクラッドにおける屈折率である。第2のコア領域（ナノ構造領域）26は、最小屈折率 n_2 と、相対屈折率プロファイル $\Delta_2(r)$ と、最大相対屈折率 Δ_{2MAX} と、最小相対屈折率 Δ_{2MIN} とを有し、幾つかの実施形態では $\Delta_{2MAX} = \Delta_{2MIN}$ である。第3のコア領域28は、最大屈折率 n_3 と、最大相対屈折率 Δ_{3MAX} および最小相対屈折率 Δ_{3MIN} を有する相対屈折率プロファイル $\Delta_3(r)$ とを有し、幾つかの実施形態では $\Delta_{3MAX} = \Delta_{3MIN}$ である。この実施形態では、環状のクラッド40は、屈折率 n_4 と、最大相対屈折率 Δ_{4MAX} および最小相対屈折率 Δ_{4MIN} を有する相対屈折率プロファイル $\Delta_4(r)$ とを有する。幾つかの実施形態では $\Delta_{4MAX} = \Delta_{4MIN}$ である。幾つかの実施形態では、 $\Delta_{1MAX} > \Delta_{4MAX}$ であり、 $\Delta_{3MAX} > \Delta_{4MAX}$ である。幾つかの実施形態では $\Delta_{2MIN} > \Delta_{4MAX}$ である。図2および図3Aに示されている実施形態では、 $\Delta_{1MAX} > \Delta_{3MAX} > \Delta_{2MAX} > \Delta_{4MAX}$ である。この実施形態では、上記の領域の屈折率は、 $n_1 > n_3 > n_2 > n_4$ の関係を有する。

【0064】

幾つかの実施形態では、コア領域22、28は、図3Aに示されているように、一定の $\Delta_1(r)$ および $\Delta_3(r)$ を有する略一定の屈折率プロファイルを有する。これらの実施形態の幾つかにおいては、 $\Delta_2(r)$ は、僅かに正であるか（ $0 < \Delta_2(r) < 0.1\%$ ）、負であるか（ $-0.1\% < \Delta_2(r) < 0$ ）、または0%である。他の実施形態では、 $\Delta_2(r)$ の絶対的な大きさは0.1%未満、実質的に0.05%未満である。更に他の実施形態では、外側クラッド領域40は、図3Aに示されているように、一定の $\Delta_4(r)$ を有する略一定の屈折率プロファイルを有する。これらの実施形態の幾つかにおいては、 $\Delta_4(r) = 0\%$ である。コアの部分22は、 $\Delta_1(r) \geq 0\%$ である屈折率を有する。幾つかの実施形態では、空隙で埋められた領域26は、0.05%未満の絶対的な大きさを有する負の屈折率を有する相対屈折率プロファイル $\Delta_2(r)$ を有し、コア領域28の $\Delta_3(r)$ は、例えば、正または0であり得る。少なくとも幾つかの実施形態では、 $n_1 > n_2$ であり、 $n_3 > n_4$ である。

【0065】

幾つかの実施形態では、クラッド40は、 $-0.05\% < \Delta_4(r) < 0.05\%$ の屈折率を有する。他の実施形態では、クラッド40およびコアの部分20、26、および28は、純粋な（ドーピングされていない）シリカを含み得る。或いは、クラッド40は、純粋な低屈折率ポリマーを含み得る。幾つかの実施形態では、ナノ構造領域26は、複数の空隙32を含む純粋なシリカを含む。ナノ構造領域26の最小相対屈折率および空隙の存在を考慮した平均実効相対屈折率は、共に -0.1% 未満である。これらの空隙、即ち空隙32は、例えば、アルゴン、窒素、酸素、クリプトン、または SO_2 等の1以上のガスを含んでもよく、または、ガスが実質的に存在しない真空を含んでもよい。しかし、ガスの有無に関係なく、ナノ構造領域26における平均屈折率は、空隙32の存在に起因して低くなる。空隙32は、ナノ構造領域26内にランダムまたは非周期的に設けられてもよく、他の実施形態では、空隙はナノ構造領域26内に周期的に設けられる。幾つかの実施形態では、複数の空隙32は、複数の非周期的に設けられた空隙と、複数の周期的に設けられた空隙とを含む。

【0066】

例示的な実施形態では、コアの部分22はゲルマニウム添加シリカを含み、コアの内側の環状の領域28は純粋なシリカを含み、クラッドの環状の領域40はガラスまたは低屈折率ポリマーを含む。これらの実施形態の幾つかにおいては、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、これらの実施形態の更に別の実施形態では、ナノ構造領域 26 は、フッ素添加シリカ内に複数の空隙 32 を含む。

【0067】

幾つかの実施形態では、コアの外半径 R_c は $10\ \mu\text{m}$ より大きく且つ $600\ \mu\text{m}$ 未満である。幾つかの実施形態では、コアの外半径 R_c は $30\ \mu\text{m}$ より大きく且つ／または $400\ \mu\text{m}$ 未満である。例えば、 R_c は $125\ \mu\text{m} \sim 300\ \mu\text{m}$ であり得る。他の実施形態では、コア 20 の外半径 R_c は $50\ \mu\text{m}$ より大きく且つ $250\ \mu\text{m}$ 未満である。コア 20 の中心部分 22 は、 $0.1R_c < R_1 < 0.9R_c$ の範囲内、幾つかのケースでは $0.5R_c < R_1 < 0.9R_c$ の範囲内の半径を有する。ナノ構造リング領域 26 の幅 W_2 は、 $0.05R_c < W_2 < 0.9R_c$ 、幾つかのケースでは $0.1R_c < W_2 < 0.9R_c$ 、および他の実施形態では $0.5R_c < W_2 < 0.9R_c$ であり得る（同じ密度のナノサイズ構造については、ナノ構造領域が広いほど、散乱によって生じる減衰が高くなる）。中実のガラスコア領域 28 は、 $0.1R_c < W_3 < 0.9R_c$ である幅 $W_s = W_3$ を有する。コアの各部分 20 はシリカ系ガラスを含む。ナノ構造領域 26 の半径方向の幅 W_2 は、 $1\ \mu\text{m}$ より大きいものであり得る。例えば、 W_2 は $5\ \mu\text{m} \sim 300\ \mu\text{m}$ 、または幾つかのケースでは $200\ \mu\text{m}$ 以下であり得る。幾つかの実施形態では、 W_2 は $2\ \mu\text{m}$ より大きく且つ $100\ \mu\text{m}$ 未満である。他の実施形態では、 W_2 は $2\ \mu\text{m}$ より大きく且つ $50\ \mu\text{m}$ 未満である。他の実施形態では、 W_2 は $2\ \mu\text{m}$ より大きく且つ $20\ \mu\text{m}$ 未満である。他の実施形態では、 W_2 は少なくとも $7\ \mu\text{m}$ である。更に他の実施形態では、 W_2 は $2\ \mu\text{m}$ より大きく且つ $12\ \mu\text{m}$ 未満である。コア領域 28 の幅 W_3 は $(R_3 - R_2)$ であり、中点 R_{3MID} は $(R_2 + R_3) / 2$ である。幾つかの実施形態では、 W_3 は $1\ \mu\text{m}$ より大きく且つ $100\ \mu\text{m}$ 未満である。

【0068】

ファイバ 12 の開口数 (NA) は、光をファイバ内へと向かわせる光源の NA に等しいか、またはそれより大きいものであり得る。ファイバ 12 の開口数 (NA) は、 0.2 より大きい、幾つかの実施形態では 0.3 より大きい、および他の実施形態では 0.4 より大きいものであり得る。

【0069】

幾つかの実施形態では、第 1 のコア領域 22 のコア外半径 R_1 は $24\ \mu\text{m}$ 以上且つ $50\ \mu\text{m}$ 以下、即ち、コア径は約 $48 \sim 100\ \mu\text{m}$ である。他の実施形態では $R_1 > 24\ \mu\text{m}$ であり、更に他の実施形態では $R_1 > 30\ \mu\text{m}$ であり、更に他の実施形態では $R_1 > 40\ \mu\text{m}$ である。

【0070】

幾つかの実施形態では、環状の内側部分 26 の半径方向の幅の 50% 超について $|\Delta_2(r)| < 0.025\%$ であり、他の実施形態では、領域 26 の半径方向の幅の 50% 超について $|\Delta_2(r)| < 0.01\%$ である。低下した屈折率の環状の部分 26 は、クラッドの相対屈折率が最初に -0.05% 未満の値に達したところから始まり、中心線から半径方向外側に進む。幾つかの実施形態では、クラッド 40 は、最大の絶対的な大きさが 0.1% 未満である相対屈折率プロファイル $\Delta_4(r)$ を有し、この実施形態では $\Delta_{4MAX} < 0.05\%$ であり、 $\Delta_{4MIN} > -0.05\%$ であり、低下した屈折率の環状の部分 26 は、最も外側の空隙が見出されるところで終わる。

【0071】

クラッド構造 40 は、光ファイバの最も外側の周囲でもある半径 R_4 まで延びる。幾つかの実施形態では、クラッドの幅 $R_4 - R_3$ は $20\ \mu\text{m}$ より大きく、他の実施形態では $R_4 - R_3$ は少なくとも $50\ \mu\text{m}$ であり、幾つかの実施形態では $R_4 - R_3$ は少なくとも $70\ \mu\text{m}$ である。他の実施形態では、コア 20 全体がナノ構造であり（例えば、空隙で埋められており）、コア 20 はクラッド 40 によって囲まれている。コア 20 は、「階段状」の屈折率 Δ を有してもよく、または、例えば、 α 値が $1.8 \sim 2.3$ である α プロファイルを有する勾配のあるコアプロファイルを有してもよい。

【0072】

10

20

30

40

50

図3Bを参照すると、光拡散ファイバ12の他の実施形態が模式的に開示されている。図3Bのファイバは、相対屈折率 $\Delta 1$ を有するコア20と、コア20を覆うように位置してコア20を囲むナノ構造領域26'を含む。コア20は「階段状」の屈折率プロファイルを有してもよく、または、例えば、 α 値が1.8~2.3である α プロファイルを有する勾配のあるコアプロファイルを有してもよい。この実施形態では、ナノ構造領域26'は、複数の空隙32を有する環状のリングである。この実施形態では、領域26'の幅は1~2 μm 程度の小さいものであり得、負の平均相対屈折率 $\Delta 2$ を有し得る。クラッド40はナノ構造領域26'を囲む。クラッド40の(半径方向の)幅は1 μm 程度の小さいものであり得、クラッドは(純粋なシリカと比較して)負の、正の、または0%の相対屈折率を有し得る。図3Aの例と図3Bの例との主な相違は、図3Aに示されているナノ構造領域は光拡散ファイバ12のコア20内に位置し、図3Bではコア/クラッド界面に位置することである。低下した屈折率の環状の部分26'は、コアの相対屈折率が最初に-0.05%未満の値に達したところから始まり、中心線から半径方向外側に進む。図3Bの実施形態では、クラッド40は、最大の絶対的な大きさが0.1%未満である相対屈折率プロファイル $\Delta 3(r)$ を有し、この実施形態では $\Delta 3_{\text{MAX}} < 0.05\%$ であり、 $\Delta 3_{\text{MIN}} > -0.05\%$ であり、低下した屈折率の環状の部分26は、空隙で埋められた領域内の最も外側の空隙が生じているところで終わる。図3Bに示されている実施形態では、コア20の屈折率は環状の領域26'の屈折率 n_2 より大きく、クラッド40の屈折率 n_1 も、屈折率 n_2 より大きい。

【0073】

図3Cは、光ファイバ12のコア20の一実施形態を示す。このファイバは、約33.4 μm の外半径 R_1 を有する第1のコア領域22と、外半径 $R_2 = 42.8 \mu\text{m}$ を有するナノ構造領域26と、外半径 $R_3 = 62.5 \mu\text{m}$ を有する第3のコア領域28と、82.5 μm の外半径 R_4 (図示せず)を有するポリマークラッド40とを有する。この実施形態では、コアの材料は純粋なシリカ(ドーピングされていないシリカ)であり、クラッドの材料は低屈折率ポリマー(例えば、米国ミシガン州ミッドランドに所在するダウコーニング社からQ3-6696の商品名で入手可能な1.413の屈折率を有する紫外線硬化性シリコーン)とし、これは、ガラスコアと共に、0.3のファイバNAを生じた。光ファイバ12は、標準的なシングルモード伝送ファイバ(例えばSMF-28e(登録商標)ファイバ等)と比較して比較的平坦な(弱い)波長依存性を有した。標準的なシングルモード光ファイバ(例えばSMF-28(登録商標)等)またはマルチモード光ファイバでは、1300 nm未満の波長における損失はレイリー散乱によって支配される。これらのレイリー散乱損失は、材料の特性によって決定され、可視波長(400~700 nm)については典型的には約20 dB/kmである。レイリー散乱損失の波長依存性は、 p_4 である λ^{-p} に比例する。400 nm~1100 nmの波長範囲において、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散乱損失の指数は2未満であり、少なくとも80%(例えば90%超)にわたって1未満であり得る。400 nm~1100 nmにおける平均スペクトル減衰は、ファイバが40 gの張力で引っ張られている場合には約0.4 dB/mであり、ファイバ12が90 gの張力で引っ張られている場合には約0.1 dB/mであった。この実施形態では、ナノサイズ構造は SO_2 ガスを含む。出願人は、ナノ構造リング内の SO_2 が充填された空隙が、散乱に大きく寄与することを見出した。更に、ナノ構造を形成するために SO_2 を用いた場合には、ガスが、熱可逆的な損失を得ることを可能にする。即ち、600℃より低い温度では、ナノ構造ファイバは光を散乱させるが、600℃を超えると、同じファイバが光を導くようになる。この SO_2 が付与する独特の挙動も、同じファイバを600℃より低い温度に冷やした際には、ファイバ12が光拡散光ファイバとして作用し、再び観察可能な散乱効果を生じる点で、可逆的である。

【0074】

光拡散ファイバ12内のナノサイズ構造の存在は、光の散乱に起因する損失を生じ、ファイバの外側を通した光の散乱は、照明の目的で用いられ得る。

【0075】

コーティング

例示的な一実施形態では、ファイバ12は、図2に関して上述したように、コーティング44を含み得る。例示的な一実施形態では、コーティング44は、湿式接着を向上させる親水性コーティング層（例えば紫外線硬化性アクリレートコーティング等）を含む。コーティング層は、ガラスに隣接した低弾性率の一次コーティング層（典型的には $< 3 \text{ MPa}$ ）と、より高い弾性率の二次コーティング層（典型的には $> 50 \text{ MPa}$ ）とを含む紫外線硬化性コーティングであり得る。より高い弾性率の二次コーティング層は、一次（低弾性率）コーティング層に隣接して、一次コーティング層を覆うように位置する。単層コーティングとして、または多層コーティングのうちの1つの層として施される他のまたは更なるコーティングも用いられ得る。そのような材料の例は、細胞成長媒質の役割をする親水性コーティング44A（図示せず）、または、漏れた光を更に散乱させる材料を含むコーティングである。これらのコーティングは、ファイバ12の保護カバーリングの役割もし得る。

10

【0076】

コーティング44において用いられる例示的な親水性コーティング44Aは、表面への細胞の付着および成長を向上させるために通常用いられているものであり、カルボキシル酸官能基およびアミン官能基を含むものである（例えば、アクリル酸またはアクリルアミドを含有する処方）。更に、親水性コーティング44Aは、生物学的材料の成長に必須の栄養素の貯留層としての役割をすることによって強化され得る。

20

【0077】

幾つかの例示的な実施形態では、コーティング44は、放射光を改変する役割をする蛍光または紫外線吸収分子を含む。コーティングには、入射光源の波長とは異なる波長の光を生じるための適切なアップコンバータまたはダウンコンバータ分子も含まれ得る。発せられた光の色または色相を変えるためのインクコーティング層も施され得る。他のコーティングの実施形態は、ファイバから発せられた光を更に散乱させる機能がある分子を含む。更なる実施形態は、コーティング上に、光反応の速度を増加させるために用いられ得る光活性触媒を含み得る。そのような触媒の一例は、光触媒としてのルチル TiO_2 である。

【0078】

幾つかの実施形態によれば、光拡散ファイバ12は、ポリマー、金属、またはガラスのカバーリング（またはコーティング）内に封入されてもよく、このコーティングまたはカバーリングは、 $250 \mu\text{m}$ より大きい最小外形寸法（例えば、直径）を有する。ファイバが金属コーティングを有する場合には、金属コーティングは、光を所与の領域に優先的に向かわせるための開口部を含み得る。これらの更なるコーティングまたはカバーリングは、ファイバ上にコートされたコーティングについて上述したのと同様に、発せられた光を変化させるためまたは反応を触媒するための、更なる化合物を含有し得る。

30

【0079】

上述のように、光拡散ファイバ12は、光ファイバの外面上に設けられた親水性コーティングを含み得る。また、光ファイバコーティング中には、発せられた光を更に散乱させる機能がある分子に加えて、蛍光種（例えば、紫外線吸収材料）も設けられ得る。幾つかの実施形態によれば、光拡散ファイバ12に結合された光源は、 $200 \text{ nm} \sim 500 \text{ nm}$ の波長範囲の光を発生し、ファイバコーティング中の蛍光材料（蛍光種）は、白色光、緑色光、赤色光、またはNIR（近赤外）光のいずれかを発生する。

40

【0080】

更に、ファイバの外面上に更なるコーティング層が設けられ得る。この層は、放射光を改変するよう、コーティング材料の相互作用を変えるよう構成され得る。そのようなコーティングの例としては、例えば、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、またはアゾベンゼン部分等であるが、それに限定されない材料をそれぞれ含有するコーティングが挙げられる。

50

【0081】

色の前線を移動させる照明システム

図4を参照すると、色の前線を移動させる照明システム400の一実施形態が示されている。照明システム400は、例えば、本明細書において記載されるまたは別様で想定される光ファイバの実施形態のいずれかであり得る光拡散光ファイバ12を含む。幾つかの例として、光拡散光ファイバ12は、曲げの影響を受けない光ファイバであってもよく、または、複数の光拡散光ファイバを含んでもよい。複数のファイバのアセンブリであるケーブル設計がよく知られており、多くの他の構造および構成の中でも特に、リボン、複数のリボンの集合、または管内にまとめられたファイバを含み得る。そのようなファイバは、1以上の光拡散ファイバを含み得る。色の前線の移動は、各端部に異なる色の光を注入できる他のタイプの光拡散要素においても実現可能である。そのような光拡散要素は、例えば空気の線、二酸化チタンのような異物で構成された内包物、または導波路内の機械的欠陥等の何らかの散乱機構が導入されたガラスおよびプラスチックの両方を用いたプラスチック光ファイバまたはハイブリッドファイバを含み得る。他の可能な光拡散要素は、上述の散乱機構のうちの1以上を有するモールド成形または押出し成形されたプラスチックまたはガラス構造である。

10

【0082】

例えば、本明細書において説明されるように、ファイバ12は、コアと、クラッドと、コア内またはコア-クラッド境界に位置する複数のナノサイズ構造とを含む光拡散ファイバであり得る。この光ファイバは外面を更に含み得る。上述のように、光拡散光ファイバ12は、その長さにわたって放射を発する光源ファイバ部分を構成するために、導光された光を、例えば空隙等のナノサイズ構造によって、コアから離れる方向に外面を通して散乱させるよう構成される。ファイバ12内には、ナノサイズ構造32によって、コア20から離れる方向に特定の領域内の外面を通して光を優先的に散乱させるように、複数の屈曲部が形成され得る。

20

【0083】

再び図4を参照すると、照明システム400は、光ファイバ12の第1の端部に光学的に結合された第1の光源150a、および光ファイバ12の第2の端部に光学的に結合された第2の光源150bも含む。光源は、発光ダイオード(LED)を含むがそれに限定されない様々な光源のうちの任意のものであり得る。幾つかの実施形態によれば、光源は、200nm~2000nmの範囲内の少なくとも1つの波長λを有する光を発生する。

30

【0084】

図5に示されている一実施形態によれば、第1の光源は第1の波長210を有する光を発し、第2の光源は第2の波長220を有する光を発する。第1の波長210および第2の波長220は、通常はそれぞれ異なる波長である。例えば、第1の光源および第2の光源によって発せられる光の強度がほぼ等しい場合には、光は、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との重なりにおいて色の変化230を生じる。図面においては、色の変化230はソリッドな色として示されているが、色の変化230の具体的な色および/または強度は、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との相互作用箇所の長さに沿った任意の点において変わり得ることが当業者には認識されよう。例えば、図5を参照すると、色の変化230の第1の位置Aにおける光の色は、色の変化230の第2の位置Bにおける光の色とは異なり得る。一実施形態によれば、光ファイバ12に沿った色の変化230の特定の位置においてユーザによって観察される色は、CIEカラーマップ上の、光源150aによって発せられた光の波長および光源150bによって発せられた光の波長に対応する2つの点間に引かれた線上の色に対応する。色の変化は、第1の波長210および第2の波長220の値、色の変化230の観察位置(例えば、AまたはB)の光源150aおよび150bの一方または両方からの距離、および/または様々な他の要因を含むがそれらに限定されない様々な要因に起因する。

40

【0085】

一実施形態によれば、例えば、光源150aは、638nm(赤色)の波長を有する光

50

を発してもよく、光源 150b は、445nm（青色）の波長を有する光を発してもよい。色の变化 230 に沿った任意の点において観察される色は、CIE カラーマップ上の 445nm と 638nm との間に引かれた線上の色に対応する。色の变化 230 に沿った或る位置において、CIE カラーマップ上の 445nm と 638nm との間に引かれた線に沿ったどの点が観察されるかは、例えば、光源 150a および 150b の電力レベルのバランスに依存する。例えば、赤色の光源（150a）が、青色の光源（150b）より遙かに高い電力に設定された場合には、光ファイバ 12 は、赤色のレーザ点に最も近い線のサブセットに沿った色のみを示し、その逆の場合には、逆になる。

【0086】

第 1 の波長 210 および第 2 の波長 220 は典型的には調節可能であり、ファイバ 12 に沿った移動の知覚を生じることに加えて、第 1 の光源および第 2 の光源によって発せられる光の色を変えられるようになっている。

【0087】

光ファイバ 12 内における移動の外観を生じるために、第 1 の光源および第 2 の光源は、調節可能な強度を有するよう構成される。例えば、第 1 の光源および第 2 の光源によって発せられる光の強度は、光ドライバに指示を送るコントローラによって制御されてもよい。コントローラは、予めプログラムされた指示によって指示されてもよく、または、ユーザ入力、センサ入力、時間、または様々な他の制御入力に応答してもよい。

【0088】

図 4 に示されている一実施形態によれば、第 1 の光源 150a は、第 1 の光源への電力の入力を制御するポテンショメータ 410a を含む。同様に、第 2 の光源 150b は、第 2 の光源への電力の入力を制御するポテンショメータ 410b を含む。ポテンショメータ 410a および 410b は、第 1 の光源および第 2 の光源への電力の入力をそれぞれ独立して指示するために、個々に制御され得る。ポテンショメータは、様々な制御機構を用いて、電子的に、および／またはリモートで制御され得る。例えば、ポテンショメータは、システム全体の制御回路内のコンポーネントであり得る。制御回路は、予めプログラムされた指示によって指示されてもよく、もしくはそれに応答してもよく、または、ユーザ入力、センサ入力、時間、もしくは様々な他の制御入力に応答してもよい。或いは、ポテンショメータのうちの 1 以上は、スイッチ、ノブ、または他の直接的な制御手段によって制御されてもよい。これは、第 1 の光源および／または第 2 の光源によって発せられる光の強度をユーザが直に調節することを可能にする。或いは、個々の光源の駆動電流を設定するドライバ、および、それらの出力電力は、他の変形例の中でも特に、アナログ電圧および／またはパルス幅変調（「PWM」）信号によって制御されてもよい。これらの電圧または PWM 信号は、所望の色の移動効果をもたらすようプログラムされたマイクロコントローラによって発生され得る。電力バランス、変化速度、および変化の大きさは、マイクロコントローラによって制御され得るパラメータの一部である。マイクロコントローラは、リモート制御からのコマンドを受信するシステムにインターフェースされ得る。これらのコマンドは、上述のパラメータを調節してもよく、または、予めプログラムされた効果の集合を繰り返してもよい。

【0089】

光ファイバ 12 の長さに沿った移動の外観を生じるために、第 1 の光源および／または第 2 の光源によって発せられる光の強度が調節される。色の变化 230 の移動が図 6～図 7 に示されている。図 6 では、例えば、光源 150b によって発せられる波長 220 を有する光の強度が増加されている。これは、ポテンショメータ 410b に光源 150b への電力を増加させるよう指示し、それによって光源 150b によって発せられる光の強度を増加させることによって達成できる。光源 150b によって発せられる光の強度を増加させることに加えて、光源 150a によって発せられる光の強度を同時に減少させてもよい。或いは、光源 150a によって発せられる光の強度を減少させてもよい。光源 150a によって発せられる光の強度は、例えば、ポテンショメータ 410a に指示することによって制御され得る。

【0090】

光源150bによって発せられる光の強度を増加させること、および／または、光源150aによって発せられる光の強度を減少させることにより、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との相互作用箇所における色の変化230は、図5のほぼ中心から光源150aに向かって左方向へと移動する。また、光の強度が調節される速度は、相互作用箇所230が光ファイバ12の長さに沿って移動する速度を制御する。光源150aおよび／または150bのうちの1以上の強度をゆっくりと増加または減少させると、色の変化230は光ファイバ12の長さに沿ってゆっくりと移動し、一方、光源150aおよび／または150bのうちの1以上の強度を速く増加または減少させると、色の変化230は光ファイバ12の長さに沿って速く移動する。しかし、調節が非常に高速で行われると、移動はもはや人間の目によって知覚できなくなる。

【0091】

例えば、図7では、光源150aによって発せられる波長210を有する光の強度が増加されている。これは、例えば、ポテンショメータ410aに光源150aへの電力を増加させるよう指示し、それによって光源150aによって発せられる光の強度を増加させることによって達成できる。光源150aによって発せられる光の強度を増加させることに加えて、光源150bによって発せられる光の強度を同時に減少させてもよい。或いは、光源150bによって発せられる光の強度を減少させてもよい。光源150aによって発せられる光の強度を増加させること、および／または、光源150bによって発せられる光の強度を減少させることにより、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との相互作用箇所における色の変化230は、光源150bに向かって右方向に移動する。

【0092】

従って、光源150aおよび／または150bを制御することによって、色の変化230の移動を、光ファイバ12の長さに沿って端から端まで指示できる。図5～図7では、第1の光源から発せられた光と第2の光源から発せられた光との相互作用箇所における色の変化230は、明確に定められた境界を有するものとして示されているが、これは説明の目的であることを理解されたい。色の変化230は、例えば、第1の波長210の光と第2の波長220の光との混合によって生じる色であり得る。例えば、第1の波長210が475nm前後の波長を有する青みがかった光であり、第2の波長220が575nm前後の波長を有する黄みがかった光である場合には、色の変化230は、CIEカラーマップ上の475nmと575nmとの間に引かれた線に沿って見出される色のうちの1以上として現れ得る。従って、光ファイバ12に沿った移動は、ファイバの一端部から他端部までのこの色の変化230の移動であり得る。

【0093】

更に別の代替例では、光ファイバ12の長さに沿った色の変化230の移動の態様は、光ファイバ12の長さ、光の拡散長に応じて様々であり得る。この態様は、光源150aおよび150bを用いて移動を制御することに加えた態様、またはそれとは別の態様であり得る。例えば、第1の光源および／または第2の光源が所定の距離d未満の長さまでしか拡散できないように、所定の距離dを有するロープを設けることによって、移動を光ファイバ12の特定の領域に制限できる。光源150aによって発せられる光の拡散長と光源150bによって発せられる光の拡散長との重なりは、光ファイバ12の中央領域において重なり、色の変化230の移動はその領域に制限される。

【0094】

図4～図7に示されている照明システム400は、多数の異なる構成に適応可能である。例えば、光ファイバ12は、非常に短いファイバから、メートル台以上の非常に長いファイバまで多岐にわたり得る。光ファイバ12が曲げの影響を受けないものである場合には、例えば、光ファイバ12は、他の多くの変形例の中でも特に、曲げられ、巻かれ、または別様で、配置または設置される環境に適応され得る。従って、照明システム400は多くの異なる用途を有し、本明細書に記載できるのはそのうちの少数に過ぎない。幾つか

の実施形態によれば、例えば、光拡散光ファイバ 12 を有する単一または複数のファイバ照明は、光拡散ファイバ 12 の小さい柔軟なサイズおよび安全に水に漬けることが可能な能力が非常に望ましい水の環境（例えば、ボート用の棧橋、釣り糸またはルアーの照明用等）、およびそれに関連する用途で用いられ得る。光拡散ファイバ 12 は、出口の照明、通路の照明、室内の検出器用の IR 放射を発することのために有用であり得、または、衣類（特に、着用者の視認性を更に高めるための保護／反射用衣類）における糸として用いられ得る。装飾照明における光拡散光ファイバ 12 の使用の例は多様であるが、幾つかの例としては、家電の照明およびエッジ効果、自動車／航空機の照明、または、家庭および家具照明における使用が挙げられる。別の例としては、照明システムは、タッチセンサに沿って指をスライドさせると、色の变化 230 が指に対応して移動するような、タッチセンサ（制御装置）に関連したスライドダイヤル表示として用いられ得る。また、照明システムは、例えば家電等の装置に関連して、サイクルの状態を表示するために用いられ得る。例えば、洗濯機のサイクルの状態または別の予測可能もしくは検出可能な時間の進行を表示するために、色の变化は、ファイバの長さに沿って、全て青色の状態から全て赤色の状態まで移動し得る。一例として、本明細書に記載される照明システムは、前面から洗濯物を入れる方式の洗濯機の扉の表面上または周囲で、現在の洗濯サイクルの状態および残りの時間を示すよう用いられ得る。

【0095】

上述の説明は単に本発明を例示するものであり、特許請求の範囲によって定められる本発明の性質および特徴を理解するための概観を提供することを意図したものであることを理解されたい。添付の図面は、本開示の更なる理解を提供するために含まれ、本明細書に組み込まれてその一部をなすものである。図面は本発明の様々な特徴および実施形態を示しており、それらの説明と共に、本発明の原理および作用を説明する役割をするものである。添付の特許請求の範囲によって定められる本発明の趣旨および範囲から逸脱することなく、本明細書に記載された本発明の好ましい実施形態に対して様々な変形が行われ得ることが、当業者には自明であろう。

【0096】

以下、本発明の好ましい実施形態を項分け記載する。

【0097】

実施形態 1

照明システムにおいて、

第 1 の入射端部および第 2 の入射端部を有する光拡散光ファイバであって、該光拡散光ファイバが、ガラスコアと、該ガラスコアを囲むクラッドと、外面とを有し、前記ファイバ内に位置する、光を散乱させるよう構成された複数のナノサイズ構造を更に含む、前記光拡散光ファイバと、

前記光拡散光ファイバの前記第 1 の入射端部に光学的に結合され、第 1 の波長を有する光を発生するよう構成された第 1 の光源であって、該第 1 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 1 の光源と、

前記光拡散光ファイバの前記第 2 の入射端部に光学的に結合され、第 2 の波長を有する光を発生するよう構成された第 2 の光源であって、該第 2 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 2 の光源と、
を含み、

前記光拡散光ファイバ内の、前記第 1 の光源から発せられた前記光と前記第 2 の光源から発せられた前記光との接合部において、色の变化が生じ、

前記第 1 の光源および前記第 2 の光源のうちの 1 以上から発せられる光の強度を調節することにより、前記色の变化の位置を、前記光拡散光ファイバに沿って調節可能であることを特徴とする照明システム。

【0098】

実施形態 2

前記第 1 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 1 のポテンシオメータと、

前記第 2 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 2 のポテンショメータと、
前記ポテンショメータのうちの少なくとも一方を制御するよう構成されたマイクロコン
トローラと
を更に含む、実施形態 1 記載の照明システム。

【0099】

実施形態 3

前記第 1 の光源および前記第 2 の光源が L E D である、実施形態 1 または 2 記載の照明
システム。

【0100】

実施形態 4

10

前記光ファイバ内に、導光された光を前記ナノサイズの空隙を介して前記コアから離れ
る方向に前記外面を通して優先的に散乱させるための複数の屈曲部が形成された、実施形
態 1、2、または 3 記載の照明システム。

【0101】

実施形態 5

前記光ファイバが 0.5 m ~ 100 m の長さ L を有する、実施形態 1 ~ 4 のいずれか 1
つに記載の照明システム。

【0102】

実施形態 6

20

前記光ファイバがマルチモードファイバであり、前記コアが、50 μ m より大きく且つ
500 μ m 未満のコア径と、 $NA > 0.2$ である開口数 NA とを有する、実施形態 1 ~ 5
のいずれか 1 つに記載の照明システム。

【0103】

実施形態 7

前記光拡散光ファイバの前記コアがシリカを含み、前記ナノサイズの空隙が前記コア内
に位置する、実施形態 1 ~ 6 のいずれか 1 つに記載の照明システム。

【0104】

実施形態 8

30

前記ナノサイズの空隙が前記コア内に位置し、前記コアが外径 R_c を有し、前記コアが

0.1 $R_c < R_1 < 0.9 R_c$ である半径 R_1 を有する中実の内側コア部分と、

0.05 $R_c < W_2 < 0.9 R_c$ である幅 W_2 を有するナノ構造領域と、

0.1 $R_c < W_s < 0.9 R_c$ である幅 W_s を有する中実の外側コア領域と

を含み、

前記コアの各部分がシリカガラスを含む、

実施形態 7 記載の照明システム。

【0105】

実施形態 9

40

前記コアが、Ge、F のうちの少なくとも 1 つのドーパントが添加されたシリカを含む
、実施形態 1 ~ 8 のいずれか 1 つに記載の照明システム。

【0106】

実施形態 10

前記コア全体がナノサイズの空隙を含む、実施形態 1 記載の照明システム。

【0107】

実施形態 11

前記クラッドが、シリカ系ガラスまたはポリマーのいずれかを含む、実施形態 1 ~ 10
のいずれか 1 つに記載の照明システム。

【0108】

実施形態 12

50

前記光ファイバの前記外面上に設けられたコーティングを更に含む、前記光ファイバの

前記コーティング中に蛍光種が設けられた、実施形態 1 ～ 1 1 のいずれか 1 つに記載の照明システム。

【0109】

実施形態 1 3

前記光源が 200 ～ 2000 nm の波長範囲内の光を発生する、実施形態 1 ～ 1 2 のいずれか 1 つに記載の照明システム。

【0110】

実施形態 1 4

前記光ファイバが、顔料、蛍光体、蛍光材料、紫外線吸収材料、親水性材料、光改変材料、またはそれらの組合せのうちの少なくとも 1 つを含む、実施形態 1 ～ 1 3 のいずれか 1 つに記載の照明システム。

10

【0111】

実施形態 1 5

前記第 1 の光源が、2 つ以上の波長を有する光を発生するよう構成された、実施形態 1 記載の照明システム。

【0112】

実施形態 1 6

前記第 2 の光源が、2 つ以上の波長を有する光を発生するよう構成された、実施形態 1 記載の照明システム。

【0113】

20

実施形態 1 7

実施形態 1 ～ 1 6 のいずれか 1 つに記載の照明システムを含むことを特徴とする自動車。

【0114】

実施形態 1 8

照明システムにおいて、

第 1 の入射端部および第 2 の入射端部を有する光拡散光ファイバであって、該光拡散光ファイバが、ガラスコアと、該ガラスコアを囲むクラッドと、外面とを有し、前記ガラスコア内またはコアクラッド境界に位置する、光を散乱させるよう構成された複数のナノサイズ構造を更に含む、前記光拡散光ファイバと、

30

前記光拡散光ファイバの前記第 1 の入射端部に光学的に結合され、第 1 の波長を有する光を発生するよう構成された第 1 の光源であって、該第 1 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 1 の光源と、

前記光拡散光ファイバの前記第 2 の入射端部に光学的に結合され、第 2 の波長を有する光を発生するよう構成された第 2 の光源であって、前記第 1 の波長、該第 2 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 2 の光源と、

前記第 1 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 1 のポテンショメータと、前記第 2 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 2 のポテンショメータとを含む、

前記光拡散光ファイバ内の、前記第 1 の光源から発せられた前記光と前記第 2 の光源から発せられた前記光との接合部において、色の変化が生じ、

40

前記第 1 のポテンショメータおよび前記第 2 のポテンショメータのうちの 1 つ以上を用いて前記第 1 の光源および前記第 2 の光源のうちの 1 以上から発せられる光の強度を調節することにより、前記色の変化の位置を、前記光拡散光ファイバに沿って調節可能であることを特徴とする照明システム。

【0115】

実施形態 1 9

前記第 1 の光源への電力の入力を制御するよう構成された前記第 1 のポテンショメータと、

前記第 2 の光源への電力の入力を制御するよう構成された前記第 2 のポテンショメータ

50

と

を更に含む、実施形態 18 記載の照明システム。

【0116】

実施形態 20

前記第 1 の光源および前記第 2 の光源が LED である、実施形態 18 記載の照明システム。

【0117】

実施形態 21

前記第 1 のポテンショメータおよび前記第 2 のポテンショメータのうちの少なくとも一方を制御するよう構成されたマイクロコントローラを更に含む、実施形態 18、19 または 20 に記載の照明システム。

10

【0118】

実施形態 22

照明システムにおいて、

第 1 の入射端部および第 2 の入射端部を有する光拡散光ファイバと、

前記光拡散光ファイバの前記第 1 の入射端部に光学的に結合され、第 1 の波長を有する光を発生するよう構成された第 1 の光源であって、該第 1 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 1 の光源と、

前記光拡散光ファイバの前記第 2 の入射端部に光学的に結合され、第 2 の波長を有する光を発生するよう構成された第 2 の光源であって、前記第 1 の波長、該第 2 の光源から発せられる光の強度が調節可能である、前記第 2 の光源と、
を含み、

20

前記光拡散光ファイバ内の、前記第 1 の光源から発せられた前記光と前記第 2 の光源から発せられた前記光との接合部において、色の変化が生じ、

前記第 1 の光源および前記第 2 の光源のうちの 1 以上から発せられる光の強度を調節することにより、前記色の変化の位置を、前記光拡散光ファイバに沿って調節可能であることを特徴とする照明システム。

【0119】

実施形態 23

前記光ファイバが散乱機構を含む、実施形態 22 記載の照明システム。

30

【0120】

実施形態 24

前記散乱機構が、導波路内の複数の構造的欠陥を含む、実施形態 23 記載の照明システム。

【0121】

実施形態 25

前記散乱機構が、前記光ファイバ内の複数の空気の線を含む、実施形態 23 記載の照明システム。

【0122】

実施形態 26

前記第 1 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 1 のポテンショメータと、前記第 2 の光源への電力の入力を制御するよう構成された第 2 のポテンショメータとを更に含む、実施形態 22～25 記載の照明システム。

40

【符号の説明】

【0123】

12 光拡散光ファイバ

16 中心線

20 コア

22 中実の中心部分

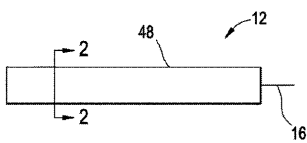
26 ナノ構造リング部分（内側の環状コア領域）

50

- 28 中実の外側部分
- 40 クラッド領域 (クラッド)
- 44 コーティング
- 32 複数のナノサイズ構造 (空隙)
- 150 a 第1の光源
- 150 b 第2の光源
- 230 色の変化
- 400 照明システム
- 410 a、410 b ポテンシオメータ

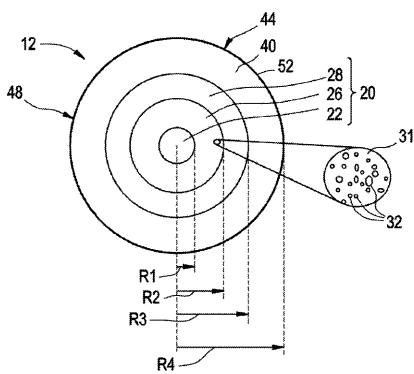
【図1】

FIG. 1

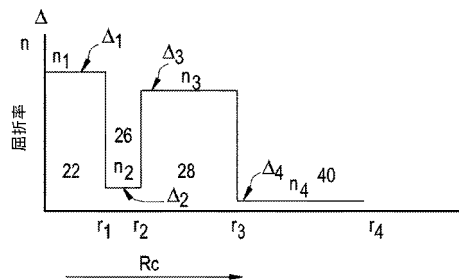


【図2】

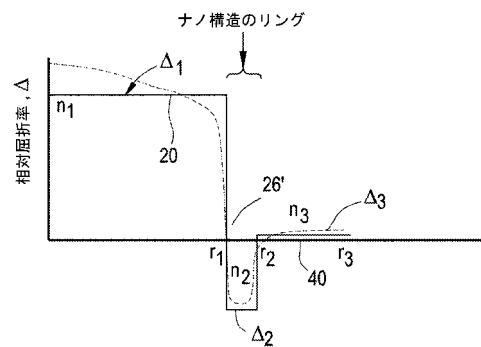
FIG. 2



【図3A】

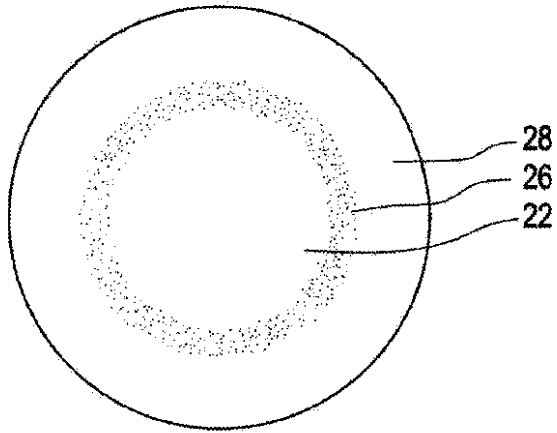


【図3B】



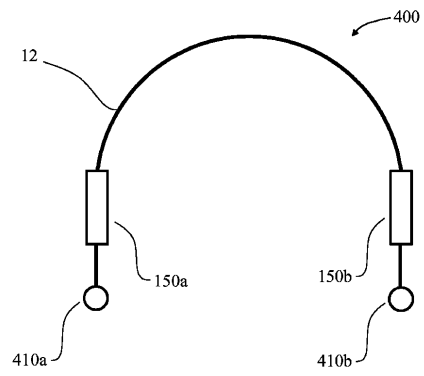
【図 3 C】

FIG. 3C



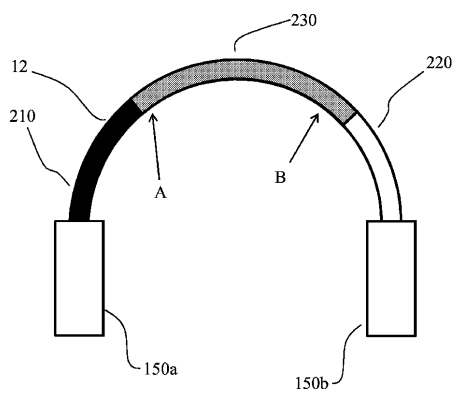
【図 4】

FIG. 4



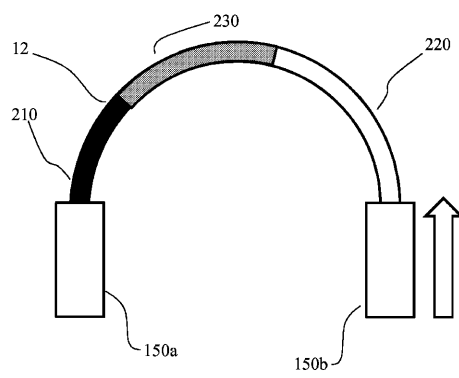
【図 5】

FIG. 5



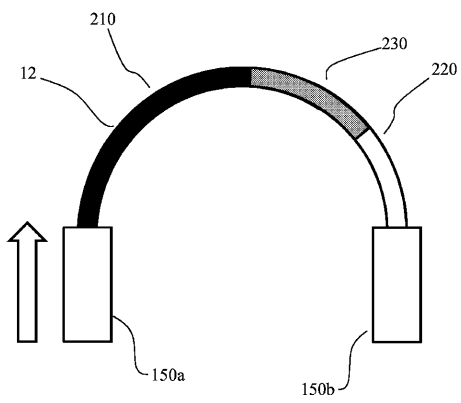
【図 6】

FIG. 6



【 図 7 】

FIG. 7



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/054966

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G02B6/00 F21S8/10 F21V8/00
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)

F21S 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, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2014/140088 A1 (GRIEBEL JÜRGEN [DE]) 22 May 2014 (2014-05-22)	22,23
Y	paragraphs [0003] - [0074]; figures 1-10	1-21, 24-26
Y	----- WO 2013/055841 A1 (CORNING INC [US]; LOGUNOV STEPHAN LVOVICH [US]; RUFFIN ALRANZO BOH [US]) 18 April 2013 (2013-04-18)	1-21, 24-26
A	----- US 5 400 225 A (CURRIE JOSEPH E [US]) 21 March 1995 (1995-03-21) column 7, line 37 - column 8, line 64; figures 4, 5	1-26

☐ 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

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

12 January 2016

Date of mailing of the international search report

22/01/2016

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

Wolf, Steffen

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2015/054966

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2014140088 A1	22-05-2014	CN 103807777 A DE 102012220696 A1 US 2014140088 A1	21-05-2014 15-05-2014 22-05-2014
WO 2013055841 A1	18-04-2013	EP 2766754 A1 JP 2015501443 A WO 2013055841 A1	20-08-2014 15-01-2015 18-04-2013
US 5400225 A	21-03-1995	CA 2130590 A1 US 5400225 A US 5465194 A US 5495400 A	07-04-1995 21-03-1995 07-11-1995 27-02-1996

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード (参考)
F 2 1 Y 115/10 (2016.01) F 2 1 Y 115:10

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

(72)発明者 ゼン, ポール マイケル
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 5 6 4 ヴィクター ソング ヒル レイン 6 7 1 2
Fターム(参考) 2H038 BA10 BA42

2H150 AB04 AB05 AB07 AB08 AB34 AB36 AD03 AD04 AD12 AD15
AD17 AD18 AD22 AD23 AD27 AD32 AD34 AD37 AF03 AF04
AF11 AF23 AF24 AH22 AH37 AH50 BB02 BB04 BB07 BB19
BB22 BB26 BB31 BC03 BD00 BD17