

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5514205号  
(P5514205)

(45) 発行日 平成26年6月4日(2014.6.4)

(24) 登録日 平成26年4月4日(2014.4.4)

(51) Int.Cl.		F I	
<b>GO2B</b>	<b>6/036</b> (2006.01)	GO2B	6/22
<b>GO2B</b>	<b>6/032</b> (2006.01)	GO2B	6/20 Z
<b>GO2B</b>	<b>6/00</b> (2006.01)	GO2B	6/00 376Z
<b>GO2B</b>	<b>23/26</b> (2006.01)	GO2B	23/26 B
<b>CO3C</b>	<b>13/04</b> (2006.01)	CO3C	13/04

請求項の数 17 (全 26 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2011-520023 (P2011-520023)	(73) 特許権者	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 プ ラザ 1
(86) (22) 出願日	平成21年7月16日 (2009.7.16)	(74) 代理人	100073184 弁理士 柳田 征史
(65) 公表番号	特表2011-529200 (P2011-529200A)	(74) 代理人	100090468 弁理士 佐久間 剛
(43) 公表日	平成23年12月1日 (2011.12.1)	(72) 発明者	チェン, シン アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 30 コーニング ウェスト パルテニー ストリート 315 アpartment 1 01
(86) 国際出願番号	PCT/US2009/004105		
(87) 国際公開番号	W02010/011265		
(87) 国際公開日	平成22年1月28日 (2010.1.28)		
審査請求日	平成24年7月10日 (2012.7.10)		
(31) 優先権主張番号	12/179,086		
(32) 優先日	平成20年7月24日 (2008.7.24)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二重クラッド光ファイバおよび二重クラッド光ファイバを備えたデバイス

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コア、内側クラッドおよび外側クラッドを備えた二重クラッド光ファイバであって、前記コアが、1.5 μm以上5 μm以下の半径および第1の屈折率  $n_1$  を有し、活性希土類ドーパントを全く含有せず、

前記内側クラッドが、前記コアを取り囲み、2.5 μm以上107.5 μm以下の半径方向厚さ、0.25以上1以下の開口数、および  $n_2 < n_1$  となるような第2の屈折率  $n_2$  を有し、前記コアの該内側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)が0.1%より大きく、

前記外側クラッドが、前記内側クラッドを取り囲み、5.44 μm以上50 μm以下の半径方向厚さおよび  $n_3 < n_2$  となるような第3の屈折率  $n_3$  を有し、前記内側クラッドの該外側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)が1.5%より大きく、

前記コア、前記内側クラッドおよび前記外側クラッドがシリカ系ガラスから形成されていることを特徴とする二重クラッド光ファイバ。

【請求項2】

前記コアの開口数が0.08から0.2であり、前記外側クラッドの半径方向厚さが10 μmから50 μmであることを特徴とする請求項1記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項3】

(i) 前記内側クラッドが純粋なシリカガラスからなり、前記コアが5.5質量%の GeO<sub>2</sub>から32.5質量%の GeO<sub>2</sub>を含む、および/または

10

20

( i i ) 前記内側クラッドが純粋なシリカガラスからなり、前記外側クラッドにホウ素およびフッ素が同時添加されている、  
ことを特徴とする請求項 1 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 4】

前記外側クラッドが 5.0 質量%未満 のフッ素および  $B_2O_3$  の形態にある 1.0 質量%未満 のホウ素を含むことを特徴とする請求項 3 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 5】

前記内側クラッドが、該内側クラッドの前記外側クラッドに対する前記相対屈折率パーセント(%)が 3% より大きくなるようにドーパントを含み、

前記コアが、該コアの前記内側クラッドに対する前記相対屈折率パーセント(%)が 0.3% より大きくなるようにドーパントを含み、

前記外側クラッドが 5.0 質量%未満 のフッ素および  $B_2O_3$  の形態にある 1.0 質量%未満 のホウ素を含むことを特徴とする請求項 1 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 6】

前記内側クラッドが、( i ) 5.5 質量%から 2.7 質量% の  $GeO_2$  および / または ( i i ) 1 質量%から 1.5 質量% の  $Al_2O_3$  を含むことを特徴とする請求項 5 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 7】

前記外側クラッドが、前記内側クラッドの屈折率  $n_2$  に対して前記外側クラッドの屈折率  $n_3$  を減少させる空隙の分布を含むことを特徴とする請求項 1 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 8】

前記空隙が、前記外側クラッドの全体に渡り非周期的に分布していることを特徴とする請求項 7 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 9】

前記空隙が、前記外側クラッドの全体に渡り周期的に分布していることを特徴とする請求項 7 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 10】

前記空隙が異なる断面積を有することを特徴とする請求項 7 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 11】

前記空隙の直径が 500 nm 未満であり、前記外側クラッドの領域空隙面積パーセントが 10%から 30% であることを特徴とする請求項 7 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 12】

前記空隙が、閉じており、窒素、クリプトンまたはそれらの組合せを含むことを特徴とする請求項 11 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 13】

前記空隙が開いていることを特徴とする請求項 7 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 14】

前記空隙の直径が 1 μm より大きく、前記外側クラッドの領域空隙面積パーセントが 80%から 95% であることを特徴とする請求項 13 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 15】

前記内側クラッドが純粋なシリカガラスからなり、前記コアが 5.5 質量%から 2.7 質量% の  $GeO_2$  を含むことを特徴とする請求項 9 から 14 いずれか 1 項記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 16】

前記コアの色分散の絶対値が、( i ) 1550 nm の動作波長について約 10 ps/nm/km 未満、および / または ( i i ) 1310 nm の動作波長について約 10 ps/nm/km 未満であることを特徴とする請求項 1 記載の二重クラッド光ファイバ。

【請求項 17】

10

20

30

40

50

レーザ光源、二重クラッド光ファイバ、ビーム走査装置、光検出器およびコンピュータを備えた光学内視鏡において、

前記二重クラッド光ファイバがコア、内側クラッドおよび外側クラッドを備え、

前記コアが、1.5 μm以上5 μm以下の半径および第1の屈折率 $n_1$ を有し、活性希土類ドーパントを全く含有せず、

前記内側クラッドが、前記コアを取り囲み、25 μm以上107.5 μm以下の半径方向厚さ、0.25以上1以下の開口数、および $n_2 < n_1$ となるような第2の屈折率 $n_2$ を有し、前記コアの該内側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)が0.1%より大きく、

前記外側クラッドが、前記内側クラッドを取り囲み、5.44 μmから5.0 μmの半径方向厚さおよび $n_3 < n_2$ となるような第3の屈折率 $n_3$ を有し、前記内側クラッドの該外側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)が1.5%より大きく、

前記コア、前記内側クラッドおよび前記外側クラッドがシリカ系ガラスから形成されており、

前記レーザ光源の出力は、該レーザ光源の出力が前記二重クラッド光ファイバの前記コアに向けられるように、該二重クラッド光ファイバの第1の端部で該二重クラッド光ファイバの該コアに光学的に結合されており、

前記光検出器は、前記二重クラッド光ファイバの前記第1の端部で該光ファイバの前記内側クラッドに結合され、該内側クラッドを通る光を電気信号に変換するように動作可能であり、

前記コンピュータは、前記光検出器に電氣的に接続され、該光検出器から受信した電気信号より画像を形成するように動作可能であり、

前記ビーム走査ユニットは、前記光ファイバの第2の端部に光学的に結合され、標的を二次元に亘り前記二重クラッド光ファイバの前記コアに向けられた前記レーザ光源の前記出力を走査し、該標的から発せられた光を前記光ファイバの前記内側クラッドに集光するように動作可能である、ことを特徴とする光学内視鏡。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、二重クラッド光ファイバおよび二重クラッド光ファイバを利用したデバイスに関し、より詳しくは、開口数が多い内側クラッドを有する二重クラッド光ファイバおよびそのような二重クラッド光ファイバを利用した内視鏡に関する。

【背景技術】

【0002】

内視鏡、特に、二光子蛍光プロセスを利用した非線形内視鏡が、サンプルおよび/または被験者に蛍光顕微鏡法を実施するための最良の非侵襲手段の1つとして出現した。非線形光学内視鏡では、光ファイバにより標的上に向けられた励起レーザビーム源が利用される。励起レーザビームの標的との相互作用により、標的物質が、二光子吸収のために蛍光を発しすなわち発光し、これが、さらなる分析、イメージング、分光などのために光ファイバにより内視鏡に戻って集光される。単光子顕微鏡法と比較して、二光子蛍光顕微鏡法では、固有の光学切片(optical sectioning)特性、より大きい侵入長および柔軟な光学スペクトル・アクセシビリティが提供される。

【0003】

二光子蛍光プロセスを利用した非線形内視鏡の重要な構成要素の1つは、内視鏡に使用される光ファイバである。励起レーザビームを関心のある標的に送達するために、内視鏡に標準的なシングルモードの光ファイバが利用されているであろうが、これらの光ファイバは、さらなる分析、像形成、分光などのために、標的により発せられた光信号を内視鏡に戻すように集光するには適していない。これは主に、標準的なシングルモードの光ファイバの小さい開口数と小さなコアサイズのためであり、これにより、光ファイバの集光効率が制限されてしまう。

10

20

30

40

50

## 【0004】

非線形光学内視鏡の集光効率を改善するために、二重クラッド光ファイバが用いられるであろう。そのような光ファイバは、一般に、コア、内側クラッドおよび外側クラッドを備えている。内視鏡の励起ビームは、光ファイバのコアを通じて標的に送達され、標的から発せられた光が、光ファイバの内側クラッドを通じて内視鏡に戻されて集光される。しかしながら、ほとんどの標準的な二重クラッド光ファイバの集光効率は、内側クラッドの開口数が小さいために、まだ低い。光結晶二重クラッド光ファイバなどの、開口数の大きい内側クラッドを有する二重クラッド光ファイバが開発された。しかしながら、光結晶二重クラッド光ファイバは、一般に、標準的な光ファイバよりも製造するのが難しく、その結果として、高価である。

10

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

したがって、代替りの二重クラッド光ファイバおよびそれを利用した非線形光学内視鏡が必要とされている。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

ある実施の形態において、二重クラッド光ファイバは、シリカ系ガラスのコア、内側クラッドおよび外側クラッドを有してなる。コアは、約 $5\ \mu\text{m}$ 未満の半径、および第1の屈折率 $n_1$ を有し、活性希土類ドーパントは全く含んでいない。内側クラッドは、コアを取り囲み、少なくとも約 $25\ \mu\text{m}$ の半径方向厚さ、少なくとも約0.25の開口数、および $n_2 < n_1$ となるような第2の屈折率 $n_2$ を有する。コアの内側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)は、約0.1%より大きい。外側クラッドは、内側クラッドを取り囲み、 $5.44\ \mu\text{m}$ から約 $50\ \mu\text{m}$ の半径方向厚さ、および $n_3 < n_2$ となるような第3の屈折率 $n_3$ を有する。内側クラッドの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)は、約1.5%より大きい。

20

## 【0007】

別の実施の形態において、非線形光学内視鏡は、レーザ光源、二重クラッド光ファイバ、ビーム走査ユニット、光検出器およびコンピュータを備えている。二重クラッド光ファイバは、コア、内側クラッドおよび外側クラッドを備えている。コアは、約 $5\ \mu\text{m}$ 未満の半径、および第1の屈折率 $n_1$ を有し、活性希土類ドーパントは全く含んでいない。内側クラッドは、コアを取り囲み、少なくとも約 $25\ \mu\text{m}$ の半径方向厚さ、少なくとも約0.25の開口数、および $n_2 < n_1$ となるような第2の屈折率 $n_2$ を有する。コアの内側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)は、約0.1%より大きい。外側クラッドは、内側クラッドを取り囲み、 $5.44\ \mu\text{m}$ から約 $50\ \mu\text{m}$ の半径方向厚さ、および $n_3 < n_2$ となるような第3の屈折率 $n_3$ を有する。内側クラッドの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)は、約1.5%より大きい。レーザ光源の出力は、レーザ光源の出力が二重クラッド光ファイバのコアに向けられるように、二重クラッド光ファイバの第1の端部で二重クラッド光ファイバのコアに光学的に結合されている。光検出器は、二重クラッド光ファイバの第1の端部で二重クラッド光ファイバの内側クラッドに結合され、内側クラッドを通る光を電気信号に変換するように動作可能である。コンピュータは、光検出器に電気的に接続され、光検出器より受信した電気信号から画像を形成するように動作可能である。ビーム走査ユニットは、光ファイバの第2の端部に光学的に結合され、二重クラッド光ファイバのコア中を案内されたレーザ光源の出力を標的に亘り二次元で走査し、標的から発せられた光を二重クラッド光ファイバの内側クラッドに集光するように動作可能である。

30

40

## 【0008】

本発明の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は容易に明らかとなるか、または以下の詳細な説明、特許請求の範囲、並びに添付の図面を含む、ここに記載された発明を実施することによって認識されるであ

50

ろう。先の一般的な説明および以下の詳細な説明の両方が、本発明の実施の形態を提示し、特許請求の範囲に記載された本発明の性質および特徴を理解するための潰瘍または構成を提供することが意図されているのが理解されよう。

【0009】

図面に述べられた実施の形態は、本質的に例示であり、請求項により定義された本発明を制限することを意図していない。さらに、本発明の特定の例示の実施の形態の以下の説明は、同様の構造が同様の参照番号により示されている以下の図面と共に読んだときに理解できる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

10

【図1A】図示され、ここに記載された1つ以上の実施の形態による二重クラッド光ファイバの断面図

【図1B】図示され、ここに記載された1つ以上の実施の形態による図1Aの二重クラッド光ファイバの屈折率プロファイル

【図2】図示され、ここに記載された1つ以上の実施の形態による外側クラッド内の空隙の無作為分布（サイズと位置の両方）を含む二重クラッド光ファイバの断面図

【図3】図示され、ここに記載された1つ以上の実施の形態による外側クラッド内の空隙の規則的分布（サイズと位置の両方）を含む別の二重クラッド光ファイバの断面図

【図4】光ファイバの開口数を測定するための試験装置の概略図

【図5】図4の試験装置を使用した光ファイバの角度方向の関数としての光ファイバを通して連結された光源の正規化されたパワーを示すグラフ

20

【図6】図示され、ここに記載された1つ以上の実施の形態による二重クラッド光ファイバを利用した非線形光学内視鏡の説明図

【発明を実施するための形態】

【0011】

本発明の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は容易に明らかとなるか、または以下の詳細な説明、特許請求の範囲、並びに添付の図面を含む、ここに記載された発明を実施することによって認識されるであろう。先の一般的な説明および以下の詳細な説明の両方が、本発明の実施の形態を提示し、特許請求の範囲に記載された本発明の性質および特徴を理解するための潰瘍または構成を提供することが意図されているのが理解されよう。

30

【0012】

ここでは、以下の定義および用語法を使用する。

【0013】

屈折率プロファイルは、光ファイバの選択された部分に亘る、光ファイバの中心線から測定された、光ファイバの相対屈折率（%）と半径との間の関係である。

【0014】

相対屈折率パーセントまたはデルタパーセント（%）は：

【数1】

$$\Delta\% = 100 \frac{(n_i^2 - n_{ref}^2)}{2n_i^2},$$

40

【0015】

として定義され、ここで、別記しない限り、 $n_i$  は領域  $i$  における最大屈折率であり、 $n_{ref}$  は参照領域の屈折率である。

【0016】

モードフィールド径（MFD）は、シングルモードのファイバ内を伝搬する光のスポットサイズまたはビーム幅の尺度である。モードフィールド径は、光源の波長、ファイバのコア半径およびファイバの屈折率プロファイルの関数である。MFDは、ピーターマンII

50

法を使用して測定され、ここで、

【数 2】

$MFD = 2w$ , および

$$w^2 = 2 \frac{\int_0^\infty E^2 r dr}{\int_0^\infty (dE/dr)^2 r dr}$$

【0017】

ここで、E はファイバ内の電場分布であり、r はファイバの半径である。

【0018】

ファイバの色分散または分散は、材料分散、導波路分散、およびモード間(inter-modal)分散の合計である。シングルモード導波路ファイバの場合には、モード間分散はゼロである。

【0019】

ファイバの実効面積は、光がその中を伝搬するファイバの面積であり、

【数 3】

$$A_{eff} = 2\pi \frac{(\int_0^\infty E^2 r dr)^2}{\int_0^\infty E^4 r dr},$$

【0020】

と定義され、ここで、E は、ファイバ内で伝搬する光に関連する電場であり、r はファイバの半径である。

【0021】

カットオフ波長は、光ファイバが伝搬モードを1つだけサポートする最小波長である。動作波長がカットオフ波長よりも小さい場合、マルチモード動作が行われ、追加の分散源の導入により、ファイバの情報伝達能力が制限されるであろう。数学的定義がSingle Mode Fiber Optics, Jeunhomme, pp. 39-44, Marcel Dekker, New York, 1990に見つかり、ここで、理論的ファイバのカットオフは、モード伝搬定数が外側クラッド内の平面波の伝搬定数に等しくなる波長と記載されている。この理論的波長は、直径変動のない無限長の好ましくは真っ直ぐなファイバに当てはまる。

【0022】

ファイバのカットオフ波長は、理論的カットオフ波長よりも小さく、TIA-455-80B entitled "Measurement Cut-off Wavelength of Uncabled Single-mode Fiber By Transmitted Power"に記載されている技法などの伝送パワー技法を使用して測定される。二重クラッド光ファイバのコア領域内を伝搬する光と内側クラッド領域内を伝搬する光との間の干渉を避けるために、ローンチ・ファイバ(launch fiber)を使用して、光源を二重クラッド光ファイバのコアに向ける。このローンチ・ファイバは、二重クラッド光ファイバの予測されたコアファイバカットオフ波長よりもわずかに大きいカットオフ波長を有する。ローンチ・ファイバの長さは2メートルより長いべきである。ローンチ・ファイバのコアサイズは、二重クラッド光ファイバのコアサイズとほぼ同じである。測定において、ローンチ・ファイバは、二重クラッド光ファイバに注意深く心合せされて、ローンチ・ファイバのコアと二重クラッド光ファイバのコアとの間の効率的な結合が確実になる。

【0023】

全ての波長依存性光学的性質(分散、カットオフ波長などの)が、指定の波長についてここに報告されている。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 2 4 】

$\Delta_1\%$ は、ここに用いたように、二重クラッド光ファイバのコアの、二重クラッド光ファイバの内側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)を称することが理解されよう。したがって、

【数 4】

$$\Delta_1\% = 100 \frac{(n_1^2 - n_2^2)}{2n_1^2},$$

10

## 【 0 0 2 5 】

ここで、 $n_1$ はコアの屈折率であり、 $n_2$ は内側クラッドの屈折率である。

## 【 0 0 2 6 】

$\Delta_2\%$ は、ここに用いたように、二重クラッド光ファイバの内側クラッドの、二重クラッド光ファイバの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%)を称することが理解されよう。したがって、

【数 5】

$$\Delta_2\% = 100 \frac{(n_2^2 - n_3^2)}{2n_2^2},$$

20

## 【 0 0 2 7 】

ここで、 $n_2$ は内側クラッドの屈折率であり、 $n_3$ は外側クラッドの屈折率である。

## 【 0 0 2 8 】

図 1 A は、図示され、ここに記載されたある実施の形態による、開口数の大きい二重クラッド光ファイバを示している。ここに記載された二重クラッド光ファイバは、一般に、コア、内側クラッドおよび外側クラッドを有してなる。外側クラッドと内側クラッドの材料は、外側クラッドと内側クラッドの屈折率により、開口数の大きい内側クラッドが生成されるように選択される。コア、内側クラッドおよび外側クラッドは、一般に、シリカ、特にシリカガラスからなる。二重クラッド光ファイバを利用した構造、組成物、製造方法、特徴およびデバイスが、ここにより詳しく説明され、論じられる。

30

## 【 0 0 2 9 】

ここで、図 1 A および 1 B を参照すると、ここに記載される 1 つの実施の形態による、二重クラッド光ファイバ 1 0 0 の断面図および対応する屈折率プロファイルが示されている。この二重クラッド光ファイバ 1 0 0 は、一般に、コア 1 0 2、内側クラッド 1 0 4 および外側クラッド 1 0 6 を有してなる。図示された実施の形態において、コア 1 0 2、内側クラッド 1 0 4 および外側クラッド 1 0 6 は、一般に、シリカ、特にシリカガラスからなる。ある実施の形態(図示されていない)において、1 つ以上の保護被覆が外側クラッド 1 0 6 を取り囲んでいてもよい。ここに図示された実施の形態において、二重クラッド光ファイバの断面は、一般に、コアの中心に対して円対称であってよいが、光ファイバおよび光ファイバの個々の層(例えば、コア、内側クラッドおよび外側クラッド)は、他の幾何学構造を有していてもよい。二重クラッド光ファイバが図 1 に示されるように円対称である場合、二重クラッド光ファイバ 1 0 0 の外径(例えば、 $2r_3$ )は、約  $125\ \mu\text{m}$  から約  $500\ \mu\text{m}$ 、より好ましくは  $125\ \mu\text{m}$  から約  $300\ \mu\text{m}$ 、最も好ましくは  $125\ \mu\text{m}$  から約  $250\ \mu\text{m}$  であってよい。

40

## 【 0 0 3 0 】

図 1 に示された実施の形態において、コア 1 0 2 は第 1 の屈折率  $n_1$  を有するものとする。コア 1 0 2 は、純粋なシリカ( $\text{SiO}_2$ )からなっているか、あるいは、コア 1 0 2 は、コアが「アップ・ドープ(up-doped)」されている場合など、例えば、 $\text{GeO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$

50

$O_3$ 、 $P_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $ZrO_2$ 、 $Nb_2O_5$ および/または $Ta_2O_5$ などの屈折率上昇ドーパントを1種類以上含んでもよい。ここに論じられる実施の形態および実施例において、コア102は、約5.5質量%から約32.5質量%の $GeO_2$ 、より好ましくは約5.5質量%から約15質量%の $GeO_2$ 、最も好ましくは約5.5質量%から約10質量%の $GeO_2$ を含有してもよい。

#### 【0031】

コア102の半径 $r_1$ は、二重クラッド光ファイバのコアを通して伝搬する光のスポットサイズが、対応する高い光パワー密度に関して小さく、それによって、二重クラッド光ファイバが非線形光学内視鏡と共に使用された場合に強力な非線形効果を生じるように、約1.5 $\mu m$ から約5 $\mu m$ 、より好ましくは約2 $\mu m$ から約4.5 $\mu m$ 、最も好ましくは約2.5 $\mu m$ から約4 $\mu m$ であってよい。しかしながら、そのスポットサイズは、光源を二重クラッド光ファイバのコアに効率的に結合するのに十分に大きいべきでもある。二重クラッド光ファイバのコア102の実効面積は、約7 $\mu m^2$ から約80 $\mu m^2$ 、より好ましくは約13 $\mu m^2$ から約64 $\mu m^2$ 、最も好ましくは約20 $\mu m^2$ から約50 $\mu m^2$ であってよい。

10

#### 【0032】

コアの内側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%) (例えば、 $\gamma_1$ %)は、少なくとも0.1%、より好ましくは約0.2%より大きく、最も好ましくは約0.3%より大きくてよい。コアの開口数NAは、そのコアが光信号を受け取るまたは発する角度の範囲を特徴付け、コア102と内側クラッド104の屈折率に正比例する(ここにさらに論じられる)。ここに用いたように、「コアの開口数」は、屈折率 $n_1$ を有するコアおよび屈折率 $n_2$ を有する内側クラッドについて、

20

#### 【数6】

$$NA_{core} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)}$$

#### 【0033】

と表される。別記しない限り、コアの開口数すなわち $NA_{core}$ への言及は、上述した数学的關係によって決定されるコアの開口数を称する。図示され、ここに記載された実施の形態において、コア102および内側クラッド104を構成する材料は、コア102の開口数が、好ましくは約0.08から約0.2、より好ましくは約0.1から約0.15、最も好ましくは約0.12である。このコアの屈折率プロファイルは、図1Bに示されるようなステップ型プロファイル、丸まったステップ型プロファイル、または勾配プロファイルであってよい。

30

#### 【0034】

ある実施の形態において、コア102は受動型であってよく、例えば、コア102は、コア102において利得または発振作用を可能にする活性元素を全く含有しない。詳しくは、コア102は、Yb、Er、Nd、Tm、SmおよびTbを含むどのような希土類ドーパントも含まない。ある実施の形態において、コア102におけるシリカガラスの軟化温度を低下させるために、コア102にリンを添加してもよい。コアが内付け気相成長(IVD)プロセスによって製造される場合、このことは特に都合よい。コア104の屈折率を上昇させるために、リンを添加してもよい。

40

#### 【0035】

図示され、ここに記載される実施の形態において、二重クラッド光ファイバのコアは、例えば、800nm、1060nm、1310nmおよび1550nmの波長などの、所望の動作波長でシングルモードである。ここに用いたように、シングルモードは、二重クラッド光ファイバが、光の特定の波長の伝搬モードを1つだけサポートすることを意味する。シングルモードファイバは一般に、マルチモードファイバよりも良好な分散特徴(例えば、より低い分散)を有する。ファイバのカットオフ波長は、一般に、二重クラッド光ファイバがシングルモードである動作波長を表し、カットオフ波長よりも大きい動作波長

50

がシングルモードの伝搬に適している。それゆえ、コアファイバカットオフ波長が、ファイバの使用が意図されている動作波長より小さい、例えば、800, 1060, 1310 および/または1550 nmより小さいようにファイバを設計することが望ましい。

#### 【0036】

内側クラッド104は、 $n_2 < n_1$ となるような第2の屈折率 $n_2$ を有するものとする。内側クラッド104は、純粋なシリカガラス( $\text{SiO}_2$ )、内側クラッドが「アップ・ドープ」された場合など、屈折率を上昇させるドーパント(例えば、 $\text{GeO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ および/または $\text{Ta}_2\text{O}_5$ )を1種類以上含むシリカガラス、または内側クラッドが「ダウン・ドープ(down-doped)」された場合など、フッ素またはホウ素などの、屈折率を低下させるドーパントを含むシリカガラスからなっている。別の実施の形態において、内側クラッドは純粋なシリカガラスである。別の実施の形態において、内側クラッドは、約5.5質量%から約27質量%、より好ましくは5.5質量%から約15質量%、最も好ましくは5.5質量%から約10質量%の量で $\text{GeO}_2$ がドープされたシリカガラスからなっている。さらに別の実施の形態において、内側クラッドは、約1質量%から約15質量%、より好ましくは1質量%から約10質量%、最も好ましくは約1質量%から約5質量%の量で $\text{Al}_2\text{O}_3$ がドープされたシリカガラスからなっている。コアに添加されるドーパントは、内側クラッドに添加されるドーパントと同じである必要はないことが理解されよう。例えば、内側クラッドが $\text{GeO}_2$ がドープされたシリカガラスからなっていてよく、一方で、コアは $\text{Al}_2\text{O}_3$ がドープされたシリカガラスからなっている。しかしながら、コアに $\text{GeO}_2$ と共に $\text{Al}_2\text{O}_3$ が使用され、動作(すなわち、信号)波長が850 nmより大きい場合、これらの波長(すなわち、 $> 850 \text{ nm}$ )で、コアにおける光散乱を最小にするために、コアに2質量%未満の $\text{Al}_2\text{O}_3$ を使用することが好ましく、1質量%未満の $\text{Al}_2\text{O}_3$ がより好ましく、0.5質量%未満の $\text{Al}_2\text{O}_3$ がさらにより好ましい。

#### 【0037】

内側クラッド104の厚さ(例えば、 $r_2 - r_1$ )は、約25  $\mu\text{m}$ より大きく、より好ましくは約30  $\mu\text{m}$ より大きい、最も好ましくは約40  $\mu\text{m}$ より大きくてよい。内側クラッド104の外側クラッド106に対する相対屈折率パーセント(%) (例えば、 $\%_2$ )は約1.5%より大きく、これは少なくとも0.25の開口数に相当する。内側クラッドの開口数は、内側クラッドが光信号を受け取るまたは発する角度の範囲を特徴付け、内側クラッドと外側クラッド両方の屈折率の間の数学的関係に依存する。ある実施の形態によれば、「内側クラッドの開口数」は、関係式：

#### 【数7】

$$NA_{\text{内側クラッド}} = \sqrt{(n_2^2 - n_3^2)},$$

#### 【0038】

を使用して計算でき、ここで、 $n_2$ は内側クラッドの屈折率であり、 $n_3$ は外側クラッド(ここにさらに論じる)の屈折率である。例えば、表2Aおよび2Bに示されたファイバの実施例について、内側クラッドの開口数を、先に定義された数学的関係を用いて理論的に決定した。しかしながら、表1に示されたファイバの実施例の内側クラッドの開口数は、ここにさらに論じる装置および技法を使用して実験的に決定した。内側クラッド104および外側クラッド106の相対的な組成は、それらの屈折率差により、所望の開口数を有する内側クラッド104が生成されるように選択してよい。内側クラッド104の開口数は、内側クラッドが光信号を受け取るまたは発する角度の範囲を最大にするために、約0.25より大きく、より好ましくは約0.3より大きく、最も好ましくは約0.35より大きい。内側クラッドの屈折率プロファイルは、図1Bに示されるようなステップ型プロファイル、丸まったステップ型プロファイル、または勾配プロファイルであってよい。

#### 【0039】

外側クラッド106の厚さ(例えば、 $r_3 - r_2$ )は、5.44  $\mu\text{m}$ から約50  $\mu\text{m}$ 、よ

り好ましくは約12.5 μmから約30 μm、最も好ましくは約15 μmから約20 μmであってよい。外側クラッドは、一般に、 $n_3 < n_2 < n_1$ となるような第3の屈折率 $n_3$ を有するものとする。先に述べたように、内側クラッド104および外側クラッド106の材料組成は、それらの屈折率差により、内側クラッド104の所望の開口数が得られるように選択してよい。約0.25より大きい所望の開口数を有する内側クラッドを形成するために、外側クラッドの屈折率 $n_3$ と内側クラッドの屈折率 $n_2$ との間の差によって、内側クラッド104に所望の開口数が得られるように、外側クラッド106は内側クラッド104に対してダウン・ドープされていてよい。あるいは、内側クラッド104が外側クラッド106に対してアップ・ドープされていてもよく、または内側クラッド104が外側クラッド106に対してアップ・ドープされ、外側クラッド106が内側クラッド104に対してダウン・ドープされていてもよい。

10

【0040】

ある実施の形態において、外側クラッド106は、内側クラッド104の屈折率 $n_2$ に対して外側クラッド106の屈折率 $n_3$ を低下させる、フッ素、ホウ素またはそれらの組合せなどのドーパントを1種類以上含むシリカガラスからなっていてよい(例えば、外側クラッド106が「ダウン・ドープ」されている)。ある実施の形態において、内側クラッド104の外側クラッド106に対する相対屈折率パーセント(%) (例えば、2%)が約1.5%より大きくなるように、外側クラッド106は、約5質量%未満のFおよび $B_2O_3$ の形態にある約10質量%未満のBを含む、より好ましくは約2.5質量%未満のFおよび $B_2O_3$ の形態にある約5質量%未満のBを含む、最も好ましくは約2質量%のFおよび $B_2O_3$ の形態にある約5質量%未満のBを含むシリカガラスからなる。内側クラッド104が純粋なシリカガラスからなり、外側クラッド106が、約2質量%のFおよび約5質量%のBを含むシリカガラスからなる場合、内側クラッドの開口数は約0.30であろう。別の実施の形態において、内側クラッド104が、内側クラッドの屈折率を上昇させるドーパント(例えば、 $GeO_2$ 、 $Al_2O_3$ など)を含有し、外側クラッド106が、約2質量%のFおよび約5質量%のBを含むシリカガラスからなる場合、内側クラッドの開口数は約0.30より大きいであろう。

20

【0041】

あるいは、外側クラッド106の屈折率 $n_3$ は、外側クラッドが、外側クラッドが空隙を含有している二重クラッド光ファイバ200, 300の2つの実施の形態を示している図2および3に示されるような、空隙の分布を有するように外側クラッドを形成することによって低下されていてよい。これらの空隙は、空隙の屈折率が外側クラッドの屈折率よりも小さいように空気および/または固結ガス(consolidation gas)を含んでいてよい。したがって、外側クラッド内に空隙を含ませることによって、内側クラッドに対して外側クラッドの屈折率 $n_3$ を減少させてもよい。

30

【0042】

空隙含有外側クラッド206を備えた二重クラッド光ファイバ200の断面が図2に示されている。空隙含有外側クラッド206は、外側クラッドの全体に渡って分布した複数の空隙208を含む。ある実施の形態において、空隙は、二重クラッド光ファイバ200がそれから線引きされる光ファイバプリフォームの製造中に、外側クラッドの材料が堆積され、固結されたときに外側クラッド中に形成された別個の閉じた空隙を含んでよい。これらの閉じた空隙は、固結工程中に空隙内に捕捉された固結ガスを含んでもよい。図示された実施の形態において、空隙208は小さくてもよく、例えば、空隙は、二重クラッド光ファイバ200の内側クラッド104に沿って伝搬される光の波長よりも小さい直径を有してもよい。例えば、空隙208は、約500 nm未満、より好ましくは約300 nm未満、最も好ましくは200 nmの直径を有してよい。図2に示されるように、空隙は、外側クラッドが異なる断面積を有する空隙の分布を含むように、外側クラッド206の全体に亘り無作為なサイズ分布を有してもよい。外側クラッド内の空隙が、ここに定義されるように小さい空隙である場合、空隙の領域の空隙面積パーセントは、約10%より大きく、より好ましくは約20%より大きく、最も好ましくは25%より大きくてもよい。空

40

50

隙の領域の空隙面積パーセントは60%未満であることが好ましいであろう。ここに用いたように、領域空隙面積パーセントは、空隙を含む領域の総面積（光ファイバを、光ファイバの軸に対して垂直にとられた断面で見た場合）で割った空隙を含む領域（例えば、外側クラッド）内の空隙の総面積を100倍した値を意味する。図2に示された特定の実施の形態において、外側クラッド206の領域空隙面積パーセントは約25%である。

#### 【0043】

いくつかの実施の形態において、外側クラッド内に含まれる空隙は、非周期的に配置されても、周期的に配置されても、もしくはその両方であってもよい。「非周期的に配置」または「非周期的な分布」とは、光ファイバの特定の断面（縦軸に対して垂直な断面などの）について、非周期的に配置された空隙は、外側クラッドに亘り無作為にまたは非周期的に分布していることを意味する。ファイバの長手方向に沿った異なる地点でとられた同様の断面が、異なる断面の孔パターンを表す、すなわち、様々な断面は異なる孔パターンを有し、空隙の分布および空隙のサイズは一致しない。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（細長くなっ）ているが、伝送ファイバの典型的な長さに関して、ファイバの全長に亘って延在していない。理論により拘束することを意図するものではないが、空隙はファイバの長手方向に沿って、数メートル未満しか、多くの場合には、1メートル未満しか延在しないと考えられる。ここに開示した二重クラッド光ファイバは、固結されたガラスブランク内に捕捉された多量のガスを生じ、それによって、固結されたガラス製の光ファイバプリフォーム内に空隙を形成するのに効果的なプリフォーム固結条件を使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工程をとるよりむしろ、これにより得られたプリフォームを使用して、その中に空隙を有する光ファイバを形成する。ここに用いたように、空隙の直径は、光ファイバをファイバの縦軸を横切る垂直断面で見たときに、空隙を画成するシリカ内部表面上に端点が配置された最長の線分である。

#### 【0044】

図2に示された実施の形態において、二重クラッド光ファイバ200の内側クラッド104およびコア102は、図1Aに示した二重クラッド光ファイバ100に関した先に記載されたようなものであってよい。純粋なシリカガラスからなる内側クラッドおよび約25%の空気の領域空隙面積パーセントを有する空隙含有外側クラッドを備えた二重クラッド光ファイバにより、約0.68の開口数を有する内側クラッドが生じるであろう。

#### 【0045】

図2に示された空隙208は、無作為なサイズ分布を有する、非周期的に分布した閉じた空隙としてここに記載されているが、空隙208は、外側クラッドの全体に渡り周期的に分布されていてもよく、また空隙は略均一なサイズのものであってよいことも理解すべきである。さらに、空隙は開いていてもよく、その結果、ここにより詳しく記載するように、空気を含有するであろう。

#### 【0046】

ここで図3を参照すると、空隙含有外側クラッド306を備えた二重クラッド光ファイバ300の別の実施の形態が示されている。この実施の形態において、空隙308は大きく、例えば、空隙308は、二重クラッド光ファイバ300の内側クラッド104に沿って伝搬する光の波長よりも大きい寸法を有する。例えば、この実施の形態において、大きい空隙308は、一般に、1 $\mu$ mより大きい、より好ましくは約5 $\mu$ mより大きい、最も好ましくは約10 $\mu$ mより大きい直径を有してよい。空隙308がここに定義したように大きい場合、領域空隙面積パーセントは約80%より大きく、より好ましくは約90%より大きく、最も好ましくは約95%より大きくてよい。空隙308がここに定義したように大きい場合、領域空隙面積パーセントは約98%未満であることが好ましい。図示された実施例において、外側クラッド306の領域空隙面積%は約90%であり、これにより、外側クラッドの全体の屈折率が減少する。外側クラッドの領域空隙面積%が約90%の空気であり、内側クラッドが純粋なシリカガラスからなる場合、内側クラッドは約1の開口数を有するであろう。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 4 7 】

図 3 に示された実施の形態において、空隙 3 0 8 は、外側クラッドの断面の全体に渡り周期的に分布しているであろう。空隙 3 0 8 は、概して、同じ直径を有していてもよい。空隙 3 0 8 は、開いていてもよく、その結果、空気を含有するであろう。空隙 3 0 8 は、二重クラッド光ファイバがそこから線引きされる光ファイバプリフォームの外側クラッド領域にドリルで孔開けすることによって形成してもよい。あるいは、大きな空隙 3 0 8 は、光ファイバプリフォームを形成する「スタック・アンド・ドロウ(stack and draw)」法を使用して形成してもよい。ドリルによる孔開けおよびスタック・アンド・ドロウ法を用いて、小さな空隙（例えば、図 2 に関して記載したような）または大きな空隙（例えば、図 3 に関して記載したような）のいずれを作製してもよい。しかしながら、外側クラッドに開いた空隙を形成するための他の技法を使用してもよいことを理解すべきである。

10

## 【 0 0 4 8 】

ある実施の形態において、図 1 ~ 3 の二重クラッド光ファイバは、外付け気相成長 (OVD) 法によって製造してもよい。この OVD 法は、 $CH_4 + O_2$  火炎中の加水分解プロセスによって特定の気相成分（シリカおよび他のドーパント前駆体を含む）からの反応により、シリカガラスおよび/またはシリカガラスとドーパントのスト粒子を形成し、次いで、これを心棒（コア・ストプリフォームを製造するための）またはガラスコアケインまたはロッド（オーバークラッド・ストプリフォームを製造するための）のいずれかの上に熱泳動手段によって収集することによって、光ファイバを製造する方法である。このストプリフォームはその後乾燥させ、高温炉内で中実ガラスに緻密化する（心棒をコアプリフォームから取り除いた後に）。これは固結として一般に称されるプロセスである。所望のコアおよびクラッドの組成は、ストプリフォームの製造プロセスにおいて、各層について異なる量の様々な気相成分を使用することによって形成される。要約すると、コアおよび/またはクラッドプリフォームを最初に生成し、次いで、固結し、最終的な（固結された）プリフォームを、公知のファイバ線引き法によって光ファイバに線引きする。

20

## 【 0 0 4 9 】

より詳しくは、二重クラッド光ファイバのコアに関するストプリフォームの部分を製造するために使用できる気相前駆体材料には、例えば、 $SiCl_4$ 、 $GeCl_4$ 、 $AlCl_3$ 、 $TiCl_4$ 、または  $POCl_3$  がある。いくつかの実施の形態において、コアプリフォームは、純粋なシリカガラスまたは  $GeO_2$  がドーブされたシリカガラスからなる。ストがコアプリフォームに固結された後、OVD法を使用して、固結されたコアプリフォーム上に  $SiO_2$  ストを堆積させて、二重クラッド光ファイバの内側クラッドのストプリフォームを形成する。上述したように、内側クラッドは、内側クラッドの屈折率を上昇または低下させるドーパントを含有してもよい。そのようなドーパントを  $SiO_2$  ストと共に堆積させてもよい。例えば、内側クラッドを  $GeO_2$  でアップドーブする場合、 $GeO_2$  を  $SiO_2$  ストと共に堆積させてもよい。内側クラッドのストプリフォームをコアプリフォーム上に堆積させた後、内側クラッド・ストプリフォームを固結させて、コアプリフォームの周りに緻密なシリカガラスの層を形成してよい。いくつかの実施の形態において、コアプリフォームは、アップドーパントを含まない純粋なシリカガラスからなる（内側クラッドは  $SiO_2$  に対してダウンドーブされている）。

30

40

## 【 0 0 5 0 】

内側クラッドのストプリフォームを堆積させた後、外側クラッドのストプリフォームをコアプリフォーム上に堆積させてもよい。ある実施の形態において、上述したように、外側クラッドは、フッ素および  $B_2O_3$  の形態にあるホウ素によりダウンドーブされたシリカガラスらなる。したがって、ダウンドーブされたシリカガラス層を堆積させるために、 $SiO_2$  または  $B_2O_3$  でダウンドーブされた  $SiO_2$  を内側クラッドの固結されたストプリフォーム上に堆積させて、外側クラッドのストプリフォームを形成してもよい。F、例えば、 $SiF_4$  を含有するガスを固結プロセスに使用して、そのプリフォームのクラッド部分の屈折率を低下させてもよい。上述したように、B および/または F を含有する固結ガラスは、純粋なシリカよりも低い屈折率を有する。

50

## 【0051】

ホウ素/フッ素同時添加を使用する場合、シリカガラス中のホウ素/フッ素同時添加は二工程で行ってよい：(i) スート堆積中のホウ素添加、その後の(ii) 固結中のシリカ焼結添加。

## 【0052】

例えば、ホウ素がドーブされた $\text{SiO}_2$ 外側クラッドの堆積は、供給材料として $\text{BCl}_3$ および $\text{SiCl}_4$ またはB-およびSi-含有有機金属前駆体を使用して、純粋なシリカまたは $\text{GeO}_2$ ドーブトシリカのコアロッドを取り囲むアップまたはダウンドーブされたシリカ内側クラッドに行ってもよい。配設(laydown)中のホウ素の捕捉効率は、OVDバーナの火炎の温度が減少するにつれて増加することに留意されたい。配設工程中の好ましい温度範囲は、10質量%から12質量%のスートの目標の酸化ホウ素含有量、およびその後の固結工程でのより容易なF焼結ドーピングに適したスート密度(例えば、 $0.6\text{ g/cm}^3$ 未満、より好ましくは $0.5\text{ g/cm}^3$ 未満、さらにより好ましくは $0.4\text{ g/cm}^3$ 未満)について、約1400 から1600 である。そのようなホウ素がドーブされたスートから作られたプリフォームは、通常、それぞれ、より低い温度での加水分解プロセスおよびスート組成物のより高い熱膨張係数のために、高いOH含有量および高い応力レベルを有する。このスートプリフォームに亀裂が生じる見込みを防ぐために、固結時のF焼結ドーピングの前に、スートプリフォームに熱安定化工程を行うことが好ましい。スートプリフォームは、約8時間に亘り乾燥不活性ガス雰囲気下で、100 から500、例えば、300 の均熱炉内において熱安定化されることが好ましい。この点に関して、熱安定化は3から24時間(例えば、10, 12, 16または18時間)であり、より大きなサイズのスートプリフォームには、より長い熱安定化が必要となる。

## 【0053】

次いで、この例示の実施の形態によるスートプリフォームを、F化合物と共に、例えば、 $\text{SiF}_4$ または $\text{CF}_4$ と共に炉内で固結させる。本発明の実施の形態によれば、ホウ素含有スートプリフォーム中へのフッ素(F)焼結ドーピングは、単一ゾーン固結プロセスである。この固結プロセス全部は、低温炉の乾燥ゾーン領域内で行われ、これは通常、標準的な固結炉の上部に位置する。固結は、B/F同時添加シリカのかかなり低いガラス転移温度(Tg)(約800 またはそれ未満)のために、比較的低温で行われる。例示のシリカスートプリフォーム(10質量%のBがドーブされている)を最初に、45~60分間に亘り約850 ~900 で $\text{Cl}_2$ 乾燥させる。次いで、乾燥ゾーン温度を、 $\text{SiF}_4$ と共に、90から150分間に亘り焼結/Fドーピングのために1200 まで上昇させる。焼成およびFドーピング中、固結されたガラス中のホウ素濃度は、スート相中の10質量%から、完全に固結されたガラス相中の4~8質量%までなどのように、著しく低下する。そのような減少は、フッ素の存在下でのホウ素のエッチング除去(etch out)により生じる。その結果、ガラス中のホウ素とフッ素の濃度は、それぞれ、4~8質量%および1.5~2.5質量%の範囲にあるであろう。固結プロセス後、固結されたプリフォームは冷却され、ファイバの線引きのために持って行かれる。

## 【0054】

別の実施の形態において、二重クラッド光ファイバの外側クラッドは、Bおよび/またはFドーパントを含む外側クラッドの代わりに、空隙含有外側クラッドからなってもよい。空隙含有外側クラッド内の空隙は、外側クラッドの屈折率を低下させるであろう。ある実施の形態において、空隙含有外側クラッドを製造するために、内側クラッドの固結されたスートプリフォーム上に $\text{SiO}_2$ スートを堆積させてよい。 $\text{SiO}_2$ スートを堆積させ、固結ガラス中の固結ガスの一部を捕捉し、それによって、二重クラッド光ファイバがそこから線引きされる光ファイバプリフォームの外側クラッド領域に閉じた空隙のアレイを生成するのに効果的な条件下で固結させる。例えば、外側クラッドは、ガス状雰囲気の一部を、空隙が閉じられるときに空隙中に捕捉させる条件下でガス状雰囲気中で固結してもよい。このガス状雰囲気は、窒素またはクリプトンなどの屈折率を低下させるガスを含んでもよい。しかしながら、例えば、窒素、アルゴン、二酸化炭素、酸素、 $\text{CF}_4$ 、塩素、C

10

20

30

40

50

O、 $C_2F_6$ 、 $SO_2$ 、Kr、Xe、Neおよびそれらの混合物などであって、空気ではない、ガラスの屈折率を低下させる他の固結ガスを使用してもよいことが理解されよう。いくつかの実施の形態において、空隙含有外側クラッドを形成するために使用される方法は、2008年5月5日に出版された、「MICROSTRUCTURED OPTICAL FIBERS AND METHODS」と題する米国特許出願第12/151,170号明細書に開示された方法と似ていてよいが、空隙含有外側クラッドを形成するための他の方法を使用してもよい。

【0055】

上述したように、内側クラッドの開口数は数学的に計算されるであろう。しかしながら、特定の環境下では、内側クラッドの開口数を実験的に決定することが必要かもしれない。例えば、いくつかの状況において、内側クラッドの屈折率 $n_2$ は正確に知られていないかもしれない。そのような状況下では、ここに記載された二重クラッド光ファイバの内側クラッドの開口数は、“Propagation losses of pump light in rectangular double-clad fibers” by Anping Lu and Kenichi Ueda, 3134 Optical Engineering, Vol. 35 No. 11, November 1996というタイトルの論文に記載されたものと類似の角度測定技法を使用して測定してもよい。類似の測定技法を行うための例示の装置が図4に示されている。この装置は、一般に、光源406、回転ステージ404および光検出器412を備えている。光源406は、一般に、特定の中心波長を有する広帯域光源からなっていてよい。例えば、異なる中心波長を得るために、異なる広帯域光源を選択してもよい。特に関心のあるものは、二重クラッド光ファイバおよびそれを用いた内視鏡に典型的な動作波長に対応する中心波長を有する光源である。したがって、広帯域光源は、850nm、1060nm、1310nmまたは1550nmの中心波長を有してよい。

【0056】

内側クラッドの開口数を測定するために、二重クラッド試験ファイバ402の角度方向が光源からの光に対して正確に制御されるように、二重クラッド試験ファイバ402を回転ステージ404上に配置する。光源406の出力は、結合ファイバ410およびコリメータレンズ408により二重クラッド試験ファイバ402の切断端に結合される。具体的に、光源406の出力は、二重クラッド試験ファイバ402の内側クラッドに連結される。二重クラッド試験ファイバ402の内側クラッドに連結された光は、コリメータレンズを通過した後、実質的に平行にされている。二重クラッド試験ファイバ402の反対の端部は、二重クラッド試験ファイバ402を通して連結された光のパワーが測定されるように光検出器412に連結されている。

【0057】

二重クラッド試験ファイバ402は、二重クラッド試験ファイバ402の角度方向が光源406からの光に対して調節されるように、入力角度 $\theta_1$ の範囲で回転される。二重クラッド試験ファイバ402が回転されるときに、試験ファイバ402の内側クラッドを通して連結された光のパワーが、光源406からの光の入力角度 $\theta_1$ の関数として測定される。二重クラッド光ファイバの内側クラッドを通して連結された光の正規化されたパワーの例示のプロットが、角度方向の関数として図5に示されている。二重クラッド試験ファイバの内側クラッドの開口数は、半角(例えば $|\theta_1 - \theta_2|/2$ )を使用して光源からの光の特定の波長について計算することができる。この計算を行うために、閾値レベルを設定して、最初に $\theta_1$ および $\theta_2$ を決定する。例えば、閾値レベルは、二重クラッド試験ファイバ402の内側クラッドを通して連結された光のピークパワーの2.5%に設定してよい。したがって、 $\theta_1$ および $\theta_2$ または $\theta_2$ は、二重クラッド試験ファイバの内側クラッドを通して連結された光のパワーがそのファイバを通して連結されたピークすなわち最大パワーの2.5%となるまで、二重クラッド試験ファイバ402を回転させることによって決定してもよい。 $\theta_1$ および $\theta_2$ は、光源の出力に対する二重クラッド試験ファイバの角度方向から決定される。特定の閾値パワーレベルについて、内側クラッドの開口数は、式：

## 【数 8】

$$NA = \sin\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right)$$

## 【0058】

を使用して計算してよい。この内側クラッドの開口数は、いくつかの異なる波長について計算してよい。しかしながら、一般に、開口数は、光ファイバを通して連結された光の波長にわずかしか依存しない。内側クラッドの開口数を測定するために、図4に示された測定装置を、上述した数式と共に使用してよい。

10

## 【0059】

表1に列記された3種類のファイバの実施例の内側クラッドの開口数は、上述した技法を使用して実験的に決定した。この二重クラッド光ファイバは、ここに記載した外付け気相成長(OVD)法を使用して製造した。全3種類の二重クラッド光ファイバのコアは、5.5質量%のGeO<sub>2</sub>がドーブされた(希土類ドーパントは含まない)シリカガラスからなり、一方で、内側クラッドは純粋なシリカガラスからなるものであった。これらの例示のファイバの実施の形態において、ファイバのコアは、希土類ドーパントを含有せず、AlもFも含有しない。外側クラッドは、内側クラッドに対して外側クラッドの屈折率を低下させるために、2質量%のFおよび5質量%のB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>がドーブされたシリカガラスからなるものであった。コアの半径(r<sub>1</sub>)、内側クラッドの半径(r<sub>2</sub>)および外側クラッドの半径(r<sub>3</sub>)は、全3種類の例示のファイバについて列記されている。表1に示された二重クラッド光ファイバの開口数は、2.5%の強度閾値で、0.25より大きいと測定された。全3種類の例示の二重クラッド光ファイバの測定されたコアファイバカットオフ波長は800nm未満であり、コアのモードフィールド径(MFD)は、800nmで4.7から5.7であった。クラッドに対するコアの相対屈折率パーセント(%) (例えば、 $\Delta_1\%$ )は、0.36%であると決定された。

20

## 【表1】

表1. NA測定結果

r <sub>1</sub> (μm)	r <sub>2</sub> (μm)	r <sub>3</sub> (μm)	Δ <sub>1</sub> %	コアファイバ のカットオフ (nm)	800 nm (μm) でのコア MFD	内側クラッドの NA
2.55	57.1	62.54	0.36	719.8	4.7	0.263
2.65	61.25	67.6	0.36	732.7	5.1	0.283
2.96	67.6	74.7	0.36	758.6	5.7	0.305

30

## 【0060】

表2Aおよび2Bは、例示の二重クラッド光ファイバの組成および対応する光学的性質を示している。例示の各組成は、全てがシリカ系ガラスからなる、コア、内側クラッドおよび外側クラッドを有する光ファイバに基づくものである。表2Aおよび2Bのファイバの実施例に示されるように、ファイバのコアはAlを含まないことが好ましく、したがって、表2Aの例示のファイバは、1060nmから1700nmの動作波長範囲で1dB/km未満の低い減衰および非常に低い散乱損失を示すことに留意されたい(類似の屈折率プロファイルを有するが、Yb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>およびGeO<sub>2</sub>がコア中に存在する比較例のファイバにおいて、減衰は、1120nm~1700nmの波長範囲において20dB/kmより大きく、1100nm未満の波長では100dB/kmより大きかった)。

40

50

【表 2 A】

表 2 A : 二重クラッド光ファイバの例示の組成および性質

	ファイバ 1	ファイバ 2	ファイバ 3	ファイバ 4	ファイバ 5
コアのドーパント	5.5% GeO <sub>2</sub>	32.5% GeO <sub>2</sub>	21.7% GeO <sub>2</sub>	5.5% GeO <sub>2</sub>	8.1% GeO <sub>2</sub>
内側クラッドのドーパント	なし	27.0% GeO <sub>2</sub>	14.1% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	なし	なし
外側クラッドのドーパント	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% F, 5%B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Δ <sub>1</sub> %	0.34%	0.34%	0.34%	0.34%	0.50%
Δ <sub>2</sub> %	2.1%	3.76%	3.1%	2.1%	2.1%
コアの NA	0.12	0.12	0.12	0.12	0.15
内側クラッドの NA	0.30	0.40	0.36	0.30	0.30
r1 (μm)	2.50	2.50	2.50	2.50	1.98
r2 (μm)	47.5	47.5	47.5	110	47.5
r3 (μm)	62.5	62.5	62.5	125	62.5
コアの理論カットオフ波長(nm)	779	779	779	779	775
800 nm でのコア MFD (μm)	5.5	5.5	5.5	5.5	4.5
800 nm でのコアの実効面積(μm <sup>2</sup> )	23.4	23.4	23.4	23.4	15.5
800 nm でのコアの分散(ps/nm/km)	-116	-116	-116	-116	-121

## 【 0 0 6 1 】

ファイバ 1 のシリカガラス系コアは、2.5 μm の半径を有し、コアの屈折率を上昇させるために 5.5 質量% の GeO<sub>2</sub> を含んでいる。コアは、二重クラッド光ファイバのコアが 800 nm の動作波長でシングルモードであるように 779 nm の理論カットオフ波長を有する。内側クラッドは純粋なシリカであり、コアの内側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%) (例えば、 $\Delta_1$ %) は 0.34% である。外側クラッドは、外側クラッドの屈折率を低下させるために、2% の F および 5% の B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> がドーパされたシリカガラスからなる。内側クラッドの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント(%) (

10

20

30

40

50

例えば、 $n_2$ %)は2.1%であり、これは、0.3の開口数を有する内側クラッドに相当する。外側クラッドは、二重クラッド光ファイバが標準的な125  $\mu\text{m}$ の直径の光ファイバであるように、62.5  $\mu\text{m}$ の外半径 $r_3$ を有する。

#### 【0062】

内側クラッドの開口数は、外側クラッドに対して内側クラッドの屈折率( $n_2$ )を増加させることによって増加させてもよい。例えば、ファイバ2において、内側クラッドは27.0質量%のGeO<sub>2</sub>がドーピングされ、それによって、内側クラッドの屈折率を上昇させている。外側クラッドは、ファイバ1におけるように、同じ質量%のFおよびB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>がドーピングされている。内側クラッドの増加した屈折率( $n_2$ )の結果として、内側クラッドの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント( $n_2$ %)は、約3%より大きく、詳しくは3.76%に増加し、内側クラッドの開口数は0.4に増加する。この実施例において、コアは追加のGeO<sub>2</sub>がドーピングされて、ファイバ1におけるように $n_1$ %を0.34%に維持している。

10

#### 【0063】

あるいは、内側クラッドが、内側クラッドの屈折率を上昇させる他のドーパントを含んでもよい。例えば、ファイバ3において、内側クラッドは14.1%のAl<sub>2</sub>O<sub>3</sub>を含み、これには、内側クラッドの屈折率( $n_2$ )を上昇させ、内側クラッドの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント( $n_2$ %)を約3%より大きく、詳しくは3.1%に上昇させ、内側クラッドの開口数を0.36に上昇させる効果がある。ファイバ2に関するように、コアは、 $n_1$ %を0.34%に維持するのに十分なGeO<sub>2</sub>がドーピングされている。

20

#### 【0064】

ファイバ1~3における例示の組成は、外側クラッドの半径( $r_3$ )が62.5  $\mu\text{m}$ である二重クラッド光ファイバに関する。しかしながら、ある用途について、ファイバの集光効率をさらに改善するために、より大きい直径のファイバが必要とされるかもしれない。したがって、ファイバ4において、ファイバ1の二重クラッド光ファイバの組成物の寸法を、250  $\mu\text{m}$ の外径を有する光ファイバを生成するために拡大してもよい。ファイバ4の直径がより大きい二重クラッド光ファイバの組成物の開口数および他の性質は、ファイバ1の二重クラッド光ファイバの組成物のものと同じである。

#### 【0065】

ファイバ1~4の例示の組成において、二重クラッド光ファイバのコアは、0.12の開口数および5.5  $\mu\text{m}$ のモードフィールド径(MFD)を有する。しかしながら、ある用途について、より高い開口数およびより小さいMFDを有するコアが望ましいかもしれない。このことは、ドーピングによりコアの屈折率を増加させることによって行ってもよい。ファイバ5において、コアに、8.1質量%のGeO<sub>2</sub>がドーピングされている(ファイバ1の5.5質量%のGeO<sub>2</sub>と比較して)。ファイバ1と比べると、ファイバ5における追加のGeO<sub>2</sub>は、ファイバの $n_1$ %を0.50まで増加させ、コアの開口数を0.15まで増加させ、一方で、MFDを4.5  $\mu\text{m}$ まで減少させる。

30

#### 【0066】

表2Aの例示の組成において、二重クラッド光ファイバは800 nmの動作波長のために設計されている。しかしながら、表2Aに示されるように、800 nmでの二重クラッド光ファイバのコアの分散は、800 nmで約-120 ps/nm/kmである。コアの分散を減少させるために、異なる動作波長を使用してもよい。そのような動作波長は、一般に、内視鏡に通常使用される他の動作波長に対応するであろう。例えば、非線形光学内視鏡は、800から1550 nmの範囲にある動作波長を有するであろう。図2Bに示されたファイバ6~10における二重クラッド光ファイバは、800 nm以外の動作波長、特に、1060 nm、1310 nmおよび1550 nmの動作波長のために設計されている。

40

## 【表 2 B】

表 2 B : 二重クラッド光ファイバの例示の組成および性質

	ファイバ 6	ファイバ 7	ファイバ 8	ファイバ 9	ファイバ 10
コアのドーパント	5.5% GeO <sub>2</sub>	5.5% GeO <sub>2</sub>	19.5% GeO <sub>2</sub>	5.5% GeO <sub>2</sub>	5.5% GeO <sub>2</sub>
内側クラッドのドーパント	なし	なし	なし	なし	なし
外側クラッドのドーパント	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25% 空気充填	90%空気充填
$\Delta_1\%$	0.34%	0.34%	1.2%	0.34%	0.34%
$\Delta_2\%$	2.1%	2.1%	3.1%	11.7%	30%
コアの NA	0.12	0.12	0.22	0.12	0.12
内側クラッドの NA	0.30	0.30	0.36	0.68	1
r1 (μm)	3.22	4.01	2.28	4.01	4.01
r2 (μm)	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5
r3 (μm)	62.5	62.5	62.5	62.5	62.5
コアの理論カットオフ波長(nm)	1021	1295	1240	1295	1295
コアの MFD (μm)	7.28 (at 1060 nm)	9.09 (at 1310 nm)	5.44 (at 1550 nm)	9.09 (at 1310 nm)	9.09 (at 1310 nm)
コアの実効面積(μm <sup>2</sup> )	41.7 (at 1060 nm)	65.2 (at 1310 nm)	22.4 (at 1550 nm)	65.2 (at 1310 nm)	65.2 (at 1310 nm)
コアの分散(ps/nm/km)	-34.9 (at 1060 nm)	-0.03 (at 1310 nm)	-0.04 (at 1550 nm)	-0.03 (at 1310 nm)	-0.03 (at 1310 nm)

## 【 0 0 6 7 】

例えば、ファイバ 6 は、1060 nm の動作波長のために設計されている。このことは、コアの半径を 3.22 μm に増加させることによって行われる。その結果、コアのカットオフ波長は、二重クラッド光ファイバが 1060 nm でシングルモードであるように 1021 nm である。ファイバ 6 の二重クラッド光ファイバは 7.28 の MFD を有し、これは、800 nm で動作するように設計されたファイバの MFD よりも大きい。二重クラッド光ファイバをより大きい波長で動作するように設計することの特別な利点の 1 つは、光ファイバのコアの減少した色分散である。例えば、800 nm で動作するように設計さ

10

20

30

40

50

れた表 2 A のファイバは、800 nm で約  $-120 \text{ ps/nm/km}$  の色分散を有するコアを備えている。しかしながら、1060 nm で動作するように設計されたファイバ 6 は、 $-34.9 \text{ ps/nm/km}$  の色分散を有するコアを備え、800 nm で動作するように設計された表 2 A の対応する二重クラッド光ファイバよりも、約  $85 \text{ ps/nm/km}$  だけ改善されている。

#### 【0068】

実際に、ほぼゼロ分散のコアは、ファイバ 7 について示されているように、ファイバを 1310 nm で動作するように設計することによって得てもよい。このことは、コアの半径  $r_1$  を増加させることによって行ってもよい。例えば、コアの半径を増加させて、コア分散の絶対値が、約 1310 nm の動作波長で、約  $10 \text{ ps/nm/km}$  未満、より好ましくは約  $5 \text{ ps/nm/km}$  未満、最も好ましくは約  $2 \text{ ps/nm/km}$  未満である、二重クラッド光ファイバを形成してもよい。コアの半径を  $4.01 \mu\text{m}$  まで増加させた場合、コアのカットオフ波長は 1295 nm となり、二重クラッド光ファイバは 1310 nm でシングルモードになる。この実施の形態に関して、二重クラッド光ファイバのコアの色分散は、 $-0.03 \text{ ps/nm/km}$  まで減少する。

#### 【0069】

別の実施例において、 $\gamma_1\%$  を増加させ、コアの半径  $r_1$  を減少させることによって、1550 nm の動作波長でほぼゼロ分散を有する二重クラッド光ファイバを設計してもよい。 $\gamma_1\%$  を増加させ、コアの半径を減少させると、コア分散の絶対値が、約 1550 nm の動作波長で約  $10 \text{ ps/nm/km}$  未満、より好ましくは約  $5 \text{ ps/nm/km}$  未満、最も好ましくは約  $2 \text{ ps/nm/km}$  未満となる二重クラッド光ファイバが生成されるであろう。例えば、ファイバ 8 において、コアに 19.5 質量%の  $\text{GeO}_2$  をドーピングすることによって、コアの屈折率を増加させることにより、 $\gamma_1\%$  が増加させられる。純粋なシリカからなる内側クラッドについて、 $\gamma_1\%$  は 1.2% になる。このコアの半径  $r_1$  も、コアのカットオフ波長が 1240 nm となるように、 $2.28 \mu\text{m}$  まで減少されている。それゆえ、二重クラッド光ファイバは、1240 nm より大きい任意の波長についてシングルモードである。1550 nm の動作波長について、ファイバ 8 の分散は約  $-0.04 \text{ ps/nm/km}$  である。

#### 【0070】

先に論じたように、内側クラッドの開口数を増加させるための代替の方法の 1 つは、外側クラッドの全体に渡り空隙が分布した空隙含有外側クラッドを形成することによって、外側クラッドの屈折率を減少させることである。ファイバ 9 および 10 は、空隙を含む、空隙含有外側クラッドを有する二重クラッド光ファイバの 2 つの例示の組成物である。

#### 【0071】

ファイバ 9 は、外側クラッドの領域空隙面積が約 25% となるように、捕捉されたガスを含有する、小さな閉じた空隙の分布を含む空隙含有外側クラッドを有する。これにより、外側クラッドの屈折率が減少し、その結果として、内側クラッドの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント ( $\gamma_2\%$ ) が 11.7% まで増加し、内側クラッドの開口数が 0.68 まで増加する。さらに、ファイバは、1310 nm の波長で動作するように設計されている (例えば、ファイバのコアは、実施例 7 と同じ、 $4.01$  の半径  $r_1$  を有する)。それゆえ、二重クラッド光ファイバは、動作波長でほぼゼロの分散も有する。

#### 【0072】

ファイバ 10 において、空隙含有外側クラッドは、外側クラッドの領域空隙面積が約 90% の空気を含むように、空気を含む、大きな開いた空隙の分布を含む。これにより、外側クラッドの屈折率が減少し、その結果として、内側クラッドの外側クラッドに対する相対屈折率パーセント ( $\gamma_2\%$ ) が 30% まで増加し、内側クラッドの開口数が 1.0 まで増加する。ファイバ 9 に関するように、ファイバは、二重クラッド光ファイバが動作波長でほぼゼロの分散を有するように、1310 nm の波長で動作するように設計されている。

#### 【0073】

10

20

30

40

50

表 2 A および 2 B の例示のファイバは  $\text{GeO}_2$  ドープトコアを有する。しかしながら、他のドーパントをコアに使用しても差し支えない。例えば、表 2 C のファイバ 1 1 は、4.2% の  $\text{Al}_2\text{O}_3$  がドープされ、他のドーパントは含まない（すなわち、 $\text{GeO}_2$  を含まない）シリカ系コアを有する。例示のファイバ 1 1 は、300 ~ 500 nm の波長範囲において信号を検出するように利用できる（二光子吸収のために）。何故ならば、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  ドープトコアは、この波長範囲（300 ~ 500 nm）における吸収および蛍光が少ないからである。しかしながら、コア中の振る舞いは、線形と非線形の蛍光を（純粋なシリカコアに対して）増加させる傾向にあり、それゆえ、内視鏡用途についてバックグラウンドノイズを増加させてしまう。純粋なシリカコアを有するファイバが、バックグラウンドノイズをさらに減少させるために魅力的である。表 2 C の例示のファイバ 1 2 は純粋なシリカ

10

コアを有し、それゆえ、このファイバは、例示のファイバ 1 1 よりも小さいバックグラウンドノイズを有する。例示のファイバ 1 2 において、内側クラッドには、屈折率を低下させるために F がドープされて、コアに導波路を形成しており、外側クラッドは、外側クラッドが内側クラッドより低い屈折率デルタを有するように B と F の両方を含有している。2 つの例示のファイバ（1 1 および 1 2）は、800 nm の動作波長のために設計されており、シリカ系コアを有する。ファイバ 1 1 は、800 nm の波長で 5 dB 未満の減衰を有する。ファイバ 1 2 は、800 nm の波長で 3 dB 未満の、1060 nm で 1 dB 未満の減衰を有する。しかしながら、同様の手法を用いて、他の動作波長を有するファイバを設計しても差し支えない。

## 【表 2 C】

表 2 C : 二重クラッド光ファイバの例示の組成および性質

	ファイバ 11	ファイバ 12
コアのドーパント	4.2% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	なし
内側クラッドのドーパント	なし	0.9% F
外側クラッドのドーパント	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2% F, 5% B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Δ <sub>1</sub> %	0.30%	0.25%
Δ <sub>2</sub> %	1.8%	1.85%
コアの NA	0.11	0.10
内側クラッドの NA	0.27	0.28
r1 (μm)	2.68	2.95
r2 (μm)	47.5	47.5
r3 (μm)	62.5	62.5
コアの理論カットオフ波長(nm)	1021	788
コアの MFD (μm)	5.82 (at 800 nm)	6.39 (at 800 nm)
コアの実効面積 (μm <sup>2</sup> )	26.8 (at 800 nm)	32.2 (at 800 nm)
コアの分散 (ps/nm/km)	-115.2 (at 800 nm)	-113.6 (at 800 nm)

10

20

30

40

## 【 0 0 7 4 】

ここで、図 6 を参照すると、非線形光学内視鏡 5 0 0 が示されている。図示され、ここに記載された二重クラッド光ファイバの内側クラッドの比較的大きい開口数により、特に

50

、内視鏡が、標的材料から画像またはスペクトルを生成するために二光子または多光子蛍光プロセスを使用する場合、そのようなファイバをそのような非線形光学内視鏡と共に使用するのに特に適したものとなる。非線形光学内視鏡500は、一般に、光源508（例えば、レーザ）と、ここに記載したようなコア504、内側クラッド506および外側クラッドを有する二重クラッド光ファイバ502と、ビーム走査装置512と、光検出器514とを備えている。

【0075】

光源508は、ショートパルスレーザ光源などのレーザ光源を含んでよい。光源508からの出力は、二重クラッド光ファイバの第1の端部で光学成分510により二重クラッド光ファイバ502のコアに結合されてよい。光学成分としては、レンズ、コリメータレンズ、ミラーなどが挙げられるであろう。二重クラッド光ファイバは光結合器535を通り、これが、ここにさらに記載するように、二重クラッド光ファイバ502の内側クラッドを光検出器514に光学的に結合する。ビーム走査装置512は、二重クラッド光ファイバ502の第2の端部で二重クラッド光ファイバ502に結合されてもよい。

【0076】

ビーム走査装置512は、光源508の出力が標的522に亘り走査されるように、二重クラッド光ファイバ502を二次元に位置決めするように動作可能であってよい。ある実施の形態において、ビーム走査装置512は圧電アクチュエータを備え、これは、二重クラッド光ファイバ502を二次元に位置決めし、それによって、標的522に亘り光源508の出力の所望の走査パターンを成し遂げるように動作可能である。非線形光学内視鏡500は、二重クラッド光ファイバ502から出る光源の出力が、レンズを通り、標的522に焦点が合うように、ビーム走査装置512内に配置された1つ以上のレンズ（図示せず）を備えてもよい。このレンズは、標的から発せられた光を二重クラッド光ファイバ502の内側クラッド506に集束させるように働くであろう。ある実施の形態において、二重クラッド光ファイバ502を出る光源の出力を集束させるためのレンズは、ビーム走査装置512と標的522との間に配置されてもよい。

【0077】

光検出器514は、内側クラッドに沿って伝搬される光信号、特に、標的から発せられ、内側クラッド506に集光される光信号が光検出器により受け取られるように、光結合器535を通じて二重クラッド光ファイバの内側クラッドに光学的に結合されてよい。伝送ファイバ530は、光結合器535を光検出器514に接続する。より詳しくは、光結合器535は、二重クラッド光ファイバ502の内側クラッドを伝搬する光を伝送ファイバ530に結合し、これが光を光検出器に伝送する。ある実施の形態において、光検出器は、内側クラッドに沿って伝搬する光信号に应答し、対応する電気出力信号を生成して、受信した出力信号に基づいて画像を形成するかまたはそうでなければ光検出器から受信した出力信号を分析するようにプログラムされたコンピュータ516に伝送する。別の実施の形態において、光検出器514は、内側クラッド506に沿って伝搬する光信号に由来する分光情報を示す出力信号を生成する分光計および/またはイメージング装置を備えてもよい。いずれの実施の形態においても、光検出器の出力は、標的の特徴を決定するため、例えば、標的から発せられた光に基づいて標的の画像を生成するため、または蛍光プロセスの結果として、標的から発せられた異なる波長の強度を示す分光写真を生成するために、使用してもよい。

【0078】

動作において、非線形光学内視鏡の光源508（例えば、レーザ）は光パルスを生成し、これが、光学成分510を使用して二重クラッド光ファイバ502のコア504に結合される。この光パルスは、二重クラッド光ファイバ502に沿って伝搬し、ビーム走査装置512の近縁の二重クラッド光ファイバの第2の端部から出る。二重クラッド光ファイバから出る光パルスが標的522に沿って走査されるように、二重クラッド光ファイバ502を位置決めするために、ビーム走査装置512を使用してよい。光パルスが二重クラッド光ファイバを出て、標的に入射するとき、その標的は蛍光を発生し、光信号520を

10

20

30

40

50

放出であろう。標的 5 2 2 によって発せられた光信号 5 2 0 は、二重クラッド光ファイバ、特に、二重クラッド光ファイバ 5 0 2 の内側クラッドに戻されて集光される。内側クラッドの大きい開口数（例えば、 $NA > 0.25$ ）のために、二重クラッド光ファイバは、大きい広がり角を有する光信号 5 2 0 を集光し、それゆえ、二重クラッド光ファイバの光信号集光効率を改善することができる。

#### 【0079】

標的により発せられた光信号 5 2 0 が内側クラッドに集光された後、この光信号は、二重クラッド光ファイバ 5 0 2 に沿って内側クラッド内を戻るように伝搬され、伝送ファイバ 5 3 0 を備えた光結合器 5 3 5 によって光検出器 5 1 4 に方向が転換される。この光検出器 5 1 4 は光信号 5 2 0 を電気信号に変換し、この電気信号は、標的をさらに分析および/またはイメージングするために使用されるであろう。

10

#### 【0080】

今では、図示され、ここに記載された二重クラッド光ファイバの様々な実施の形態および組成により、開口数が約 0.25 より大きい二重クラッド光ファイバが生成されることが理解されよう。さらに、図示され、ここに記載された二重クラッド光ファイバの特定の実施の形態および組成により、開口数が約 0.25 より大きいことに加え、色分散が低い二重クラッド光ファイバが生成されるであろう。

#### 【0081】

図示され、ここに記載された二重クラッド光ファイバの特定の光学的性質、特に、二重クラッド光ファイバの大きな開口数により、この二重クラッド光ファイバが、光学内視鏡、特に、標的をイメージングおよび/または分析するために二光子または多光子プロセスを利用する非線形光学内視鏡に組み込むのに適したものとなる。特に、図示され、ここに記載された二重クラッド光ファイバを使用すると、非線形光学内視鏡の光信号集光効率が改善され、その結果として、非線形光学内視鏡によって生成される画像の品質、並びに、非線形光学内視鏡によって集光される光信号から派生したデータの品質が改善されるであろう。

20

#### 【0082】

本発明の精神および範囲から逸脱せずに、本発明の様々な改変および変更が行えることが当業者には理解されよう。それゆえ、本発明は、本発明の改変および変更を、それらが添付の特許請求の範囲およびその同等物に含まれるという条件で、包含することが意図されている。

30

#### 【符号の説明】

#### 【0083】

1 0 0 , 2 0 0 , 3 0 0 , 5 0 2	二重クラッド光ファイバ
1 0 2	コア
1 0 4	内側クラッド
1 0 6 , 2 0 6 , 3 0 6	外側クラッド
2 0 8 , 3 0 8	空隙
4 0 2	二重クラッド試験ファイバ
4 0 4	回転ステージ
4 0 6 , 5 0 8	光源
4 0 8	コリメータレンズ
4 1 0	結合ファイバ
4 1 2 , 5 1 4	光検出器
5 0 0	非線形光学内視鏡
5 1 0	光学成分
5 1 2	ビーム走査装置
5 1 6	コンピュータ
5 2 0	光信号
5 2 2	標的

40

50

5 3 0 伝送ファイバ  
5 3 5 光結合器

【図 1 A】

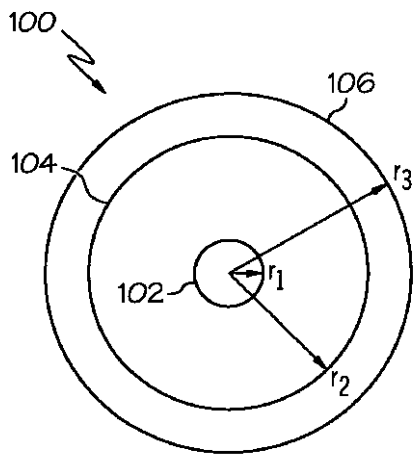


FIG. 1A

【図 1 B】

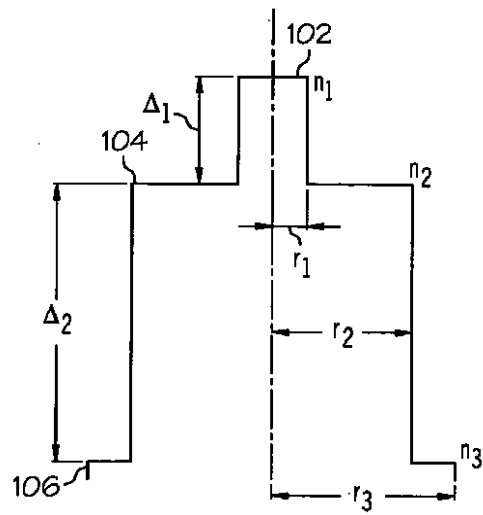


FIG. 1B

【 図 2 】

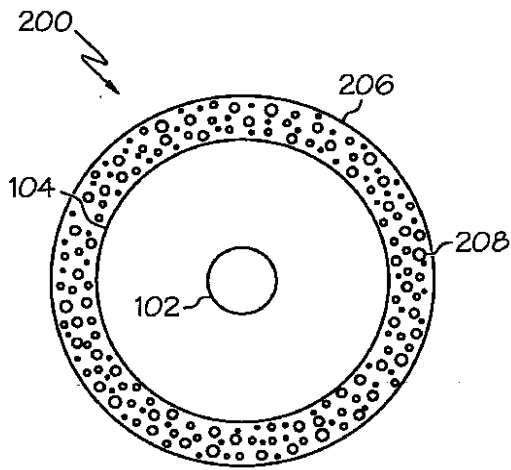


FIG. 2

【 図 3 】

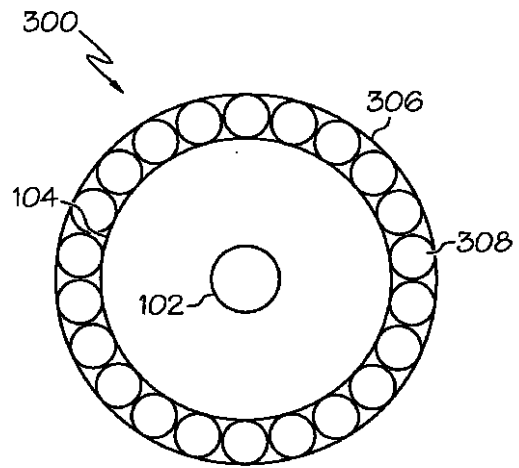


FIG. 3

【 図 4 】

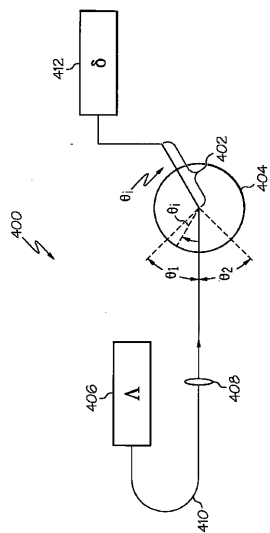


FIG. 4

【 図 6 】

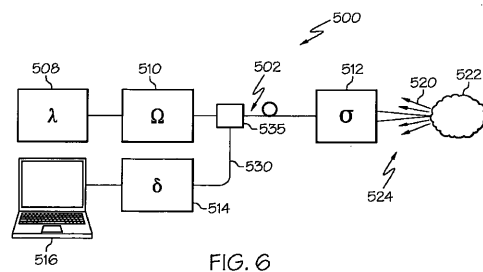
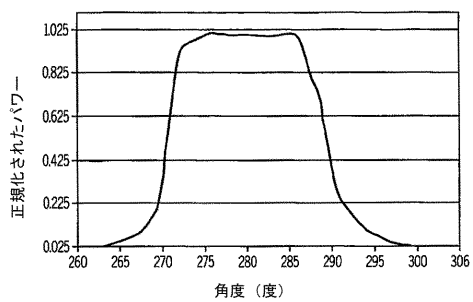


FIG. 6

【 図 5 】



---

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I  
A 6 1 B 1/00 (2006.01) A 6 1 B 1/00 3 0 0 U

(72)発明者 コウ, ジョーヒュン  
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 フィールドビュー ドラ  
イヴ 1 0 8

(72)発明者 リー, ミン - ジュン  
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 アンブロウズ ドライヴ 1 0

審査官 大森 伸一

(56)参考文献 特開2002 - 082248 (JP, A)  
特開2008 - 096958 (JP, A)  
特表2008 - 506426 (JP, A)  
特開2002 - 277669 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G 0 2 B 6 / 0 3 6  
A 6 1 B 1 / 0 0  
C 0 3 C 1 3 / 0 4  
G 0 2 B 6 / 0 0  
G 0 2 B 6 / 0 3 2  
G 0 2 B 2 3 / 2 6

专利名称(译)	具有双包层光纤和双包层光纤的器件		
公开(公告)号	<a href="#">JP5514205B2</a>	公开(公告)日	2014-06-04
申请号	JP2011520023	申请日	2009-07-16
[标]申请(专利权)人(译)	康宁股份有限公司		
申请(专利权)人(译)	康宁公司		
当前申请(专利权)人(译)	康宁公司		
[标]发明人	チェンシン コウジョーヒユン リーミンジュン		
发明人	チェン,シン コウ,ジョーヒユン リー,ミン-ジュン		
IPC分类号	G02B6/036 G02B6/032 G02B6/00 G02B23/26 C03C13/04 A61B1/00		
CPC分类号	G02B6/02261 G02B6/02342 G02B6/02357 G02B6/03633		
FI分类号	G02B6/22 G02B6/20.Z G02B6/00.376.Z G02B23/26.B C03C13/04 A61B1/00.300.U		
代理人(译)	佐久间刚		
审查员(译)	大森进一		
优先权	12/179086 2008-07-24 US		
其他公开文献	JP2011529200A		
外部链接	<a href="#">Espacenet</a>		

摘要(译)

双包层光纤包括芯，内包层和二氧化硅基玻璃的外包层。芯可以具有小于约5μm的半径，第一折射率n1并且不包含任何活性稀土掺杂剂。内包层可以包围芯并且包括至少约25μm的径向厚度，至少约0.25的数值孔径，以及第二折射率n2，使得n2 < n1。芯相对于内包层的相对折射率百分比(Δ%)可以大于约0.1%。外包层可以围绕内包层并且包括从大约10μm到大约50μm的径向厚度和第三折射率n3，使得n3 < n2。内包层相对于外包层的相对折射率百分比(Δ%)可以大于约1.5%。

$$A_{eff} = 2\pi \frac{\left( \int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2}{\int_0^{\infty} E^4 r dr}$$