

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6071030号
(P6071030)

(45) 発行日 平成29年2月1日(2017.2.1)

(24) 登録日 平成29年1月13日(2017.1.13)

(51) Int.Cl.

F 1

G02B 6/02 (2006.01)
G02B 6/028 (2006.01)

G02B 6/02 G02B 6/028

3 7 6 A

請求項の数 9 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2011-548333 (P2011-548333)
 (86) (22) 出願日 平成22年1月29日 (2010.1.29)
 (65) 公表番号 特表2012-516473 (P2012-516473A)
 (43) 公表日 平成24年7月19日 (2012.7.19)
 (86) 國際出願番号 PCT/US2010/022533
 (87) 國際公開番号 WO2010/088482
 (87) 國際公開日 平成22年8月5日 (2010.8.5)
 審査請求日 平成25年1月9日 (2013.1.9)
 審判番号 不服2015-22807 (P2015-22807/J1)
 審判請求日 平成27年12月25日 (2015.12.25)
 (31) 優先権主張番号 12/362,694
 (32) 優先日 平成21年1月30日 (2009.1.30)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(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 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 ミシュラ, スニグドハラジ ケイ
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2
 8409 ウィルミントン セント フ
 ランシス ドライヴ 3509

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】Ge不含有コアを有する大実効断面積ファイバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光導波路ファイバにおいて、

(i) 1550 nmの波長で100.4 μm²から160 μm²の実効断面積、および12.25の値を有するGe不含有コアであって、(a) 中心線から半径r₀まで半径方向外方に延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される相対屈折率パーセントプロファイル₀(r)を有する中心コア領域であって、1.0 μm r₀ 2.0 μm及び -0.1% r₀(r) 0.1%を満たす、最大相対屈折率パーセント_{0MAX}を有する中心コア領域；(b) 前記中心コア領域を取り囲み直接隣接し、4.8 μm r₁ 10 μmである外径r₁まで延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される相対屈折率パーセントプロファイル₁(r)、および最小相対屈折率_{1MIN}を有する第1の環状コア領域であって、半径r = 2.5 μmで測定された相対屈折率が-0.065% ₁(r = 2.5 μm) 0%、および_{0MAX} ₁(r = 2.5 μm) であり、-0.065% _{1MAX} 0%、である第1の環状コア領域；(c) 前記第1の環状コア領域を取り囲み直接隣接し、半径13 μm r₂ 30 μmまで延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される負の相対屈折率パーセントプロファイル₂(r)を有するフッ素がドープされた第2の環状コア領域であって、最小相対屈折率パーセント_{2MIN}が

$r_{2MIN} < r_1$ ($r = 2.5 \mu m$)、および -0.5% r_{2MIN} - 0.275% であり、
 $2.17 r_2 / r_1 = 5.7$ 、および $r_2 < 30 \mu m$ 、
 である第2の環状コア領域；
 を有するGe不含有コアと、

(i i) 前記コアを取り囲み、前記半径 r_2 より大きな半径 r_3 まで延在する、純粋なシリカに対して測定された%で表される相対屈折率パーセント $\eta_3(r)$ を有するクラッドであって、-0.4% η_3 - 0.2% であるクラッドと、
 を有してなり、

前記光導波路ファイバの相対屈折率プロファイルが、1550 nm の波長で 0.172 dB/km 以下の減衰を提供するように選択され、
 10

1550 nm の波長での分散 D を有し、19 D 23 ps/nm/km であることを特徴とする光導波路ファイバ。

【請求項 2】

(i) 前記Ge不含有コアが $101.7 \mu m^2$ と $160 \mu m^2$ の間の実効断面積を有し、
 (i i) 前記フッ素がドープされた第2の環状コア領域が 0.07 質量% から 1.6 質量% のフッ素を有することを特徴とする請求項1記載の光導波路ファイバ。

【請求項 3】

(i) 前記フッ素がドープされた第2の環状コア領域が 0.01 質量% から 1.6 質量% のフッ素を有し、(i i) 前記ファイバが、前記コアにおいて 500 ppm 超の塩素、
 (i i i) 前記クラッドにおいて 10000 ppm 超の塩素を有することを特徴とする請求項1記載の光導波路ファイバ。
 20

【請求項 4】

実効断面積 $A_{eff} > 110 \mu m^2$ を有することを特徴とする請求項1または3記載の光導波路ファイバ。

【請求項 5】

1520 nm 未満のケーブル遮断波長を有することを特徴とする請求項1または3記載の光導波路ファイバ。

【請求項 6】

実効断面積 $A_{eff} > 120 \mu m^2$ を有し、前記ファイバの相対屈折率プロファイルが、1550 nm の波長で 21 ps/nm/km 以下の分散を提供するような構成されていることを特徴とする請求項1または3記載の光導波路ファイバ。
 30

【請求項 7】

前記コアの少なくとも一部分がアルカリを含み、該アルカリがNa、KまたはRbを含むことを特徴とする請求項1または3記載の光導波路ファイバ。

【請求項 8】

前記ファイバの相対屈折率プロファイルが、1550 nm の波長で 0.170 dB/km 以下の減衰を提供するように構成されていることを特徴とする請求項1または3記載の光導波路ファイバ。
 40

【請求項 9】

前記第2の環状コア領域の最小相対屈折率パーセント η_{2MIN} と前記クラッドの相対屈折率パーセント $\eta_3(r)$ とが、
 $\eta_3(r) > \eta_{2MIN}$

であることを特徴とする請求項1または3記載の光導波路ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、広く光ファイバに関し、特に、純粋なコアおよび低減衰を有する大実効断面積光ファイバに関する。

【背景技術】

【0002】

長距離の高出力伝送を提供する遠距離通信システムにおいて、光増幅技術および波長分割多重化技法が、一般的に必要とされる。高出力および長距離の定義は、ビットレート、ビット誤り率、多重化スキーム、およびことによると光増幅が指定される特定の遠距離通信システムに関してのみ有意である。高出力および長距離の定義に影響がある追加の要因が当業者に公知である。しかしながら、ほとんどの目的にとって、高出力は約10mWより大きい高出力である。高出力システムは、自己位相変調、四光波混合、相互位相変調、および非線形散乱プロセスを含む非線形光学効果をしばしば被り、それらの全てが高出力システムにおいて信号を劣化させ得る。ある用途において、1mW以下の単一出力レベルはまだ非線形効果に対して感受性があり、よって、そのような低出力システムにおいても非線形効果はまだ重要な検討事項であろう。その上、減衰などの他の光ファイバ特性は、信号の劣化に寄与する主要な要因である。10

【0003】

一般に、大実効断面積(A_{eff})を有する光導波路ファイバは、以下の全てが高出力システムにおいて信号を劣化させ得る、自己位相変調、四光波混合、相互位相変調、および非線形散乱プロセスを含む非線形光学効果を減少させる。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

他方で、光導波路ファイバの実効断面積が増加すると、典型的に、ファイバを通る信号伝送を減衰させるマクロベンディング誘起損失が増加する。このマクロベンディング誘起損失は、長(例えば、100km以上)距離(または再生器、增幅器、送信機および/または受信機の間の間隔)に亘り次第に重要になる。残念ながら、従来の光ファイバの実効断面積が大きくなるにつれ、マクロベンディング誘起損失が大きくなる傾向にある。さらに、減衰は、大実効断面積ファイバにおける信号の劣化に寄与する主要な要因であり得る。20

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明のある実施の形態は、光導波路ファイバにおいて、

(i) 1550nmの波長で約90 μm^2 から約160 μm^2 の実効断面積、および1
2 25の値を有するGe不含有コアであって、30

(a) 中心線から半径 r_0 2 μm まで半径方向外方に延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される相対屈折率パーセントプロファイル $\phi(r)$ を有する中心コア領域であって、-0.1% $\phi(r)$ 0.1%、最大相対屈折率パーセント ϕ_{MAX} を有する中心コア領域；

(b) 中心コア領域を取り囲み直接隣接し、4.8 μm r_1 10 μm である外径 r_1 まで延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される相対屈折率パーセントプロファイル $\phi_1(r)$ 、および最小相対屈折率 ϕ_{1MIN} を有する第1の環状コア領域であって、半径 $r = 2.5\mu m$ で測定された相対屈折率が

-0.15 $\phi_1(r = 2.5\mu m)$ 0、および $\phi_{0MAX} \phi_1(r = 2.5\mu m)$ 40
である第1の環状コア領域；

(c) 第1の環状コア領域を取り囲み直接隣接し、半径13 μm r_2 30 μm まで延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される負の相対屈折率パーセントプロファイル $\phi_2(r)$ を有するフッ素がドープされた第2の環状コア領域であって、最小相対屈折率パーセント ϕ_{2MIN} が

$\phi_{2MIN} < \phi_2(r = 2.5\mu m)$ 、および-0.7% ϕ_{2MIN} -0.28%
である第2の環状コア領域；

を有するGe不含有コアと、

(ii) コアを取り囲み、純粋なシリカに対して測定された%で表される相対屈折率パーセント $\phi_c(r)$ を有するクラッドであって、 $\phi_c(r) = \phi_{2MIN} \pm 0.3\%$ であるク50

ラッドと、
を有してなり、

光導波路ファイバの相対屈折率プロファイルが、1550 nmの波長で0.175 dB/km未満の減衰を提供するように選択された光導波路ファイバである。

【0006】

ある例示の実施の形態によれば、中心コア領域の少なくとも一部分は純粋なシリカから製造される。

【0007】

本発明の追加の特徴と利点は、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になるか、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、ここに記載された本発明を実施することによって認識されるであろう。

【0008】

先の一般的な説明および以下の詳細な説明の両方とも、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概要または骨子を提供することが意図されている。添付の図面は、本発明を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、本発明の様々な実施の形態を示しており、説明と共に、本発明の原理および動作を説明する働きをする。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1A】本発明の1つの実施の形態の断面図

【図1B】図1Aのファイバの例示の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図2】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図3】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図4】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図5】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図6】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図7】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図8】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図9】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図10】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図11】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図12】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図13】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図14】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図15】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【図16】本発明の光ファイバの例示の実施の形態の屈折率プロファイルを説明するグラフ

【発明を実施するための形態】

【0010】

「屈折率プロファイル」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間の関係である。

【0011】

「相対屈折率パーセント」は、 $\% = 100 \times (n(r)^2 - n_s^2) / 2n(r)^2$ と定

10

20

30

40

50

義され、ここで、 $n(r)$ は、別記しない限り、ファイバの中心線からの半径距離 r での屈折率であり、 n_s はシリカの屈折率である。ここに用いたように、相対屈折率は、 Δ により表され、その値は、別記しない限り、「%」の単位で与えられる。ある領域の屈折率がシリカの屈折率より小さい場合、相対屈折率パーセントは、負であり、低屈折率(depressed index)を有すると称され、別記しない限り、屈折率が負で最も大きい地点で計算される。ある領域の屈折率がシリカの屈折率より大きい場合、相対屈折率パーセントは、正であり、高くなっている(reaised)または正の屈折率を有すると称され、別記しない限り、屈折率が正で最も大きい地点で計算される。「アップドーパント(updopant)」は、ここでは、純粋な未ドープの SiO_2 に対して屈折率を上昇させる傾向にあ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、純粋な未ドープの SiO_2 に対して屈折率を低下させる傾向にあ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場合、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場合、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。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。10

【0012】

別記しない限りここでは「分散」と称する導波路ファイバの「色分散」は、材料分散、導波路分散、およびモード間分散の合計である。シングルモード導波路ファイバの場合、モード間分散はゼロである。二モード形式の分散値では、モード間分散はゼロであると推定される。ゼロ分散波長(λ_0)は、分散がゼロの値を有する波長である。分散勾配は、波長に対する分散の変化率である。20

【0013】

「実効断面積」は、 $A_{\text{eff}} = 2 \int_0^f (f^2 r dr)^2 / (f^4 r dr)$ と定義され、ここで、積分範囲は0から f であり、 f は、導波路内を伝搬する光に関連する電場の横断成分である。ここに用いたように、「実効断面積」または「 A_{eff} 」は、別記しない限り、1550 nmの波長での光学的な実効断面積を称する。30

【0014】

「 - プロファイル」という用語は、「%」の単位の (r) と表される相対屈折率プロファイルを称し、ここで、 r は半径であり、このプロファイルは式 $\Delta(r) = (\frac{r}{r_0}) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha)$ に従い、ここで、 r_0 は、 $\Delta(r)$ が最大である地点であり、 r_1 は、 $\Delta(r)$ %がゼロである地点であり、 r は $r_i < r < r_f$ の範囲にあり、 α 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、 α は実数の指數である。

【0015】

モードフィールド径(MFD)は、ピーターマンII法を使用して測定され、ここで、 $2w = MFD$ 、 $w^2 = (2 \int_0^f f^2 r dr / [\int_0^f (df/dr)^2 r dr])^{1/2}$ であり、積分範囲は0から f である。40

【0016】

導波路ファイバの曲げ抵抗(bend resistance)は、規定した試験条件下で誘起された減衰により測定できる。

【0017】

曲げ試験の1つのタイプは、横向き荷重マイクロベンド試験である。このいわゆる「横向き荷重」試験において、規定の長さの導波路ファイバが2枚の平板の間に配置される。それらの板の一方には、#70ワイヤメッシュを取り付ける。公知の長さの導波路ファイバを板の間に挟み、30ニュートンの力で板を互いに加圧しながら、基準減衰を測定する。次いで、70ニュートンの力を板に印加し、dB/mで表される減衰の増加を測定する。減衰の増加は、導波路の横向き荷重減衰である。50

【0018】

「ピンアレイ」曲げ試験は、導波路ファイバの曲げに対する相対抵抗を比較するために使用される。この試験を行うために、誘起曲げ損失が実質的でない導波路ファイバについて、減衰損失を測定する。次いで、導波路ファイバをピンアレイの周りに編み込み、減衰を再度測定する。曲げにより誘起された損失は、2つの測定した減衰の間の差である。ピンアレイは、一列に配列された10本の円柱形ピンの組であり、平らな表面上に固定された垂直位置に保持されている。ピンの間隔は、中心間で5mmである。ピンの直径は0.67mmである。試験中、十分な張力が印加されて、導波路ファイバをピンの表面の一部分に従わせる。

【0019】

所定のモードについての理論上のファイバ遮断(cutoff)波長、または「理論ファイバ遮断」、もしくは「理論遮断」は、導かれた光がそれより上の波長ではそのモードで伝搬できなくなる波長である。数学的定義が、Single Mode Fiber Optics, Jeunhomme, pp. 39-44, Marcel Dekker, New York, 1990に見られ、ここで、理論ファイバ遮断は、モード伝搬定数が、外側クラッドにおける平面波伝搬定数と等しくなる波長として記載されている。この理論波長は、無限長の、直径変動のない完全に真っ直ぐなファイバにふさわしい。

【0020】

実効ファイバ遮断は、曲げおよび／または機械的圧力により誘起される損失のために、理論遮断よりも小さい。これに関して、遮断は、LP11およびLP02モードの高いほうを称する。LP11およびLP02は、一般に測定において区別されないが、スペクトル測定においてステップとして明白である（マルチモード基準技法を使用した場合）、すなわち、測定された遮断より長い波長でのモードにおいて、出力は観察されない。実際のファイバの遮断は、「2mファイバ遮断」または「測定遮断」としても知られている「ファイバ遮断波長」を生成するために標準的な2mファイバの遮断試験、FOTP-80(EIA-TIA-455-80)によって測定できる。FOTP-80標準試験は、制御された曲げ量を使用して高次のモードを取り除く(strip out)ためか、またはファイバのスペクトル応答をマルチモードファイバのものに正規化させるために行われる。

【0021】

ケーブル遮断波長、または「ケーブル遮断」は、ケーブル環境におけるより高レベルの曲げおよび機械的圧力のために、測定したファイバ遮断よりもさらに小さい。実際のケーブル条件は、より一般にはFOTP'sとして知られている、EIA-TIA光ファイバ基準、すなわち、米国電子工業会・電気通信工業会光ファイバ基準(Telecommunications Industry Association Fiber Optics Standards)の一部であるEIA-445光ファイバ試験手法に記載されたケーブル遮断試験により近似できる。ケーブル遮断測定は、EIA-445-170伝送パワーによるシングルモードファイバのケーブル遮断波長(Cabled Cutoff Wavelength of Single-mode Fiber by Transmitted Power)、または「FOTP-170」に記載されている。

【0022】

帯域幅は、必要に応じて、TIA/EIA-445-204「マルチモードファイバの帯域幅の測定(Measurement of Bandwidth on Multimode Fiber)」、すなわち「FOTP-204」に記載されたTIA/EIA基準を使用することにより、またはTIA/EIA-445-220「タイム・ドメインにおけるマルチモードファイバの異モード遅延測定」、すなわち「FOTP-220」を使用することにより、測定できる。

【0023】

ここに別記しない限り、光学的性質（分散、分散勾配など）は、LP01モードについて報告されている。

【0024】

導波路ファイバ通信リンク、または単にリンクは、光信号の送信機、光信号の受信機、およびそれらの間に光信号を伝搬させるための、送信機と受信機に光学的に接続された端部をそれぞれ有するある長さの導波路ファイバから構成される。導波路ファイバのその長

10

20

30

40

50

さは、端と端をつないだ一連の配置に互いに継ぎ合わされたまたは接続された複数のより短い長さから構成しても差し支えない。リンクは、光増幅器、光減衰器、光アイソレータ、光スイッチ、光フィルタ、または多重化または逆多重化装置などの追加の光学成分を含んでも差し支えない。相互接続されたリンクの一群を通信システムとして示してもよい。

【0025】

ここに用いた光ファイバのスパンは、ある長さの光ファイバ、または光学装置の間、例えば、2つの光増幅器の間、または多重化装置と光増幅器の間に延在して、直列に互いに溶着された複数の光ファイバを含む。スパンは、ここに開示されたように1つ以上のセクションの光ファイバを含んでもよく、さらに、例えば、所望のシステムの性能またはスパンの端部での残留分散などのパラメータを達成するように選択された、1つ以上のセクションの他の光ファイバを含んでもよい。10

【0026】

本発明の実施の形態

ここで、本発明の現在の実施の形態を詳しく参照する。その実施例が添付の図面に示されている。できる限り、同じまたは同様の部品を称するために、図面に亘り同じ参照番号が使用される。本発明の光ファイバの1つの実施の形態が、図1Aに示されており、参照番号10により全体に亘り表されている。導波路ファイバ10は、1550nmの波長で約90μm²以上（例えば、1550nmの波長で、90μm²から160μm²、または100μm²から160μm²）の実効断面積、および12～25の値を有するコア12と、コアを取り囲むクラッド20とを備えている。値の典型的な範囲は14から20、例えば、15～17である。このファイバの例示の屈折率プロファイル（相対屈折率デルタ対半径）が、図1Bに示されている。20

【0027】

コア12は、Geを含まず、中心コア領域14、中心コア領域14を取り囲み直接隣接する第1の環状コア領域16、および第1の環状コア領域16を取り囲み直接隣接する第2の環状コア領域18を備えている。中心コア領域14は、中心線から半径0μm～r₀

2μmまで半径方向外方に延在し、純粋なシリカに対する%で測定された相対屈折率パーセントプロファイル₀(r)を有し、-0.1%～0.1%である。ある実施の形態において、-0.1%～0%である。例えば、ある実施の形態において、-0.075%～0%である。中心コア領域14は、最大相対屈折率パーセント_{0MAX}も有する。ここに記載された例示の実施の形態において、_{0MAX}は、ファイバの中心線(r=0)で生じる。30

【0028】

第1の環状コア領域16は、4.8μm～r₁、10μmである外径r₁まで延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される相対屈折率パーセントプロファイル₁(r)、および最小相対屈折率_{1MIN}と最大相対屈折率_{1MAX}（ここで、_{0MAX}～_{1MAX}）を有し、半径r=2.5μmで測定された相対屈折率₁が、(a)-0.15<₁(r=2.5μm)～0であり、(b)_{0MAX}～₁(r=2.5μm)である。ある実施の形態において、_{1MAX}=₁(r=2.5μm)である。40

【0029】

第2の環状コア領域18は、フッ素がドープされており、第1の環状コア領域16を取り囲み直接隣接する。典型的に、ここに記載された実施の形態によれば、第2の環状コア領域18は、0.01質量%から1.6質量%のフッ素を有する。

【0030】

第2の環状コア領域18は、半径13μm～r₂、30μmまで延在し、純粋なシリカに対して測定された%で表される負の相対屈折率パーセントプロファイル₂(r)を有し、最小相対屈折率パーセント_{2MIN}が、(a)_{2MIN}<₁(r=2.5μm)および/または_{2MIN}<_{1MAX}、および(b)-0.7%～_{2MIN}-0.28%である。ある実施の形態において、-0.5%～_{2MIN}-0.275%である。例えば、_{2MIN}は、-0.29%、-0.3%、-0.35%、-0.38%であってよい。例えば、_{2MIN}50

は、 - 0 . 2 9 %、 - 0 . 3 %、 - 0 . 3 5 %、 - 0 . 3 8 %、 - 0 . 4 %、 - 0 . 4 7 %、 - 0 . 5 %、 またはそれらの間の任意の数であってよい。

【0031】

半径 r_1 は、 r_1 ($r = 2 . 5 \mu m$) および r_{2MIN} の間の中点に対応するように定義される。すなわち、 r_1 は、 r_1 (r) = [r_1 ($r = 2 . 5 \mu m$) + r_{2MIN}] / 2 での半径である。同様に、 r_2 は、 r_{2MIN} および r_3 の間の中点に対応するように定義され、 すなわち、 r_2 は、 r_2 (r) = [r_{2MIN} + r_3] / 2 での半径である。ある実施の形態において、比 r_2 / r_1 は 2 と 6 の間である。比が $2 . 1 \leq r_2 / r_1 \leq 5 . 7$ が好ましく、 例えば、 $2 . 15 \leq r_2 / r_1 \leq 5 . 7$ である。 $r_2 = 30 \mu m$ が好ましく、 例えば、 $14 \mu m \leq r_2 \leq 29 \mu m$ である。所定の r_2 および r_3 について、 比 r_2 / r_1 が小さければ（ 例えば、 r_1 が大きいために）、 MFD は大きくなり、 r_0 は小さくなり、 $1550 nm$ での分散 D は大きくなる。比 r_2 / r_1 が大きすぎると、 MDF は小さすぎ、 r_0 は大きい波長に移動し、 $1550 nm$ での分散 D は小さくなり得る。 10

【0032】

クラッド 20 は、 コア 12 を取り囲み、 純粋なシリカに対して測定された % で表される相対屈折率パーセント $\phi(r)$ を有し、 $\phi(r) = r_{2MIN} \pm 0 . 3 \%$ である。

【0033】

ある例示の実施の形態において、 コア 12 および クラッド 20 は、 ダウンドーパントとして F を含む。これらの実施の形態において、 第 1 と 第 2 の環状コア領域 16 および 18 中に存在する F の量は、 中心コア領域 14 中に存在するフッ素の量よりも多い。ある例示の実施の形態において、 コア 12 は、 少なくとも 1 種類のアルカリ金属酸化物ドーパント、 例えば、 K、 Na、 Li、 Cs、 および Rb も含む。ある例示の実施の形態において、 コア 12 は、 20 質量 ppm から 1000 質量 ppm の量で K_2O を含有する。ファイバ 10 は塩素も含んでもよい。塩素の量は、 コア 12 中に 500 質量 ppm より多く、 クラッド 20 中に 10000 質量 ppm より多いことが好ましい。「 ppm」という用語は、 そうではないと具体的に記載されてない限り、 質量で百万分の一、 または質量 ppm を称し、 質量 % の測定は、 10,000 倍することによって、 ppm に変換できる。 20

【0034】

光ファイバ 10 の相対屈折率プロファイルは、 $1550 nm$ の波長 で $0 . 175 dB / km$ 以下、 例えば、 $1550 nm$ の波長 で $0 . 145 dB / km$ から $0 . 175 dB / km$ の減衰を提供するように選択される。減衰値は、 例えば、 $1550 nm$ の波長 で、 $0 . 15 dB / km$ 、 $0 . 155 dB / km$ 、 $0 . 16 dB / km$ 、 $0 . 165 dB / km$ 、 $0 . 17 dB / km$ である。 30

【実施例】

【0035】

本発明を、 以下の実施例によりさらに明らかにする。

【0036】

表 1 ~ 2 は、 一連のファイバの実施の形態の実施例 1 ~ 15 の特徴を列記している。図 2 ~ 16 は、 それぞれ、 実施例 1 ~ 15 に対応する屈折率プロファイルを示している。実施例 1 ~ 15 の光ファイバの実施例において、 $r_0 = 0 ; - 0 . 065 \%$ ($r = 2 . 5 \mu m$) 0 %、 $- 0 . 065 \%$ ($r_{1MAX} = 0 \%$)、 $- 0 . 5 \%$ ($r_{2MIN} = 0 . 275 \%$)、 $- 0 . 4 \%$ ($r_3 = 0 . 2 \%$)、 および r_2 / r_1 は、 $2 . 17 \leq r_2 / r_1 \leq 5 . 7$ および $r_2 < 30 \mu m$ 。しかしながら、 他の実施の形態において、 中心コア領域 14 中にアップドーパントまたはダウンドーパントが存在するか否かに応じて、 r_0 は 0 % (シリカに対して) よりいくぶん大きくても小さくてもよい。光ファイバ 10 のいくつかの実施の形態は、 12 と 25 の間のアルファ値を有するが、 実施例 1 ~ 9 の光ファイバの実施の形態は、 13 ~ 15 の範囲にあるアルファ値を有する。実施例 10 ~ 15 の光ファイバの実施の形態は、 約 20 のアルファ値を有する。 40

【0037】

これらの例示のファイバのモデル化されたプロファイルパラメータが表 1 に要約されて

いる。 r_3 の値はクラッドの外径に相当し、これらの実施例において、 r_3 は 62.5 μm であった。ある例示のファイバにおいて、 r_2 (%) = r_3 (%) である。それゆえ、これらの実施の形態において、環状コア領域 16 および 18 の間に明白な屈折率の変化がないので、 r_2 値は、指定範囲内にあるものとして提供される。

【表 1】

表 1

実施例	$\Delta_{\text{CMA}}(\%)$	$r_0(\mu\text{m})$	$\Delta_1(\%)$	$r_1(\mu\text{m})$	$\Delta_2(\%)$	$r_2(\mu\text{m})$	$\Delta_3(\%)$	r_3/r_1
1	0	0	0.000	5.25	-0.300	15-26	-0.300	2.86 - 4.95
2	0	0	0.000	6.20	-0.290	25	-0.260	4.03
3	0	0	0.000	7.38	-0.412	16	-0.213	2.17
4	0	0	0.000	7.38	-0.412	28	-0.213	3.80
5	0	0	0.000	7.10	-0.382	18	-0.225	2.54
6	0	0	0.000	7.10	-0.382	16-26	-0.382	2.25 - 3.66
7	0	0	0.000	5.00	-0.292	16-26	-0.292	3.20 - 5.20
8	0	0	0.000	5.00	-0.302	28.5	-0.292	5.70
9	0	0	0.000	4.90	-0.315	16-26	-0.315	3.26 - 5.31
10	0	1.40	-0.064	5.63	-0.301	20.5	-0.315	3.64
11	0	1.92	-0.062	8.15	-0.400	24.8	-0.260	3.04
12	0	1.12	-0.062	7.40	-0.470	26	-0.280	3.51
13	0	1.30	-0.062	5.60	-0.380	22	-0.350	3.93
14	0	1.40	-0.063	6.20	-0.380	19.6	-0.340	3.16
15	0	1.00	-0.061	5.00	-0.401	20	-0.380	4.00

【0038】

これらの例示の実施の形態において、コア 12 はシリカ系 (SiO_2) であり、フッ素がドープされている。以下の表は、コア領域 16 および 18 と、クラッド 20 中のフッ素の量（質量 %）を与える。

10

20

30

【表2-1】

表2

実施例	コア領域16中の F質量%	コア領域18中の F質量%	クラッド20中の F質量%F
1	0.00	-1.00	-1.00
2	0.00	-0.97	-0.87
3	0.00	-1.37	-0.71
4	0.00	-1.37	-0.71
5	0.00	-1.27	-0.75
6	0.00	-1.27	-1.27
7	0.00	-0.97	-0.97
8	0.00	-1.01	-0.97
9	0.00	-1.05	-1.05
10	-0.21	-1.00	-1.05
11	-0.21	-1.33	-0.87
12	-0.21	-1.57	-0.93
13	-0.21	-1.27	-1.17
14	-0.21	-1.27	-1.13
15	-0.20	-1.34	-1.27

10

20

【0039】

表1の実施例1～9に対応する光ファイバの実施の形態において、 r_0 (%) = r_1 (%)であり、中心コア領域14と第1の環状コア領域16の組成(第2の環状コア領域18への移行に関連するグラフの急に曲がった部分まで)は同一である(図2～10参照のこと)。それゆえ、実施例1～9において、コア領域14と16の間には明白な移行部がないので、表1には r_0 が0 μmであると指定されているが、 $r_0 = 2 \mu m$ と指定しても差し支えない。これらの例示のファイバにおいて、コア領域14(および第1の環状コア領域16の少なくとも一部分)は純粋なシリカであるので、 r_{0MAX} は0である。

30

【0040】

より詳しくは、表1の実施例2～5に対応する光ファイバの実施の形態(図3～6参照)は、屈折率 $r_0 = r_1$ を有する第1の環状コア領域16により取り囲まれた中心コア領域14を有するコア屈折率プロファイルを含み、これは次に、屈折率 r_{2MIN} を有する第2の環状コア領域18に対応する凹形領域により取り囲まれている。この凹形領域(第2の環状コア領域18)は、屈折率 $r_3 > r_{2MIN}$ を有するクラッド20により取り囲まれている。実施例1～5に対応する光ファイバの実施の形態において、-0.3% r_3 - 0.213%である。

40

【0041】

表1の実施例6～9に対応する光ファイバの実施の形態は、相対屈折率 $r_0 = r_1 = 0$ を有する第1の(純粋なシリカ)環状コア領域16により取り囲まれた純粋なシリカの中心コア領域14を有するコア屈折率プロファイルを含む。これらの例示のファイバにおいて、第1の環状コア領域16は、相対屈折率 $r_2 < r_1$ を有する第2の環状コア領域18により取り囲まれている。相対屈折率 r_2 を有する第2の環状コア領域18は、屈折率 $r_3 = r_2$ を有するクラッド20により取り囲まれている。実施例6、7および9に対応する光フ

50

アイバの実施の形態において、第2の環状コア領域18およびクラッド20の組成は同一である。しかしながら、他の実施の形態（例えば、実施例9の光ファイバのパラメータを参照のこと）において、第2の環状コア領域18およびクラッド20の組成は同一でなくともよい。実施例6～9に対応する光ファイバの実施の形態において、-0.382%₃-0.315%である。表1の実施例10～15に対応する光ファイバの実施の形態（図11～16参照のこと）は、第1の環状コア領域16により取り囲まれた、相対屈折率_{0MAX}=0を有する純粋なシリカの中心コア領域14を有するコア屈折率プロファイルを含む。第1の環状コア領域16は、相対屈折率-0.1%₁0%を有し、屈折率_{2MIN}を有する第2の環状コア領域18に対応する凹形領域により取り囲まれている。実施例10～15に対応する光ファイバの実施の形態において、第2の環状コア領域18は、-0.5%_{2MIN}-0.275%であり、例えば、_{2MIN}は、-0.29、-0.3、-0.35、-0.38、-0.4、-0.47、またはそれらの間の任意の数であってよい。凹形領域（第2の環状コア領域18）は、屈折率_{3>2}を有する第3の環状コア領域20により取り囲まれている。実施例10～15に対応する光ファイバの実施の形態において、-0.38%₃-0.26%である。

【0042】

光ファイバの実施の形態のあるものは、以下のモデル化された値を有する：1321nmと1580nmの間のファイバ遮断波長c、90μm²A_{eff}160μm²の1550nmでの実効断面積、18ps/nm/kmと25ps/nm/kmの間、より好ましくは19ps/nm/kmと23.5ps/nm/kmの間の1550nmでの分散D、および175dB/km未満の、例えば、0.165dB/kmと0.175dB/kmの間の1550nmでの減衰。表1の例示のファイバはモデル化されており、そのモデル化された光学的性質が表2Aおよび2Bに列記されている。

【表2-2】

表2A

実施例	1	2	3	4	5	6	7	8
D1310	2.91	3.87	5.17	5.19	4.99	4.99	2.32	2.49
勾配1310	0.0869	0.0888	0.0908	0.0909	0.0906	0.0906	0.0862	0.0862
MFD1310	10.35	11.27	11.71	11.71	11.60	11.60	10.21	10.13
D1550	19.87	21.24	22.99	23.07	22.77	22.78	19.13	19.30
勾配1550	0.0591	0.0607	0.0622	0.0627	0.0622	0.0623	0.0585	0.0586
LP11	1498	1497	1388	1387	1411	1411	1402	1352
LP02	948	927	896	896	906	906	888	832
ピンアレイ	8.43	11.49	30.29	10.56	20.08	9.25	16.56	15.94
横向き荷重	1.13	2.55	7.17	2.72	4.58	2.25	1.61	1.28
A _{eff} 1310	86.37	105.12	120.06	120.05	116.66	116.66	83.02	81.93
A _{eff} 1550	103.75	122.02	132.33	132.23	129.54	129.52	101.71	99.76
MFD1550	11.52	12.33	12.45	12.44	12.39	12.39	11.48	11.35
D1625	24.13	25.62	27.48	27.59	27.26	27.28	23.35	23.53
Attn1550	0.170	0.169	0.167	0.167	0.168	0.168	0.170	0.170
ファイバ遮断波長λ _c	1538	1537	1428	1427	1451	1451	1442	1392
ラムダ0(λ ₀)	1276.5	1266.5	1253.1	1253.0	1254.9	1254.9	1283.0	1281.2

【表2-3】

表2B

実施例	9	10	11	12	13	14	15
D1310	2.42	2.84	5.05	5.38	3.57	4.21	3.05
勾配 1310	0.0860	0.0873	0.0910	0.0906	0.0870	0.0883	0.0858
MFD 1310	9.91	11.17	12.81	11.64	10.22	10.78	9.64
D 1550	19.16	19.95	22.98	23.20	20.55	21.49	19.76
勾配 1550	0.0583	0.0600	0.0629	0.0625	0.0591	0.0603	0.0581
LP11	1281	1526	1536	1424	1403	1506	1373
LP02	793	991	1006	932	880	947	857
ピンアレイ	18.99	20.13	14.63	9.35	8.17	5.70	5.67
横向き荷重	1.14	4.75	25.59	2.52	0.77	0.96	0.42
Aeff 1310	78.43	99.03	141.02	117.86	84.89	96.06	74.89
Aeff 1550	95.55	120.80	156.69	130.26	100.42	111.21	89.86
MFD 1550	11.11	12.50	13.62	12.37	11.28	11.76	10.72
D 1625	23.37	24.29	27.53	27.71	24.81	25.84	23.96
Attn 1550	0.170	0.173	0.171	0.171	0.173	0.172	0.174
ファイバ遮断 波長 λ_c	1321	1566	1576	1464	1443	1546	1413
ラムダ0 (λ_0)	1281.9	1277.4	1254.5	1250.6	1268.9	1262.3	1274.4

【0043】

表2Aおよび2Bにおいて、「勾配1310」および「勾配1550」という用語は、それぞれ、1310nmおよび1550nmでの分散勾配を表し；「MFD1310」および「MFD1550」は、それぞれ、1310nmおよび1550nmでのモードフィールド径を表し；「Aeff1310」および「Aeff1550」は、それぞれ、1310nmおよび1550nmでのファイバの実効断面積を表し；「D1625」は1625nmの波長での分散を表し；「Attn1550」は1550nmでの減衰を表し；「ラムダ0」または「 λ_0 」という用語は、ゼロ分散波長を表す。

【0044】

また、上述の光導波路ファイバの実施例は、20mmの直径のマンドレル上に20回転したときの10dB/m未満の1550nmでのマクロベンド損失を有する。

【0045】

本発明の精神および範囲から逸脱せずに、本発明に様々な改変および変更を行えることが当業者には明白であろう。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。

【符号の説明】

【0046】

- 10 光ファイバ
- 12 コア
- 14 中心コア領域
- 16 第1の環状コア領域

10

20

30

40

50

1 8 第 2 の環状コア領域
2 0 クラッド

【図 1 A】

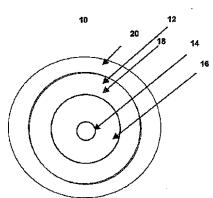
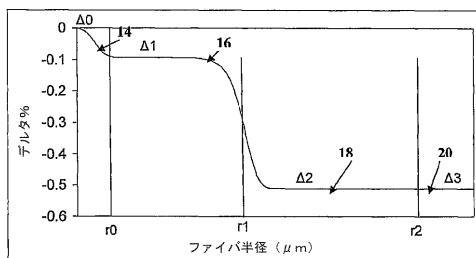
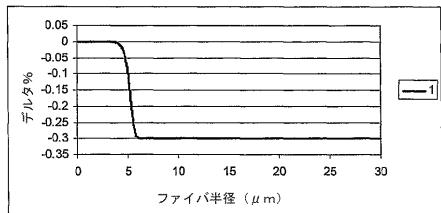


Figure 1A

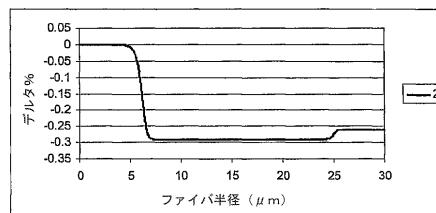
【図 1 B】



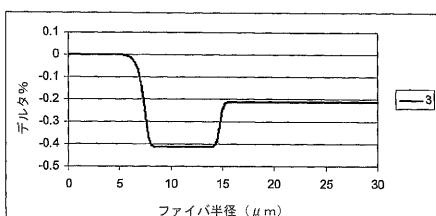
【図 2】



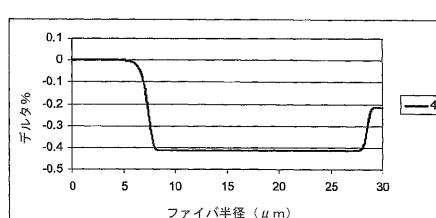
【図 3】



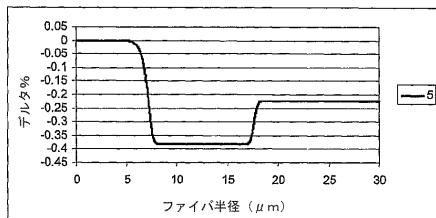
【図 4】



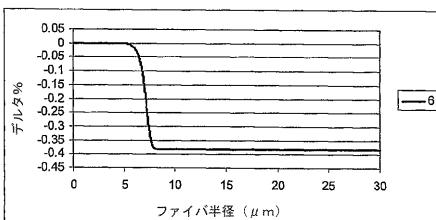
【図 5】



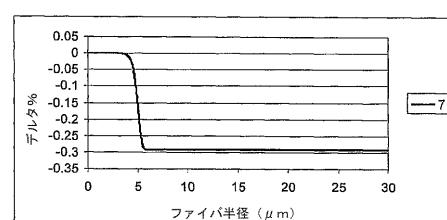
【図 6】



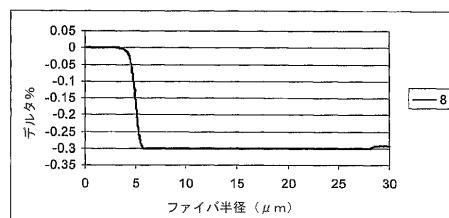
【図 7】



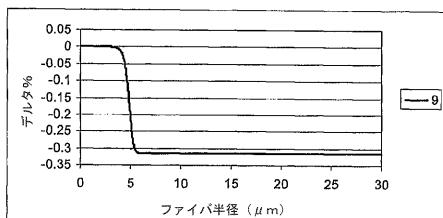
【図 8】



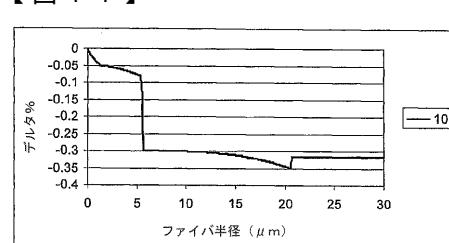
【図 9】



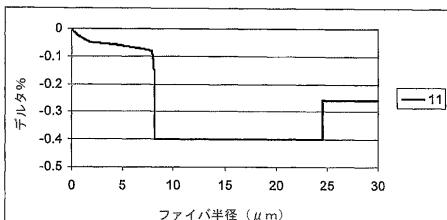
【図 10】



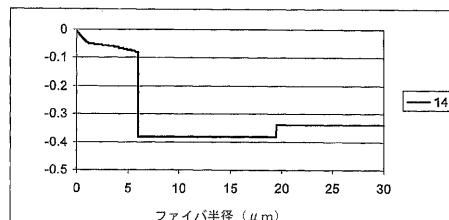
【図 11】



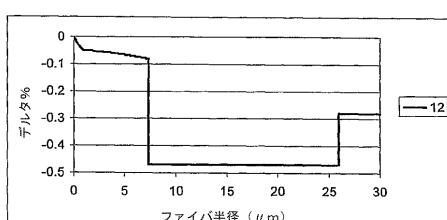
【図 12】



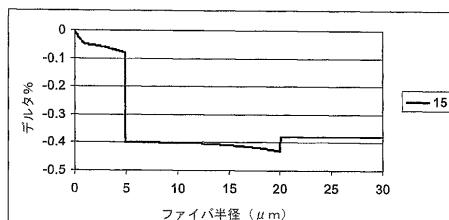
【図 15】



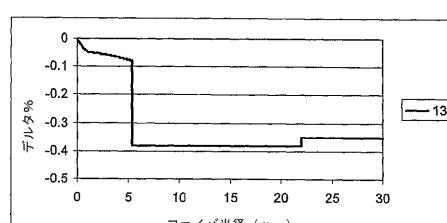
【図 13】



【図 16】



【図 14】



フロントページの続き

合議体

審判長 河原 英雄

審判官 近藤 幸浩

審判官 小松 徹三

(56)参考文献 米国特許第7088900(US, B1)
国際公開第2007/61561(WO, A2)
国際公開第2008/24255(WO, A2)
国際公開第2008/136929(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B6/00 - 6/036, 6/44 - 6/46