

(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2010-527033
(P2010-527033A)

(43) 公表日 平成22年8月5日(2010.8.5)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 6/036 (2006.01)	G02B 6/22	2H150
G02B 6/032 (2006.01)	G02B 6/20	Z

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2010-507432 (P2010-507432)
 (86) (22) 出願日 平成20年5月6日 (2008.5.6)
 (85) 翻訳文提出日 平成22年1月12日 (2010.1.12)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2008/005795
 (87) 国際公開番号 W02008/137150
 (87) 国際公開日 平成20年11月13日 (2008.11.13)
 (31) 優先権主張番号 60/927, 989
 (32) 優先日 平成19年5月7日 (2007.5.7)
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 397068274
 コーニング インコーポレイテッド
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
 31 コーニング リヴァーフロント プ
 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 ビッカム, スコット アール
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148
 30 コーニング イー フォース スト
 リート 69

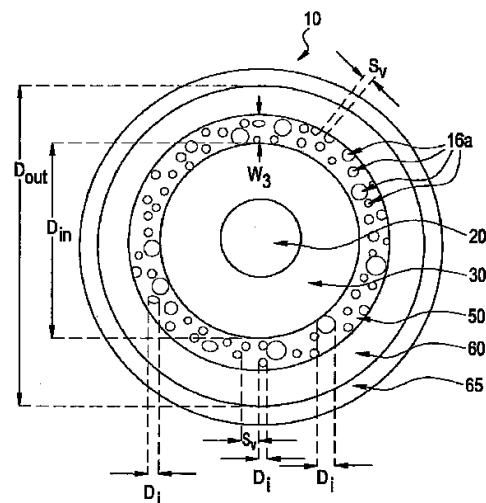
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 拡大実効面積ファイバ

(57) 【要約】

本発明の実施形態の光ファイバは、中心軸から約5 μ mより大きい半径 R_1 まで延在するガラスコアと、コアを囲みかつ接触するガラスクラッドとを備えた光ファイバであって、クラッドは、(i) 半径 R_1 から半径 R_2 まで延在し、半径幅 W_2 ($W_2 = R_2 - R_1$) を備える第1環状領域と、(ii) 半径 R_2 から半径 R_3 まで延在し、半径幅 W_3 ($W_3 = R_3 - R_2$) を備える第2環状領域と、(iii) 第2環状領域を囲みかつ半径 R_3 から最外部のガラスの半径 R_4 まで延在する第3環状領域とを備え、コアは第3環状領域に対して最大相対屈折率 n_{1MAX} を備え、 n_{1MAX} が約0.1%より大きく、約0.3%より小さく、第1環状領域は、約0.0025%より小さい相対屈折率 $n_2(r)$ を有し、第2環状領域は、第3環状領域に対して、最小相対屈折率 n_{3MIN} を備え、 $n_{1MAX} > n_{2MAX} > n_{3MIN}$ 、かつ、 $n_{2MIN} > n_{3MIN} < 0$ であり、かつ、コアとクラッドは、1500 nm未満のケーブルカットオフをファイバに提供し、1550 nmで95 μ m²より大きい実効面積と、直径20 mmのマンドレルで0.5

FIG. 3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

中心軸から約 $5 \mu\text{m}$ より大きい半径 R_1 まで延在するガラスコアと、該コアを囲みかつ接触するガラスクラッドとを備えた光ファイバであって、

前記コアと前記クラッドは、 1500 nm 未満のケーブルカットオフを前記ファイバに提供し、 1550 nm で $110 \mu\text{m}^2$ より大きい実効面積と、直径 20 mm のマンドレルで 0.7 dB/ターン 以下の曲げ損失を提供し、かつ、

(i) 前記クラッドは、半径 R_1 から半径 R_2 まで延在し、半径幅 W_2 ($W_2 = R_2 - R_1$) を備える第 1 環状領域と、半径 R_2 から半径 R_3 まで延在し、半径幅 W_3 ($W_3 = R_3 - R_2$) を備える第 2 環状領域と、該第 2 環状領域を囲みかつ半径 R_3 から最外部のガラスの半径 R_4 まで延在する第 3 環状領域とを備え、かつ、

(ii) 前記コアは、前記第 3 環状領域に対して、最大相対屈折率 $n_{1 \text{ MAX}}$ を備え、前記第 1 環状領域は相対屈折率 $n_2(r)$ を有し、前記第 2 環状領域は、前記第 3 環状領域に対して、最小相対屈折率 $n_{3 \text{ MIN}}$ を備え、 $n_{1 \text{ MAX}} > n_{2 \text{ MAX}} > n_{3 \text{ MIN}}$ 、かつ、 $n_{2 \text{ MIN}} > n_{3 \text{ MIN}} < 0$ であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】

$n_{1 \text{ MAX}}$ が約 0.1% より大きく、約 0.3% より小さく、かつ、 $n_2(r)$ が約 0.025% より小さいことを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】

前記第 3 環状領域に対する $n_{3 \text{ MIN}}$ が約 -0.3% より小さいことを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 4】

前記第 2 環状領域が、

【数 1】

$$R_3 \\ 2 \int_{R_2} \Delta(r)r \, dr ;$$

と等しい分布体積 V_3 を備え、 $|V_3|$ は少なくとも $20\% - \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 5】

前記第 2 環状領域がその中に少なくとも 50 個の無秩序に分散した閉塞孔を有する石英系ガラスを備え、(i) 前記孔の間の平均距離が 5000 nm より小さく、(ii) 少なくとも孔の 80% が 1000 nm より小さい最大断面寸法 D_i を有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 6】

前記クラッドと組み合わせた前記コアが、波長 1550 nm において直径 20 mm のマンドレルで 0.25 dB/ターン より小さい曲げ損失を提供することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 7】

前記クラッドと組み合わせた前記コアが、波長 1550 nm において直径 20 mm のマンドレルで 0.10 dB/ターン より小さい曲げ損失を提供することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 8】

$20\% - \mu\text{m}^2 < |V_3| < 80\% - \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 9】

$R_2 > 10 \mu\text{m}$ であり、 W_3 が $1 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ との間であることを特徴とする請求項

10

20

30

40

50

2 記載の光ファイバ。

【請求項 10】

前記実効面積が少なくとも $125 \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 11】

前記実効面積が少なくとも $135 \mu\text{m}^2$ であることを特徴とする請求項 10 記載の光ファイバ。

【請求項 12】

R_1 / R_2 が約 0.3 と約 0.4 の間であることを特徴とする請求項 2 記載の光ファイバ。

【請求項 13】

前記コアは、前記第 3 環状領域に対して、約 0.1% より大きく、約 0.3% より小さい、最大相対屈折率 $n_{1 \text{ MAX}}$ を備え、

前記第 1 環状領域は約 0.025% より小さい相対屈折率 $n_2(r)$ を有し、

前記第 2 環状領域は、前記第 3 環状領域に対して、最小相対屈折率 $n_{3 \text{ MIN}}$ を備え、

$n_{1 \text{ MAX}} > n_{2 \text{ MAX}} > n_{3 \text{ MIN}}$ 、かつ、 $n_{2 \text{ MIN}} > n_{3 \text{ MIN}} < 0$ であり、かつ、その中に少なくとも 10 個の無秩序に分散した閉塞孔を有する石英系ガラスを含み、(i) 前記孔の間の平均距離が 5000 nm より小さく、(ii) 少なくとも孔の 80% が 1000 nm より小さい最大断面寸法 D_i を有し、

$R_2 > 12 \mu\text{m}$ 、かつ、 W_3 が $2 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ との間であり、かつ、

前記コアと前記クラッドは、直径 20 mm のマンドレルで 0.5 dB/ターン 以下の曲げ損失をファイバに提供することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 14】

中心軸から約 $5 \mu\text{m}$ より大きい半径 R_1 まで延在するガラスコアと、

前記コアを囲みかつ接触するガラスクラッドとであって、半径 R_1 から半径 R_2 まで延在し、半径幅 W_2 ($W_2 = R_2 - R_1$) を備える第 1 環状領域と、半径 R_2 から半径 R_3 まで延在し、半径幅 W_3 ($W_3 = R_3 - R_2$) を備える第 2 環状領域と、該第 2 環状領域を囲みかつ半径 R_3 から最外部のガラスの半径 R_4 まで延在する第 3 環状領域とを備えるガラスクラッドとを備える光ファイバであって、

前記コアは、前記第 3 環状領域に対して、約 0.1% より大きく、約 0.3% より小さい、最大相対屈折率 $n_{1 \text{ MAX}}$ を備え、

前記第 1 環状領域は、約 0.025% より小さく、約 -0.025% より大きい、相対屈折率 $n_2(r)$ を有し、

前記第 2 環状領域は、前記第 3 環状領域に対して、最小相対屈折率 $n_{3 \text{ MIN}}$ を備え、

$n_{1 \text{ MAX}} > n_{2 \text{ MAX}} > n_{3 \text{ MIN}}$ 、かつ、 $n_{2 \text{ MIN}} > n_{3 \text{ MIN}} < -0.1\%$ であり、かつ、

前記コアと前記クラッドは、 1500 nm 未満のケーブルカットオフを前記ファイバに提供し、 1550 nm で $95 \mu\text{m}^2$ より大きい実効面積と、直径 20 mm のマンドレルで 0.7 dB/ターン 以下の曲げ損失を提供することを特徴とする光ファイバ。

【請求項 15】

前記第 2 環状領域が、(i) フッ素と (ii) 無秩序に分散した閉塞孔との少なくとも一方を含むことを特徴とする請求項 14 記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本願は、2007年5月7日付けで出願された、名称を「拡大実効面積ファイバ (Large Effective Area Fiber)」とする、米国仮特許出願第 60/927,989 号の利益を主張するものである。

【0002】

本発明は、一般に、光ファイバに関し、特に、 1550 nm で大きな実効面積と低曲げ

10

20

30

40

50

損失を有する光ファイバに関する。

【背景技術】

【0003】

光増幅技術及び波長分割多重技術は典型的に、長距離用高出力伝送を提供する通信システムに要求される。高出力及び長距離の定義は、ビットレート、ビット誤り率、多重化方式、そしておそらく光増幅器が規定される特定の通信システムとの関連でのみ有意義である。公知の技術分野で、高出力及び長距離の定義に影響を与える付加的な要因がある。しかしながら、ほとんどの用途に対して、高出力は約10mWより大きい光出力である。ある適用例では、1mW以下の単一出力レベルはまだ非線形効果に影響を及ぼし、実効面積はまだそのような低出力システムにおいては重要な考慮すべき事項である。

10

【0004】

一般的に、大きな実効面積 (A_{eff}) を有する光導波路ファイバは、自己位相変調、四光波混合、相互位相変調及び非線形の散乱過程を含む非線形光学効果を低減し、それらのすべてが高出力化されたシステムにおいて信号の劣化を引き起こす可能性がある。

【0005】

その一方で、光導波路ファイバの実効面積の増加は、ファイバを介した信号伝送を減衰させるマクロバンド損失の増加をもたらす。マクロバンド損失は長距離で(例えば、10km、またはそれ以上で)、または、再生器、増幅器、伝送器及び/又は受信器の間の間隔で次第に重大になる。あいにく、通常の光ファイバの実効面積が大きくなればなるほど、マクロバンド損失は大きくなる。

20

【0006】

1秒当り1ギガバイト、そして、より高速な伝送速度を、100kmを超える間隔を有する再生器とともに典型的に要求する通信システムは、典型的に、光増幅技術及び/又は波長分割多重技術を利用する。したがって、導波路ファイバ製造業者は、多重方式で発生する、より高出力の信号又は四光波混合によって引き起こされる非線形効果に左右されない導波路を設計した。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の一の態様によれば、光ファイバは、中心軸から約5 μ mより大きい半径 R_1 まで延在するガラスコアと、コアを囲みかつ接触するガラスクラッドとを備え、コアとクラッドは、1500nm未満のケーブルカットオフをファイバに提供し、1550nmで95 μ m²より大きい実効面積と、直径20mmのマンドレルで0.7dB/ターン以下の曲げ損失を提供する。いくつかの実施形態では、実効面積は1550nmで110 μ m²より大きく、そして、いくつかの実施形態では、実効面積は1550nmで115 μ m²より大きい。好ましくは、クラッドは、環状領域の中に、少なくとも10個(より好ましくは少なくとも50個)の無秩序に分散した閉塞孔を有する石英系ガラスを含み、そして、(i)孔の間の平均距離が5000nmより小さく、(ii)少なくとも孔の80%が1000nmより小さい最大断面寸法 D_i を有する。好ましくは、1550nmで曲げ損失が、直径20mmのマンドレルで、0.5dB/ターンより小さく、さらに、0.25dB/ターンより小さく、より好ましくは0.1dB/ターンより小さい。いくつかの典型的な実施形態では、1550nmで曲げ損失が0.08dB/ターンより小さく、そして、いくつかの典型的な実施形態では、直径20mmのマンドレルで、曲げ損失が0.06dB/ターンより小さい。

30

40

【0008】

本発明の典型的な一実施形態によれば、光ファイバは、中心軸から約5 μ mより大きい半径 R_1 まで延在するガラスコアと、コアを囲みかつ接触するガラスクラッドとを備え、クラッドは、(i)半径 R_1 から半径 R_2 まで延在し、半径幅 W_2 ($W_2 = R_2 - R_1$) を備える第1環状領域と、(ii)半径 R_2 から半径 R_3 まで延在し、半径幅 W_3 ($W_3 = R_3 - R_2$) を備える第2環状領域と、(iii)第2環状領域を囲みかつ半径 R_3 か

50

ら最外部のガラスの半径 R_4 まで延在する第3環状領域とを備えるガラスクラッドとを備える光ファイバであって、

コアは、第3環状領域に対して、約0.1%より大きく、約0.3%より小さい、最大相対屈折率 n_{1MAX} を備え、

第1環状領域は、約0.025%より小さく、約-0.025%より大きい相対屈折率 $n_{2MAX}(r)$ を有し、

第2環状領域は、第3環状領域に対して、最小相対屈折率 n_{3MIN} を備え、 $n_{1MAX} > n_{2MAX} > n_{3MIN}$ 、かつ、 $n_{2MIN} > n_{3MIN} < 0$ であり、かつ、

コアとクラッドは、1500nm未満のケーブルカットオフをファイバに提供し、1550nmで $110\mu\text{m}^2$ より大きい実効面積を提供する。いくつかの典型的な実施形態では、光ファイバは、1550nmで $125\mu\text{m}^2$ より大きい実効面積を有する。いくつかの典型的な実施形態では、光ファイバは、1550nmで $135\mu\text{m}^2$ より大きい実効面積を有する。

【0009】

ある実施形態では、第2環状領域は、ゲルマニウム、アルミニウム、リン、チタン、ホウ素およびフッ素からなる一群から選択されたドーパントを有するシリカガラスを含む。

【0010】

他の実施形態では、第2環状領域は、空（真空）またはガスが充填された、複数の閉塞孔を有するシリカガラスを含み、孔は光の内部反射を提供し、それによって、コアに沿って進む光に導波路を提供する。このような孔は、例えば、純シリカと比較して低い効率的な屈折率を提供し得る。

【0011】

例示的な実施形態によれば、光ファイバは、

中心軸から約 $5\mu\text{m}$ より大きい半径 R_1 まで延在するガラスコアと、コアを囲みかつ接触するガラスクラッドとであって、(i)半径 R_1 から半径 R_2 まで延在し、半径幅 W_2 ($W_2 = R_2 - R_1$) を備える第1環状領域と、(ii)半径 R_2 から半径 R_3 まで延在し、半径幅 W_3 ($W_3 = R_3 - R_2$) を備える第2環状領域と、(iii)第2環状領域を囲みかつ半径 R_3 から最外部のガラスの半径 R_4 まで延在する第3環状領域とを備えるガラスクラッドとを備える光ファイバであって、

コアは、第3環状領域に対して、約0.1%より大きく、約0.3%より小さい、最大相対屈折率 n_{1MAX} を備え、

第1環状領域は、約0.025%より小さく、約-0.025%より大きい、最大相対屈折率 $n_{2MAX}(r)$ を有し、

第2環状領域は、第3環状領域に対して、最小相対屈折率 n_{3MIN} を備え、 $n_{1MAX} > n_{2MAX} > n_{3MIN}$ 、かつ、 $n_{3MIN} < 0$ であり、かつ、その中に少なくとも10個の無秩序に分散した閉塞孔を有する石英系ガラスを含み、かつ、(i)孔の間の平均距離が5000nm未満で、(ii)少なくとも孔の80%が1000nm未満の最大断面寸法 D_i を有し、

コアとクラッドは、1500nm未満のケーブルカットオフをファイバに提供し、1550nmで $95\mu\text{m}^2$ より大きい実効面積を提供する。

【0012】

次に本発明の好ましい実施形態を詳細に参照するが、これらの実施例は添付の図面に図示されている。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】本明細書に記載の光導波路ファイバの実施形態の相対屈折率分布を示す。

【図2】本明細書に記載の光導波路ファイバの実施形態の概略的な断面図である。

【図3】本発明の光導波路ファイバの実施形態の概略的な断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

10

20

30

40

50

本発明のさらなる特徴及び利点は、以下の詳細な説明において記載されており、その説明から当業者に明らかであり、または請求の範囲および添付図面とともに以下の説明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。

【0015】

「屈折率分布」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。

【0016】

「相対屈折率パーセント」は、 $\% = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2n_i^2$ として定義される。 n_i は、特に断りがない限り、領域 i における最大屈折率である。 n_c はクラッドの第3環状領域60（外部領域）の平均屈折率である。本明細書において、相対屈折率は、特に断りがない限り、 Δ によって表現され、その値は「%」を単位にして与えられる。ある領域の屈折率が第3環状領域60の平均屈折率より小さい場合、相対屈折率は負値であり、ディプレスト領域または低下（depressed）屈折率を有すると呼ばれ、そして、特に断りがない限り、屈折率が最小の負値である点で、最小相対屈折率が計算させる。ある領域の屈折率がクラッド領域の平均屈折率より大きい場合、相対屈折率パーセントは正值であり、その領域は正の屈折率に引き上げられた、または正の屈折率を有すると表現される。「アップドーパント（updopant）」という言葉は本明細書では、純粋なアンドープ SiO_2 に対して相対屈折率を上昇させる性質を有するドーパントを意味する。「ダウンドーパント（downdopant）」という言葉は本明細書では、純粋なアンドープ SiO_2 に対して相対屈折率を下降させる性質を有するドーパントを意味する。

【0017】

「波長分散（chromatic dispersion）」という言葉は本明細書では、特に断りのない限り、導波路ファイバの「分散」として称され、材料分散、導波路分散、モード間分散の総和である。単一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。分散勾配は、波長に関する分散の変化率である。

【0018】

「実効面積」は次のように定められる。

【数1】

$$A_{\text{eff}} = 2\pi \left(\int f^2 r dr \right)^2 / \left(\int f^4 r dr \right),$$

【0019】

ここで、積分限界は0から r_1 であり、 f は導波路を伝搬する光に関連する電界の横成分である。ここで使用しているように、「実効面積」または「 A_{eff} 」は、特に断りがない限り、波長1550nmでの光実効面積である。

【0020】

用語「 Δ -分布（ Δ -profileまたはalpha profile）」は、相対屈折率分布をいい、「%」を単位する $\Delta(r)$ によって表される。 r は下記の式で表される半径である。

【数2】

$$\Delta(r) = \Delta(r_0) \left(1 - \left[\frac{|r-r_0|}{(r_1-r_0)} \right]^\alpha \right),$$

【0021】

ここで、 r_0 は $\Delta(r)$ が最大である点、 r_1 は $\Delta(r)$ % がゼロである点、 r は r_i から r_f の範囲であり、 Δ は上記で規定され、 r_i は Δ -分布の始点、 r_f は Δ -分布の終点であり、 α は実数の指数部である。

【0022】

モードフィールド径（MFD：mode field diameter）は、ピーターマンII（Peterman II）法を用いて測定される。ここで、 $2w = \text{MFD}$ であり、

【数3】

$$w^2 = 2 \left(\int f^2 r dr \right) / \left(\left[\frac{df}{dr} \right]^2 r dr \right),$$

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

であり、積分限界は 0 から である。

【 0 0 2 4 】

導波路ファイバの曲げ耐性は、定められたテスト条件の下で、例えば、上述の直径のマンドレルの周囲にファイバを配置または巻くことによって、誘起された減衰によって測定することができる。

【 0 0 2 5 】

あるモードについての理論的ファイバ遮断波長、又は「理論ファイバ・カットオフ」又は「理論カットオフ」は、導波された光が当該モードにおいて伝搬することができない波長である。数学的な定義は、「単一モードファイバ光学」(ジュノーム、39-44頁、マーセル・デッカ、ニューヨーク、1990年(Jeunhomme、pp.39-44、Marcel Dekker、New York、1990))にあり、理論ファイバ・カットオフは、モード伝搬定数が外側のクラッドの平面波伝搬定数に等しくなる波長として説明されている。この理論波長は、無限長で、直径変動がない、完全に真っ直ぐなファイバについて適合する。

10

【 0 0 2 6 】

実際のファイバ・カットオフは標準的な 2 mファイバ・カットオフ試験の F O T P - 8 0 (EIA-TIA-455-80)によって測定することが可能であり、これによって「ファイバ・カットオフ波長」が得られる。これは「2 mファイバ・カットオフ」若しくは「測定されたカットオフ」としても知られている。F O T P - 8 0の標準的な試験は調整した量の曲げを用いて高次モードをストリッピングするか、若しく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スペクトル応答に正規化することによって実施される。

20

【 0 0 2 7 】

ケーブルカットオフ波長、若しくは「ケーブルカットオフ」は測定されたファイバ・カットオフよりも更に低い。これは、ケーブル環境においては曲げ及び機械的圧力の度合いがより高いことに起因している。実際のケーブル条件は、E I A - 4 4 5ファイバ光学試験手順書(Fiber Optic Test Procedures)に記載されているケーブルカットオフ試験によって概算することが可能であり、これはE I A - T I Aファイバ光学標準(Fiber Optics Standards)、すなわち電気産業同盟-通信産業協会ファイバ光学標準(Electronics Industry Alliance-Telecommunications Industry Association Fiber Optics Standards)の一部であり、より一般的にF O T P ' sとして知られている。ケーブルカットオフ測定は「E I A - 4 5 5 - 1 7 0 伝送されたパワーによる単一モードファイバのケーブルカットオフ波長(Cable Cutoff Wavelength of Single-mode Fiber by Transmitted Power)」、すなわち「F O T P - 1 7 0」に記載されている。本明細書ではケーブルカットオフによって、当該概算する試験を利用し得られた値を意味する。

30

【 0 0 2 8 】

本明細書では特に断りのない限り、光学特性(例えば、分散、分散勾配など)はL P 0 1モードについてのものである。また、本明細書では特に断りのない限り、1550nmの波長は参照波長である。

【 0 0 2 9 】

図1から図3において、本明細書で開示された光ファイバ10は、コア20と、コアを囲みかつ直接隣接するクラッド層(またはクラッド)200を備える。コア20は相対屈折率分布 $c_{o,r_e}(r)$ を有する。クラッド200は相対屈折率分布 $c_{L,A,D}(r)$ を有する。いくつかの実施形態では、クラッド200はSi系ガラスに無秩序の空気孔を含む領域によって囲まれた純シリカの領域を含む。

40

【 0 0 3 0 】

いくつかの実施形態では、コアはゲルマニウムをドーブしたシリカ、例えば、酸化ゲルマニウムがドーブされたシリカを含む。要求される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を単一でまたは組合せで、本明細書で開示された光ファイバのコア内で、特に中心軸でまたは中心軸の近くで、使用してもよい。

【 0 0 3 1 】

50

いくつかの実施形態では、本明細書で開示された光ファイバ10の屈折率分布は、中心軸から環状領域30の内側半径 R_2 まで非負である。いくつかの実施形態では、光ファイバ10はコア20に屈折率が低くなるドーパントを含まない。

【0032】

図1及び図2において、本明細書で開示される光導波路ファイバ10は、中心軸から主要セグメントの外側半径 R_1 （好ましくは、 $R_1 > 5 \mu\text{m}$ ）に半径方向外側まで延在し、かつ、最大相対屈折率パーセント 1_{MAX} （好ましくは、 $1_{MAX} = 0.3\%$ かつ 0.1% より大きい）で%の相対屈折率分布 $1(r)$ を有するコア20と；コア20を囲みかつ直接隣接、すなわち、直接接触するクラッド200とを備える。クラッド200は、コア20を囲みかつ直接隣接し、半径方向外側に第2環状領域50まで延在し、半径 R_2 によって特徴づけられる第1環状領域30であって、幅 W_2 （ $W_2 = R_2 - R_1$ ）及び%の最大相対屈折率パーセント 2_{MAX} （ここで、 2_{MAX} は好ましくは約 0.025% より小さく、かつ好ましくは約 -0.025% より大きい）と最小相対屈折率パーセント 2_{MIN} で%の相対屈折率分布 $2(r)$ を有する第1環状領域30と；領域30を囲みかつ直接隣接し、半径報告外側に R_2 から半径 R_3 まで延在する第2環状領域50であって、幅 W_3 を有し、 $1_{MAX} > 0 > 3_{MIN}$ であり、%の最小相対屈折率パーセント 3_{MIN} （好ましくは、 $3_{MIN} = -0.3\%$ ）で%の相対屈折率分布 $3(r)$ を有する第2環状領域50と；領域50を囲みかつ直接隣接し、%の相対屈折率分布 $4(r)$ を有する第3環状領域60とを備える。 R_1 は $1(r)$ が最初に $+0.05\%$ に到達する半径であると定められる。すなわち、半径 R_1 で（外側半径方向に向かい）相対屈折率が $+0.05\%$ に最初に到達するところで、コア20は終わり、環状領域30が始まる。そして、領域30は、外側半径方向に向かい、相対屈折率 $2(r)$ が -0.05% に最初に到達する半径 R_2 で終わると定められる。第2環状領域50は、本実施形態では、第2環状領域50は R_2 で始まり、 R_3 で終わる。 R_3 は、相対屈折率 $3(r)$ が少なくとも -0.05% に下がった後、（外側半径方向に向かい）相対屈折率 $3(r)$ が -0.05% の値に到達する半径であると定められる。第2環状領域50の幅 W_3 は $R_3 - R_2$ であり、その中点 R_{3MID} は $(R_3 - R_2) / 2$ である。いくつかの実施形態ではコア20の90%以上が正の相対屈折率を有し、いくつかの実施形態では $1(r)$ が0から R_1 まですべての半径に対して正である。いくつかの実施形態では、第1環状領域30の半径幅の50%以上に対して、 $|2_{MAX} - 2_{MIN}| < 0.05\%$ である。また、他の実施形態では、第1環状領域30の半径幅の50%以上に対して、 $|2(r)| < 0.01\%$ である。 $3(r)$ が R_2 から R_3 まですべての半径に対して負である。好ましくは、 $30 \mu\text{m}$ より大きいすべての半径に対して、 $CLAD(r) = 0\%$ である。クラッド200は、光ファイバのガラス部分の最外部の外側でもある半径 R_4 まで延在する。また、 $1_{MAX} > 2_{MAX} > 3_{MIN}$ 、かつ、 $2_{MIN} > 3_{MIN}$ である。

【0033】

ある実施形態では、図1及び図2で描かれるように、第2環状領域50は、ゲルマニウム、アルミニウム、リン、チタン、ホウ素およびフッ素からなる一群から選択された少なくとも1つのドーパントを有するシリカガラスを含む。別の実施形態（図3）では、第2環状領域50は、空（真空）またはガス（例えば、アルゴンまたは空気）が充填された、複数の無秩序に分散した閉塞孔16Aを有する石英系ガラス（純シリカ、または、例えば、ゲルマニウム、アルミニウム、リン、チタン、ホウ素およびフッ素がドーパされたシリカ）を含む。このような孔は、例えば純シリカと比較して、低い相対屈折率を提供することができる。

【0034】

より具体的に言うと、図3において、ファイバコア領域20（ステップインデックス n_1 を有する）は第1環状領域30（インデックス n_2 を有する）によって囲まれ、第1環状領域30は半径幅 W_3 を有する第2環状領域50とに隣接しかつ囲まれ、さらに、第2環状領域50は一つ以上のポリマーコーティング65によって随意に囲まれる第3環状領

10

20

30

40

50

域 60 (ステップインデックス n_4 と半径幅 W_4 を有する) によって囲まれる。第 2 環状領域 50 の相対屈折率パーセント ($n\%$) は -28% (シリカの屈折率に対する空隙充填ガスの屈折率) と孔を囲むガラス (本実施例では、約 0% の相対屈折率パーセント n_5 を有するシリカである) の屈折率との間で変動する。第 2 環状領域 50 の標準的な平均相対屈折率パーセント n_{ave} は、孔を囲むガラスのドーパントによるが、純シリカガラスに対して -2% と -3% の間である。すなわち、第 2 環状領域 50 は、図 3 の実施例において、ガスが満たされた孔の幅を変動し、および / または、ガスが満たされた孔の間のガラスが満たされた空間 S_v が無秩序に分散され、および / または互いに等しくない。すなわち、孔は周期性を有さない。孔の間の平均距離は 5000 nm 未満、より好ましくは 2000 nm 未満、さらに好ましくは 1000 nm 未満、例えば、750 nm、500 nm、400 nm、300 nm、200 nm 又は 100 nm が望ましい。少なくとも孔の 80%、より好ましくは少なくとも孔の 90% が、1000 nm 未満、好ましくは 500 nm 未満の最大断面寸法 D_i を有することが望ましい。さらに、孔の平均直径が 1000 nm 未満、より好ましくは 500 nm 未満、さらに好ましくは 300 nm 未満であることが望ましい。孔 16A は閉塞され (固体材料で囲まれ)、かつ周期性を有さない。すなわち、孔 16A は同じ大きさであっても、異なる大きさであってもよい。孔の間の距離は均一 (すなわち、同じ) または異なってもよい。第 2 環状領域 50 は、少なくとも 10 個の孔を、より好ましくは少なくとも 50 個の孔を、さらに好ましくは少なくとも 100 個の孔を、さらにより好ましくは少なくとも 200 個の孔を含むことが望ましい。

10

【0035】

20

コア 20 は本明細書において次のように定められる分布体積 (profile volume) V_1 を有する。

【数 4】

$$R_1 \int_0^2 \Delta_1(r) r dr.$$

【0036】

第 2 環状領域 50 は本明細書において次のように定められる分布体積 V_3 を有する。

30

【数 5】

$$R_3 \int_{R_2}^2 \Delta_3(r) r dr.$$

【0037】

望ましくは、 $1_{MAX} < 0.3\%$ 、 $2_{MIN} > -0.05\%$ 、 $2_{MAX} < 0.05\%$ 、 $3_{MIN} < -0.3$ 、 $0.1 < R_1 / R_2 < 0.6$ であり、第 2 環状領域の分布体積の絶対値 $|V_3|$ が $20\% - \mu m^2$ より大きい。好ましくは $3_{MIN} < -0.3\%$ 、より好ましくは $3_{MIN} < -0.45\%$ 、さらにより好ましくは $3_{MIN} < -0.7\%$ である。例えば、 $< -0.5\%$ であるとは、 $> -0.5\%$ より負で大きいことを意味する。好ましくは、 $0.15 < R_1 / R_2 < 0.5$ である。いくつかの実施形態では、 $0.2 < R_1 / R_2 < 0.4$ 、例えば、 $R_1 / R_2 = 0.25$ 、 0.28 、 0.3 、 0.33 、 0.35 、 0.38 または 0.4 である。他の実施形態では、 $0.3 < R_1 / R_2 < 0.4$ である。

40

【0038】

いくつかの実施形態では、 $W_2 > (2/3) R_1$ であり、いくつかの実施形態では、 $W_2 > R_1$ であり、また、いくつかの実施形態では、 $W_2 > 2 R_1$ である。いくつかの実施形態では、 $W_2 > 5 \mu m$ である。例えば、 W_2 は少なくとも、 $5.5 \mu m$ 、 $8 \mu m$ 、また

50

はさらに $10 \mu\text{m}$ より大きくてもよい。好ましくは、 $10 \mu\text{m} < W_2 < 16 \mu\text{m}$ である。

【0039】

いくつかの実施形態では、 $20\% - \mu\text{m}^2 < |V_3| < 250\% - \mu\text{m}^2$ である。いくつかの実施形態では、 $30\% - \mu\text{m}^2 < |V_3| < 240\% - \mu\text{m}^2$ である。いくつかの実施形態では、 $40\% - \mu\text{m}^2 < |V_3| < 221\% - \mu\text{m}^2$ であり、例えば、 $|V_3|$ は $50\% - \mu\text{m}^2$ 、 $60\% - \mu\text{m}^2$ 、 $70\% - \mu\text{m}^2$ 、 $80\% - \mu\text{m}^2$ 、 $90\% - \mu\text{m}^2$ 、 $100\% - \mu\text{m}^2$ 、 $110\% - \mu\text{m}^2$ 、 $120\% - \mu\text{m}^2$ 、 $130\% - \mu\text{m}^2$ 、 $140\% - \mu\text{m}^2$ 、 $150\% - \mu\text{m}^2$ 、または $160\% - \mu\text{m}^2$ である。

【0040】

いくつかの実施形態では、 $0.1\% < {}_1M_{AX} < 0.3\%$ であり、好ましくは $0.17\% < {}_1M_{AX} < 0.28\%$ であり、より好ましくは $0.17\% < {}_1M_{AX} < 0.25\%$ である。

10

【0041】

好ましくは $7.2 \mu\text{m} < R_1 < 5.0 \mu\text{m}$ であり、より好ましくは $7.0 \mu\text{m} < R_1 < 5.3 \mu\text{m}$ である。

【0042】

好ましくは $R_2 > 8 \mu\text{m}$ であり、より好ましくは $R_2 > 12 \mu\text{m}$ であり、いくつかの実施形態では $15.0 \mu\text{m}$ 以上、例えば $R_2 > 20 \mu\text{m}$ である。いくつかの実施形態では W_2 は約 $3 \mu\text{m}$ と約 $18 \mu\text{m}$ の間であり、いくつかの実施形態では W_2 は約 $7 \mu\text{m}$ と約 $15 \mu\text{m}$ の間である。

20

【0043】

好ましくは、 $R_3 > 11.0 \mu\text{m}$ であり、いくつかの実施形態では $11.5 \mu\text{m} < R_3 < 30.0 \mu\text{m}$ 、例えば R_3 は約 $12 \mu\text{m}$ 、 $13 \mu\text{m}$ 、 $15 \mu\text{m}$ 又は $20 \mu\text{m}$ である。

【0044】

いくつかの実施形態では $W_3 > 1.0 \mu\text{m}$ であり、いくつかの実施形態では $W_3 > 2.0 \mu\text{m}$ 、例えば $2.0 \mu\text{m} < W_3 < 10.0 \mu\text{m}$ である。いくつかの実施形態では W_3 は $6.0 \mu\text{m}$ 未満であり、いくつかの実施形態では $3.0 \mu\text{m} < W_3 < 9.0 \mu\text{m}$ であり、いくつかの実施形態では W_3 は $6.0 \mu\text{m}$ 未満であり、いくつかの実施形態では $3.0 \mu\text{m} < W_3 < 7.0 \mu\text{m}$ である。また、いくつかの実施形態では、 ${}_3M_{IN}$ は -0.35% 未満であり、他のいくつかの実施形態では -0.5% 未満である。

30

【0045】

好ましくは、 $R_4 > 50 \mu\text{m}$ である。いくつかの実施形態では $R_4 > 55 \mu\text{m}$ である。他の実施形態では $R_4 > 60 \mu\text{m}$ である。いくつかの実施形態では、 $60 \mu\text{m} < R_4 < 90 \mu\text{m}$ である。例えば、 R_4 は $62.5 \mu\text{m}$ 、 $70 \mu\text{m}$ 、 $75 \mu\text{m}$ 、 $80 \mu\text{m}$ 又は $85 \mu\text{m}$ である。

【0046】

いくつかの実施形態では、コア 20 の中心セグメントは 1 または複数の光ファイバ製造技術の結果として生成される所謂センターラインディップ (centerline dip) を有する相対屈折率分布を有する。例えば、中央セグメントは $1 \mu\text{m}$ 未満の半径で、屈折率分布の局所的な最小値を有する。高い値の相対屈折率 (コアセグメントにおける最大相対屈折率を含む) は $r = 0 \mu\text{m}$ より大きい半径で現れる。

40

【0047】

好ましくは、本明細書において開示される光ファイバは、 1550nm でのモードフィールド径が $11 \mu\text{m}$ より大きく、いくつかの実施形態では $11 \mu\text{m}$ と $15 \mu\text{m}$ の間であり、より好ましくは $12.5 \mu\text{m}$ と $14.5 \mu\text{m}$ の間である。好ましくは、 1550nm での実効面積は $110 \mu\text{m}^2$ より大きく、より好ましくは $115 \mu\text{m}^2$ より大きく、より好ましくは $125 \mu\text{m}^2$ より大きく、さらにより好ましくは $135 \mu\text{m}^2$ より大きく、いくつかの実施形態では $145 \mu\text{m}^2$ より大きい。

【実施例】

【0048】

50

表1及び表2は例示的实施例1から7の特徴を示す。実施例1から7の相対屈折率分布は次の各値を有する図1から図3のファイバと同じである。これらの実施例において、 Δ_2 %は約0.0(シリカ)であることに留意されたい。

【表1】

表1. 複数実施例のファイバパラメータ

実施例	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	ファイバ6	ファイバ7
Δ_{1MAX} (%)	0.295	0.270	0.243	0.243	0.220	0.200	0.190
R1 (μm)	5.45	5.50	5.92	5.92	5.53	6.09	6.78
コアアルファ	9.0	20.0	7.0	7.0	100.0	7.0	8.0
V1 (%- μm^2)	7.17	8.15	6.62	6.62	6.58	6.35	6.99
R2 (μm)	18.0	16.0	12.1	19.0	20.0	19.0	21.0
R1/R2	0.30	0.34	0.49	0.31	0.28	0.32	0.32
R2MID (μm)	11.73	10.75	9.01	12.46	12.76	12.55	13.89
W2 (μm)	12.55	10.50	6.18	13.08	14.47	12.91	14.22
W3 (μm)	3.0	3.5	2.4	4.0	4.5	6.0	6.5
Δ_{3MIN} (%)	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.50	-0.70	-0.70
R3MID	19.50	17.75	13.30	21.00	22.25	22.00	24.25
V3 ($\mu\text{m}^2\%$)	58.5	62.1	31.9	84.0	100.1	184.8	220.7

10

【表2】

表2. 複数実施例のファイバの特性

実施例	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	ファイバ6	ファイバ7
1550nmにおけるMFD (μm)	11.40	11.92	12.2	12.52	12.98	13.615	14.196
1550nmにおける A_{eff} (μm^2)	100.50	110.5	116.05	119.84	130.04	140.67	155.04
1550nmにおける波長分散値 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)	18.63	19.08	20.25	18.82	19.14	18.931	19.77
1550nmにおける分散勾配 ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.060	0.060	0.064	0.061	0.061	0.063	0.062
1550nmにおけるカッパ値 (nm)	309	318	316	307	313	302	317
1550nmにおける直径20mmでの相対曲げ損失	0.03	0.04	0.56	0.08	0.10	0.01	0.01
1550nmにおける直径30mmでの相対曲げ損失	0.02	0.10	4.07	0.25	0.22	0.04	0.01
コアの理論カットオフ (nm)	1379	1443	1353	1353	1361	1263	1391

20

30

40

【0049】

相対的な曲げ損失の値は、SMF-28e(登録商標)光ファイバに対して計算される。

【0050】

本発明の例示的实施例によれば、例示的光ファイバは(1550 μm で)95 μm^2 から180 μm^2 の実効面積(A_{eff})、および/または約11 μm と約15 μm との間のMFDを有する。これらのファイバはまた、1550nmで約17ps/nm/kmと約21ps/nm/kmの間の波長分散値を有し、かつ、0.05ps/nm²/kmと0.07ps/nm²/kmとの間の分散勾配を有する。分散勾配に対する分散の比率として定められるカッパ値(kappa value)は、好ましくは290nmと330nmとの間

50

であり、より好ましくは300 nmと320 nmとの間である。いくつかの好適実施例では、光学実効面積は $110 \mu\text{m}^2$ を超え、また他の実施例では、 $120 \mu\text{m}^2$ より大きい。表1に特定される分散パラメータと、表2に示された光学特性とを有する数少ない例示的ファイバが、表1および表2に示されている。これらは、 $1550 \mu\text{m}$ で約 $110 \mu\text{m}^2$ から約 $155 \mu\text{m}^2$ の間の実効面積と、 $11.4 \mu\text{m}$ と $14.2 \mu\text{m}$ の間のMFDと、 $0.06 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ と $0.065 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の間の分散勾配を有する。当該構造の1つの利点は、コアのケーブルカットオフ波長が好ましくは145 nm未満、より好ましくは1400 nm未満、さらにより好ましくは1350 nm未満であるということである。

【0051】

曲げ損失は、(i)第2環状領域の特定の位置と、(ii)第2環状領域50の体積の特定値とを選択することにより最小化できる。ここで、当該体積は、第2環状領域の断面積と、%の V_3 の絶対値との積として定められる。第2環状領域50の体積は、ファイバとケーブルカットオフ波長に影響を及ぼす。 1500 nm 未満のケーブルカットオフ波長を有するため、第2環状領域50の体積の絶対値 $|V_3|$ が約80% - μm^2 未満であることが望ましい。当該状態が、コアの理論カットオフにほぼ等しいケーブルカットオフを生じさせる。第2環状領域の体積 $|V_3|$ が約80% - μm^2 より大きい場合は、ケーブルカットオフ波長は理論カットオフより大きい、または 1550 nm よりさらに長くなる。しかしながら、コアに対する理論カットオフ波長は 1500 nm 未満であり、このような種類のファイバは、単一モード動作を確実にするための標準単一モードファイバの送出および受信技術を用いることによって、 1550 nm ウインドで動作する単一モードファイバシステムに今もなお利用され得る。

【0052】

上述したように、第2環状領域の50は、ダウンドープする(例えば、フッ素ドーパントを使用)か、第2環状領域50に埋められた複数のガス充填孔(例えば、空気充填孔)を有するかのいずれかによって形成される。表2で計算された曲げ性能は、第2環状領域の実効屈折率の使用に基づいている。したがって、曲げ性能は両タイプの光ファイバ(すなわち、領域50に、フッ素がドーパされたファイバと、気孔を有するファイバ)に適用可能である。曲げ性能は光ファイバの重要な特性である。(約 $95 \mu\text{m}^2$ 以上の A_{eff} を有する)通常の大面積のファイバにおいて、光学実効面積が増加すると、曲げ性能は著しく悪化する。しかしながら、本発明の実施例の光ファイバは、当該実効面積が $100 \mu\text{m}^2$ 、 $110 \mu\text{m}^2$ 、 $112 \mu\text{m}^2$ 、 $115 \mu\text{m}^2$ 、またはそれ以上を超えても、非常に小さな曲げ損失を示す。本発明の光ファイバ、例えば、表1および表2に開示された光ファイバは共に、マイクロベントに関して、優れた曲げ損失耐性(bend loss resistance)を示し、そして、例えばSMF-28eなどの公知かつ許容できる曲げ性能を有する通常のファイバと同等以上のマイクロベントを示す。

【0053】

ファイバのマクロベンド性能を予測するため、有限要素法を用いて、光導波路の曲げ性能をモデル化した。予測されたモデルの結果により、ファイバの曲げ性能と、公知かつ測定された曲げ性能とを比較した。いくつかの場合の数値モデルの結果は、測定された曲げ性能の結果と厳密には同じではなかった。他の(異なる)ファイバおよび/または異なる曲げ直径と比較したとき、数値モデルは正確な結果を与えた。したがって、測定された曲げ性能の結果を有する公知のファイバ、例えばSMF-28eファイバ(表2参照)などに対して曲げ性能を計算することを選択した。測定された参照SMF-28eファイバの曲げ損失は 1550 nm で、曲げ直径 15 mm で 2.9 dB/ターン であり、曲げ直径 20 mm で 0.58 dB/ターン であり、また曲げ直径 30 mm で 0.02 dB/ターン である。SMF-28eファイバは、約 $83 \mu\text{m}^2$ の実効面積を有する。

【0054】

本発明の光ファイバのいくつかの実施例では、光ファイバは 1550 nm において曲げ直径 20 mm で、 0.7 dB/ターン 以下の曲げ損失を、好ましくは 0.50 dB/ター

10

20

30

40

50

ン以下の曲げ損失を、かつ、好ましくは0.4 dB/ターン未満の曲げ損失を、さらにより好ましくは0.35 dB/ターン未満の曲げ損失を有し、および/または曲げ直径30 mmで0.01 dB/ターン未満の曲げ損失を有する。本発明の光ファイバのいくつかの実施例では、光ファイバは1550 nmにおいて曲げ直径20 mmで、約0.25 dB/ターン以下の曲げ損失を、好ましくは0.20 dB/ターン未満の曲げ損失を、より好ましくは0.1 dB/ターン未満の曲げ損失を有し、および/または曲げ直径30 mmで0.008 dB/ターン以下の曲げ損失を有する。本発明の光ファイバのいくつかの実施例では、光ファイバは1550 nmにおいて曲げ直径20 mmで、約0.05 dB/ターン以下の曲げ損失を、かつ好ましくは0.03 dB/ターン未満の曲げ損失を有し、および/または曲げ直径30 mmで0.006 dB/ターン以下の曲げ損失を有する。本発明の光ファイバのいくつかの実施例では、光ファイバは1550 nmにおいて曲げ直径20 mmで、約0.01 dB/ターン以下の曲げ損失を有し、および/または曲げ直径30 mmで0.003 dB/ターン以下の曲げ損失を有する。

10

20

30

40

【0055】

曲げ性能はまた、第2環状領域50の位置および体積によって最適化される。例えば、ファイバ3(表1および表2)は、1550 nmにおいて曲げ直径20 mmで、参照ファイバSMF-28eよりも良好な曲げ性能を有し、また1550 nmにおいて曲げ直径30 mmでより悪い曲げ性能を有する。同じコアパラメータを維持しながら第2環状領域の曲げ性能を変化することによって、曲げ性能に関してかなり改良されたファイバ(表1および表2のファイバ4)を示す。ファイバ3を超えたファイバ4の曲げ性能の改良は、(コアからかなり離れた)第2環状領域のより最適化された位置と、第2環状領域のより大きな体積絶対値とに起因する。第2環状領域をコアの中心により近くに移動することは、分散と勾配の増加という効果を有する。第2環状領域50の位置の選択は、ファイバ分散、分散勾配そして曲げ性能(すなわち、低曲げ誘起損失(low bend inducing loss))を含む数少ない要因によって影響を与える。ある特定の光学実効面積(1550 nmで $95 \mu\text{m}^2$ より大きい A_{eff} 、好ましくは $110 \mu\text{m}^2$ より大きい A_{eff} 、さらに好ましくは $115 \mu\text{m}^2$ より大きい A_{eff})を有する表1および表2の各ファイバに対して、第2環状領域50のパラメータは十分な曲げ性能を生むように選択される。第2環状領域の適切な位置を選択することに加えて、曲げ誘導損失は第2環状領域50の体積の増加によって最小化される。表1および表2は、第2環状領域の体積の増加が曲げ性能(すなわち、低曲げ誘起損失)を改善することを実証している。さらに具体的に言うと、表2は、SMF-28eより大きな光学実効面積を有するファイバ(例えば、ファイバ5、6および7)でも、(1550 nmでより小さな光学実効面積を有する)SMF-28eファイバより良好な曲げ性能を有することを示している。しかしながら、第2環状領域の体積があまりにも大きい場合は、中に光を閉じ込め、マルチモードのファイバを形成する。この場合、コアはまだ単一モードであるため、単一モード動作を確実にするための単一モードの送出技術をなお用いることができる。単一モード送出技術によって、光信号は標準単一モードファイバを介して伝送ファイバに送出することができ、かつ、他の単一モードファイバは受信器への伝送ファイバの2つの出力端に用いられるということである。標準単一モード伝送ファイバは、好ましくは0.5 dB未満の接続損失、より好ましくは0.3 dB未満の接続損失を生ずるように十分に調整されることが望ましい。

【0056】

本発明を実証し、表3および表4の特性を有する2つのファイバ、ファイバ8およびファイバ9を製造した。ファイバ8の第2環状領域はフッ素をドープしたシリカガラスからなり、かつ、外側シリカクラッドに対して最小相対屈折率-0.47を有する。ファイバ9の第2環状領域はアルゴンガスが充填された複数の閉塞孔を有するシリカガラスからなる。ファイバ8およびファイバ9はそれぞれ、最大屈折率0.19%および0.28%のステップインデックスコアを丸めた。

【表 3】

表3

	ファイバ8	ファイバ9
Δ_{1MAX} (%)	0.19	0.28
Δ_2 (%)	0	0
R1 (μm)	7.0	6.1
V1 ($\%-\mu\text{m}^2$)	7.7	8.5
R2 (μm)	13.6	11.1
R1/R2	0.51	0.55
R2 _{MID} (μm)	10.3	8.6
W2 (m)	6.6	5.0
W ₃ (μm)	5.1	3.5
R _{3MID}	16.15	12.9
V ₃ ($\mu\text{m}^2\%$)	62	103

10

【表 4】

表4. 2つの製造された実施例の測定された光学特性

実施例	ファイバ8	ファイバ9
1550nmにおけるMFD (μm)	14.6	11.5
1550nmにおける A_{eff} (μm^2)	167	105
1550nmにおける減衰 (dB/km)	0.212	0.204
1550nmにおける波長分散値 (ps/nm/km)	20.5	19.05
1550nmにおける分散勾配 (ps/nm ² /km)	0.064	0.064
1550nmにおけるカツパ値 (nm)	318	298
1550nmにおける、直径10mmのマンドレルまわり1ターン当りのマクロバンド損失 (dB)	3.78	0.28
1550nmにおける、直径15mmのマンドレルまわり1ターン当りのマクロバンド損失 (dB)	1.23	0.026
1550nmにおける、直径20mmのマンドレルまわり1ターン当りのマクロバンド損失 (dB)	0.61	0.005
ケーブルカットオフ (nm)	1250	1414

20

30

【 0 0 5 7 】

我々はまた、一般的により大きなコア体積はモードフィールドの大きさを増加する傾向があるだけでなく、LP11の理論カットオフ波長も長くさせ、そして、2mファイバのカットオフ波長を長くさせる傾向があることを見出した。いくつかの実施形態では、コアの分布体積 V_1 が $5.0\%-\mu\text{m}^2$ より大きく、かつ $9.0\%-\mu\text{m}^2$ より小さかった。また、いくつかの実施形態では、 V_1 が $6.50\%-\mu\text{m}^2$ と $7.5\%-\mu\text{m}^2$ との間であった。

40

【 0 0 5 8 】

図1、図2および図3に示された光ファイバ10のコア20は、階段形状、角が丸められた階段形状、または、有限値をとるの形状のうちのいずれかである屈折率分布を有する。しかしながら、コア20は、マルチセグメントコアのように、 V_1 の他の値を、または、分布以外の分布形状を有してもよい。

【 0 0 5 9 】

望ましくは、本明細書において開示された光ファイバの含水量は低く、望ましくは水分によるピークが低い光ファイバである。すなわち、ある特定の波長領域、特にE-バンド

50

において水分によるピークが比較的低いまたは全くない減衰カーブを有する。

【0060】

低含水ピーク光ファイバを製造する方法は、米国特許第6477305号、米国特許第6904772号およびPCT出願公開番号WO01/47822号に見つけることができる。

【0061】

上記の記載は本発明を例示的に説明しているだけである。上記の記載はクレームによって定義される本発明の性質や特徴を理解するための概要を提示しているにすぎない。添付図面は本発明の理解をより深めるために添付されている。図面は取り込まれ、本明細書の一部をなす。図面は本発明の幾つの特徴と実施例を示しており、発明の詳細な説明と共に見ることにより、本発明の原理や作動の理解に供することができる。当業者であれば、特許請求の範囲により定義される本発明の精神及び範囲から離れることなく、本明細書に記載された本発明の好適実施例に色々な変更をなすことができるであろう。

10

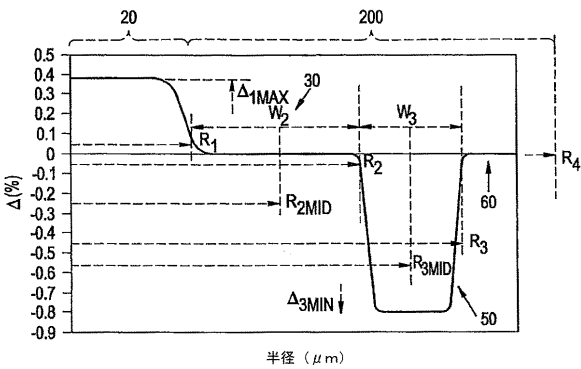
【符号の説明】

【0062】

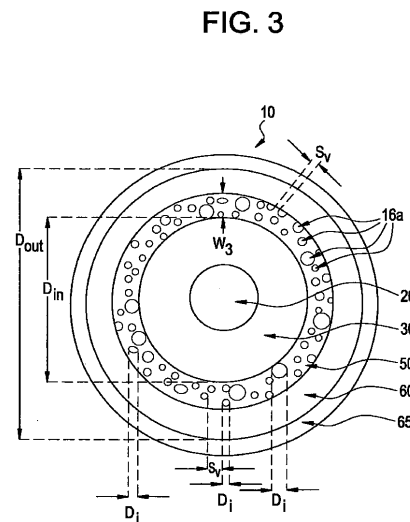
- 10 光ファイバ
- 16a 閉塞孔
- 20 コア
- 30 第1環状領域
- 50 第2環状領域
- 60 第3環状領域
- 65 ポリマーコーティング
- 200 クラッド

20

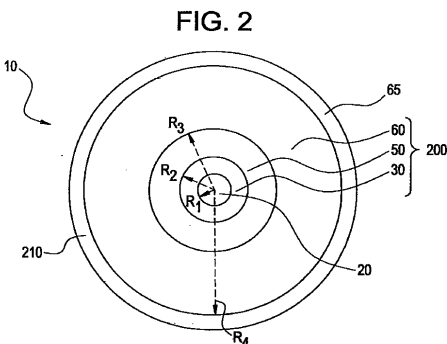
【図1】



【図3】



【図2】



【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2008/005795

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G02B6/036		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, 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 2007/098339 A1 (BRINGUIER ANNE G [US] ET AL) 3 May 2007 (2007-05-03) paragraphs [0053] - [0060] figure 14	1-21
X	US 2005/244120 A1 (MISHRA SNIGDHARAJ K [US]) 3 November 2005 (2005-11-03) paragraphs [0047] - [0051] figures 1,2	1-4, 7-14, 20, 21
X	EP 1 477 831 A (FITEL USA CORP [US]) 17 November 2004 (2004-11-17) paragraphs [0032], [0033] figure 8	1,2
	----- -/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 document 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. *S* document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 20 August 2008		Date of mailing of the international search report 02/09/2008
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Kloppenburg, Martin

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2008/005795

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 335 995 B1 (KATO TAKATOSHI [JP] ET AL) 1 January 2002 (2002-01-01) column 1, line 60 - column 4, line 63 figure 1	1-21
A	US 2006/120678 A1 (MANYAM UPENDRA H [US] ET AL) 8 June 2006 (2006-06-08) paragraph [0024] figures 1,2	5,6, 15-19
P, A	US 2008/056654 A1 (BICKHAM SCOTT ROBERTSON [US] ET AL) 6 March 2008 (2008-03-06) the whole document	1-21
P, A	US 2008/056658 A1 (BICKHAM SCOTT ROBERTSON [US] ET AL) 6 March 2008 (2008-03-06) the whole document	1-21

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members.

International application No

PCT/US2008/005795

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2007098339	A1	WO 2008076450 A1	26-06-2008
US 2005244120	A1	CN 1973222 A	30-05-2007
		EP 1740986 A1	10-01-2007
		JP 2007535003 T	29-11-2007
		KR 20070012841 A	29-01-2007
		US 2007053642 A1	08-03-2007
		WO 2005111683 A1	24-11-2005
EP 1477831	A	CN 1550802 A	01-12-2004
		DE 602004000279 T2	20-07-2006
		JP 2004341525 A	02-12-2004
		US 2004228593 A1	18-11-2004
US 6335995	B1	NONE	
US 2006120678	A1	NONE	
US 2008056654	A1	WO 2008027351 A2	06-03-2008
US 2008056658	A1	WO 2008027336 A1	06-03-2008

フロントページの続き

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

- (72) 発明者 ブックバインダー, ダナ シー
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング デイヴィス ロード 2 6 7 5
- (72) 発明者 チェン, シン
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング ウェスト パルトニー ストリート
 3 1 5 アpartment 1 エイ
- (72) 発明者 リ, 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 アンブローズ ドライヴ 1 0
- (72) 発明者 ミシュラ, スニグドハラジュ ケー
 アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2 8 4 0 9 ウィルミントン セント フランシス ドライヴ 3 5 0 9
- (72) 発明者 ノーラン, ダニエル エイ
 アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング スカイライン ドライヴ 1 0 7 6
 2

F ターム(参考) 2H150 AB03 AB04 AB05 AB06 AB07 AB08 AB09 AB10 AC51 AD04
 AD12 AD16 AD20 AD22 AD32 AE26 AE28 AE29 AE39 AE47
 AF33 AF43 AH12 AH14 AH22 AH35

【要約の続き】

d B / ターンの曲げ損失を提供する。