

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3932246号
(P3932246)

(45) 発行日 平成19年6月20日(2007.6.20)

(24) 登録日 平成19年3月23日(2007.3.23)

(51) Int. Cl.

G02B 6/036 (2006.01)

F I

G02B 6/22

請求項の数 5 (全 8 頁)

(21) 出願番号	特願2001-28119 (P2001-28119)	(73) 特許権者	501246857
(22) 出願日	平成13年2月5日(2001.2.5)		コーニング・インコーポレーテッド
(62) 分割の表示	特願平10-174479の分割		アメリカ合衆国ニューヨーク州14831
原出願日	平成10年6月22日(1998.6.22)		, コーニング, リバーフロント・プラザ
(65) 公開番号	特開2001-255432 (P2001-255432A)		1
(43) 公開日	平成13年9月21日(2001.9.21)	(74) 代理人	100079119
審査請求日	平成17年1月28日(2005.1.28)		弁理士 藤村 元彦
(31) 優先権主張番号	60/050 550	(72) 発明者	デビッド ケイ. スミス
(32) 優先日	平成9年6月23日(1997.6.23)		アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 ウ
(33) 優先権主張国	米国 (US)		イルミントン ワイルドダンスサークル
			905
早期審査対象出願		審査官	▲高▼ 芳徳
前置審査			
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 高零分散を有する導波路ファイバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

最大屈折率 n_0 を有する中央領域と、前記中央領域に接する最大屈折率 n_1 を有する第1隣接領域と、前記第1隣接領域を包囲する最大屈折率 n_2 を有する第2隣接領域のみを含み、 $n_0 > n_2 > n_1$ である屈折率分布を有するコア領域を含むシングルモードファイバであって、前記コア領域が2.90から3.90単位の範囲の内部分布体積及び7.20から10.20単位の範囲の外部分布体積を有し、外部／内部分布体積比が1.96から3.04の範囲にあり、

前記屈折率分布は、

零分散波長が動作波長窓の上限よりも大きく、

モード場径が7.9 μm よりも小さくなく、且つ、分散勾配が1525 nmから1565 nmの波長範囲に亘って0.1 ps / nm² - km以下となるように設計されており、

前記コア領域の前記屈折率分布は、導波路をケーブルにした状態で測定した場合に前記ファイバが1400 nmよりも大きいカットオフ波長を有するように設計されていることを特徴とするシングルモード光導波路ファイバ。

【請求項2】

前記コア領域の前記屈折率分布は、前記ファイバが導波路をケーブルにした状態で測定して1520 nmよりも小さいカットオフ波長を有するように設計されていることを特徴とする請求項1記載のシングルモード光導波路ファイバ。

10

20

【請求項 3】

前記コア領域の前記屈折率分布は、前記ファイバが約 $0.25 \text{ ps/km}^{1/2}$ よりも大きくない PMD を有するように設計されていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のシングルモード光導波路ファイバ。

【請求項 4】

前記コア領域の前記屈折率分布は、前記ファイバが約 $9.1 \text{ }\mu\text{m}$ よりも大きくないモード場径を有するように設計されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のうちの 1 に記載のシングルモード光導波路ファイバ。

【請求項 5】

前記零分散波長は、 1575 nm から 1595 nm の間にあることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のうちの 1 に記載のシングルモード光導波路ファイバ。 10

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は動作波長窓の上限よりも大きい零分散波長を有するシングルモード光導波路ファイバに関する。この特性は、曲げによって誘導される減衰に対する抵抗とともに達成される。

【0002】

【従来の技術】

高パワーレーザを用いた通信システムや、高いデータレートでの送受信、及び波長分割多重化 (WDM) 技術において、零ではないが非常に低い全分散かつ非常に低い偏波モード分散 (PMD) を有する光導波路ファイバが要求される。加えて、導波路ファイバは自己位相変調 (SPM) 及び四光波混合 (FWM) のような非線形現象を実質的に取り除く特性を有さなければならない。SPM は、例えば導波路ファイバのモードフィールド径を増加させることでパワー密度を低下させて制限することができる。FWM は分散が零でない波長範囲で動作させることにより制御される。 20

【0003】

さらに、光増幅器を用いた長距離伝送システムとコンパクトな光導波路が要求されている。米国特許第 5,483,612 号に開示された複合コアは、これらの要求を満たす光導波路ファイバを提供する。さらに近年、ケーブルの施工が難しかったり、施工後にケーブルにアクセスすることが制限されるようなシステムに関して WDM チャンネルの数の増加のために動作波長窓の拡大が求められる。すなわち、より広い動作窓によって各導波路ファイバにより多くの情報伝送が許容されるため、これによって、ケーブル数を減じて施工コストを減じることが出来る。施工後のアクセスが制限される故、ケーブルは経年に対してもその特性を保持するといった観点から特別なものである必要がある。例えば、使用時の曲げ特性が改善された導波路ファイバが必要とされる。さらに、この高性能なシステムは、低全分散及び低偏波モード分散 (PMD) を必要とする長い中継間距離を有する。 30

定義

以下の定義は、当業界においても共通して使用している。

ーコア領域の半径は屈折率の用語によって決定される。特別の領域は第 1 及び最後の屈折率点を有する。導波路の中心線からこの第 1 屈折率点の位置までの半径は、コア領域すなわちセグメントの内径である。同様に、導波路の中心線から最後の屈折率点の位置までの半径はコア領域の外径である。コアの幾何学的構造の他の有用な定義は適宜用いられる。 40

【0004】

本願において別途述べていない限り、ここで述べられている屈折率分布のパラメータは、以下のように適宜、決定されている。

中央コア領域の半径*は、導波路の中央軸から中央屈折率分布を X 軸に降ろした交点までを計測したものである。

第 2 環状領域の半径*は、導波路の中央軸から第 2 環状部のベースラインの中央まで計測されたものである。 50

【0005】

第2環状領域の幅*は、屈折率分布の半分の屈折率点から導波路半径まで引かれた2つの平行線間の距離である。第1環状領域の大きさは、中央領域と第2環状領域の大きさの差によって決定される。

－有効エリアは、

【数1】

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

であり、ここで、積分範囲は0から ∞ まで、Eは伝搬光に伴う電場である。有効直径 D_{eff} は、

【数2】

$$A_{\text{eff}} = \pi(D_{\text{eff}}/2)^2$$

として定義される。

－PMDは、偏波モード分散を表す。

－WDMは、波長分割多重化を表す。

－SPMは、自己位相変調を表す。この現象において、特定のパワーレベル以上の信号部分がそのパワーレベル以下の信号部分に対して導波路内において速度を持って伝送する。

－FWMは四光波混合を表す。この現象において、異なった周波数の信号を生成することにより導波路内の2つ以上の信号が干渉する。

－ $\Delta\%$ の項は以下の式によって定義される屈折率分布の相対比較を示す。

【0006】

【数3】

$$\Delta\% = 100 \times (n_1^2 - n_2^2) / 2n_1^2$$

ここで、 n_1 は領域1における最大屈折率、 n_2 は参照領域の屈折率であって一般的にクラッド領域の屈折率である。

－屈折率分布若しくは単に分布は、コアの選択部分の半径と $\Delta\%$ 若しくは屈折率との関係である。 α 分布とは、以下の式による屈折率分布である。

【0007】

【数4】

$$n(r) = n_0 (1 - \Delta [r/a]^\alpha)$$

ここで、 r は半径、 Δ は上記したように定義される。また a は分布の終点位置、 r は分布の最初の点で零になるように選択される。 α は分布の形状を定義する指数である。他の屈折率分布としては、ステップ屈折率分布、不等辺三角形屈折率分布、丸めステップ屈折率分布（急激に屈折率分布の変化する領域にドーパントを拡散させて「丸め」を与えている。）を含む。

－分布体積 (profile volume) は、

【数5】

$$2 \int_0^r r^2 (\Delta\% \, r \, dr)$$

の如く定義される。内部分布体積は、導波路の中心線 $r=0$ から後述するクロスオーバー半径まで広がっている。外部分布体積はクロスオーバー半径からコアの終点位置まで広がっている。屈折率は単位を有さない故に、分布体積の単位は $\% \mu\text{m}^2$ である。混乱を避けるため、分布体積は単位をつけずに数のみで示す。

－クロスオーバー半径は信号光の波長変化に対する信号光のパワー分布の反転する半径位置、すなわち信号光の波長が変化しても信号光のパワー分布が変化しない半径位置をクロ

10

20

30

40

50

スオーバー半径として定義する。つまりクロスオーバー半径よりも内側の内部体積の半径位置においては、信号光のパワーは波長が増大すると減少するが、クロスオーバー半径よりも外側の外部体積の半径位置においては、信号光のパワーは波長が増大すると増加するのである。

ー導波路ファイバの曲げ抵抗は、所定の試験条件下で生ずる減衰として表現される。ここでは、75mm曲げは75mmマンドレルに100巻きすることによって導波路に引き起こされる減衰である。32mm曲げは32mmマンドレルに1巻きすることによって導波路に引き起こされる減衰である。

【0008】

【発明の概要】

米国特許第5,483,612号（以下'612号特許と称する）に開示された光学特性を有し且つ非常に高性能なシステムの要求に合致した光導波路ファイバは以下のことを必要とする。

- ー 拡大された波長窓に対する低減衰
- ー 拡大された窓に対する低全分散及び低PMD分散
- ー 悪環境下のもと長時間に亘る曲げによって生じる減衰に対する特別な抵抗力

本発明の導波路は、コアの屈折率分布設計を変更することによってこの必要にに応じている。コンピュータモデリング及び試作によって、曲げ抵抗を改善するようなさらに高いカットオフ周波数を呈し、また拡大された波長窓で低い全分散を与えるようなさらに高い零分散波長を有するコアの屈折率分布のファミリーが見いだされた。

【0009】

導波路ファイバ特性は、コアの屈折率分布の変化に非常に敏感であることを強調しておかねばならない。すなわち、導波路特性や性能に対する屈折率分布変化の与える効果を予測することは不可能である。これは、分布がわずかに変化しても、また、似通った2つの分布であったとしても同様である。

本発明による導波路ファイバは、単一モード光導波路ファイバであって、導波路の対称軸について配した中央コア領域と、中央領域と接する第1隣接領域と、第1隣接領域と接する第2隣接領域との3つの領域からなるコアを有することを特徴とする。

【0010】

中央領域では導波路の中央線近傍の屈折率を急激に低下させてもよい。この急激な屈折率の低下は特定の加工ステップの間の中央領域からのドーパントの拡散により生ぜしめてもよい。堆積ステップでこの拡散を補償し、それにより低下した屈折率を有する中央線の体積を効果的に減じてよい。これに代えて、モデルをドーパントの拡散を考慮して調節してもよい。後者を選ぶならば、中央線の屈折率の低下は中央領域の一部分とみなす。すなわち、中央線の屈折率分布の低下を取り除くことを選ぶか、若しくはコアの屈折率分布の他の部分を調整して中央線のドーパントの拡散を補償するかどうかによっては請求項と発明の詳細な説明の記述は影響を受けない。

【0011】

中央領域及び第2隣接領域は、第1隣接領域の屈折率や第2隣接領域に接して囲むクラッド層と比べると、相対的に高い屈折率を有する。本発明の導波路は、2.90から3.90の範囲の内部分布体積及び7.20から10.20の外部分布体積を有する。外部／内部分布体積比は1.96から3.04の範囲にある。このコアの屈折率分布の特徴は、先の'612特許に述べられた最近の公知例と比較して比較的大きな外部体積であることである。

【0012】

3つの領域のどれかは、 α ステップ、丸めステップ、若しくは不等辺三角形の屈折率分布を有し、これは相対屈折率の制約を与えて、内部及び外部体積を決定する。一般に、 α は零から無限大までどんな値であっても良い。 α が1である屈折率分布は、すでに製造されており、要求された性能を有した導波路を供給する。 α が約4以上のとき実質的にステップ屈折率分布を与える。

【0013】

上記のような、新規な導波路によって提供されるシステムに要求される固有の特性は、15

10

20

30

40

50

25nmから1565nmまでの波長範囲で-0.75ps/nm-kmから-5.5ps/nm-kmの間の低全分散、約1575nmから1595nmまでの範囲の零分散波長、その波長範囲で約0.10ps/nm-km以下の大きさの分散勾配、約7.90 μm よりも小さくないモード場直径、導波路をケーブルにした状態で約1400nmから1520nmの範囲のカットオフ波長、約0.25ps/km^{1/2}より大きくないPMD、75mmマンドレルで約0.03dBより大きくない曲げ減衰、32mmマンドレルで約0.30dBより大きくない曲げ減衰、である。

【0014】

このような包括的且つ厳格な特性は、以下のように定義されるコアの屈折率分布を有する導波路によってもたらされる。上記した定義と規則を用いることにより、コアの中央セグメントは 約0.79%から1.21 %の範囲の $\Delta_0\%$ を有し、約2.55 μm から3.55 μm までの範囲の直径を有する。中央コアに接する第1環状領域は、約0.20パーセントより大きくない $\Delta_1\%$ を有する。第1環状領域に接する第2環状領域は、約0.30%から1.2%までの範囲の $\Delta_2\%$ を有し、第2環状領域の中央までを測った半径は約5.5 μm から8.70 μm の範囲であって、 $\Delta\%$ の半分の点で計測された幅が約0.4 μm から2 μm までの範囲である。

10

【0015】

この一群の屈折率分布と関連した内部及び外部分布体積は、それぞれ約2.9から3.9単位及び2.5から10.2単位の範囲にある。

それぞれの領域の屈折率分布の形状は、 α 分布、ステップ屈折率、丸めステップ屈折率、不等辺三角形屈折率の中から選択される。ここで α は正の数である。

【0016】

20

【実施例】

中央線の拡散現象は発明の概要の欄において述べた。新規なコアの屈折率の分布の好ましい実施例は、中央線拡散円錐と名づけられた減少させられた屈折率の体積を導波路の中央線に有する。なぜならば、中央線拡散円錐を排除するプロセスの調節がなされなければ新規な分布の製造はより簡単であるからである。さらに導波路特性に与える中央線拡散円錐の影響は十分小さく、中央線拡散円錐を補償するためにコアの屈折率分布のその他の部分において小さい調節をする必要があるのみである。

【0017】

本発明の屈折率分布の主たる特徴は、導波路半径に対する $\Delta\%$ の図1に示される。'612号特許と本発明の図1を比較すると、本発明開示の屈折率分布の一部は'612号特許に開示且つ特許請求された分布の種類に属するものである。中央線拡散円錐は、図1の領域2に示される。高い屈折率の中央領域4は α 分布であって、ここでは1と2の間の α である。

30

【0018】

中央領域の他の実施例は番号6によって示された丸め若しくは不等辺三角形分布をしている。他の例16は $\alpha = 1$ から2の間の値の α 分布であって、補償が中央線の拡散円錐を取り除くために与えられている。要求される導波路特性を達成するためにセグメントの $\Delta\%$ 、半径、幅に加えて分布形状を変化させてもよいことを示すため、その他の例の形状が示されている。

【0019】

第1環状領域10は中央領域と接し、より低い $\Delta\%$ を有する。他の分布形8は、第1環状領域に示されている。第1環状領域に接する第2環状領域は他の分布形状12もしくは14を有することを示している。第2環状領域に接するクラッド層は24のように示される。

40

図1は、またここで用いられた次元規則 (dimension conventions) を示している。すなわち中央コア半径は18のように示され、導波路の中央線から外挿された中央の分布がX軸と交叉する点までの距離である。第2環状領域の場所を特定する半径は、導波路の中央線からX軸に投影した第2環状領域の中央までの距離20である。 $\Delta\%$ 点の1/2の第2環状領域の幅は長さ22として示される。第1環状領域の内径は長さ18であることに注目する。第1環状領域の外径は半径20から幅22の半分を引いて得られる距離である。

【0020】

ここで、製造の容易さ及び規格の分布に対して微小偏差を引き起こすといった観点から、

50

好ましい実施例はセグメント 4、10、14の分布組み合わせによって得られる。これは中央線拡散円錐2を許容する分布であり、

【外 1】

$$\alpha \approx 1$$

の中央領域を有し、第 1 隣接領域でステップ分布、そして第 2 隣接領域で丸めステップ屈折率分布を有する。クラッド層の屈折率は一定である。中央コア領域は0.9 %の Δ_0 %かつ3.2 μm の半径を有する。第 1 環状領域は0.02%の Δ_1 %である。第 2 環状領域は0.5 %の Δ_2 %かつ7 μm の半径を有し、半分の Δ %で0.9 μm の幅を有する。それぞれの内部体積と外部体積は3.4及び7.3単位である。この好ましい実施例と同様の特性を有する他の分布は、 Δ_2 %が0.25%かつ幅が1.8 μm である。 10

【0 0 2 1】

この好ましい実施例は約0.075ps/nm²-kmの適当な分散勾配を持って1525nmから1565nmまでの波長範囲で−6から−0.5 ps/nm-kmの範囲の分散を与える。製造上のばらつきによる導波路特性の感度は製造歩留まりの許容と変化を一致させる。曲げ損失は導波路をケーブルにした状態で計測して1500nmに近いカットオフ波長に基本的にあって、'612号特許に開示の導波路タイプの半分以下である。加えて、モード場は8.4 μm で適当であり、有効断面積は約53 μm^2 である。

【0 0 2 2】

以下の範囲と要件の導波路特性：

- 零分散波長 λ は1575nmから1595nm
 - 分散勾配<0.1ps/nm²-km
 - モード場直径は7.9 μm から9.1 μm
 - カットオフ λ （導波路をケーブルにしないで）は1760nm
 - '612号特許の導波路設計よりも少なくとも良好な曲げ抵抗
- が与えられる。

かかる条件の下にコンピュータによる仮想モデルは表 1 に示した導波路物理的特性を示す。

【表 1】

	Δ_0 %	r_0 μm	Δ_1 %	Δ_2 %	r_2 μm	w_2 μm	内部体積	外部体積
上限	1.21	3.55	0.12	1.2	8.66	1.71	3.90	10.16
下限	0.94	2.55	0	0.3	5.54	—	2.92	2.59

表1で示されるパラメータの範囲のすべての可能な組み合わせが所望の特性を有する導波路でないことは明らかである。導波路特性の少なくとも1つが許容範囲外になるまで、1つ又は複数のパラメータを変化させたコンピューター・モデルによって表1は得られた。ある特性を呈する最後のコアの屈折率分布のパラメータが記録された。すなわち、各々の分布のパラメータの上限または下限は、特性に応じた各々のまったく異なる分布から得られる。当業者は数回の実験の範囲内で、導波路特性を規定する分布を達成するために、表 1を使用できる。 40

【0 0 2 3】

本発明の特別な実施例をここに開示し、説明したが、本発明は特許請求の範囲によってのみ限定されるものである。

【図面の簡単な説明】

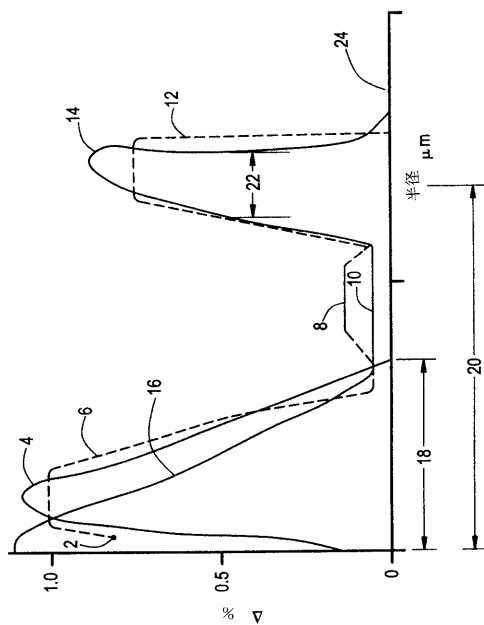
【図 1】本発明の光導波路ファイバのコアの屈折率分布の模式図である。

【符号の説明】

- 2 中央線拡散円錐
- 10 第 1 環状領域の屈折率分布
- 14 第 2 環状領域の屈折率分布

- | | |
|----|-----------|
| 18 | 中央コア半径 |
| 20 | 環状領域の半径 |
| 22 | 環状領域の幅 |
| 24 | クラッド層の屈折率 |

【 図 1 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平11-064666 (JP, A)
特開平08-234036 (JP, A)
特開平11-142671 (JP, A)
特開平11-119045 (JP, A)
特開平10-239550 (JP, A)
特開平08-248250 (JP, A)
特開2001-166171 (JP, A)
特開2000-137130 (JP, A)
特開2000-171655 (JP, A)
特表2003-517626 (JP, A)
特表2002-525673 (JP, A)
欧州特許出願公開第01037074 (EP, A1)
国際公開第99/030193 (WO, A1)
国際公開第00/055661 (WO, A1)
国際公開第00/017683 (WO, A1)
特開平09-171117 (JP, A)
国際公開第01/23925 (WO, A1)
加藤考利 他, 電子情報通信学会技術研究報告, 1996年11月 1日, Vol.96, No.339 (IQ E96 102-110), p.43-48
西村正幸 他, 1997年電子情報通信学会総合大会講演論文集 エレクトロニクス1, 1997年 3月 6日, p.288 (講演番号C-3-103)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/00 - 6/08
JST7580(JDream2)
JSTPlus(JDream2)