

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5065007号
(P5065007)

(45) 発行日 平成24年10月31日(2012.10.31)

(24) 登録日 平成24年8月17日(2012.8.17)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 B 6/00 (2006.01) G O 2 B 6/00 3 7 6 Z
G O 2 B 6/032 (2006.01) G O 2 B 6/20 Z

請求項の数 20 (全 19 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2007-508245 (P2007-508245) (86) (22) 出願日 平成18年3月20日 (2006.3.20) (86) 国際出願番号 PCT/JP2006/305520 (87) 国際公開番号 W02006/098470 (87) 国際公開日 平成18年9月21日 (2006.9.21) 審査請求日 平成21年3月2日 (2009.3.2) (31) 優先権主張番号 特願2005-80294 (P2005-80294) (32) 優先日 平成17年3月18日 (2005.3.18) (33) 優先権主張国 日本国(JP)</p>	<p>(73) 特許権者 000005290 古河電気工業株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 (74) 代理人 100089118 弁理士 酒井 宏明 (72) 発明者 宮部 亮 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古 河電気工業株式会社内 (72) 発明者 杉崎 隆一 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号 古 河電気工業株式会社内 審査官 奥村 政人</p>
---	--

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバおよび導波路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

不純物がドープされたコア部と、前記コア部の周囲に層状に形成された複数の微細構造を有する第1クラッド部と、前記第1クラッド部の周囲に層状に形成された均質な媒質の第2クラッド部とを有し、

前記第2クラッド部が、純粋なシリカガラスからなり、

前記第1クラッド部の微細構造以外の媒質は、前記第2クラッド部と実質的に同じ媒質であり、

前記微細構造は、光ファイバの長手方向中心軸に平行に形成された空孔であり、

前記コア部と第2クラッド部との比屈折率差 n_1 が 0.4% 以上 1.0% 未満であり、
 波長 1550 nm におけるモードフィールド径が、6.47 μm 以上 8.3 μm 以下であり、
 前記コア部、前記第1クラッド部および前記第2クラッド部の総断面積に対する前記第1クラッド部の前記空孔の総断面積の比率が 5.7% 以上 20% 未満であり、前記空孔が、異なる2つ以上の径の同一円周上に配置されており、1500 nm 以上の波長を有する導波する光が、単一モードで導波し、波長 1550 nm における曲率半径 7.5 mm の曲げ損失が 0.013 dB/m 以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】

前記第1クラッド部の前記空孔の横断面配置形状は、18個の空孔が当該光ファイバの中心軸を中心として、それぞれ6個ずつ3つの同心円上に形成され、一番中心に近い同心円上に形成された空孔のうち線対称位置にある4個の空孔が他の空孔よりも大きい径にさ

10

20

れており、該中心軸に対して2回回転対称とされていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項3】

前記第1クラッド部の前記空孔の横断面配置形状は、同じ大きさの18個の空孔が当該光ファイバの中心軸を中心として、それぞれ6個ずつ3つの同心円上に形成されており、該中心軸に対して6回回転対称とされていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項4】

前記第1クラッド部の前記空孔の横断面配置形状は、同じ大きさの12個の空孔が当該光ファイバの中心軸を中心とする、該中心軸に近い第1の円周上に4個、該第1の円の外周側で該第1の円と同心円状の第2の円の円周上に8個が配置され、かつ前記12個の空孔は、前記コア部を挟む2本の平行線の組が互いに直交する形状をなすように配置され、該中心軸に対して4回回転対称とされていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

10

【請求項5】

12個の前記空孔のうち6個が、横断面にて当該光ファイバの中心軸を中心とする第1の円の円周上において6回回転対称の第1の正六角形を形成するように配置されており、該第1の円の円周上に配置された、該第1の円の円周上の空孔よりも径が大きい6個の空孔が、横断面にて前記第1の円と同心円状の第2の円の円周上において前記第1の正六角形に対して前記中心軸周りに30度ずれた6回回転対称の第2の正六角形をなすように配置されていることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

20

【請求項6】

前記コア部が、ゲルマニウムおよびリンの少なくともいずれか一方が添加されたシリカガラスからなることを特徴とする請求項1から5のいずれか1項に記載の光ファイバ。

【請求項7】

1250nm以上の波長を有する導波する光が、単一モードで導波することを特徴とする請求項1から6のいずれか1項に記載の光ファイバ。

【請求項8】

波長1550nmにおけるモードフィールド径をA[μm]、波長1550nmにおける曲率半径7.5mmにおける曲げ損失をB[dB/m]としたとき、以下の(1)式が成り立つことを特徴とする請求項1から7のいずれか1項に記載の光ファイバ。

30

$$A \log_{10} B + 9 \quad \dots (1)$$

【請求項9】

前記AおよびBが、以下の(2)式をさらに満たすことを特徴とする請求項8に記載の光ファイバ。

$$A \log_{10} B + 10 \quad \dots (2)$$

【請求項10】

前記AおよびBが、以下の(3)式をさらに満たすことを特徴とする請求項8に記載の光ファイバ。

$$A \log_{10} B + 11 \quad \dots (3)$$

40

【請求項11】

前記Aが7μm~13μmであることを特徴とする請求項8から10のいずれか1項に記載の光ファイバ。

【請求項12】

前記Aが7μm~12μmであることを特徴とする請求項8から10のいずれか1項に記載の光ファイバ。

【請求項13】

前記Aが7μm~11μmであることを特徴とする請求項8から10のいずれか1項に記載の光ファイバ。

【請求項14】

50

波長 1550 nm における曲率半径 5.0 mm の曲げ損失が 0.1 dB/m 以下であることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ。

【請求項 15】

前記空孔の内部空間を密封する密封手段が設けられていることを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ。

【請求項 16】

前記密封手段は、前記空孔の両端部に設けられた隔壁であることを特徴とする請求項 15 に記載の光ファイバ。

【請求項 17】

前記密封手段は、長手方向に任意の間隔をおいて複数設けられ前記空孔を複数に区切って密封する隔壁であることを特徴とする請求項 15 に記載の光ファイバ。

10

【請求項 18】

前記密封手段は、接続端部の前記空孔に充填された屈折率整合材であり、該屈折率整合材が充填された接続端部に、他の光ファイバが接続されることを特徴とする請求項 15 に記載の光ファイバ。

【請求項 19】

前記密封手段は、接続端部の前記空孔が潰されて密封状態とされたものであり、該潰されて密封状態とされた接続端部に、他の光ファイバが接続されることを特徴とする請求項 15 に記載の光ファイバ。

【請求項 20】

20

請求項 1 から 19 のいずれか 1 項に記載の光ファイバを、曲率半径 3 mm 以上 60 mm 以下の曲げを少なくとも 1 箇所設けて形成することを特徴とする導波路。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、微細構造を有する光ファイバおよびこの光ファイバを用いた導波路に関するものである。

【背景技術】

【0002】

一般に、光ファイバは、例えばゲルマニウムがドーピングされることで屈折率を高めたシリカガラスからなるコア部と、その周囲に層を形成するように取り囲み、コア部より屈折率が低いシリカガラスから成るクラッド部とから構成されている。そして、クラッド部とコア部との境界面における光の全反射の作用によりコア部内を光が導波する。しかしながら、従来、このコア部とクラッド部との比屈折率差は、大きくても 3~4% 程度であった。

30

【0003】

これに対して、近年、このような構造の光ファイバより大きな比屈折率差を得ることができる光ファイバが報告されている。例えば、特許文献 1 によると、クラッド部のガラス中に空孔に代表される微細構造を長手方向に設けることによって、クラッド部の平均屈折率を大きく低減させる事ができることが報告されている。即ち、この構造によれば、コア部の実効屈折率を従来の光ファイバに比べて格段に大きくすることができる。

40

【0004】

このようなこともあり、近年、通常のシングルモード光ファイバ（以下、SMF と呼ぶ）と同等の屈折率分布構造を有する光ファイバのコア部の周囲に空孔等の微細構造を形成した構造の光ファイバが注目されている。この光ファイバの利点は、コア部周囲に微細構造を設けることで、コア部とクラッド部との比屈折率差を SMF では成し得ないほど大きくできることにある。それにより、光ファイバの曲げ損失を非常に小さくすることが可能となる。

【0005】

例えば、微細構造を設けることで、15 mm 径の小径曲げに対する曲げ損失を 0.04 dB/m まで低減することができたという報告がなされている（例えば、非特許文献 1 参

50

照)。さらにその後、0.01 dB/m未満まで低減することができたという報告もされている(例えば、非特許文献2参照)。一方、従来、SMFとの接続を考慮して、モードフィールド径(以下、MFDと呼ぶ)を大きく保ちながら曲げ損失を低減させた光ファイバが提案されている(例えば、特許文献2参照)。

【0006】

【特許文献1】特許第3306847号公報

【非特許文献1】T.Hasegawa他、Microoptics Conference(2003),K2

【非特許文献2】西岡大造 他、信学技法、OFT2003-63、P23~

【特許文献2】特開2004-220026号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

このような光ファイバには高い信頼性と取り扱いの容易さが求められており、例えば、上記特許文献1で提案されているようなMFDと曲げ損失であっても、実際に使用するにはまだ不十分である。

【0008】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、MFDを大きく保ちながら、さらに曲げ損失を低減させた光ファイバを提供することを目的とする。そして、この光ファイバを用いて、SMFと低損失にて接続可能で且つ曲率半径の小さい屈曲部が形成されても曲げ損失を小さくすることができる導波路を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の第1の発明の光ファイバは、不純物がドーブされたコア部と、コア部の周囲に層状に形成された微細構造を有する第1クラッド部と、第1クラッド部の周囲に層状に形成された均質な媒質の第2クラッド部とを有し、コア部と第2クラッド部との比屈折率差 n_1 が0.4%以上1.0%未満であることを特徴とする。

【0010】

この発明の第2の発明の光ファイバは、上記の発明において、コア部、第1クラッド部および第2クラッド部の総断面積に対する第1クラッド部の微細構造の総断面積の比率が20%未満であることを特徴とする。

【0011】

この発明の第3の発明の光ファイバは、上記の発明において、第1クラッド部の微細構造の横断面配置形状が、中心軸に対して2回回転対称とされていることを特徴とする。

【0012】

この発明の第4の発明の光ファイバは、上記の発明において、第1クラッド部の微細構造の横断面配置形状が、中心軸に対して6回の回転対称とされていることを特徴とする。

【0013】

この発明の第5の発明の光ファイバは、上記の発明において、第1クラッド部の微細構造の横断面配置形状が、中心軸に対して4回回転対称とされていることを特徴とする。

【0014】

この発明の第6の発明の光ファイバは、上記の発明において、微細構造のうち少なくとも3つが、横断面にて同一円周上に配置されていることを特徴とする。

【0015】

この発明の第7の発明の光ファイバは、上記の発明において、微細構造が、異なる2つ以上の径の同一円周上に配置されていることを特徴とする。

【0016】

この発明の第8の発明の光ファイバは、上記の発明において、コア部が、ゲルマニウムおよびリンの少なくともいずれか一方が添加されたシリカガラスからなることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

この発明の第 9 の発明の光ファイバは、上記の発明において、第 2 クラッド部が、純粋なシリカガラスからなることを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

この発明の第 1 0 の発明の光ファイバは、上記の発明において、第 2 クラッド部が、フッ素が添加されたシリカガラスからなることを特徴とする。

【 0 0 1 9 】

この発明の第 1 1 の発明の光ファイバは、上記の発明において、第 1 クラッド部の微細構造以外の媒質は、第 2 クラッド部と実質的に同じ媒質であることを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

この発明の第 1 2 の発明の光ファイバは、上記の発明において、微細構造は、光ファイバの長手方向中心軸に平行に形成された空孔であることを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

この発明の第 1 3 の発明の光ファイバは、上記の発明において、所定の波長を有する導波する光が、単一モードで導波することを特徴とする。

【 0 0 2 2 】

この発明の第 1 4 の発明の光ファイバは、上記の発明において、1 5 0 0 n m 以上の波長を有する導波する光が、単一モードで導波することを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

この発明の第 1 5 の発明の光ファイバは、上記の発明において、1 2 5 0 n m 以上の波長を有する導波する光が、単一モードで導波することを特徴とする。

【 0 0 2 4 】

この発明の第 1 6 の発明の光ファイバは、上記の発明において、波長 1 5 5 0 n m におけるモードフィールド径を A [μm]、波長 1 5 5 0 n m における曲率半径 7 . 5 m m における曲げ損失を B [d B / m] としたとき、 $B < 1$ であり、且つ以下の (1) 式が成り立つことを特徴とする。

$$A \log_{10} B + 9 \quad \dots (1)$$

【 0 0 2 5 】

この発明の第 1 7 の発明の光ファイバは、上記の発明において、 A および B が、以下の (2) 式をさらに満たすことを特徴とする。

$$A \log_{10} B + 10 \quad \dots (2)$$

【 0 0 2 6 】

この発明の第 1 8 の発明の光ファイバは、上記の発明において、 A および B が、以下の (3) 式をさらに満たす。

$$A \log_{10} B + 11 \quad \dots (3)$$

【 0 0 2 7 】

この発明の第 1 9 の発明の光ファイバは、上記の発明において、 A が 7 μm ~ 1 3 μm であることを特徴とする。

【 0 0 2 8 】

この発明の第 2 0 の発明の光ファイバは、上記の発明において、 A が 7 μm ~ 1 2 μm であることを特徴とする。

【 0 0 2 9 】

この発明の第 2 1 の発明の光ファイバは、上記の発明において、 A が 7 μm ~ 1 1 μm であることを特徴とする。

【 0 0 3 0 】

この発明の第 2 2 の発明の光ファイバは、上記の発明において、 B が 0 . 1 d B / m 以下であることを特徴とする。

【 0 0 3 1 】

この発明の第 2 3 の発明の光ファイバは、上記の発明において、波長 1 5 5 0 n m における曲率半径 7 . 5 m m の曲げ損失が 0 . 1 d B / m 以下であることを特徴とする。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

この発明の第 2 4 の発明の光ファイバは、上記の発明において、波長 1 5 5 0 n m における曲率半径 5 . 0 m m の曲げ損失が 0 . 1 d B / m 以下であることを特徴とする。

【 0 0 3 3 】

この発明の第 2 5 の発明の光ファイバは、上記の発明において、微細構造が空孔であって、該空孔の内部空間を密封する密封手段が設けられていることを特徴とする。

【 0 0 3 4 】

この発明の第 2 6 の発明の光ファイバは、上記の発明において、密封手段は、空孔の両端部に設けられた隔壁であることを特徴とする。

【 0 0 3 5 】

この発明の第 2 7 の発明の光ファイバは、上記の発明において、密封手段は、長手方向に任意の間隔をおいて複数設けられ空孔を複数に区切って密封する隔壁であることを特徴とする。

【 0 0 3 6 】

この発明の第 2 8 の発明の光ファイバは、上記の発明において、密封手段は、接続端部の空孔に充填された屈折率整合材であり、この屈折率整合材が充填された接続端部に、他の光ファイバが接続されることを特徴とする。

【 0 0 3 7 】

この発明の第 2 9 の発明の光ファイバは、上記の発明において、密封手段は、接続端部の空孔が潰されて密封状態とされたものであり、この潰されて密封状態とされた接続端部に、他の光ファイバが接続されることを特徴とする。

【 0 0 3 8 】

この発明の第 3 0 の発明の導波路は、第 1 の発明から第 2 9 の発明のいずれか 1 つの光ファイバを、曲率半径 3 m m 以上 6 0 m m 以下の曲げを少なくとも 1 箇所設けて形成することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 3 9 】

この発明によれば、M F D を大きく保ちながらさらに曲げ損失を低減させた光ファイバを得ることができ、また、この光ファイバを用いて、S M F と低損失にて接続可能で且つ曲率半径の小さい屈曲部が形成されても曲げ損失を小さくすることができる導波路を得ることができる、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 0 】

【図 1】図 1 は、ファイバ例 1 - 1 にて使用した光ファイバの横断面図である。

【図 2】図 2 は、ファイバ例 2 - 1 にて使用した光ファイバの横断面図である。

【図 3】図 3 は、ファイバ例 3 - 1 にて使用した光ファイバの横断面図である。

【図 4】図 4 は、ファイバ例 4 - 1 にて使用した光ファイバの横断面図である。

【図 5】図 5 は、ファイバ例 5 - 1 にて使用した光ファイバの横断面図である。

【図 6】図 6 は、接続例 1 による光ファイバの接続方法を示す縦断面図である。

【図 7】図 7 は、接続例 2 による光ファイバの接続方法を示す縦断面図である。

【図 8】図 8 は、本実施例にかかる光ファイバを導波路として使用した例を示す系統図である。

【符号の説明】

【 0 0 4 1 】

1 コア部

2 第 1 クラッド部

3 空孔

4 第 2 クラッド部

1 0 , 2 0 , 3 0 , 4 0 , 5 0 光ファイバ

6 0 被接続用光ファイバ

10

20

30

40

50

- 6 1 コア部
- 7 0 幹線系の光ファイバ
- 1 0 0 障害物
- A , B 屈曲部
- C 1 , C 2 接続部

【発明を実施するための最良の形態】

【0042】

以下に、本発明に係る光ファイバおよび導波路の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。尚、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。以下では、本発明に係る光ファイバの構成上の特徴の概略を実施の形態として説明し、その後実際的光ファイバおよび導波路に則したものを実施例として詳細に説明する。

10

【0043】

[実施の形態]

従来、不純物がドーブされたコア部と微細構造を有するクラッド部から構成される光ファイバにおいて、コア部と微細構造を有しないクラッド部（第2クラッド部）との比屈折率差はSMFとほぼ同じであり、この比屈折率差の値 Δn_1 は0.3 ~ 0.39%である。これに対し本実施の形態の光ファイバは、比屈折率差 Δn_1 を0.4 ~ 1.0%と大きくすることで従来よりもクラッドとコアとの屈折率差を大きくしている。そのため、コア部への光の閉じ込めを従来の構造よりも大きくすることができ、且つ、光ファイバの曲げに対する曲げ損失を小さくすることができる。しかしながら、 Δn_1 が大きすぎるとコア部とクラッド部との材料特性の違いが大きくなり、特に線膨張係数の違いが大きくなるため線引きされた光ファイバに残留する歪が大きくなって光ファイバの強度が低下するという問題が顕著化する。あるいは、微細構造を空孔とする場合、その空孔の製造を超音波ドリルなどによる穿孔によって作製しようとする、 Δn_1 が大きい場合には穿孔作製途中でガラス母材の割れが発生しやすくなる。従って、 Δn_1 は1.0%以下とすることが望ましい。

20

【0044】

ここで、比屈折率差 Δn_1 は以下の式で定義される。 n_{core} 、 n_{clad} はそれぞれコア部の最大屈折率、及び第2クラッド部の屈折率である。

$$\Delta n_1 = \{ (n_{core} - n_{clad}) / n_{core} \} \times 100 \% \quad (4)$$

【0045】

また、本実施の形態の光ファイバによれば、従来に比べコア部の屈折率が大きい、第1クラッド部との平均屈折率差を大きくするために必要な微細構造の総断面積を小さくしたり、もしくは微細構造の数を減らしたりしても、コア部と第1クラッド部との平均屈折率差を大きくすることができ、曲げ損失が小さい光ファイバとすることができる。

30

【0046】

ところで通常の光ファイバの場合、クラッド部に対するコア部の屈折率を大きくするとMFDはこれに伴い縮小する。しかしながら本発明の光ファイバの構造は、微細構造部の占有率と配置がMFDに対して支配的になるため、コア部の屈折率を大きくすることによるMFDの変化は小さく、小さな曲げ損失と大きなMFDを同時に有することが可能である。

40

【0047】

さらに、コア部の屈折率を大きくすることで、ファイバ断面上においてコア部から離れた位置に微細構造部を設けても、コア部への光の閉じ込めを大きくすることができる。ファイバ断面上においてコア部の近傍に微細構造を設けることで曲げ損失を低減させることができるが、本発明の形態では、コア部と微細構造との距離を幾らか大きくしても曲げ損失の値は小さい。例えば光ファイバ母材に対して超音波ドリル等を使用して空孔による微細構造を設ける場合、コア部から離れた位置に穿孔作業を行うことができる。このため、穿孔作業においてコア部のクラックの危険性を低減することができる。

【0048】

微細構造領域が、20%を超えてしまうとファイバの強度が劣化してしまうため、20

50

%以下に設定することによって、光ファイバ自体のガラスとしての強度を保つことができる。また、微細構造の断面積が20%を超えてしまうと、光ファイバの線引き時、光ファイバ母材から光ファイバに引き伸ばされるメニスカス部分において光ファイバ内部の微細構造近傍のガラス部分に大きな応力がかかり、断線する可能性が高くなるため好ましくない。

【0049】

本発明の一実施形態の光ファイバは、光ファイバの中心軸に対し2回回転対称の微細構造を有する。このような構造をとることで光ファイバ断面において、X軸方向とY軸方向の屈折率分布に異方性が生じる。このためX軸方向とY軸方向の間に異方性が生じ、導波する光の偏波面を保持する効果が生じる。なお、ここでいう2回回転対称とは、2回回転

10

【0050】

本発明の一実施形態の光ファイバは、光ファイバの中心軸に対し6回回転対称の微細構造を有する。このような構造をとることで光ファイバ断面における周方向に対する屈折率が比較的一定とすることができるので、偏波モード分散を低減させることができる。

【0051】

本発明の一実施形態の光ファイバは、光ファイバの中心軸に対し4回回転対称の微細構造を有する。このような構造をとることで光ファイバ断面においてX方向とY方向の屈折率分布は等しいため、偏波モード分散を小さくすることができる。

20

【0052】

また、各々の微細構造は光ファイバの中心軸に対し、2つ以上の異なる同一円周上に配置される。これにより光ファイバ中心軸から径方向に対して、微細構造の配置パターンにより自由に屈折率変化を設けることができる。

【0053】

コア部にゲルマニウム(Ge)、リン(P)をドーピングする方法として、例えば、VAD(Vapor-phase Axial Deposition)法が挙げられる。この手法を用いることで、ドーピング量の微調整が可能となる。その結果、クラッド部に対するコア部の屈折率差を0.01%刻みで調節することができる。

【0054】

第2クラッド部の均質な媒質は、純粋なシリカガラス、若しくはフッ素が添加されたシリカガラスである。また、第1クラッド部の微細構造部以外の媒質は、第2クラッド部と同等であり、第1クラッド部に微細構造部を有しない場合の、第1クラッドと第2クラッドの屈折率は等しい。クラッド部を純粋なシリカガラス、若しくはフッ素が添加されたシリカガラスで構成されることで、コア部に対して屈折率差を設けることができる。

30

【0055】

微細構造が空孔であることにより、第1クラッド部の平均屈折率を大きく低減することが可能である。また空孔であれば、例えば超音波ドリル等を用いて光ファイバ母材の長手方向に穿孔することが容易にできるため、シリカガラスと異なる屈折率を有する液体や固体を挿入する作業に比べ、低コストで製造することができる。

40

【0056】

ここで、上述される単一モードで光伝播するとは、カットオフ波長 c が使用波長より短いことが必要とされる。そして、本実施の形態の光ファイバは1500nm以上の光波長において単一モードで伝播する。これにより、Cバンド、Lバンドを含む波長帯域に対して使用が可能となる。また好ましくは、光ファイバは1250nm以上の光波長において単一モードで伝播する。これにより、S、C、Lバンド、そしてEバンド、Oバンドを含めた広い波長帯域に対して使用が可能となる。

【0057】

ここでカットオフ波長 c とは、ITU-T(国際電気通信連合)G.650.1で定義するファイバカットオフ波長 c をいう。その他、本明細書で特に定義しない用語につ

50

いてはITU-T G.650.1またはG.650.2における定義及び測定方法に従うものとする。

【0058】

本実施の形態の光ファイバはMFDを拡大する微細構造を有していても、小さな曲げ損失を確保することができる。その大きさは、例えば、波長1550nmにおいてMFDが8μmのファイバの曲げ損失は、0.01dB/m以下である。この2つのファイバ特性の関係は好ましくは、上記(1)式を満たし、さらに好ましくは、上記(2)式および(3)式を満たす。

【0059】

波長1550nmの光において、MFDは7~13μm、好ましくは7~12μm、さらに好ましくは7~11μmである。これは、本実施の形態の光ファイバと例えばSMFとの接続を想定した場合、このMFDは約10μmであり、この値に近いMFDを有していればメカニカル接続における損失も低減できるためである。また通常のシングルモードファイバとの融着を考慮した場合、同様に両者の光ファイバのMFDが近い値であるため融着接続損失が小さく、融着作業もまた行い易くなる。

【0060】

波長1550nmの光において、曲率半径7.5mm、好ましくは曲率半径5.0mmの曲げに対する曲げ損失が0.1dB/m以下である。このように曲げに対する光損失が小さいことで、屋内・ビル等における局所位置に曲率半径が小さい状態で敷設することが可能となる。

【0061】

光ファイバ両端部の全ての空孔に対して壁を設けることにより、空孔内部への汚染物質の浸入を抑制することができる。これにより、空孔内汚染による伝送損失増加を抑えることができる。

【0062】

さらに、汚染浸入を防ぐ隔壁を空孔一つ一つにおいて任意の位置に設けることにより、隔壁を設けたことによる長手方向における光ファイバ断面の構造変化が少ない。このため、光を伝送させた際の隔壁設置部におけるMFDの形状変動も少なく済み、これに伴う伝送損失もまた少ない。

【0063】

また、空孔端部に屈折率整合材を挿入することにより、本発明の光ファイバ端部とSMFとの接合において、光ファイバ同士のMFDを近似することが可能となり、接合端における接続損失を低減することができる。これにより、既存のSMF導波路に本発明の光ファイバを組み込むときに生じる接続損失を小さく抑えることができる。

【0064】

従来の光ファイバは曲げ損失を小さくすべく、曲率半径が大きい曲げ径で光伝送媒体に使用されていたが、本発明の構造を有する光ファイバでは、曲げ損失が非常に小さい。そのため本発明の光ファイバの曲率半径を3mm以上60mm以下の径に屈曲した状態で光導波路に組み込んでも、伝送損失は小さく、例えば屋内における狭いスペースに配設することが可能である。

【実施例】

【0065】

[ファイバ例1-1]

図1はファイバ例1-1にて使用した光ファイバの横断面図である。図1において、光ファイバ10は、コア部1と、このコア部の周囲に層状に形成された第1クラッド部2と、この第1クラッド部2の周囲に層状に形成された第2クラッド部4とを有している。第1クラッド部2には、微細構造として空孔3が多数形成されている。コア部1は、ゲルマニウムがドーブされたシリカガラスにて作製されている。当該コア部1の純粋なシリカガラスに対する比屈折率差は0.4%である。一方、第1クラッド部2の空孔3以外の部分および第2クラッド部4は、純粋なシリカガラスにて作製されている。複数の空孔3は、

10

20

30

40

50

光ファイバ10の長手中心軸方向に夫々平行に貫通している。また、空孔3の断面形状の長手中心軸方向の変化率は、面積比10%以下程である。断面における各空孔3相互の間隔は、空孔間隔 = 7.0 ~ 11.0 μm である。さらに、光ファイバ断面積に対する18個の空孔3の総断面積比は8 ~ 17%である。

【0066】

尚、図1に示されるように、18個の空孔3はファイバ中心に対して、それぞれ6個ずつ3つの同心円上に形成されている。つまり、一番中心に近い同心円上に空孔3aが、2番目の同心円上に空孔3bが、3番目の同心円上に空孔3cがそれぞれ形成されている。

【0067】

光ファイバ10の特性を調べたところ、波長1550nmにおけるMFDは7.0 ~ 8.0 μm であり、曲げ損失は、波長1550nm、曲率半径7.5mmの曲げ径において0.001dB/mであった。また、カットオフ波長は1240nmであった。尚、このファイバの波長1550nm、曲率半径5mmの曲げ径における曲げ損失は0.07dB/mであった。

【0068】

また、光ファイバ10の空孔3の横断面配置形状は、中心軸に対し6回回転対称の位置に配置されている。このような配置形状をとることにより、偏波モード分散は0.5ps/km^{1/2}以下の値を得ることができた。

【0069】

[ファイバ例1-2]

上記ファイバ例1-1と同様に純粋なシリカガラスに対する比屈折率差が0.5 ~ 0.6%となるようにゲルマニウムがドーブされたコア部1と、図1の断面構造を有するクラッド部(第1クラッド部2および第2クラッド部4)から構成される光ファイバを作製した。このファイバ例1-2である光ファイバの第2クラッド部4は純粋なシリカガラスからなる。ここで、空孔間隔は6.0 ~ 11.0 μm であり、ファイバ断面内における18箇所の空孔3の総断面積比は7 ~ 18%である。この光ファイバの波長1550nmにおけるMFDは7.0 ~ 7.6 μm であり、曲げ損失は波長1550nm、曲率半径7.5mmの曲げ径において0.0003dB/mである。カットオフ波長は1450 ~ 1490nmである。また、この光ファイバの波長1550nm、曲率半径5mmの曲げ径における曲げ損失は0.018dB/mである。

【0070】

[ファイバ例1-3]

図1に示される微細構造を有する第1クラッド部2に、純粋なシリカガラスに対する比屈折率差が-0.1%となるようにフッ素をドーブし、コア部1の第2クラッド部4に対する比屈折率差が0.4%になるようゲルマニウムのドーブ量を調整した光ファイバを作製した。この場合も上記ファイバ例1-1のものとカットオフ波長、MFD、曲げ損失がほとんど変わらないことを確認した。

【0071】

[ファイバ例2-1]

図2はファイバ例2-1の光ファイバの横断面図である。図2に示す光ファイバ20においても、ファイバ例1-1の光ファイバ10と同様に、コア部1はゲルマニウムがドーブされたシリカガラスからなり、第1クラッド部2の空孔3以外の部分および第2クラッド部4は、純粋なシリカガラスにて作製されている。当該コア部1の純粋なシリカガラスに対する比屈折率差は0.4%である。図2に示される光ファイバ20は、中心軸に対して空孔3が2回回転対称の横断面配置形状となっている。つまり、一番中心に近い同心円上に形成された大空孔3eと小空孔3dの配置が線対称の関係にある。2番目の同心円上に6個の小空孔3fが形成され、3番目の同心円上に6個の小空孔3gが形成されている。このファイバ20の特徴として、長手中心軸方向をZ軸方向とした場合に、ファイバ断面においてX軸方向とY軸方向の屈折率分布が大きく異なり、導波する光の偏波面を保持する作用が発生する。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 2 】

[ファイバ例 2 - 2]

ファイバ例 2 - 1 と同様、図 2 に示される微細構造を有する光ファイバを作製した。ファイバ例 1 - 1 の光ファイバ 1 0 と同様に、コア部 1 はゲルマニウムがドーブされたシリカガラスからなり、第 1 クラッド部 2 の空孔 3 以外の部分および第 2 クラッド部 4 は、純粋なシリカガラスにて作製されている。当該コア部 1 の純粋なシリカガラスに対する比屈折率差は 0 . 8 2 % である。また、大空孔部 3 e は、コア部 1 との間隔が 0 . 5 μm 以下であり、コア部 1 に非常に近くに位置する。このときのモード複屈折は $4 . 0 \times 10^{-4}$ であった。

【 0 0 7 3 】

[ファイバ例 3 - 1]

図 3 はファイバ例 3 - 1 の光ファイバの横断面図である。図 3 に示す光ファイバ 3 0 においても、ファイバ例 1 - 1 の光ファイバ 1 0 と同様に、コア部 1 はゲルマニウムがドーブされたシリカガラスからなり、第 1 クラッド部 2 の空孔 3 以外の部分および第 2 クラッド部 4 は、純粋なシリカガラスにて作製されている。当該コア部 1 の純粋なシリカガラスに対する比屈折率差は 0 . 4 % である。光ファイバ 3 0 は、空孔 3 の配置を図 3 に示されるように中心軸に対し、4 回回転対称の位置に配置した。つまり、一番中心に近い同心円上に 4 個の空孔 3 a が、4 個の空孔 3 a に対して 9 0 度回転した位置にて、2 番目の同心円上に 4 個の空孔 3 b がそれぞれ形成され、さらに 9 0 度回転し、中心に対して空孔 3 a の放射線上の 3 番目の同心円上に 4 個の空孔 3 c が形成されている。このような配置形状の光ファイバ 3 0 においては、偏波モード分散は $0 . 2 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下の値が得られた。

【 0 0 7 4 】

[ファイバ例 4 - 1]

図 4 はファイバ例 4 - 1 の光ファイバの横断面図である。図 4 に示す光ファイバ 4 0 は、コア部 1 と、このコア部 1 の周囲に層状に形成された第 1 クラッド部 2 と、この第 1 クラッド部 2 の周囲に層状に形成された第 2 クラッド部 4 とを有している。第 1 クラッド部 2 には、微細構造部として空孔 3 が多数形成されている。コア部 1 は、ゲルマニウムがドーブされたシリカガラスにて作製されている。ここで作製した 2 通りの光ファイバにおける、コア部 1 の純粋なシリカガラスに対する比屈折率差 1 はそれぞれ 0 . 4 2 %、0 . 4 5 % であり、コア部 1 の直径はいずれも 7 . 4 μm である。一方、第 1 クラッド部 2 の空孔 3 以外の部分および第 2 クラッド部 4 は、純粋なシリカガラスにて作製されている。複数の空孔 3 は、光ファイバ 4 0 の長手中心軸方向に平行に貫通している。また、空孔 3 の断面形状の長手中心軸方向の変化率は、面積比 5 % 以下である。また、光ファイバ断面積に対する 1 2 個の空孔 3 の総断面積比は 8 . 6 7 % である。

【 0 0 7 5 】

かかる複数の空孔 3 はファイバ断面においてそれぞれ、ほぼ円形で、全ての空孔 3 の断面積は同じであり、そして各々の空孔 3 の直径 d は 6 . 8 μm である。第 1 クラッド部 2 において中心に近い同心円上に 4 個の空孔 3 a が配置され、各空孔 3 a の中心から光ファイバの断面中心の距離 ($L 1$) が 7 . 7 μm であり、それぞれ空孔 3 a が 4 回回転対称の位置関係にある。また第 1 クラッド部 2 において光ファイバ 4 0 の中心から外側には 8 個の空孔 3 b が配置され、それぞれの空孔 3 b は空孔 3 b の中心から光ファイバ 4 0 の断面中心の距離 ($L 2$) が 1 6 . 4 3 5 μm であり、かつ第 1 クラッド部 2 の内側に配置される、隣り合う 2 つの空孔 3 a を結ぶ直線上に位置する。

【 0 0 7 6 】

この例に示される光ファイバの作製方法は以下のとおりである。まず、VAD 法によりゲルマニウムドーブされたコア部を含むシリカガラスを作製する。次にこのシリカガラスの外側に純シリカ層をOVD法により外付けし、外径 4 0 mm、コア径が 3 . 7 mm である母材を作製した。この母材に対し機械式ドリルにより、仕上がり直径が 3 . 4 mm に形成されるよう穿孔し、そして空孔内面の研磨を行った。そしてこの母材をファイバクラッ

10

20

30

40

50

ド外径が $80 \mu\text{m}$ となるよう線引きした。上記の方法で作製した光ファイバ、Sample. 1 及び Sample. 2 の特性を表 1 に示す。

【 0 0 7 7 】

【表 1】

	$\Delta 1$	d	カットオフ 波長	Macro- bending loss r=7.5mm	Macro- bending loss r=5mm	MFD
				@1550nm	@1550nm	@1550nm
	%	μm	nm	dB/m	dB/m	μm
sample.1	0.42	6.8	1350	0.001	0.0093	7.05
sample.2	0.45	6.8	1420	0.0005	0.0044	7.02

10

【 0 0 7 8 】

カットオフ波長は、それぞれ 1350 nm 及び 1420 nm であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯域 ($1530 \sim 1565 \text{ nm}$) においてシングルモード動作する。波長 1550 nm における MFD は $7.0 \mu\text{m}$ 以上であり、一般的な SMF とのメカニカル接続において、その接続損失は小さい。また、光ファイバ内で生じる非線形現象も小さく抑えられる。波長 1550 nm 、曲率半径 5 mm におけるマクロベンディングロスは 0.01 dB/m 以下であり、小径曲げによる損失増加量は非常に小さい。また、上述したように、この光ファイバ 40 の空孔 3 の横断面配置形状は 4 回回転対称であり、偏波モード分散は $0.1 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下の値が得られた。

20

【 0 0 7 9 】

[ファイバ例 4 - 2]

図 4 に示すファイバ例 4 - 1 と同様の微細構造としてファイバ断面上に空孔を設けた構造の光ファイバをシミュレーションにより検討した。尚、ファイバ例 4 - 1 にて実際に製造した Sample. 1、2 の光ファイバに関して本シミュレーションを行った結果は、実際に得られた光ファイバの特性とほぼ一致することを確認している。

【 0 0 8 0 】

ファイバ例 4 - 1 に対し、ファイバ断面におけるコア径及び空孔位置については変えず、各々の空孔径 d を小さくした Sample. 3、4 及び 5 について検討した。これらの特性を表 2 に示す。

30

【 0 0 8 1 】

【表 2】

	$\Delta 1$	d	カットオフ 波長	Macro- bending loss r=7.5mm	Macro- bending loss r=5mm	MFD
				@1550nm	@1550nm	@1550nm
	%	μm	nm	dB/m	dB/m	μm
sample.3	0.42	6.4	1320	0.0037	0.0369	7.07
sample.4	0.45	6.4	1380	0.0016	0.0183	7.04
sample.5	0.41	6.0	1250	0.0097	0.092	7.11

40

【 0 0 8 2 】

空孔径を小さくしたことで、カットオフ波長は短波長側にシフトし、特に Sample. 5 はカットオフ波長が 1250 nm であり、波長 $1.3 \mu\text{m}$ 帯域 ($1280 \sim 1330 \text{ nm}$) 及び $1.55 \mu\text{m}$ 帯域 ($1530 \sim 1565 \text{ nm}$) においてシングルモード動作する。MFD もまた若干大きくなるが、曲げ損失特性は幾分か劣化している。しかしながら、何れのサンプルも曲率半径 5 mm に曲げた時の損失増加は 0.1 dB/m 以下であり、十分に

50

小径曲げに適応した構造であるといえる。また、ファイバ例 4 - 1 と同様にファイバ外径は $80 \mu\text{m}$ であり、光ファイバ断面積に対する 12 個の空孔 3 の総断面積比は 7.68% である。

【0083】

[ファイバ例 4 - 3]

図 4 に示すファイバ例 4 - 1 と同様の微細構造を有し、コア部のクラッド部に対する屈折率差 $\Delta 1$ を 0.7% と大きくした Sample.6 をシミュレーションにより検討した。コア径及びコア部と空孔との間の距離は、コア径 = $7 \mu\text{m}$ 、内側に位置する空孔 3 a の中心とコア中心との距離 $L_1 = 9 \mu\text{m}$ 、外側に位置する空孔 3 b の中心とコア中心との距離 $L_2 = 23 \mu\text{m}$ とした。本検討における空孔部の直径 d (すなわち空孔径) は $9.0 \mu\text{m}$ 、ファイバ外径は $80 \mu\text{m}$ であり、光ファイバ断面積に対する 12 個の空孔 3 の総断面積比は 15.18% である。この検討結果を表 3 に示す。

【0084】

【表 3】

	$\Delta 1$	d	カットオフ 波長	Macro- bending loss $r=7.5\text{mm}$	Macro- bending loss $r=5\text{mm}$	MFD
				@1550nm	@1550nm	@1550nm
	%	μm	nm	dB/m	dB/m	μm
sample.6	0.7	9	1470	$<10^{-7}$	$<10^{-5}$	6.47

【0085】

表 3 に示すように、カットオフ波長は、 1470 nm であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯域 ($1530 \sim 1565 \text{ nm}$) においてシングルモード動作する。MFD は上記 Sample.1 ~ 5 と比較して若干小さいが、波長 1550 nm 、曲率半径 5 mm の曲げにおいても $1 \times 10^{-5} \text{ dB/m}$ 以下であり、非常に曲げ損失は小さい。

【0086】

[ファイバ例 4 - 4]

図 4 に示すファイバ例 4 - 1 のサンプル例に対し、空孔位置及び空孔径を変えた Sample.7、8 をシミュレーションにより検討した。コア径及びコア部と空孔との間の距離は、コア径 = $7.4 \mu\text{m}$ 、内側に位置する空孔 3 a の中心とコア中心との距離 $L_1 = 11 \mu\text{m}$ 、外側に位置する空孔 3 b の中心とコア中心との距離 $L_2 = 22 \mu\text{m}$ とした。本検討における空孔部の直径 d (すなわち空孔径) は $9.3 \mu\text{m}$ 、ファイバ外径は $80 \mu\text{m}$ であり、光ファイバ断面積に対する 12 個の空孔 3 の総断面積比は 16.20% である。この検討結果を表 4 に示す。

【0087】

【表 4】

	$\Delta 1$	d	カットオフ 波長	Macro- bending loss $r=7.5\text{mm}$	MFD
				@1550nm	@1550nm
	%	μm	nm	dB/m	μm
sample.7	0.42	9.3	1490	0.0082	8.3
sample.8	0.43	9.3	1500	0.0095	8.29

【0088】

カットオフ波長は 1500 nm 以下であり、曲げ損失も十分に小さく、波長 $1.55 \mu\text{m}$

m帯域(1530~1565nm)での耐曲げ対応ファイバとして十分に機能する特性を有する。そしてまたMFDは8.0μm以上であり、一般的なシングルモードファイバとの接続を考えた場合、MFDミスマッチが非常に小さく、低損失でのメカニカル接続が可能である。また、MFDを拡大したことで上記ファイバ例4-1に対して非線形性を大幅に抑制することができる。

【0089】

[ファイバ例4-5]

図4に示される微細構造を有する第1クラッド部2に、純粋なシリカガラスに対する比屈折率差が-0.1%となるようにフッ素をドーブし、コア部1の第2クラッド部4に対する比屈折率差が0.42%になるようゲルマニウムのドーブ量を調整した光ファイバを作製した。この場合も上記ファイバ例4-1のSample.1とカットオフ波長、MFD、曲げ損失がほとんど変わらないことを確認した。

【0090】

[ファイバ例5-1]

図5はファイバ例5-1の光ファイバの横断面図である。図5において光ファイバ50は、光ファイバ10と同様にコア部1と、このコア部1の周囲に層状に形成された第1クラッド部2と、この第1クラッド部2の周囲に層状に形成された第2クラッド部4とを有している。第1クラッド部2には、微細構造部として空孔3が多数形成されている。コア部1は、ゲルマニウムがドーブされたシリカガラスにて作製されている。ここで作製した2通りの光ファイバにおける、コア部1の純粋なシリカガラスに対する比屈折率差はそれぞれ0.42%、0.45%であり、コア径は7.4μmである。一方、第1クラッド部2の空孔3以外の部分および第2クラッド部4は、純粋なシリカガラスにて作製されている。複数の空孔3は、光ファイバ50の長手中心軸方向に平行に貫通している。また、空孔3の断面形状の長手中心軸方向の変化率は、面積比5%以下である。また、光ファイバ断面積に対する12個の空孔3の総断面積比は5.7%である。

【0091】

ここで、第1クラッド部2に配置される複数の空孔3の断面形状は、ほぼ真円である。図5において、第1クラッド部2の内側の内部領域に配置される、比較的断面積の小さな空孔部3aの直径をd1、第1クラッド部2の外側の内部領域に含まれる比較的断面積の大きな空孔部3bの直径をd2とすると、それぞれ、 $d1 = 3\mu\text{m}$ 、 $d2 = 7.2\mu\text{m}$ である。また各々同径の空孔部は同一円周上に配置され、比較的断面積の小さな空孔中心部とファイバ断面中心部との距離をL1とすると $L1 = 6\mu\text{m}$ 、また、これらの隣り合う位置に配置される空孔中心の間隔は6μmである。また比較的断面積の大きな空孔中心部とファイバ断面中心部との距離をL2とすると $L2 = 13.15\mu\text{m}$ であり、これらの隣り合う位置に配置される各空孔中心の間隔は13.15μmである。また、各々同一径を有する空孔部は、それぞれファイバ断面中心に対して6回回転対称に配置される。そして最も近くに配置される比較的断面積の小さな空孔部(6つの空孔3a)と比較的断面積の大きな空孔部(6つの空孔3b)との位置は、ファイバ断面中心と第1クラッド部2の内側の内部領域に配置される空孔中心部(空孔3aの横断面の中心)とを結ぶ直線と、ファイバ断面中心と第1クラッド部2の外側の内部領域に配置される空孔中心部(空孔3bの横断面の中心)とを結ぶ直線とが30度の角度を成す。この光ファイバ50の作製方法はファイバ例1-1と同様であり、実際に作製したSample.9及びSample.10の特性を表5に示す。

【0092】

10

20

30

40

【表 5】

	$\Delta 1$	カットオフ 波長	Macro- bending loss r=7.5mm	Macro- bending loss r=5mm	MFD
			@1550nm	@1550nm	@1550nm
	%	nm	dB/m	dB/m	μm
sample.9	0.42	1380	0.013	0.0706	7.04
sample.10	0.45	1400	0.0066	0.0386	7.01

10

【0093】

カットオフ波長は、それぞれ1380nm及び1400nmであり、波長1.55 μm 帯域(1530~1565nm)においてシングルモード動作する。波長1550nmにおけるMFDは7.0 μm 以上であり、一般的なSMFとのメカニカル接続において、その接続損失は小さい。また、光ファイバ内で生じる非線形現象も小さく抑えられる。波長1550nm、曲率半径7.5mmにおけるマクロベンディングロス 0.1dB/m 以下であり、小径曲げ環境に十分適したファイバであるといえる。また、上述したようにこの光ファイバ50の空孔3a及び3bの横断面配置形状はそれぞれ6回回転対称であり、偏波モード分散は $0.3\text{ps/km}^{1/2}$ 以下の値が得られた。

20

【0094】

上述のファイバ例1~5にて使用した光ファイバに対し、ファイバ両端を加熱することでクラッド部分を溶かし、空孔部分を潰して、隔壁を設けた。また、同様にファイバ長手の任意位置の空孔に対し選択的に加熱することによっても隔壁を設けた。これにより、空孔内部への汚染物質等の浸入を防ぐことができる。

【0095】

[ファイバ接続例]

ファイバ例1-1の図1により示した波長1550nmでのMFDが約7~8 μm の光ファイバ10と、波長1550nmでのMFDが10.4 μm であるSMF(ITU規格G.652準拠の光ファイバ;以下、非接続光ファイバ60と呼ぶ。)とを以下の3つの方法によって接続した。そしてこれらの接続部における波長1550nmの光による接続損失を測定した。

30

【0096】

[接続例1]

図6は接続例1による光ファイバの接続方法を示す縦断面図である。本接続例においては、光ファイバ10の空孔3端部の空隙内に、屈折率整合剤13を充填した。その後、この屈折率整合剤13を充填した状態の光ファイバ10と被接続用光ファイバ60とを、各々のコア部1、61の中心軸が一致するように突合せて接続した。ここで、屈折率整合剤13は、波長1550nmの光に対する屈折率が約1.44である粘性が高いグリスである。

40

【0097】

このように光ファイバ10の空孔3内に屈折率整合剤13を充填することによって、光ファイバ10の端部において、第1クラッド部2の屈折率が第2クラッド部4の屈折率に近づく。これにより光ファイバ10のMFDが広がり、被接続用光ファイバ60のMFDの値に近づく。また、ファイバ接続端部においてクラッド部の屈折率がほぼ一樣になるため、フレネル反射による接続損失も抑えることができる。ここで、光ファイバ接続端部における、接続損失を測定してみたところ 0.1dB 以下であった。

【0098】

[接続例2]

図7は接続例2による光ファイバの接続方法を示す縦断面図である。本接続例において

50

は、光ファイバ10の端部の空孔3が熱によって潰されて、被接続用光ファイバ60と、コア部1、61の中心軸が一致するように突合せて接続した。

【0099】

空孔3が潰されることによって閉塞部16が形成され、光ファイバ10端部の第1クラッド部2の屈折率が第2クラッド部4の屈折率とほぼ等しくなる。そのため、接続例1と同様な効果が得られた。光ファイバ端部に対し何も処理をせずに突合せ接続をした場合に比べ、接続損失が幾らか低減した。上記接続例2による光ファイバ接続端部と同様に接続損失を測定してみたところ0.1dB以下であった。

【0100】

[接続例3]

接続例2に示されるように光ファイバ10の端部の空孔を潰しつつ、被接続用光ファイバ60と融着により接続を行った。融着条件に関して、急激に強いパワーで放電すると空孔が膨張し、時には破裂して、融着部に大きな空洞や欠損部分が生じてしまう。そのため、本接続例においては、放電強度をかなり弱く、放電時間を長めに設定して、空孔を徐々に潰して融着を行った。

【0101】

ここで、接続部における屈折率分布は、上記接続例と同様にほぼ一様になった。そして接続部におけるMFDは大きくなり、被接続用光ファイバのMFDに近づいた。また、融着することにより、双方の光ファイバのコア部に夫々ドーブされたゲルマニウムが相互に拡散するため、上記接続例1、2に比べ、接続部における両光ファイバMFDは互いに近づき結果となり接続損失はさらに小さくなった。上記接続例と同様に、上記接続例3によるファイバ接続端部の接続損失を測定してみたところ0.05dB以下であった。

【0102】

[ファイバ使用例]

図8は本実施例にかかる光ファイバを導波路として使用した例を示す系統図である。図8において、[ファイバ例1]にて示した光ファイバ10は、前端と後端の両接続部C1、C2に、それぞれ格G.652の幹線系の光ファイバ70、70が接続されている。本使用例は、障害物100によって系統の2箇所にて直角に曲がらなければならない場合を想定している。2箇所の屈曲部A、Bは、それぞれ曲率半径5mmに曲げられている。

【0103】

図8に示される系統を幹線系の光ファイバ70のみを使用して敷設した場合、屈曲部A、Bの2箇所で約10dBと大きな曲げ損失が生じ、幹線系トータルでの伝送損失が非常に大きくなってしまった。

【0104】

しかしながら、図8に示されるように障害物100に上述の光ファイバ10を使用したところ、屈曲部A、Bに生じる曲げ損失は非常に小さく抑えられ、この場合その損失は0.1dB以下であった。また、光ファイバ10のMFDは従来の空孔を有する曲げに強い光ファイバよりも大きく、上記接続例の手段を用いれば、接続部1箇所に生じる損失は0.1dB以下であった。以上を考慮すると、幹線系ファイバのみを敷設した場合に比べ、幹線系トータルでの伝送損失を非常に小さく抑えることができた。

【0105】

以上のように、本発明にかかる光ファイバおよび導波路は、引き回し時に屈曲部が形成される系統の光ファイバケーブルに用いられて有用なものであり、特にオフィスや家庭あるいはマンションへの光ファイバケーブルの導入時等に用いられるドロップ光ファイバケーブル、インドア光ファイバケーブル、及び宅内配線用光ファイバケーブル等の光ファイバケーブルに最適なものである。

【産業上の利用可能性】

【0106】

以上のように、本発明にかかる光ファイバおよび導波路は、SMFに接続する際に生じる接続損失の低減と曲率半径の小さい屈曲部が形成された際に生じる曲げ損失の低減との

10

20

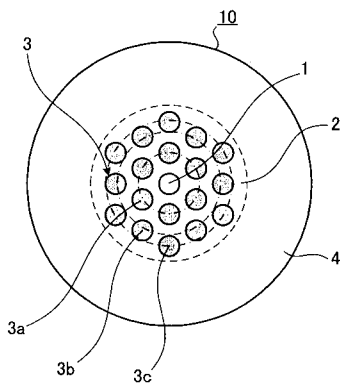
30

40

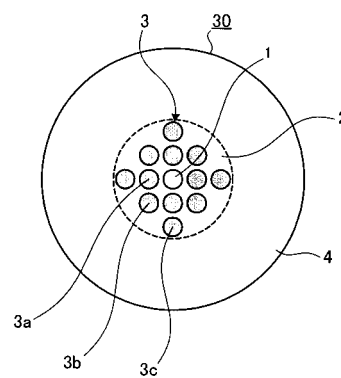
50

両立に有用であり、特に、オフィスや家庭或いはマンションへの光ファイバケーブルの導入時等に用いられるドロップ光ファイバケーブル、インドア光ファイバケーブル、及び宅内配線用光ファイバケーブル等の各種光ファイバケーブルおよびこれを用いて形成される導波路に適している。

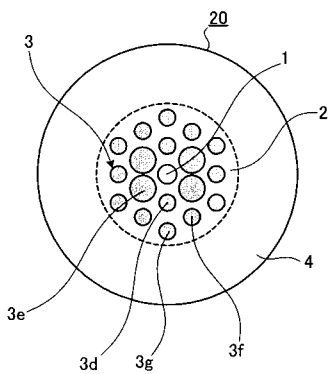
【図1】



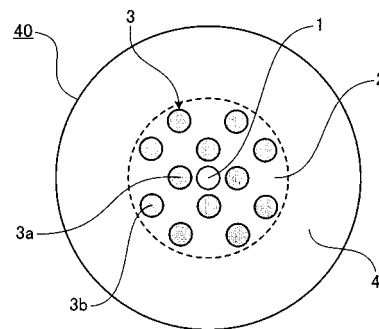
【図3】



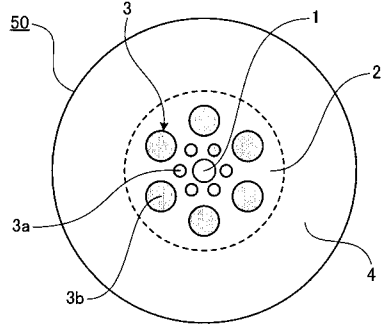
【図2】



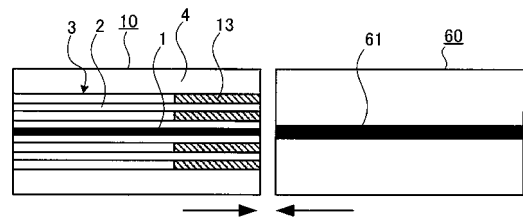
【図4】



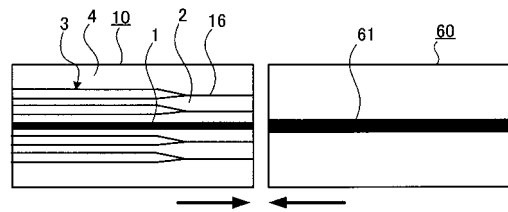
【 図 5 】



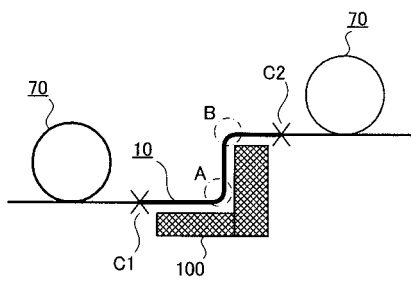
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-226541(JP,A)

特開2004-347817(JP,A)

特開2005-062850(JP,A)

特開2002-323625(JP,A)

Takemi Hasegawa, Eisuke Sasaoka, Masashi Onishi, Masayuki Nishimura, Yasuhide Tsuji, Masanori Koshiba, Novel hole-assisted lightguide fiber exhibiting large anomalous dispersion and low loss below 1dB/km, Optical Fiber Communication Conference and Exhibit2001 (OFC 2001), 2001年 3月17日, vol.4, PD5-1 ~ PD5-3

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/00- 6/54