

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6035780号
(P6035780)

(45) 発行日 平成28年11月30日(2016.11.30)

(24) 登録日 平成28年11月11日(2016.11.11)

(51) Int.Cl. F 1
G O 2 B 6 / 0 3 6 (2006.01) G O 2 B 6 / 0 3 6 3 O 1

請求項の数 14 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2012-47010 (P2012-47010)	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成24年3月2日(2012.3.2)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2013-61620 (P2013-61620A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成25年4月4日(2013.4.4)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成27年1月22日(2015.1.22)		弁理士 長谷川 芳樹
(31) 優先権主張番号	特願2011-183860 (P2011-183860)	(74) 代理人	100113435
(32) 優先日	平成23年8月25日(2011.8.25)		弁理士 黒木 義樹
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(74) 代理人	100110582
			弁理士 柴田 昌聰
		(72) 発明者	平野 正晃
			神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電 気工業株式会社横浜製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、

前記コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、前記コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、前記コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、前記コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が0.05%以上0.2%以下であり、

実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径をMFDとしたとき、波長1550nmにおいて、 $k = 4A_{\text{eff}} / (\pi \text{MFD}^2)$ で示される k 値が1.08以上であり、波長分散が+19.0ps/nm/km以上+21.9ps/nm/km以下であり、モードフィールド径MFDが10.3 μm 以上13.0 μm 以下である、

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】

波長1550nmにおける実効断面積 A_{eff} が100 μm^2 以上である、

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】

波長1550nmにおける伝送損失が0.19dB/km以下である、

ことを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ。

【請求項4】

前記コア部は、平均濃度1000原子ppm以上のハロゲン元素が添加され、ドーパン

10

20

トとしての典型金属元素や遷移金属元素の平均濃度が0.01原子ppm以下である石英系ガラスからなる、

ことを特徴とする請求項3に記載の光ファイバ。

【請求項5】

前記コア部は、平均濃度0.01～50原子ppmのアルカリ金属元素が添加されていることを特徴とする請求項4に記載の光ファイバ。

【請求項6】

通常のシングルモード光ファイバとの接続損失が波長1550nmにおいて接続一箇所あたり0.4dB以下である

ことを特徴とする請求項1～5の何れか1項に記載の光ファイバ。

10

【請求項7】

直径220mmのマンドレルの周上に巻き付け張力0.4N以上で長さ10km以上を巻いたときの波長1550nmにおける伝送損失が0.19dB/km以下である

ことを特徴とする請求項1～6の何れか1項に記載の光ファイバ。

【請求項8】

$R = r_3 / r_2$ が1.0を超え5.4以下である、

ことを特徴とする請求項1～7の何れか1項に記載の光ファイバ。

【請求項9】

コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、

前記コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、前記コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、前記コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が1.0を超え5.4以下であり、前記コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が0.05%～0.2%であり、 $4.5 \mu\text{m} \leq r_3 \leq 7.0 \mu\text{m}$ であり、

20

前記コア部の中心から r_3 の3倍となる径方向位置 r_0 での屈折率 N_0 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{c2} が0.25%以上0.55%以下であり、屈折率 N_0 に対する最小値 N_1 の比屈折率差 Δ_{c1} が0.05%以上であり、

実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径をMFDとしたとき、波長1550nmにおいて、 $k = 4A_{\text{eff}} / (\pi \text{MFD}^2)$ で示される k 値が1.08以上であり、波長分散が $+19 \text{ps/nm/km}$ 以上であり、モードフィールド径MFDが $10.3 \mu\text{m}$ 以上である、

30

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項10】

$R = r_3 / r_2$ が1.0を超え6.0以下であり、

前記クラッド部が、屈折率 N_0 である第一のクラッド部と、その外周にあり屈折率 N_{02} である第二のクラッド部とから少なくともなり、 $N_0 < N_{02}$ であり、第一のクラッド部を基準とした第二のクラッド部の比屈折率差 Δd が0.05%以上である、

ことを特徴とする請求項1～7の何れか1項に記載の光ファイバ。

【請求項11】

$R = r_3 / r_2$ が1.2以上であることを特徴とする請求項8または10に記載の光ファイバ。

40

【請求項12】

コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、

前記コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、前記コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、前記コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が1.0を超え6.0以下であり、

前記コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が0.05%～0.20%であり、

$4.5 \mu\text{m} \leq r_3 \leq 7.0 \mu\text{m}$ であり、

前記コア部の中心から r_3 の3倍となる径方向位置 r_0 での屈折率 N_0 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{c2} が0.25%以上0.55%以下であり、屈折率 N_0 に対する最小値

50

N_1 の比屈折率差 Δ_{c1} が 0.05% 以上であり、

前記クラッド部が、屈折率 N_0 である第一のクラッド部と、その外周にあり屈折率 N_{02} である第二のクラッド部とから少なくともなり、 $N_0 < N_{02}$ であり、第一のクラッド部を基準とした第二のクラッド部の比屈折率差 Δd が 0.05% 以上であり、

実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径を MFD としたとき、波長 1550 nm において、 $k = 4A_{eff} / (\pi MFD^2)$ で示される k 値が 1.08 以上であり、波長分散が +19 ps/nm/km 以上であり、モードフィールド径 MFD が 10.3 μm 以上である、

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 13】

コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、

前記コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、前記コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、前記コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が 1.0 を超え 8.0 以下であり、

前記コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が 0.05% ~ 0.20% であり、

$4.5 \mu m \leq r_3 \leq 7.0 \mu m$ であり、

前記コア部の中心から r_3 の 3 倍となる径方向位置 r_0 での屈折率 N_0 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{c2} が 0.25% 以上 0.55% 以下であり、屈折率 N_0 に対する最小値 N_1 の比屈折率差 Δ_{c1} が 0.05% 以上であり、

前記クラッド部が、屈折率 N_0 である第一のクラッド部と、その外周にあり屈折率 N_{02} である第二のクラッド部とから少なくともなり、 $N_0 < N_{02}$ であり、第一のクラッド部を基準とした第二のクラッド部の比屈折率差 Δd が 0.8% 以上であり、

実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径を MFD としたとき、波長 1550 nm において、 $k = 4A_{eff} / (\pi MFD^2)$ で示される k 値が 1.08 以上であり、波長分散が +19 ps/nm/km 以上であり、モードフィールド径 MFD が 10.3 μm 以上である、

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 14】

$R = r_3 / r_2$ が 1.2 以上であることを特徴とする請求項 9、12、13 の何れか 1 項に記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバに関するものである。

【背景技術】

【0002】

光通信システムにおいては光信号雑音比 (OSNR: Optical Signal-to-NoiseRatio) の向上が求められている。特にデジタルコヒーレント受信方式を利用した通信方式においては OSNR の向上は重要である。OSNR を向上することによって、伝送信号を大容量化したり、光通信システムの伝送距離を長くしたり、中継器間の間隔を長くしたりすることが可能になり、光通信システムを高性能化することができる。

【0003】

OSNR の向上には、光伝送路として用いられる光ファイバの非線形性の低減と光伝送路での伝送損失の低減とが重要である。光ファイバ中で発生する非線形性を低減するには、光ファイバの実効断面積 A_{eff} を大きくし、光ファイバの波長分散の絶対値を大きくすれば良い。このような波長分散の絶対値が大きく実効断面積 A_{eff} が拡大された非分散シフト光ファイバが知られている (例えば特許文献 1, 2, 7)。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献 1】国際公開第 00/062106 号

10

20

30

40

50

【特許文献2】特開2005-202440号公報
【特許文献3】米国特許第6421489号明細書
【特許文献4】米国特許第6687441号明細書
【特許文献5】米国特許第7929818号明細書
【特許文献6】米国特許第7555187号明細書
【特許文献7】国際公開第2011/066063号

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】V. Curri, et al., IEEE Photon. Technol. Lett., vol.22, No.19, pp.1446-1448, 2010.

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、実効断面積 A_{eff} が拡大された非分散シフト光ファイバは、既に光伝送路として敷設されていたり伝送機器に使用されたりしている波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯で実効断面積 A_{eff} が $80\mu\text{m}^2$ 程度のITU-T G.652シリーズである通常のシングルモードファイバ(SMF)、ITU-T G.653シリーズである実効断面積 A_{eff} が $50\sim 80\mu\text{m}^2$ の分散シフトファイバ(DSF)およびITU-T G.655、G.656シリーズであるノンゼロ分散シフトファイバ(NZ-DSF)との接続損失が大きくなってしまい、結果としてOSNRを低くしてしまう場合があるという課題があった。なお、ITU-T G.652シリーズである通常の光ファイバとは、ケーブルカットオフ波長が波長 1260nm 以下であり、波長 1310nm におけるMFDの典型値が $8.6\sim 9.5\mu\text{m}$ であり、ゼロ分散波長が $1300\sim 1324\text{nm}$ であり、ゼロ分散波長における分散スロープが $0.093\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であるような光学特性を少なくとも有する。

20

【0007】

特許文献3には、実効断面積 A_{eff} が大きくモードフィールド径MFDが小さい光ファイバの例がTable-1に開示されている。しかし、この光ファイバは、零分散波長が $1508\sim 1570\text{nm}$ という分散シフトファイバであることから、波長分散の絶対値が小さく、非線形現象が発生しやすい。また、この光ファイバは、曲げ損失(特にマイクロベンドロス)に弱くなると予測され、加えて、カットオフ波長が 1857nm 以上と非常に長いという問題がある。

30

【0008】

特許文献4には、実効断面積 A_{eff} が大きくモードフィールド径MFDが小さい光ファイバの例がTable-1に開示されている。しかし、この光ファイバは、零分散波長が $1472\sim 1579\text{nm}$ という分散シフトファイバである。また、この光ファイバは、中心にボイドを含むことから、製造性が悪く、伝送損失が高いことも予測される。加えて、この光ファイバは、他の光ファイバとの融着接続の際にボイドが潰れて導波構造が変化することによって接続損失が大きくなることも容易に予想される。

【0009】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、光通信システムの光伝送路として好適に用いられOSNRの向上が可能な光ファイバを提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の光ファイバは、コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径をMFDとしたとき、波長 1550nm において、 $k = 4A_{eff}/(\pi MFD^2)$ で示される k 値が 1.08 以上であり、波長分散が $+19.0\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 以上 $+21.9\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 以下であり、モードフィールド径MFDが $10.3\mu\text{m}$ 以上 $13.0\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

【0011】

本発明の光ファイバでは、波長 1550nm における実効断面積 A_{eff} が $100\mu\text{m}^2$ 以

50

上であるのが好適である。波長1550nmにおける伝送損失が0.19dB/km以下であるのが好適である。コア部は、平均濃度1000原子ppm以上のハロゲン元素が添加され、ドーパントとしての典型金属元素や遷移金属元素の平均濃度が0.01原子ppm以下である石英系ガラスからなるのが好適である。また、コア部は、平均濃度0.01~50原子ppmのアルカリ金属元素が添加されているのが好適である。

【0012】

本発明の光ファイバでは、通常のシングルモード光ファイバとの接続損失が波長1550nmにおいて接続一箇所あたり0.4dB以下であるのが好適である。直径220mmのマンドレルの周上に巻き付け張力0.4N以上で長さ10km以上を巻いたときの波長1550nmにおける伝送損失が0.19dB/km以下であるのが好適である。コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が1.0を超え5.4以下であり、コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が0.05%以上であるのが好適である。また、比屈折率差 Δ_{12} が0.2%以下であるのが好適である。

【0013】

本発明の光ファイバは、コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が1.0を超え5.4以下であり、コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が0.05%~0.2%であり、 $4.5 \mu\text{m} \leq r_3 \leq 7.0 \mu\text{m}$ であり、コア部の中心から r_3 の3倍となる径方向位置 r_0 での屈折率 N_0 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{c2} が0.25%以上0.55%以下であり、屈折率 N_0 に対する最小値 N_1 の比屈折率差 Δ_{c1} が0.05%以上であり、実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径をMFDとしたとき、波長1550nmにおいて、 $k = 4A_{\text{eff}} / (\pi \text{MFD}^2)$ で示される k 値が1.08以上であり、波長分散が+19ps/nm/km以上であり、モードフィールド径MFDが10.3μm以上であることを特徴とする。

【0014】

本発明の光ファイバは、コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が1.0を超え6.0以下であり、コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が0.05%以上であり、クラッド部が、屈折率 N_0 である第一のクラッド部と、その外周にあり屈折率 N_{02} である第二のクラッド部とから少なくともなり、 $N_0 < N_{02}$ であり、第一のクラッド部を基準とした第二のクラッド部の比屈折率差 Δd が0.05%以上であるのが好適である。

【0015】

本発明の光ファイバは、 $R = r_3 / r_2$ が1.0を超え8.0以下であり、 Δd が0.08%以上であるのが好適である。 $R = r_3 / r_2$ が1.2以上であるのも好適である。また、比屈折率差 Δ_{12} が0.2%以下であるのも好適である。

【0016】

本発明の光ファイバは、コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が1.0を超え6.0以下であり、コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が0.05%~0.20%であり、 $4.5 \mu\text{m} \leq r_3 \leq 7.0 \mu\text{m}$ であり、コア部の中心から r_3 の3倍となる径方向位置 r_0 での屈折率 N_0 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{c2} が0.25%以上0.55%以下であり、屈折率 N_0 に対する最小値 N_1 の比屈折率差 Δ_{c1} が0.05%以上であり、クラッド部が、屈折率 N_0 である第一のクラッド部と、その外周にあり屈折率 N_{02} である第二のクラッド

部とから少なくともとなり、 $N_0 < N_{02}$ であり、第一のクラッド部を基準とした第二のクラッド部の比屈折率差 Δd が 0.05% 以上であり、実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径を MFD としたとき、波長 1550 nm において、 $k = 4A_{eff} / (\pi MFD^2)$ で示される k 値が 1.08 以上であり、波長分散が $+19 \text{ ps/nm/km}$ 以上であり、モードフィールド径 MFD が $10.3 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

【0017】

本発明の光ファイバは、コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、コア部の半径を r_3 としたときに、 $r_1 < r_2 < r_3$ であり、 $R = r_3 / r_2$ が 1.0 を超え 8.0 以下であり、コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} が 0.05% ~ 0.20% であり、 $4.5 \mu\text{m} \leq r_3 \leq 7.0 \mu\text{m}$ であり、コア部の中心から r_3 の 3 倍となる径方向位置 r_0 での屈折率 N_0 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{c2} が 0.25% 以上 0.55% 以下であり、屈折率 N_0 に対する最小値 N_1 の比屈折率差 Δ_{c1} が 0.05% 以上であり、クラッド部が、屈折率 N_0 である第一のクラッド部と、その外周にあり屈折率 N_{02} である第二のクラッド部とから少なくともとなり、 $N_0 < N_{02}$ であり、第一のクラッド部を基準とした第二のクラッド部の比屈折率差 Δd が 0.8% 以上であり、実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径を MFD としたとき、波長 1550 nm において、 $k = 4A_{eff} / (\pi MFD^2)$ で示される k 値が 1.08 以上であり、波長分散が $+19 \text{ ps/nm/km}$ 以上であり、モードフィールド径 MFD が $10.3 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

【0018】

本発明の光ファイバは、 $R = r_3 / r_2$ が 1.2 以上であるのが好適である。

【発明の効果】

【0019】

本発明の光ファイバは光通信システムの光伝送路として好適に用いられ O S N R の向上が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図 1】 光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 2】 光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 3】 光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 4】 Δ_{12} と k 値との関係を示すグラフである。

【図 5】 $R = r_3 / r_2$ と k 値との関係を示すグラフである。

【図 6】 光ファイバのモードフィールド径 MFD と接続損失との関係を示すグラフである。

【図 7】 光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 8】 光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 9】 実施例 1 ~ 5 の各光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 10】 実施例 6 ~ 10 の各光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

【図 11】 実施例 1 ~ 5 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 12】 実施例 1 ~ 5 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 13】 実施例 1 ~ 5 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 14】 実施例 1 ~ 5 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 15】 実施例 6 ~ 10 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 16】 実施例 6 ~ 10 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 17】 実施例 6 ~ 10 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 18】 実施例 6 ~ 10 の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【図 19】 $R = r_3 / r_2$ と k 値との関係を示すグラフである。

【図 20】 $R = r_3 / r_2$ と k 値との関係を示すグラフである。

【図 21】 $A_{eff} = 135 \mu\text{m}^2$ となる際の、 $R = r_3 / r_2$ とコア部の半径 r_3 、 Δ_{c2} 、波長 1550 nm における MFD との関係を示す図表である。

10

20

30

40

50

【図 2 2】 Δd と k 値との関係を示すグラフである。

【図 2 3】 Δd と R との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0022】

本実施形態の光ファイバは、コア部およびクラッド部を有する光ファイバであって、実効断面積を A_{eff} とし、モードフィールド径を MFD としたとき、波長 1550 nm において、 $k = 4A_{eff}/(\pi MFD^2)$ で示される k 値が 1.08 以上であり、波長分散が $+19.0\text{ ps/nm/km}$ 以上 $+21.9\text{ ps/nm/km}$ 以下であり、モードフィールド径 MFD が $10.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $13.0\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

10

【0023】

光ファイバ中で発生する非線形現象を小さくするよう実効断面積 A_{eff} を例えば波長 1550 nm において $100\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上に大きくした場合、同時にモードフィールド径 MFD も大きくなるので、このような光ファイバと $SSMF$ (A_{eff} は $80\text{ }\mu\text{m}^2$ 程度) との接続損失が大きくなってしまふ。接続損失の分だけ、光アンプや受光器に入射される光の強度が小さくなるので、光伝送システムの $OSNR$ が劣化してしまうという問題がある。

【0024】

そこで、光ファイバの実効断面積 A_{eff} を大きくする一方でモードフィールド径 MFD を比較的小さくすることにより、その光ファイバと他の光ファイバとの接続損失を低減することが可能である。すなわち、 $k = 4A_{eff}/(\pi MFD^2)$ の式で示される k 値を大きくすれば良い。 k 値が大きい場合、同一のモードフィールド径 MFD であっても実効断面積 A_{eff} を大きくすることが可能となる。

20

【0025】

$SSMF$ のコア構造は、中心部の屈折率が最も高いステップ形状や、 α 乗形状を有する。この $SSMF$ の k 値は一般的には 1.0 程度である。例えば、コア部の屈折率プロファイルが $\alpha = 4$ 程度で近似することのできる $SSMF$ は、波長 1550 nm において、実効断面積 A_{eff} が $85\text{ }\mu\text{m}^2$ であり、モードフィールド径 MFD が 10.5 程度であって、 k 値が 0.982 となる。これは非線形性を低減するために実効断面積 A_{eff} が拡大された光ファイバでも同様であり、例えば、特許文献 5 に開示されている W 型構造の光ファイバでは k 値は $0.987 \sim 1.047$ の範囲であり、また、特許文献 6 に開示されているトレンチ構造の光ファイバでは k 値は $0.967 \sim 1.011$ の範囲である。

30

【0026】

したがって、 k 値を 1.08 以上に大きくすると、同じモードフィールド径 MFD であっても、 k 値が 0.982 の光ファイバと比較した場合に実効断面積 A_{eff} を 10% 大きくすることが可能である。このことから、接続損失を小さく保ちつつ、光ファイバの非線形性を効率的に低減することが可能となる。 k 値は大きい方が好ましく、例えば 1.10 以上であると更に好ましい。

【0027】

k 値が大きい光ファイバを実現するために、光ファイバのコア部は以下のような屈折率プロファイルを有するのが好ましい。すなわち、図 1 に示されるように、コア部の中心軸からの径方向距離を r として、コア部において屈折率が最小値 N_1 となる径方向位置を r_1 とし、コア部において屈折率が最大値 N_2 となる径方向位置を r_2 とし、コア部の半径を r_3 とする。このとき、 $r_1 < r_2 < r_3$ である。また、 $R = r_3/r_2$ を 1.0 を超え 5.4 以下とし、コア部における屈折率の最小値 N_1 に対する最大値 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} を $0.05\% \sim 0.2\%$ とする。

40

【0028】

ここで、図 2 に示されるように、コア部の外径 r_3 は、径方向位置 r_3 における屈折率を N_3 としたときに $100 \times (N_2 - N_3)/N_2$ が 0.15% であるような位置である。

50

また、最小屈折率 N_1 に対する最大屈折率 N_2 の比屈折率差 Δ_{12} は下記(1)式で表される。

【数1】

$$\Delta_{12} = 100 \cdot \frac{N_2^2 - N_1^2}{2N_2^2} \approx 100 \cdot \frac{N_2 - N_1}{N_2} \quad \cdots(1)$$

【0029】

次に、光ファイバの k 値および構造パラメータの範囲について説明する。ここでは、図3に示されるような屈折率プロファイルを有する光ファイバについて数値計算を行った。この数値計算では、光ファイバは、石英系ガラスからなり、コア部が中実であり、各部がステップ構造を有する。コア部は、中心軸を含み屈折率が低い第一のコア部と、第一のコア部の周囲に存在して屈折率が高い第二のコア部とからなる。以下の図4～図5を用いた検討では、 $r_1 = 0$ とし、 r_2 は第一のコア部と第二のコア部の境界における値とした。

【0030】

クラッド部は、コア部の外周に接し屈折率が低い第一のクラッド部（外半径 r_{d1} ）と、第一のクラッド部の外部に存在して屈折率が高い第二のクラッド部とからなる。ここで、第一のクラッド部の屈折率を基準として、第二のコア部の比屈折率差を Δ_{c2} とし、第二のクラッド部の比屈折率差を $\Delta d = 0.04\%$ とする。また、第一のクラッド部の外半径 r_{d1} とコア部の半径 r_3 との比(r_{d1}/r_3)を3.3とする。このような光ファイバをモデルにして数値計算を行った。

【0031】

図4は、 Δ_{12} と k 値との関係を示すグラフである。ここでは、 $\Delta_{c2} = 0.25\%$ 及び 0.30% とし、 $R = r_3/r_2 = 2.0$ とし、また、ファイバカットオフ波長が 1500nm となるようにした。同図に示されるように、 $\Delta_{c2} = 0.25\%$ では、 Δ_{12} が 0.05% 以上であれば k 値が 1.08 以上になるので好ましい。また、 Δ_{12} が 0.07% 以上であれば k 値が 1.10 以上になり、更に Δ_{12} が 0.11% 以上であれば k 値が 1.15 以上になり、更に好ましい。 $\Delta_{c2} = 0.30\%$ では、 Δ_{12} が 0.05% 以上であれば k 値が 1.07 以上になる。 Δ_{12} が 0.07% 以上であれば k 値が 1.08 以上になるので好ましい。 Δ_{12} が 0.11% 以上であれば k 値が 1.12 以上になり、更に好ましい。また、コア部において大きな屈折率分布が存在すると構造不整によって伝送損失が大きくなってしまうので、 Δ_{12} は 0.2% 以下であって、コア部の屈折率は第二のクラッド部の屈折率より高いことが望ましい。また、 Δ_{12} が 0.2% 以下であり、 $\Delta_{c2} = 0.25\%$ の場合には、 k 値の最大値は 1.29 となる。

【0032】

図5は、 $R = r_3/r_2$ と k 値との関係を示すグラフである。ここでは、 $\Delta_{c2} = 0.25\%$ 及び 0.30% とし、 $\Delta_{12} = 0.20\%$ とし、また、ファイバカットオフ波長が 1500nm となるようにした。同図に示されるように、 $\Delta_{c2} = 0.25\%$ では、 R が 5.4 以下であれば k 値が 1.08 以上になるので好ましい。また、 R が 4.4 以下であれば k 値が 1.10 以上になり、更に R が 3.2 以下であれば k 値が 1.15 以上になり、更に好ましい。 $\Delta_{c2} = 0.30\%$ では、 R が 5.4 以下であれば k 値が 1.07 以上になる。また、 R が 4.4 以下であれば k 値が 1.09 以上になり好ましい。更に R が 3.2 以下であれば k 値が 1.13 以上になり、更に好ましい。

【0033】

図19は、 $R = r_3/r_2$ と k 値との関係を示すグラフである。ここでは、 $\Delta_{12} = 0.20\%$ とし、また、 $\Delta d = 0.10\%$ とし、 $r_{d1}/r_3 = 3.3$ とした際の、ファイバカットオフ波長が 1500nm 、波長 1550nm における A_{eff} が $135\mu\text{m}^2$ となるように Δ_{c2} を決めた。なお、 $R = 1$ のときは、コア部は凹みのないステップ形状であることを意味する。同図の通り、 $R = r_3/r_2$ が 1.3 から 4.0 程度の範囲は、 R が $1 \sim 1.3$ および 5.0 以上の範囲と比較して k 値が顕著に大きくなるため、特に好ましい。

【0034】

10

20

30

40

50

図20は、 $R = r_3 / r_2$ と k 値との関係を示すグラフである。ここでは、 $\Delta_{12} = 0.10\%$ とし、また、 $\Delta d = 0.10\%$ とし、 $r_{d1} / r_3 = 3.3$ とした際の、ファイバカットオフ波長が 1500 nm 、波長 1550 nm における A_{eff} が $135\text{ }\mu\text{m}^2$ となるように Δ_{c2} を決めた。 $\Delta_{12} = 0.20\%$ である図19と比較すると、 $\Delta_{12} = 0.10\%$ である図20の場合には k 値は小さくなってしまふ。しかし、図19の場合と同様に R が1.3から4.0程度の範囲においては、 R が1～1.3および5.0以上の範囲と比較して k 値が顕著に大きくなるため、最も好ましい。

【0035】

また、 $A_{\text{eff}} = 135\text{ }\mu\text{m}^2$ となる際の、 $R = r_3 / r_2$ とコア部の半径 r_3 、 Δ_{c2} 、波長 1550 nm におけるMFDとの関係を図21に表でまとめた。図21は、図19および図20のグラフを表にしたものである。

10

【0036】

図19、図20に示したとおり、 $R = 2$ 付近で k 値は極大値となるが、図3のような屈折率プロファイルである光ファイバにおいて、第一のクラッド部の屈折率を基準とした第二のクラッド部の比屈折率差 Δd と、 $R = 2$ の際の k 値との関係を図22に示す。この時、 $r_{d1} / r_3 = 3.5$ 、 Δ_{12} は 0.20% とし、ケーブルカットオフ波長が 1500 nm （ファイバカットオフ波長は 1620 nm 程度）、波長 1550 nm における A_{eff} が $143\text{ }\mu\text{m}^2$ となるようにした。図22の通り、いずれの場合でも k 値は 1.10 以上である。また、 Δd が 0.05% 程度以上であるような場合には、 k 値は 1.20 以上となり、特に好ましい。また、 Δd が 0.08% 程度以上であれば k 値は 1.24 程度という非常に大きな値でほぼ一定となるため、非常に好ましい。

20

【0037】

R が2程度以上では、 R が大きいほど、 k 値は小さくなる。そこで、 Δd と、 k 値が 1.08 、 1.10 、 1.20 となる際の $R = r_3 / r_2$ との関係を図23に示す。ただし、 $R > 2$ である。この時、図22の場合と同様に、 $r_{d1} / r_3 = 3.5$ 、 Δ_{12} は 0.20% とし、ケーブルカットオフ波長が 1500 nm （ファイバカットオフ波長は 1620 nm 程度）、波長 1550 nm における A_{eff} が $143\text{ }\mu\text{m}^2$ となるようにした。図23からわかるように、 Δd が低いほど k 値が大きくなる R は小さくなる。例えば、 $\Delta d = 0.04\%$ の際には、 R が 5.4 以下の時に k 値が 1.08 以上となり得る。また、 Δd が 0.05% 以上の時には、 R が 6 以下であれば、 k 値が 1.08 以上となり得るため、好ましい。特に、 Δd が 0.05% 以上の時には、 R が 2 以上 3 以下の範囲で k 値が 1.20 以上となり得るため、更に好ましい。 r_{d1} / r_3 は $2.5 \sim 4.0$ の範囲であれば、図22、図23に示した $r_{d1} / r_3 = 3.5$ の場合と伝送特性に大きな差異は無く、好ましい。

30

【0038】

次に、光ファイバのモードフィールド径MFDの上限について説明する。第1の光ファイバのモードフィールド径MFDを W_1 とし、第2の光ファイバのモードフィールド径MFDを W_2 として、これら第1の光ファイバと第2の光ファイバとを融着接続したときに、両光ファイバのモードフィールド径MFDの不整合に因り生じる接続損失は下記(2)式で見積もることができる。したがって、2本の光ファイバを互いに融着接続すると、両光ファイバのモードフィールド径MFDの差が大きいほど、接続損失が大きい。

40

【数2】

$$\text{接続損失}[dB] = 10 \cdot \log \left[\left(\frac{2W_1W_2}{W_1^2 + W_2^2} \right)^2 \right] \quad \cdots(2)$$

【0039】

図6は、光ファイバのモードフィールド径MFDと接続損失との関係を示すグラフである。ここでは、第2の光ファイバは、モードフィールド径MFDが $10.5\text{ }\mu\text{m}$ であるSSMF（ $A_{\text{eff}} = 85\text{ }\mu\text{m}^2$ 、 k 値 $= 0.982$ ）、および、モードフィールド径MFDが $9.6\text{ }\mu\text{m}$ であるNZDSF（ $A_{\text{eff}} = 71\text{ }\mu\text{m}^2$ 、 k 値 $= 0.981$ ）とした。そして、第1の光フ

50

ファイバのモードフィールド径MFDの各値について上記（２）式により接続損失を計算した。

【００４０】

接続損失は、低い方が好ましく、例えば 0.4 dB/facet 以下であると良い。実際の接続では、上記（２）式で表されるモードフィールド径MFDの不整合に因る接続損失の他に、両光ファイバのコア軸の不一致や接続面でのファイバ曲がりなどに因る接続損失も生じて、全体の接続損失は上記（２）式より 0.2 dB 程度大きくなってしまう場合がある。したがって、両光ファイバのモードフィールド径MFDの不整合により計算される接続損失は、 0.2 dB/facet 以下であるとよく、図からSSMFとの融着接続を考慮した場合、波長 1550 nm におけるモードフィールド径MFDは $13\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが望ましい。また、モードフィールド径MFDがより小さいNZ-DSFとの融着接続を考慮した場合、波長 1550 nm におけるモードフィールド径MFDは $12\text{ }\mu\text{m}$ 以下であると、更に望ましい。

10

【００４１】

モードフィールド径MFDは大きい方が、実効断面積 A_{eff} が大きくなり、非線形現象を抑制することが可能であるので望ましい。 k 値が 1.21 である場合、モードフィールド径MFDが $10.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上であれば、実効断面積 A_{eff} が $100\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上となる。したがって、モードフィールド径MFDは $10.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることが望ましい。波長 1550 nm における実効断面積 A_{eff} は $110\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上（モードフィールド径MFDは $10.8\text{ }\mu\text{m}$ 以上）であると更に好ましく、実効断面積 A_{eff} は $120\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上（モードフィールド径MFDは $11.3\text{ }\mu\text{m}$ 以上）であるともっとも好ましい。

20

【００４２】

また、実効断面積 A_{eff} が拡大された光ファイバは曲げ損失が劣化してしまう問題があるが、例えば、図７に示されるようにコア部の外周に屈折率が低い領域を設けることで、曲げ損失を低減することが可能である。

【００４３】

次に、光ファイバの曲げ損失について説明する。

【００４４】

光ファイバの曲げ損失は小さい方が好ましい。例えば、 20 mm 直径で光ファイバを巻いた場合、波長 1550 nm における曲げ損失は、 100 dB/m 以下、好ましくは 20 dB/m 以下、更に好ましくは 10 dB/m 以下であると良い。 30 mm 直径で光ファイバを巻いた場合、曲げ損失値は小さくなるが、波長 1550 nm における曲げ損失は、 10 dB/m 以下、好ましくは 2 dB/m 以下、更に好ましくは 1 dB/m 以下であると良い。また、 60 mm 直径で光ファイバを巻いた場合、波長 1625 nm 以下の波長範囲における曲げ損失は、 0.01 dB/m 以下、好ましくは 0.005 dB/m 以下、更に好ましくは 0.002 dB/m 以下であると良い。

30

【００４５】

また、実効断面積 A_{eff} の拡大には、マイクロベンドロスの増加を伴う。通常、伝送用光ファイバのクラッドガラス部の外周には２層構造の被覆樹脂がコーティングされている。一般的に、２層構造のうち内側のプライマリ被覆樹脂のヤング率が低く、かつ、外側のセカンダリ被覆樹脂のヤング率が高い光ファイバの方が、マイクロベンドロスは低くなる。具体的には、プライマリ被覆樹脂のヤング率は、 $0.2\sim 2\text{ MPa}$ 、好ましくは $0.2\sim 1\text{ MPa}$ 、セカンダリ被覆樹脂のヤング率は、 $500\sim 2000\text{ MPa}$ 、より好ましくは $1000\text{ MPa}\sim 2000\text{ MPa}$ の範囲で選定されるのが好ましい。加えて、プライマリ被覆樹脂のガラス転移点が低いと、低い温度でもヤング率が上昇しないため、低温での光ファイバの損失増が小さくなる。実使用環境の温度よりも低いことが望ましく、具体的には $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下であると良い。また、 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下であると更に望ましい。セカンダリ被覆樹脂は $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上であって良い。

40

【００４６】

その他にマイクロベンドロスを低減する手段として、光ファイバのクラッドガラス径又

50

は被覆樹脂の外径を拡大する手法もあり、好適である。しかしながら、一般的に使用されている光ファイバ（ガラス径 $125\mu\text{m}$ 、被覆外径 $245\mu\text{m}$ ）との差が大きくなるので実用的でないという問題がある。クラッドガラスの外径として $123\sim 127\mu\text{m}$ 、被覆樹脂の外径として直径 $230\sim 260\mu\text{m}$ であって、マイクロベンドロスによる波長 1550nm における損失増加が $1\text{dB}/\text{km}$ 以下（実用化されている海底ケーブル用NZ-DSFと同程度）、好ましくは $0.6\text{dB}/\text{km}$ 以下（実用化されている海底ケーブル用非分散シフトファイバと同程度）、更に好ましくは $0.3\text{dB}/\text{km}$ 以下（SSMFと同程度）であると良い。ここでは、マイクロベンドロスは、直径 $50\mu\text{m}$ のワイヤーメッシュにより間隔 $100\mu\text{m}$ で表面を覆われた直径 400mm のポビンに、光ファイバを張力 0.8N で巻いた時の損失増加量で表す。

10

【0047】

光ファイバを巻きつけるマンドレルの径が大きければ印加される曲げが小さくなるので光ファイバを巻きつけた際の損失は小さくなるが、ポビン形状が大きくなりすぎるとあまり好ましくない。このような光ファイバであれば、直径 220mm のマンドレルの胴部に巻き付け張力 0.4N 以上（輸送によって巻き崩れなどの不具合が生じない張力）で長さ 10km 以上を巻いたとき、波長 1550nm における伝送損失が $0.19\text{dB}/\text{km}$ 以下、好ましくは $0.18\text{dB}/\text{km}$ 以下、更に好ましくは $0.17\text{dB}/\text{km}$ 以下となる。このように、長尺の光ファイバをポビンに巻き取った状態で伝送損失を保証することが可能となる。また、マンドレルの直径は 150mm 以上であると過剰な曲げ損失が発生せず好ましい。

20

【0048】

次に、光ファイバのその他の特性や構造について説明する。光ファイバにおける非線形現象の発現を抑制するには、光ファイバの波長分散が大きいが好ましい。これは、特に光通信システムにおいて波長分割多重（WDM: Wavelength Division multiplexing）伝送を行う場合に、光ファイバ伝送路を信号光が伝搬することで異なる信号光波長間で遅延時間差が発生することによりパルスーパルス干渉が低減したり、信号光パルスが波長分散によって時間軸上で広がることによりピークパワーが減少したりする効果などによる（例えば非特許文献1を参照）。

【0049】

SSMFは波長 1550nm において $+17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度の波長分散を有するので、波長 1550nm における波長分散は、それよりも 10% 大きくなるような $+19\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であると良い。また、石英系ガラスを用いた光ファイバであるので、波長 1550nm における波長分散は、石英系ガラスの材料分散特性と同等以下、すなわち $+21.9\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下であると良い。また、波長 1550nm における分散スロープは、 $+0.050\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以上 $+0.070\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下の範囲であると良い。

30

【0050】

クラッド部を基準（ただし、クラッド部が多層構造である場合には、コア部の半径 r_3 の3倍となる半径位置での屈折率を基準）としたとき、コア部の屈折率の最大値の比屈折率差 Δc_2 は $0.25\sim 0.55\%$ であると良い。コア部の半径 r_3 は $4.5\mu\text{m}$ 以上 $7.0\mu\text{m}$ 以下であると良い。この範囲であれば、波長 1550nm において、モードフィールド径MFDが $10.3\sim 13.0\mu\text{m}$ 、波長分散が $+19.0\sim +21.9\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ を満たすことができる。

40

【0051】

伝送損失が低い程、OSNRを改善することができる。したがって、波長 1550nm における伝送損失は、 $0.19\text{dB}/\text{km}$ よりも低いことが望ましく、更に望ましくは $0.18\text{dB}/\text{km}$ 以下、最も好ましくは $0.17\text{dB}/\text{km}$ 以下である。

【0052】

光ファイバのコア部は GeO_2 が添加された石英系ガラスであっても良いが、この場合の伝送損失は $0.175\sim 0.19\text{dB}/\text{km}$ 程度となる。より好ましくは、光ファイバの

50

コア部はC l やFなどのハロゲン元素が添加されGe、Alなどの典型金属元素やNi、Cuなどの遷移金属元素などのドーパントは0.01原子ppm以下の濃度である石英系ガラスであると良い。また、コア部にはK、Na、Rbなどのアルカリ金属元素が平均濃度0.01~50原子ppm以下で含まれていると良い。この場合、伝送損失を0.15~0.18dB/kmに低減することが可能となる。

【0053】

加えて、このようなコア部が実質的に純石英である純石英コアファイバの場合には、3次非線形屈折率 n_2 がGeO₂添加コアと比較して5~10%低い $2.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ 以下になり、好ましい。ここで、 n_2 は偏波状態がランダムである場合であり、入射した光波の偏波状態がランダムに結合するような、特に数km以上とファイバが長い場合には実効的な値である。具体的には、純石英コアファイバの n_2 値は $2.18 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ 程度である。

10

【0054】

波長1380nmにおける伝送損失は、0.8dB/km以下に低い方が好ましく、0.4dB/km以下であると更に良く、また0.3dB/km以下であると最も好ましい。偏波モード分散は0.2ps/√km以下であって良い。ケーブルカットオフ波長は、1520nm以下であると良く、ラマン増幅に用いるポンプ波長となる1450nm以下であると更に良い。

【0055】

光ファイバのコア部およびクラッド部それぞれは、屈折率構造を有しても良く、例えば図8に模式的に示されるプロファイルであってよいが、これに制限されることはない。

20

【0056】

以上のような本実施形態の光ファイバは、非線形性が低く、伝送損失が小さく、接続損失が小さい。この光ファイバで構築された光伝送システムは、OSNRの向上が可能であり、その性能を改善することが可能である。

【実施例1】

【0057】

次に、本発明の光ファイバの実施例1~10について説明する。実施例1~10の何れの光ファイバも、石英系ガラスで構成され、公知の方法で製造された。

【0058】

30

図9は、実施例1~5の各光ファイバの屈折率プロファイルを模式的に示す図である。実施例1~5の各光ファイバでは、コア部は、屈折率が低い第一のコア部と屈折率が高い第二のコア部とからなっていた。第一のコア部にはC l、Fおよび低濃度のGeO₂が添加され、第二のコア部にはC l、Fおよび高濃度のGeO₂が添加された。クラッド部も屈折率分布を有しており、屈折率が低い第一のクラッド部にはC lおよびFが添加され、屈折率が高い第二のクラッド部にはC lが添加された。

【0059】

図10は、実施例6~10の各光ファイバの屈折率プロファイルを模式的に示す図である。実施例6~10の各光ファイバでは、コア部は、屈折率が低い第一のコア部と屈折率が高い第二のコア部とからなっていた。第一のコア部には低濃度のC lおよびFが添加され、第二のコア部には高濃度のC lが添加された。クラッド部も屈折率分布を有しており、屈折率が低い第一のクラッド部にはC lおよび高濃度のFが添加され、屈折率が高い第二のクラッド部にはC lおよび低濃度のFが添加された。また、第一のコア部、第二のコア部および第一のクラッド部それぞれには、ごく低濃度のカリウムが添加され、コア部におけるカリウムの平均濃度は数原子ppm以下であった。

40

【0060】

実施例1~10の何れの光ファイバにおいても、クラッドガラス部の外径は124~126μm程度であった。プライマリ被覆部の外径は185~195μmであり、プライマリ被覆部のヤング率は0.3~0.6MPaであった。セカンダリ被覆部の外径は235~250μmであり、セカンダリ被覆部のヤング率は1200~1500MPaであった。

50

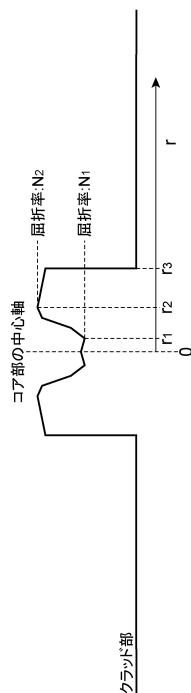
伝送損失の測定は、50 km程度の長さの光ファイバを、170 mm直径のマンドレルを有するポビンに0.5 N程度の巻取り張力で巻き取った状態で行った。接続損失の測定は、市販されている融着接続器を用い、コアアライメントで一般的なシングルモードファイバ同士の接続用のソフトによって行った。また、接続損失の測定に際しては、SSMF (MFD=10.5 μm 、 $A_{\text{eff}}=85 \mu\text{m}^2$ 、 k 値=0.982) およびNZ-DSF (MFD=9.6 μm 、 $A_{\text{eff}}=71 \mu\text{m}^2$ 、 k 値=0.981) それぞれと10回接続した際の最大値および最小値を求めた。

【0061】

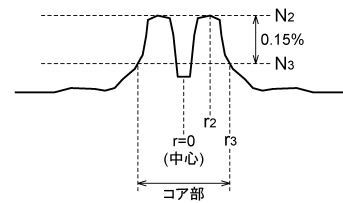
図11～図14は、実施例1～5の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。図15～図18は、実施例6～10の各光ファイバの諸元を纏めた図表である。これらの図から判

10

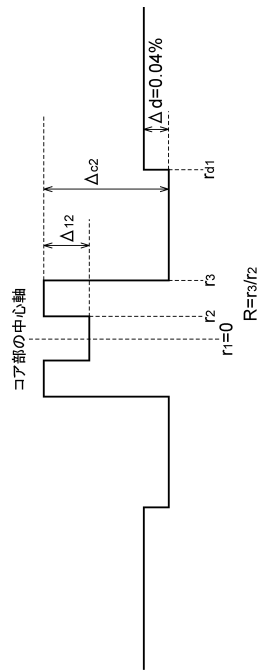
【図1】



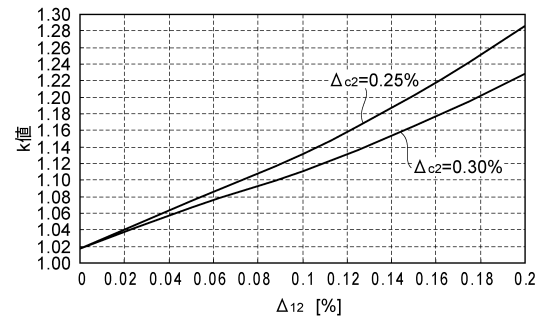
【図2】



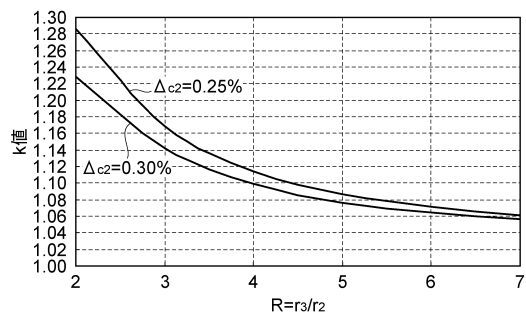
【図 3】



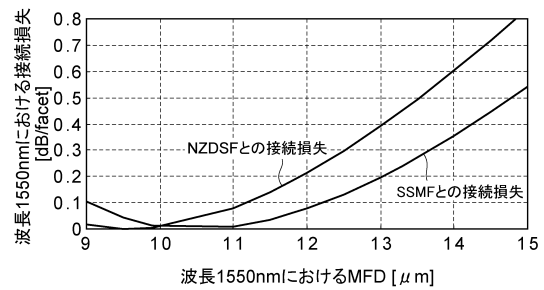
【図 4】



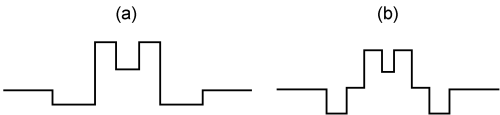
【図 5】



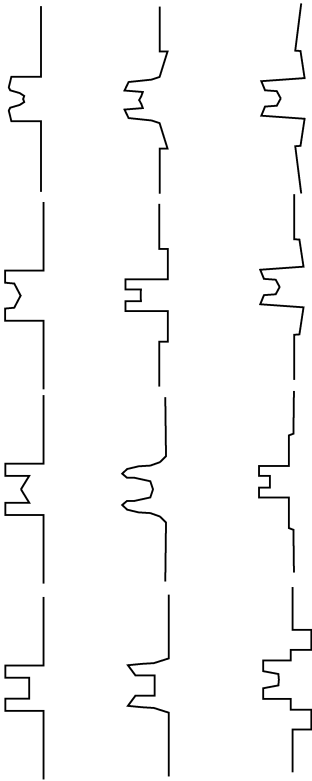
【図 6】



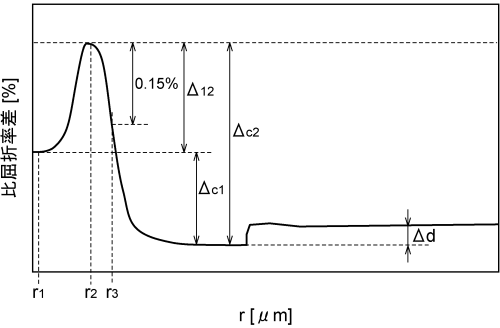
【図 7】



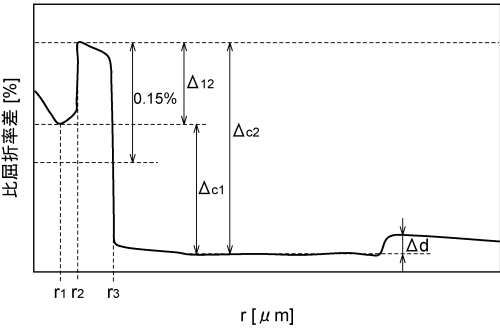
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【図 1 1】

	r1 μm	r2 μm	r3 μm	R (r3/r2)	Δ12 %	Δc1 %	Δs2 %	Δd %
実施例1	0.0	4.1	5.40	1.3	0.19	0.16	0.35	0.04
実施例2	0.1	4.4	5.75	1.3	0.18	0.15	0.33	0.05
実施例3	0.0	4.1	5.10	1.2	0.23	0.16	0.39	0.03
実施例4	0.2	3.8	4.68	1.2	0.29	0.15	0.44	0.04
実施例5	0.1	4.2	5.14	1.2	0.29	0.15	0.44	0.07

【図 1 3】

	分散(1550nm) ps/nm/km	スロープ (1550nm) ps/nm ² /km	ゼロ分散 波長 μm	ファイバ カットオフ波長 μm	ケーブル カットオフ波長 μm
実施例1	20.0	0.063	1.29	1.45	1.37
実施例2	20.2	0.063	1.29	1.52	1.44
実施例3	19.8	0.062	1.29	1.44	1.37
実施例4	19.1	0.063	1.30	1.40	1.31
実施例5	19.6	0.064	1.30	1.53	1.44

【図 1 2】

	MFD (1550nm) μm	Aeff (1550nm) μm ²	k値	伝送損失 1310nm, dB/km	伝送損失 1380nm, dB/km	伝送損失 1550nm, dB/km	伝送損失 1625nm, dB/km
実施例1	12.4	131	1.085	0.322	0.314	0.187	0.203
実施例2	12.9	143	1.095	0.315	0.307	0.183	0.200
実施例3	12.1	129	1.122	0.320	0.312	0.186	0.203
実施例4	11.2	109	1.107	0.325	0.314	0.188	0.204
実施例5	11.5	122	1.175	0.327	0.315	0.189	0.204

【図 1 4】

	20mm曲げロス 1550nm, dB/m	30mm曲げロス 1550nm, dB/m	60mm曲げロス 1520-1625nm, dB/m	マイクロベン ド ロス, dB/km	SSMFとの 融着損失 dB/facet	NZDSFとの 融着損失 dB/facet
実施例1	17	2.3	0.004	0.5	0.10 - 0.18	0.26 - 0.35
実施例2	22	2.4	0.005	0.6	0.17 - 0.28	0.37 - 0.49
実施例3	10	1.8	0.002	0.5	0.08 - 0.15	0.22 - 0.30
実施例4	12	1.2	0.002	0.3	0.01 - 0.06	0.10 - 0.18
実施例5	7	0.9	0.001	0.5	0.04 - 0.10	0.13 - 0.21

【図 1 5】

	r1 μm	r2 μm	r3 μm	R (r3/r2)	Δ12 %	Δc1 %	Δs2 %	Δd %
実施例6	1.8	2.2	6.2	2.8	0.15	0.19	0.34	0.06
実施例7	1.6	2.2	6.6	3.0	0.14	0.16	0.30	0.06
実施例8	2.9	3.2	5.5	1.7	0.14	0.27	0.41	0.07
実施例9	1.0	2.8	5.5	2.0	0.26	0.14	0.40	0.08
実施例10	2.0	2.4	4.9	2.0	0.24	0.26	0.50	0.04

【図 1 6】

	MFD (1550nm) μm	Aeff (1550nm) μm ²	k値	伝送損失 1310nm, dB/km	伝送損失 1380nm, dB/km	伝送損失 1550nm, dB/km	伝送損失 1625nm, dB/km
実施例6	12.1	128	1.114	0.276	0.280	0.159	0.176
実施例7	12.8	142	1.104	0.266	0.275	0.154	0.175
実施例8	11.5	115	1.108	0.280	0.420	0.160	0.177
実施例9	11.9	134	1.205	0.275	0.274	0.158	0.176
実施例10	10.5	102	1.179	0.288	0.440	0.165	0.181

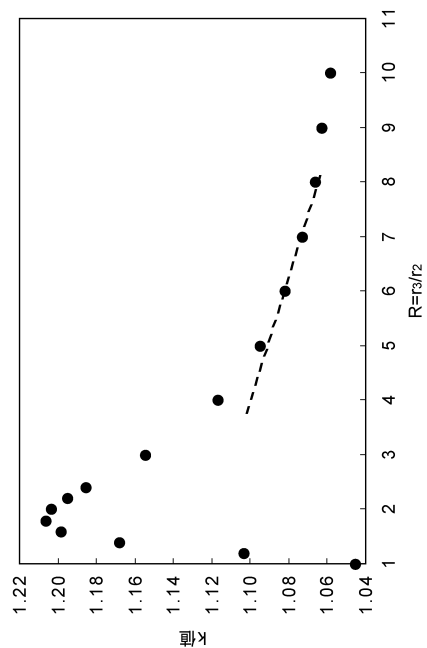
【図 1 7】

	分散(1550nm) ps/nm ² km	スロープ (1550nm) ps/nm ² /km	ゼロ分散 波長 μm	ファイバ カットオフ波長 μm	ケーブル カットオフ波長 μm
実施例6	20.8	0.061	1.27	1.52	1.40
実施例7	20.8	0.061	1.27	1.61	1.49
実施例8	20.7	0.060	1.27	1.48	1.37
実施例9	19.3	0.063	1.30	1.52	1.41
実施例10	19.3	0.060	1.29	1.56	1.46

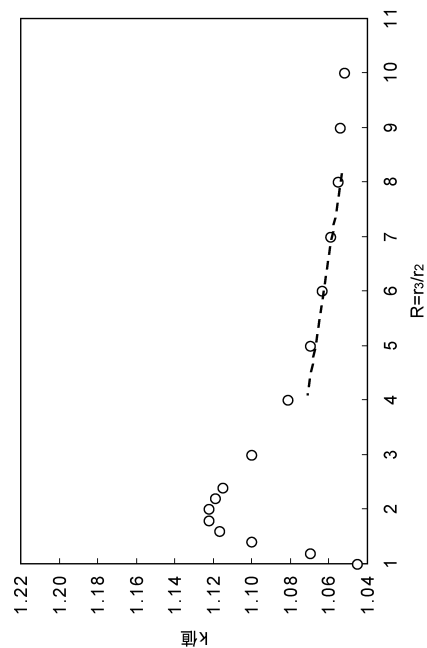
【図 1 8】

	20nm曲げロス 1550nm, dB/m	30nm曲げロス 1550nm, dB/m	60nm曲げロス 1520-1625nm, dB/m	マイクロベン ロス dB/km	SSMFとの 融着損失 dB/facet	NZDSFとの 融着損失 dB/facet
実施例6	4	0.5	0.0005	0.4	0.08 - 0.16	0.22 - 0.30
実施例7	6	0.9	0.0010	0.6	0.16 - 0.29	0.34 - 0.50
実施例8	3	0.5	0.0005	0.4	0.03 - 0.09	0.14 - 0.22
実施例9	9	1.2	0.0001	0.5	0.06 - 0.12	0.19 - 0.30
実施例10	2	0.3	0.0003	0.2	0.01 - 0.04	0.03 - 0.10

【図 19】



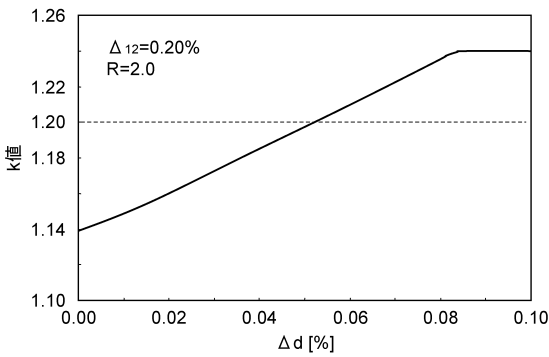
【図 20】



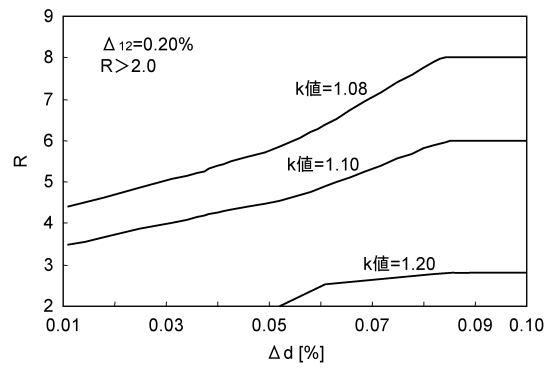
【図 21】

R=r3/r2	Δ_{12} %	Aeff μm^2	MFD μm	k値	Δ_{c2} %	r3 μm
1	---	135	12.8	1.05	0.281	6.63
1.2	0.2	135	12.5	1.10	0.487	5.96
1.4	0.2	135	12.1	1.17	0.467	5.74
1.6	0.2	135	12.0	1.20	0.441	5.71
1.8	0.2	135	11.9	1.21	0.420	5.74
2.0	0.2	135	12.0	1.20	0.406	5.79
2.2	0.2	135	12.0	1.20	0.385	5.85
2.4	0.2	135	12.0	1.19	0.374	5.90
3.0	0.2	135	12.2	1.15	0.350	6.05
4.0	0.2	135	12.4	1.18	0.324	6.23
5.0	0.2	135	12.5	1.09	0.310	6.34
6.0	0.2	135	12.6	1.08	0.303	6.40
7.0	0.2	135	12.7	1.07	0.297	6.45
8.0	0.2	135	12.7	1.07	0.293	6.49
9.0	0.2	135	12.7	1.06	0.292	6.51
10.0	0.2	135	12.7	1.06	0.289	6.54
1.2	0.1	135	12.7	1.07	0.388	6.26
1.4	0.1	135	12.5	1.10	0.380	6.10
1.6	0.1	135	12.4	1.12	0.370	6.06
1.8	0.1	135	12.4	1.12	0.360	6.07
2.0	0.1	135	12.4	1.12	0.352	6.10
2.2	0.1	135	12.4	1.12	0.344	6.13
2.4	0.1	135	12.4	1.11	0.339	6.17
3.0	0.1	135	12.5	1.10	0.320	6.27
4.0	0.1	135	12.6	1.08	0.305	6.40
5.0	0.1	135	12.7	1.07	0.297	6.46
6.0	0.1	135	12.7	1.06	0.293	6.50
7.0	0.1	135	12.7	1.06	0.290	6.53
8.0	0.1	135	12.8	1.06	0.288	6.55
9.0	0.1	135	12.8	1.05	0.287	6.56
10.0	0.1	135	12.8	1.05	0.285	6.58

【図 22】



【図 23】



フロントページの続き

- (72)発明者 春名 徹也
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
- (72)発明者 田村 欣章
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内
- (72)発明者 山本 義典
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

審査官 奥村 政人

- (56)参考文献 特開2000-244400 (JP, A)
特開2012-037621 (JP, A)
特開2006-317658 (JP, A)
特開2012-229150 (JP, A)

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