

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4851371号
(P4851371)

(45) 発行日 平成24年1月11日(2012.1.11)

(24) 登録日 平成23年10月28日(2011.10.28)

(51) Int. Cl. F I
G O 2 B 6/036 (2006.01) G O 2 B 6/22
G O 2 B 6/02 (2006.01) G O 2 B 6/10 C

請求項の数 6 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-62100 (P2007-62100)	(73) 特許権者	000005290
(22) 出願日	平成19年3月12日 (2007.3.12)		古河電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2008-224969 (P2008-224969A)		東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(43) 公開日	平成20年9月25日 (2008.9.25)	(74) 代理人	100089118
審査請求日	平成21年11月2日 (2009.11.2)		弁理士 酒井 宏明
		(72) 発明者	今村 勝徳
			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	大石 敏弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバおよび光ファイバ伝送路

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長 1 5 5 0 m の信号光を基底伝搬モードで伝送する光ファイバであって、
 中心コア部と、
 前記中心コア部の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い内側コア層と、
 前記内側コア層の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低くかつ前記内側コア層よりも屈折率が高い外側コア層と、
 前記外側コア層の周囲に形成され前記内側コア層よりも屈折率が高くかつ前記外側コア層よりも屈折率が低いクラッド層と、
 を有し、前記中心コア部の前記クラッド層に対する比屈折率差 1 が 0 . 3 % 以上、0 . 7 5 % 以下であり、前記内側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 2 が - 0 . 7 % 以上、0 % 未満であり、前記外側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 3 が 0 . 2 % ~ 0 . 3 % であり、前記中心コア部の直径に対する前記内側コア層の外径の比 b/a が 1 . 5 以上、2 . 9 以下であり、前記中心コア部の直径に対する前記外側コア層の外径の比 c/a が 2 . 8 以上、4 . 8 以下であり、前記中心コア部の直径 $2a$ が 6 . 4 μ m 以上、1 2 . 0 7 μ m 以下であり、
 前記信号光の波長以上のカットオフ波長を有し、
 前記信号光の波長における基底伝搬モードの波長分散値が 0 p s / n m / k m より大きく、1 5 . 4 p s / n m / k m 以下であり、分散スロープ値が - 0 . 3 9 7 p s / n m ² / k m 以上、- 0 . 0 5 p s / n m ² / k m 以下であることを特徴とする光ファイバ。

10

20

【請求項2】

直径20mmで16周巻いた場合の前記信号光の波長における基底伝搬モードの曲げ損失が20dB/m以下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】

前記信号光の波長における基底伝搬モードの波長分散値が8ps/nm/km以上であり、波長分散値を分散スロープ値で除算したDPS値が-100nm以上、-18nm以下であり、有効コア断面積が40 μm^2 以上、90.6 μm^2 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】

請求項1～3のいずれか1つに記載の光ファイバと、前記光ファイバに接続し、前記信号光の波長よりも短いカットオフ波長を有するとともに前記信号光の波長において-5ps/nm/km以上0ps/nm/kmより小さい波長分散値と0ps/nm²/kmより大きく0.25ps/nm²/km以下の分散スロープ値とを有するシングルモード光ファイバとを備え、前記シングルモード光ファイバ側から前記信号光を伝送することを特徴とする光ファイバ伝送路。

10

【請求項5】

前記シングルモード光ファイバは、前記信号光の波長において-1ps/nm/km以下の波長分散値を有することを特徴とする請求項4に記載の光ファイバ伝送路。

【請求項6】

前記シングルモード光ファイバは、前記信号光波長において、-50～-20nmのDPS値を有することを特徴とする請求項4または5に記載の光ファイバ伝送路。

20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、長距離の光伝送に用いる光ファイバおよび光ファイバ伝送路に関するものである。

【背景技術】

【0002】

たとえば、海底に敷設する光伝送路として、有効コア断面積の大きい大Aeff型のノンゼロ分散シフト光ファイバと分散スロープ値の小さい低スロープ型のノンゼロ分散シフト光ファイバとを組み合わせた光ファイバ伝送路が用いられている（非特許文献1参照）。ノンゼロ分散シフト光ファイバとは、信号光の波長においてたとえば-1～-5ps/nm/km程度または1～5ps/nm/km程度の微小の波長分散値を有するシングルモード光ファイバであり、海底伝送路においては、負の分散を有するノンゼロ分散シフト光ファイバが多く用いられている。

30

【0003】

ここで、大Aeff型のノンゼロ分散シフト光ファイバの光学特性は、たとえば有効コア断面積が75 μm^2 、分散スロープ値が0.10ps/nm²/kmであり、低スロープ型のノンゼロ分散シフト光ファイバの光学特性は、たとえば有効コア断面積が50 μm^2 、分散スロープ値が0.05ps/nm²/kmである。そして、これらをほぼ同じ長さで接続した光ファイバ伝送路の平均の光学特性は、有効コア断面積が65 μm^2 、分散スロープ値が0.07ps/nm²/kmである。

40

【0004】

通常、ノンゼロ分散シフト光ファイバ伝送路においては、光信号は大Aeff型のノンゼロ分散シフト光ファイバ側から伝送される。その結果、光信号の光強度が大きい状態では、光伝送路の有効コア断面積が大きいので非線形光学現象の発生が抑制される。その後、光信号は、光強度が光ファイバの伝送損失によって減衰した後で、低スロープ型のノンゼロ分散シフト光ファイバに入力する。低スロープ型ノンゼロ分散シフト光ファイバは有効コア断面積がやや小さいものの分散スロープ値が小さく、波長分散値の波長による差異が小さい。その結果、異なる波長の信号光を波長多重した広帯域のWDM信号光の伝送時

50

において、光信号間の波長分散の偏差の発生が抑制される。

【0005】

すなわち、ノンゼロ分散シフト光ファイバにおいて有効コア断面積と分散スロープ値とはトレードオフの関係にある。そのため、大Aeff型ノンゼロ分散シフト光ファイバと低スロープ型ノンゼロ分散シフト光ファイバとを組み合わせることで光ファイバ伝送路を構成し、光ファイバ伝送路全体としてのトレードオフの関係の緩和を図っている。

【0006】

なお、上述のトレードオフの関係を緩和して有効コア断面積を大幅に拡大する技術として、マルチモード型の光ファイバを用いる技術が開示されている（特許文献1参照）。

【0007】

ここで、上述のノンゼロ分散シフト光ファイバは、いずれも信号光の波長において負の波長分散値を有するので、光ファイバ伝送路全体として負の累積波長分散が生じるため、信号光波長において正の波長分散値を有する分散補償光ファイバを用いて分散補償を行う必要がある。従来、この種の分散補償ファイバとしては、ゼロ分散波長が1310nm程度である標準のシングルモード光ファイバと同様の構成からなり、カットオフ波長を1550nmにシフトして基底伝搬モードの曲げ耐性を強化したカットオフシフト光ファイバが用いられている。

【0008】

【特許文献1】特開2004-271904号公報

【非特許文献1】M. Suzuki, et al., "Dispersion-Managed High-Capacity Ultra-Long-Haul Transmission", J. Lightwave technol., vol.21, no.4, pp.916-929, April 2003

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来の大Aeff型および低スロープ型のノンゼロ分散シフト光ファイバとカットオフシフト光ファイバとは、いずれも正の分散スロープ値を有する。したがって、たとえばカットオフシフト光ファイバを用いて波長1550nmにおける光ファイバ伝送路の波長分散を補償したとしても、分散スロープの補償までは行うことができなかった。その結果、分散補償した1550nm以外の波長においては累積波長分散が残留してしまい、波長が1550nmから離れるほど残留する累積波長分散が大きくなるので、より広帯域のWDM伝送ができないという問題があった。

【0010】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、負の波長分散値と正の分散スロープ値とを有する光ファイバの波長分散と分散スロープとを同時に補償できる光ファイバおよび光ファイバ伝送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】

【0011】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光ファイバは、少なくとも波長1550nmの信号光を基底伝搬モードで伝送する光ファイバであって、前記信号光の波長以上のカットオフ波長を有し、前記信号光の波長における基底伝搬モードの波長分散値が 0 ps/nm/km より大きく、分散スロープ値が $-0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。

【0012】

また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、直径20mmで16周巻いた場合の前記信号光の波長における基底伝搬モードの曲げ損失が 20 dB/m 以下であることを特徴とする。

【0013】

また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記信号光の波長における基底伝搬モードの波長分散値が 8 ps/nm/km 以上であり、波長分散値を分散スロープ

10

20

30

40

50

値で除算したDPS値が -100 nm 以上の負の値であり、有効コア断面積が $40\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする。

【0014】

また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、中心コア部と、前記中心コア部の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低い内側コア層と、前記内側コア層の外周に形成され前記中心コア部よりも屈折率が低くかつ前記内側コア層よりも屈折率が高い外側コア層と、前記外側コア層の周囲に形成され前記内側コア層よりも屈折率が高くかつ前記外側コア層よりも屈折率が低いクラッド層と、を有し、前記中心コア部の前記クラッド層に対する比屈折率差 Δ_1 が 0.75% 以下であり、前記内側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 Δ_2 が -0.7% 以上、 0% 未満であり、前記外側コア層の前記クラッド層に対する比屈折率差 Δ_3 が $0.2\sim 0.3\%$ であり、前記中心コア部の直径に対する前記内側コア層の外径の比 b/a が 1.5 以上であり、前記中心コア部の直径に対する前記外側コア層の外径の比 c/a が 2.8 以上であり、前記中心コア部の直径 $2a$ が $6.4\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

10

【0015】

また、本発明に係る光ファイバ伝送路は、上記発明のいずれか1つの光ファイバと、前記光ファイバに接続し、前記信号光の波長よりも短いカットオフ波長を有するとともに前記信号光の波長において 0 ps/nm/km より小さい波長分散値と $0\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ より大きい分散スロープ値とを有するシングルモード光ファイバとを備え、前記シングルモード光ファイバ側から前記信号光を伝送することを特徴とする。

20

【0016】

また、本発明に係る光ファイバ伝送路は、上記の発明において、前記シングルモード光ファイバは、前記信号光の波長において $-1\sim -5\text{ ps/nm/km}$ の波長分散値を有することを特徴とする。

【0017】

また、本発明に係る光ファイバ伝送路は、上記の発明において、前記シングルモード光ファイバは、前記信号光波長において、 $-50\sim -20\text{ nm}$ のDPS値を有することを特徴とする。

【発明の効果】

【0018】

本発明に係る光ファイバは、信号光の波長以上のカットオフ波長を有し、信号光の波長における基底伝搬モードの波長分散値が 0 ps/nm/km より大きく、分散スロープ値が $-0.05\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であるので、負の波長分散値と正の分散スロープ値とを有する光ファイバの波長分散と分散スロープとを同時に補償できる光ファイバを実現できるという効果を奏する。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0019】

以下に、図面を参照して本発明に係る光ファイバおよび光ファイバ伝送路の実施の形態を詳細に説明する。なお、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。また、曲げ損失とは、直径 20 mm で16周巻いた場合の曲げ損失を意味するものとする。また、単にカットオフ波長と称した場合は、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 を意味する。その他、本明細書で特に定義しない用語についてはITU-T G.650.1における定義、測定方法に従うものとする。

40

【0020】

(実施の形態1)

本実施の形態1に係る光ファイバは、Cバンドである $1530\sim 1565\text{ nm}$ の波長帯域のWDM信号光を基底伝搬モードで伝送する光ファイバであって、 1550 nm 以上のカットオフ波長を有し、波長 1550 nm における基底伝搬モードの波長分散値が 0 ps/nm/km より大きく、分散スロープ値が $-0.05\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下である。

50

【0021】

すなわち、本実施の形態1に係る光ファイバは、カットオフ波長より短い信号光の波長における伝搬モードが、基底伝搬モードであるLP01モード以外に、高次モードであるLP02モード、LP11モード、LP21モード、LP31モード、LP41モードなど複数存在するマルチモードの光ファイバとなっている。すなわち、伝搬モードとして基底伝搬モードのみが存在するシングルモード光ファイバとするためにカットオフ波長を最短の信号光波長よりも短くしなければならない、という設計上の制限を行っていないので、波長1550nmにおける基底伝搬モードの波長分散値が 0 ps/nm/km より大きく、分散スロープ値が $-0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下という光学特性が実現されている。

10

【0022】

さらに、本実施の形態1に係る光ファイバは、上述の波長分散値と分散スロープ値とを実現するとともに、曲げ損失を 20 dB/m 以下と十分に低いものとしている。

【0023】

なお、本実施の形態1に係る光ファイバにおいて各信号光を基底伝搬モードで伝送させるためには、たとえばカットオフ波長が各信号光の波長よりも短いシングルモード光ファイバを接続し、このシングルモード光ファイバを介して本実施の形態1に係る光ファイバに信号光を入力する。その結果、基底伝搬モードのみが選択的に励振され、本実施の形態1に係る光ファイバは各信号光を基底伝搬モードで伝送する。

【0024】

つぎに、本実施の形態1に係る光ファイバの構造と設計パラメータについて具体的に説明する。図1は、本実施の形態1に係る光ファイバの断面と対応する屈折率プロファイルとを示す概略図である。図1に示すように、本実施の形態1に係る光ファイバ10は、中心コア部1と、中心コア部1の外周に形成され、中心コア部1よりも屈折率が低い内側コア層2と、内側コア層2の外周に形成され、中心コア部1よりも屈折率が低くかつ内側コア層2よりも屈折率が高い外側コア層3と、外側コア層3の周囲に形成され、内側コア層2よりも屈折率が高くかつ外側コア層3よりも屈折率が低いクラッド層4とを有する。すなわち、光ファイバ10はいわゆるW-セグメント型の屈折率プロファイル5を有する。なお、中心コア部1は型の屈折率プロファイルを有し、内側コア層2および外側コア層3はステップ型の屈折率プロファイルを有する。

20

30

【0025】

ここで、型の屈折率プロファイルを規定するパラメータである値を1とすると、1は式(1)で定義される。

$$n^2(r) = n_{\text{core}}^2 \times \{ 1 - 2 \times (\quad / 100) \times (r / a) ^ \quad 1 \}$$

(但し、 $0 < r < a$) (1)

ただし、 r は中心コア部の中心からの半径方向の位置を示し、 $n(r)$ は位置 r における屈折率、 n_{core} は中心コア部の $r=0$ における屈折率、 a は中心コア部の半径を表している。また、記号「 \wedge 」はべき乗を表す記号である。

【0026】

そして、光ファイバ10の設計パラメータについては、屈折率プロファイル5において、中心コア部1のクラッド層4に対する比屈折率差 Δ_1 が 0.75% 以下であり、内側コア層2のクラッド層4に対する比屈折率差 Δ_2 が -0.7% 以上、 0% 未満であり、外側コア層3のクラッド層4に対する比屈折率差 Δ_3 が $0.2 \sim 0.3\%$ であり、中心コア部1の直径 $2a$ に対する内側コア層2の外径 $2b$ の比すなわち b/a が 1.5 以上であり、中心コア部1の直径 $2a$ に対する外側コア層3の外径 $2c$ の比すなわち c/a が 2.8 以上であり、中心コア部1の直径 $2a$ が $6.4 \mu\text{m}$ 以上である。

40

【0027】

光ファイバ10が上述の構造および設計パラメータを有するものであれば、光ファイバ10は、上述したように、 1550 nm 以上のカットオフ波長を有し、波長 1550 nm における基底伝搬モードの波長分散値が 0 ps/nm/km より大きく、分散スロープ値

50

が $-0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であるとともに、有効コア断面積が $40 \mu\text{m}^2$ 以上であり、曲げ損失が 20 dB/m 以下であり、波長分散値を分散スロープ値で除算した値である DPS (Dispersion Per Slope) 値が -100 nm 以上の負の値のものとなる。

【0028】

ここで、上述した大 Aeff 型ノンゼロ分散シフト光ファイバと低スロープ型ノンゼロ分散シフト光ファイバとを組み合わせた海底用光ファイバ伝送路の DPS 値は、通常 $-50 \sim -20 \text{ nm}$ である。したがって、光ファイバ 10 の DPS 値が -100 nm 以上の負の値であれば、これを海底用光ファイバ伝送路の波長分散および分散スロープの補償に用いた場合に、分散補償率を 50% 以上にできるので好ましい。

10

【0029】

なお、図 2 は、光ファイバ 10 の設計パラメータの一例を示す図であり、図 3 は、図 2 に示す設計パラメータを用いて数値シミュレーションにより計算した光ファイバ 10 の光学特性を示す図である。図 3 において、「 MFD 」は、モードフィールド径を示し、「 β/k 」は、伝搬定数を波数 k で除算した実効屈折率を示す。また、図 3 における理論カットオフ以外の各値は、いずれも波長 1550 nm における値である。なお、 β/k が 1.4465 程度であれば、曲げ損失が 10 dB/m 程度となる。

【0030】

つぎに、光ファイバ 10 の設計パラメータについて、数値シミュレーションによる計算結果を用いてさらに具体的に説明する。まず、光学特性として、基底伝搬モードである LP_{01} モードにおける波長分散値を 8 ps/nm/km 以上、 β/k を 1.4465 に維持した場合の、設計パラメータと DPS 値または有効コア断面積との関係について調べた。はじめに、中心コア部 1、内側コア層 2、および外側コア層 3 がいずれもステップ型の屈折率プロファイルを有しているものとして、 n_2 を -0.3% 、 n_3 を 0.2% に固定した場合の、設計パラメータである a_1 、 b/a 、 c/a 、または $2a$ と、分散スロープ値または有効コア断面積との関係について計算した。その結果、図 4、5 に示すように、 b/a 、 c/a と DPS 値との間には相関があり、 b/a を 2.2 以上、 c/a を 4.15 以上にすれば、 DPS 値を -100 nm 以上の負の値にできることが確認された。

20

【0031】

また、図 6、7 に示すように、 a_1 、 $2a$ と有効コア断面積との間には相関があり、 a_1 を 0.52% 以下、 $2a$ を $6.5 \mu\text{m}$ 以上にすれば、有効コア断面積を $40 \mu\text{m}^2$ 以上にできることが確認された。

30

【0032】

同様に、中心コア部 1 が n_1 型の屈折率プロファイルを有し、内側コア層 2、および外側コア層 3 がいずれもステップ型の屈折率プロファイルを有しているものとして、 n_1 を 2 からステップ型となる無限大まで変化された場合、 n_2 を -0.7% 以上、 0% 未満で変化させた場合、および n_3 を $0.2 \sim 0.4\%$ で変化させた場合についても計算を行った。その結果、 n_1 が 0.75% 以下であり、 n_2 が -0.7% 以上、 0% 未満であり、 n_3 が $0.2 \sim 0.3\%$ であり、 b/a が 1.5 以上であり、 c/a が 2.8 以上であり、 $2a$ が $6.4 \mu\text{m}$ 以上であれば、波長分散値が 0 ps/nm/km より大きくなり、 β/k が 1.4465 、 DPS 値が -100 nm 以上の負の値、有効コア断面積が $40 \mu\text{m}^2$ 以上となることが確認された。さらに、 n_1 が 0.6% 以下であれば、波長分散値が 8 ps/nm/km 以上となることが確認された。

40

【0033】

つぎに、本実施の形態 1 に係る光ファイバ 10 における伝搬モードについて説明する。図 8 ~ 13 は、光ファイバ 10 の波長 1550 nm における伝搬モードのフィールド分布を示す図であり、図 8 は LP_{01} モード、図 9 は LP_{02} モード、図 10 は LP_{11} モード、図 11 は LP_{21} モード、図 12 は LP_{31} モード、図 13 は LP_{41} モードをそれぞれ示す。また、図 8 ~ 13 において、横軸は中心コア部の中心からの距離を示し、横軸はフィールドの電界強度を任意単位で示す。また、図 8 ~ 13 中の色付き部分は、ゼロ分

50

散波長が1310nm程度である標準のシングルモード光ファイバのフィールド分布の存在する領域を示している。

【0034】

図8に示すように、LP01モードは、中心コア部の中心付近をピークとしてフィールドが分布する。また、図9に示すように、LP02モードは、中心コア部の中心付近と、中心コア部の外側の位置とをピークとしてフィールドが分布している。また、図10~13に示すように、LP11モード~LP41モードは、中心コア部の外側の位置をピークとしてフィールドが分布している。

【0035】

ここで、光ファイバ10に標準シングルモード光ファイバを接続し、これを介して光ファイバ10に波長1550nmの信号光を入力する場合を考える。このとき、標準シングルモード光ファイバのフィールド分布は色付きの部分に存在するが、図8に示すように、色付き部分とLP01モードのフィールド分布とは中心付近で重なる。その結果、標準シングルモード光ファイバを介して光ファイバ10に波長1550nmの信号光を入力した場合は、LP01モードが十分に励振されると考えられる。一方、図10~13においては、色付きの部分とLP11モード~LP41モードのフィールド分布とはほとんど重ならない。その結果、LP11モード~LP41モードはほとんど励振されないと考えられる。他方、図10においては、色付きの部分とLP02モードのフィールド分布とは中心付近で重なるから、LP02モードは励振されるおそれがある。

【0036】

そこで、光ファイバ10に標準シングルモード光ファイバを接続し、これを介して光ファイバ10に波長1550nmの信号光を入力する場合の、信号光の各伝搬モードへの結合効率を、数値シミュレーションを用いて計算した。

【0037】

図14は、伝搬モードと伝搬モードへの信号光の結合効率との関係を示す図である。図14に示すように、LP01モードへの結合効率は、フィールド分布の重なりから予想されるとおりに0.90と大きく、LP11モード~LP41モードへの結合効率は極めてゼロに近い小さい値であった。一方、LP02モードへの結合効率は0.03であり、LP01モードへの結合効率と比較して十分に小さい値であった。したがって、光ファイバ10に標準シングルモード光ファイバを接続し、これを介して光ファイバ10に信号光を入力することによって、実質的に基底伝搬モードであるLP01モードのみを選択的に励振できることが確認された。

【0038】

なお、光ファイバ10に接続するのは、上述のように波長1310nm付近にゼロ分散波長を有する標準のシングルモード光ファイバに限られない。その他のシングルモード光ファイバを接続しても、光ファイバ10のLP01モードのみを選択的に励振できる。

【0039】

また、上述のように、LP02モードは中心コア部の中心付近と、中心コア部の外側の位置とをピークとしたフィールド分布を有する。したがって、光ファイバ10の設計パラメータを調整して、LP02モードの中心のピーク強度に対する外側のピーク強度の比が大きくなるようすれば、シングルモード光ファイバを介して信号光を入力した場合に励振されるLP02モードの割合が抑制され、LP01モードをさらに高効率で励振できると考えられる。

【0040】

つぎに、本発明の実施例1~6として、本実施の形態1に従う光ファイバを実際に作製した場合の光学特性について説明する。図15は、実施例1~6に係る光ファイバの設計パラメータを示す図であり、図16は、実施例1~6に係る光ファイバの光学特性を示す図である。なお、図16に示す光学特性は、波長1550nmにおいて測定した基底伝搬モードのものである。また、「c」はカットオフ波長を示す。カットオフ波長については、信号光波長よりも長波長側に存在するので、従来の光通信用の測定器では測定が困難

10

20

30

40

50

であるため、設計パラメータからの推測値を示す。

【0041】

図16に示すように、実施例1～6に係る光ファイバは、カットオフ波長が1550nm以上であり、波長1550nmにおける基底伝搬モードの波長分散値が 0 ps/nm/km より大きく、分散スロープ値が $-0.05\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、DPS値が -100 nm 以上の負の値であり、曲げ損失が 20 dB/m 以下であった。

【0042】

(実施の形態2)

つぎに、本発明の実施の形態2に係る光ファイバ伝送路について説明する。図17は、本実施の形態2に係る光ファイバ伝送路を模式的に表した概略図である。この光ファイバ伝送路100は、 n を1以上の整数として、大Aeff型のノンゼロ分散シフト光ファイバ $21-1\sim 21-n$ と低スロープ型のノンゼロ分散シフト光ファイバ $22-1\sim 22-n$ とを交互に接続した複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20と、実施の形態1に係る光ファイバ10と、複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20と光ファイバ10との間に介挿された光増幅器30とを備え、複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20側からCバンドのWDM信号光を伝送するものである。

【0043】

ノンゼロ分散シフト光ファイバ $21-1\sim 21-n$ は、波長1550nmにおいて、 -3 ps/nm/km の波長分散値と、 $0.10\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープ値と、 $75\text{ }\mu\text{m}^2$ の有効コア断面積と、 0.215 dB/km の伝送損失を有する。一方、光ファイバ $22-1\sim 22-n$ は、波長1550nmにおいて、 -3 ps/nm/km の波長分散値と、 $0.05\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープ値と、 $50\text{ }\mu\text{m}^2$ の有効コア断面積と、 0.215 dB/km の伝送損失とを有する。また、ノンゼロ分散シフト光ファイバ $21-1\sim 21-n$ と $22-1\sim 22-n$ とはそれぞれ同一の長さを有する。したがって、複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20は、波長1550nmにおいて、全長での平均値として、 -3 ps/nm/km の波長分散値と、 $0.075\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープ値と、 $63\text{ }\mu\text{m}^2$ の有効コア断面積と、 0.215 dB/km の伝送損失とを有するものとなっている。

【0044】

光増幅器30は、たとえばエルビウム添加光ファイバ増幅器(EDFA)であり、複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20を伝送したWDM信号光を増幅し、光ファイバ10の伝送損失によるWDM信号光のパワーの減衰を予め補償する。ここで、光増幅器30は、信号光の入出力部に標準のシングルモード光ファイバを備える。その結果、光ファイバ10においては基底伝搬モードのみが選択的に励振され、光ファイバ10はWDM光信号を基底伝搬モードで伝送し、シングルモード光伝送が実現される。

【0045】

また、本実施の形態2に係る光ファイバ伝送路の光入力側に、融着接続などによってシングルモード光ファイバを予め接続しておいてもよい。光ファイバ伝送路の光入力側にシングルモード光ファイバを接続する際に、各中心軸を精密に位置合わせすれば、LP02モードの結合効率比をより低くできるので、光ファイバ伝送路においてより確実に基底伝搬モードを選択的に励振できる。

【0046】

そして、光ファイバ10は、波長1550nmにおける基底伝搬モードの波長分散値が 0 ps/nm/km より大きく、分散スロープ値が $-0.05\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であるから、複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20の波長分散と分散スロープとを同時に補償することができる。その結果、光ファイバ伝送路100は、光信号間の累積波長分散の偏差が大幅に抑制され、より広帯域のWDM伝送に適するものとなる。

【0047】

ここで、長さ500kmの光ファイバ伝送路を3本接続し、合計で1500kmの光ファイバ伝送路を構築する場合について、本実施の形態2に係る光ファイバ伝送路100を

10

20

30

40

50

用いた場合と、光ファイバ伝送路100の光ファイバ10を従来のカットオフシフト光ファイバに置き換えて用いた従来例の場合とで、伝送距離と累積波長分散との関係について比較した。

【0048】

なお、従来のカットオフシフト光ファイバとして、波長1550nmにおいて、 17 ps/nm/km の波長分散値と、 $0.06\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープ値と、 $80\text{ }\mu\text{m}^2$ の有効コア断面積と、 0.185 dB/km の伝送損失とを有するものを用い、光ファイバ10として、図3に示した、波長1550nmにおいて 9.1 ps/nm/km の波長分散値と、 $-0.172\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ の分散スロープ値と、 $79.5\text{ }\mu\text{m}^2$ の有効コア断面積とを有するものを用いた。

10

【0049】

図18は、従来例の光ファイバ伝送路における伝送距離と累積波長分散との関係を表した分散マップを示す図である。この従来例の光ファイバ伝送路は、波長1550nmの累積波長分散をゼロとするために、425kmの複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20と、75kmのカットオフシフト光ファイバとを交互に接続したものである。その結果、図18に示すように、波長1550nmにおける累積波長分散はゼロであるが、波長1530nmにおける累積波長分散は約 -2182.5 ps/nm となり、波長1565nmにおける累積波長分散は約 1636.9 ps/nm となる。すなわち、Cバンドの両端での累積波長分散の偏差A1は 3819.4 ps/nm と極めて大きいものとなる。

【0050】

一方、図19は、本実施の形態2に係る光ファイバ伝送路100における伝送距離と累積波長分散との関係を表した分散マップを示す図である。この光ファイバ伝送路100は、波長1550nmの累積波長分散をゼロとするために、376kmの複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ20と、124kmの光ファイバ10とを交互に接続したものである。その結果、図19に示すように、波長1550nmにおける累積波長分散はほぼゼロであるとともに、波長1530nmにおける累積波長分散は約 -412.8 ps/nm となり、波長1565nmにおける累積波長分散は約 309.6 ps/nm となる。すなわち、Cバンドの両端での累積波長分散の偏差は 722.4 ps/nm であり、従来例よりも大幅に低減されたものとなる。

20

【0051】

また、本実施の形態2において、光ファイバ10の条長は124kmであるから、伝送損失が図16の実施例1と同等の 0.237 dB/km とすると、全長での伝送損失は 29.4 dB である。一方、従来例において、カットオフシフト光ファイバの条長は75kmであるから、全長での伝送損失は 13.9 dB である。したがって、光ファイバ10の方が全長での伝送損失は大きいですが、 29.4 dB 程度であれば、光増幅器30として従来のもを用いて十分に信号光のパワーの減衰を補償できる。

30

【0052】

上述したように、光ファイバ10は、カットオフシフト光ファイバよりも波長分散値が小さいので、分散補償をするのに必要な条長が長くなり、全長での伝送損失も大きくなる。そこで、光ファイバ10の基底伝搬モードの波長分散値が 8 ps/nm/km 以上であれば、カットオフシフト光ファイバを用いる場合と比較して必要な条長が約2倍以下でよいので好ましい。この場合、光ファイバ10の全長での伝送損失をたとえば 30 dB 程度以下にできるので、従来の光増幅器30を用いて、光ファイバ10における信号光のパワーの減衰を十分に補償できる。

40

【0053】

なお、光ファイバ10の基底伝搬モードの波長分散値が 8 ps/nm/km より小さい場合であって、全長での伝送損失がさらに大きくなる場合は、たとえばさらに高利得の光増幅器を用いたり、光ファイバ10を複数に分割し、分割した光ファイバの各々に光増幅器を接続したりすることによって、光ファイバ10における信号光のパワーの減衰を補償できる。

50

【図面の簡単な説明】

【0054】

【図1】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの断面と対応する屈折率プロファイルとを示す概略図である。

【図2】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの設計パラメータの一例を示す図である。

【図3】図2示す設計パラメータを用いて数値シミュレーションにより計算した光ファイバの光学特性を示す図である。

【図4】 b/a とDPS値との関係を示す図である。

【図5】 c/a とDPS値との関係を示す図である。

【図6】1と有効コア断面積との関係を示す図である。

【図7】2aと有効コア断面積との関係を示す図である。

【図8】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの波長1550nmにおけるLP01モードのフィールド分布を示す図である。

【図9】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの波長1550nmにおけるLP02モードのフィールド分布を示す図である。

【図10】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの波長1550nmにおけるLP11モードのフィールド分布を示す図である。

【図11】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの波長1550nmにおけるLP21モードのフィールド分布を示す図である。

【図12】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの波長1550nmにおけるLP31モードのフィールド分布を示す図である。

【図13】本発明の実施の形態1に係る光ファイバの波長1550nmにおけるLP41モードのフィールド分布を示す図である。

【図14】伝搬モードと伝搬モードへの信号光の結合効率との関係を示す図である。

【図15】実施例1～6に係る光ファイバの設計パラメータを示す図である。

【図16】実施例1～6に係る光ファイバの光学特性を示す図である。

【図17】本発明の実施の形態2に係る光ファイバ伝送路を模式的に表した概略図である。

【図18】従来例の光ファイバ伝送路の分散マップを示す図である。

【図19】本発明の実施の形態2に係る光ファイバ伝送路の分散マップを示す図である。

【符号の説明】

【0055】

- 1 中心コア部
- 2 内側コア層
- 3 外側コア層
- 4 クラッド層
- 5 屈折率プロファイル

10 光ファイバ

20 複合ノンゼロ分散シフト光ファイバ

21-1～21-n、22-1～22-n ノンゼロ分散シフト光ファイバ

30 光増幅器

100 光ファイバ伝送路

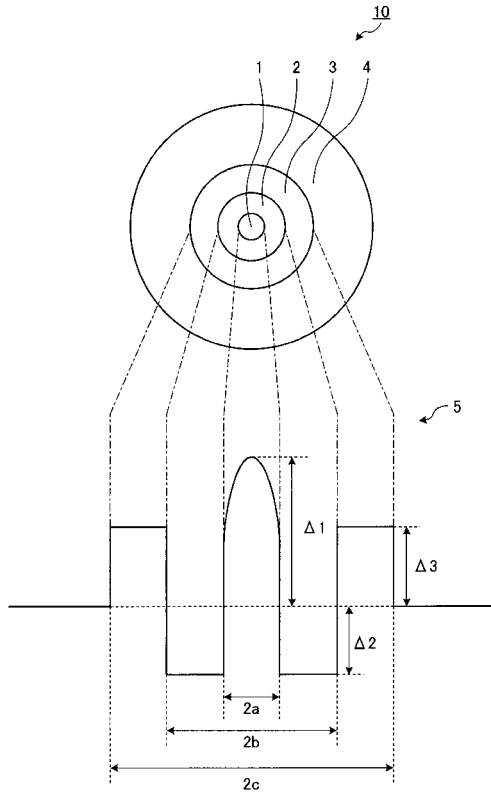
10

20

30

40

【図1】



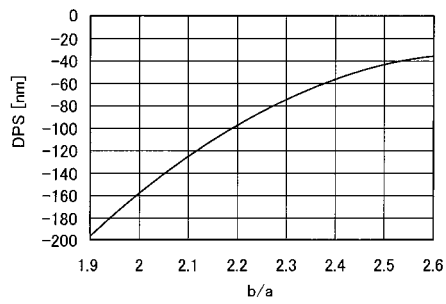
【図2】

項目	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	b/a	c/a	2a
単位	%	%	%	-	-	μm
値	0.34	-0.3	0.3	2.4	3.45	10.09

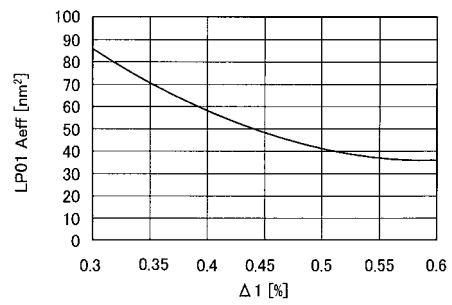
【図3】

項目	波長分散	Slope	DPS	MFD	Aeff	理論カットオフ波長		β/k
						LP11	LP02	
単位	ps/nm/km	ps/nm ² /km	nm	μm	μm^2	nm	nm	-
値	9.1	-0.172	-53	9.34	79.5	4047	2462	1.44650

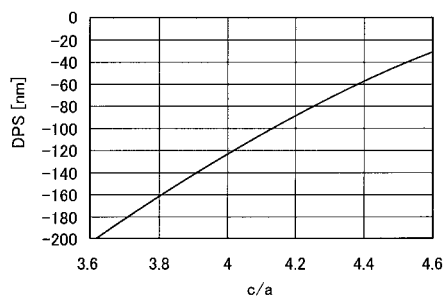
【図4】



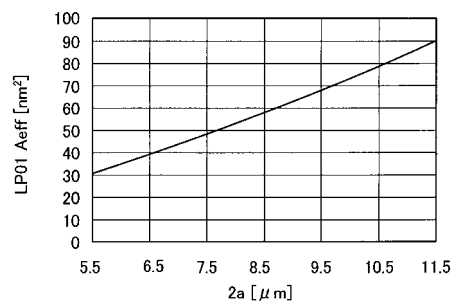
【図6】



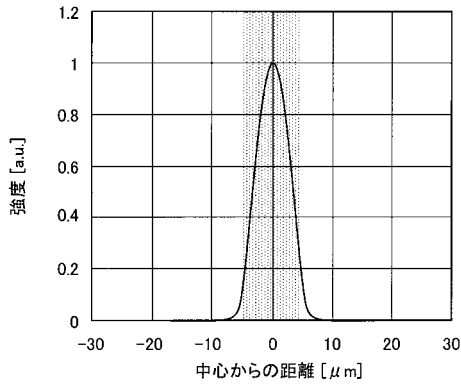
【図5】



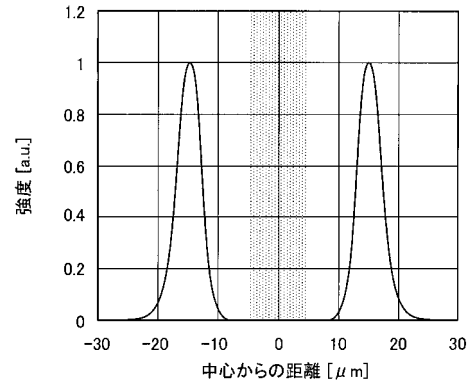
【図7】



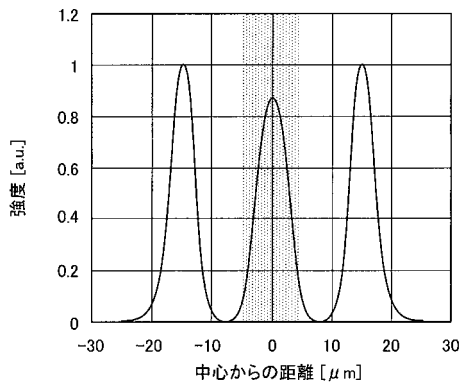
【 図 8 】



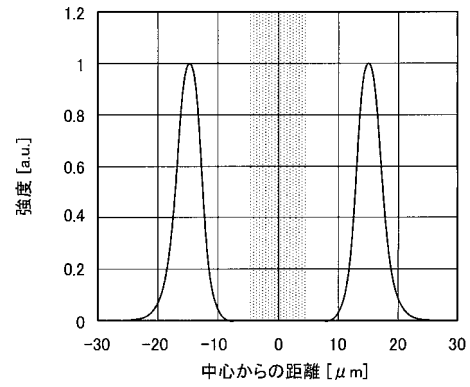
【 図 10 】



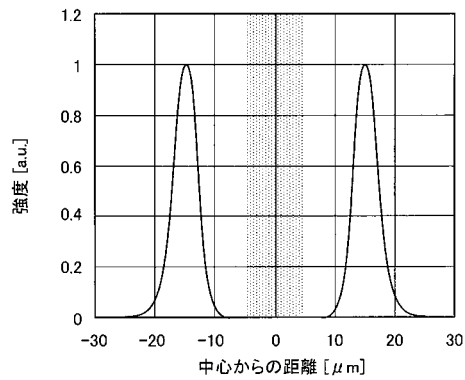
【 図 9 】



【 図 11 】



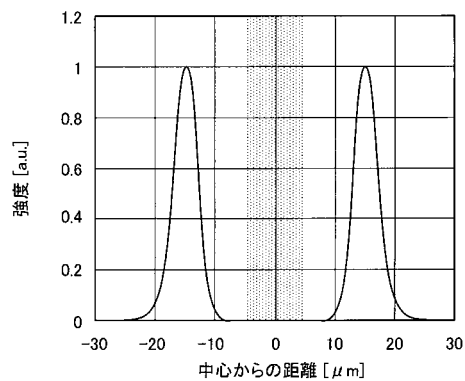
【 図 12 】



【 図 14 】

伝搬モード	結合効率
LP01	0.90
LP02	0.03
LP11	1.7E-34
LP21	3.3E-32
LP31	2.7E-37
LP41	2.5E-11

【 図 13 】



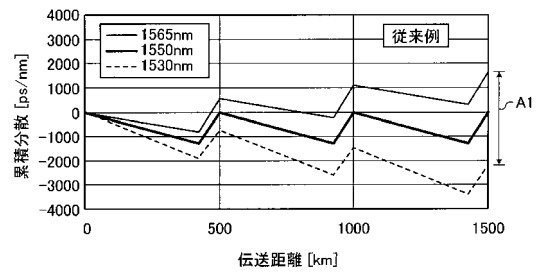
【 図 15 】

項目	$\Delta 1$	$\alpha 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	b/a	c/a	2a
単位	%	-	%	%	-	-	μm
実施例1	0.32	10	-0.12	0.2	2.6	4.7	11.43
実施例2	0.34	5	-0.63	0.24	1.9	3.2	12.07
実施例3	0.42	2	-0.32	0.28	2.15	3.15	11.78
実施例4	0.62	2	-0.1	0.2	2.9	4.8	7.67
実施例5	0.64	2	-0.7	0.3	2.3	3.6	8.25
実施例6	0.72	4	-0.4	0.25	2.8	4.4	6.12

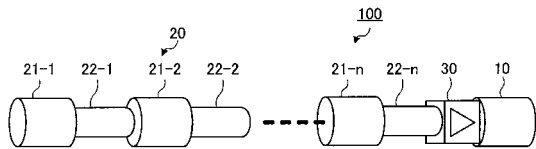
【図16】

項目	波長分散	Slope	DPS	MFD	A _{eff}	伝送損失	曲げ損失	λ _c
単位	ps/nm/km	ps/nm ² /km	nm	μm	μm ²	dB/km	dB/m	nm
実施例1	11.5	-0.288	-40	10.46	90.6	0.237	20	6800
実施例2	15.4	-0.200	-77	9.25	74.8	0.231	15	4100
実施例3	10.4	-0.201	-52	9.24	70.4	0.223	7	3900
実施例4	3.3	-0.058	-56	7.90	47.1	0.242	12	3900
実施例5	7.3	-0.397	-18	6.71	36.3	0.234	8	3000
実施例6	4.9	-0.055	-89	6.14	29.2	0.227	3	2500

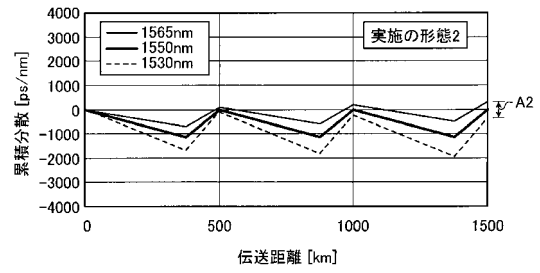
【図18】



【図17】



【図19】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 318833 (JP, A)
特開2005 - 196231 (JP, A)
特開平09 - 023187 (JP, A)
特開2005 - 197940 (JP, A)
国際公開第01 / 079902 (WO, A1)
今村勝徳他, Restrict Mode Excitation法による長距離伝送路の特性改善, 2007年電子情報通信学会総合大会講演論文集 通信2, 2007年 3月 7日, 第521頁, B-13-26
柏田智徳他, 分散スロープ補償ファイバの検討, 1999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, 1999年 3月 8日, 第185頁, C-3-31

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6 / 02 - 6 / 036