

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4134468号
(P4134468)

(45) 発行日 平成20年8月20日 (2008. 8. 20)

(24) 登録日 平成20年6月13日 (2008. 6. 13)

(51) Int. Cl. F I
GO 2 B 6/036 (2006. 01) GO 2 B 6/22
GO 2 B 6/02 (2006. 01) GO 2 B 6/16

請求項の数 7 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願平11-353262	(73) 特許権者	000002130
(22) 出願日	平成11年12月13日 (1999. 12. 13)		住友電気工業株式会社
(65) 公開番号	特開2001-166171 (P2001-166171A)		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(43) 公開日	平成13年6月22日 (2001. 6. 22)	(74) 代理人	100088155
審査請求日	平成18年4月6日 (2006. 4. 6)		弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100089978
			弁理士 塩田 辰也
		(74) 代理人	100092657
			弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100110582
			弁理士 柴田 昌聰
		(72) 発明者	加藤 考利
			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】

光軸中心を含み第1屈折率を有する第1コア領域と、前記第1コア領域を取り囲み前記第1屈折率より小さい第2屈折率を有する第2コア領域と、前記第2コア領域を取り囲み前記第2屈折率より大きい第3屈折率を有する第3コア領域と、前記第3コア領域を取り囲むクラッド領域とを有し、

前記クラッド領域が、前記第3コア領域の外側に隣接する内クラッド領域と、前記内クラッド領域の外側に隣接する外クラッド領域とを含み、

前記外側クラッド領域が、前記内クラッド領域の屈折率より大きい第4屈折率を有し、
 波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 15 \text{ ps/nm/km}$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $45 \mu\text{m}^2$ 以上であり、2mカットオフ波長が $1.40 \mu\text{m}$ 以上であり、

前記第1コア領域の直径を $2a$ 、前記第2コア領域の直径を $2b$ 、前記第3コア領域の直径を $2c$ 、前記内クラッド領域の直径を $2d$ と表すとし、それぞれの直径が、 $2a = 5.1 \mu\text{m} \sim 7.6 \mu\text{m}$ 、 $2b = 14.0 \mu\text{m} \sim 22.7 \mu\text{m}$ 、 $2c = 23.5 \mu\text{m} \sim 32.4 \mu\text{m}$ 、 $2d = 35.0 \mu\text{m} \sim 48.4 \mu\text{m}$ であり、

前記第4屈折率を基準として、前記第1コア領域の比屈折率差を Δn_1 、前記第2コア領域の比屈折率差を Δn_2 、前記第3コア領域の比屈折率差を Δn_3 、前記内クラッド領域の比屈折率差を Δn_4 と表すとし、それぞれの比屈折率差が、 $\Delta n_1 = 0.40\% \sim 0.$

10

20

5.8% 、 $\Delta n_2 = -0.20\% \sim -0.05\%$ 、 $\Delta n_3 = 0.15\% \sim 0.26\%$ 、 $\Delta n_4 = -0.20\% \sim -0.05\%$ である

ことを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】

波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 12 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 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3】

波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下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4】

波長帯域 $1.45 \sim 1.65 \mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上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5】

波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $50 \mu\text{m}^2$ 以上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6】

2mカットオフ波長が $1.60 \mu\text{m}$ 以上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7】

光軸中心を含み第1屈折率を有する第1コア領域と、前記第1コア領域を取り囲み前記第1屈折率より小さい第2屈折率を有する第2コア領域と、前記第2コア領域を取り囲み前記第2屈折率より大きい第3屈折率を有する第3コア領域と、前記第3コア領域の外側に隣接し前記第3屈折率より小さい第4屈折率を有するクラッド領域とを有し、

波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 15 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $45 \mu\text{m}^2$ 以上であり、2mカットオフ波長が $1.40 \mu\text{m}$ 以上であり、

前記第1コア領域の直径を $2a$ 、前記第2コア領域の直径を $2b$ 、前記第3コア領域の直径を $2c$ と表すとし、それぞれの直径が、 $2a = 7.0 \mu\text{m}$ 、 $2b = 20.8 \mu\text{m}$ 、 $2c = 32.0 \mu\text{m}$ であり、

前記第4屈折率を基準として、前記第1コア領域の比屈折率差を Δn_1 、前記第2コア領域の比屈折率差を Δn_2 、前記第3コア領域の比屈折率差を Δn_3 と表すとし、それぞれの比屈折率差が、 $\Delta n_1 = 0.44\%$ 、 $\Delta n_2 = 0.00\%$ 、 $\Delta n_3 = 0.13\%$ である

ことを特徴とする光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、波長多重伝送システムにおける光伝送路等として用いるのに好適な光ファイバに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

波長多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 伝送システムは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ 帯の多波長の信号光を用いて光通信を行うことで、高速・大容量の情報を伝送することができる。このようなWDM伝送システムでは、非線形光学現象 (特に四光波混合) の発生を抑圧する為に光伝送路における波長分散の絶対値を大きくするとともに、信号光波長帯域の広帯域化を図る為に光伝送路における分散スロープの絶対値を小さくすることが重要である。

【0003】

WDM伝送システムにおける光伝送路として用いられる光ファイバの1つに、ITUのG652規格で規格化されているシングルモード光ファイバがある。このシングルモード光

10

20

30

40

50

ファイバは、波長 $1.3 \mu\text{m}$ 付近に零分散波長を有しており、波長 $1.55 \mu\text{m}$ では波長分散が 17 ps/nm/km 程度であって比較的大きいことから、四光波混合の発生を十分に抑圧することができる。しかし、このシングルモード光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で分散スロープが $0.056 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 程度であって比較的大きいことから、多波長の信号光それぞれの波長分散の差が大きい。

【0004】

また、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープを低減した分散フラット光ファイバが提案されている（例えば、米国特許第5,684,909号明細書や、欧州特許出願公報EP 0 883 002 A1を参照）。この分散フラット光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で分散スロープが $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であって比較的小さい点では好適であるが、波長 $1.55 \mu\text{m}$ は波長分散が 8 ps/nm/km 程度であって比較的小さいことから、四光波混合の発生を十分に抑圧することができない。

10

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

以上のように、従来の光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で波長分散の絶対値が小さいか或いは分散スロープの絶対値が大きいものであって、WDM伝送システムの光伝送路として用いると、四光波混合の発生を十分に抑圧することができないか、或いは、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができない。

【0006】

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、四光波混合の発生を十分に抑圧することができ、且つ、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる光ファイバを提供することを目的とする。

20

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光ファイバは、光軸中心を含み第1屈折率を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み第1屈折率より小さい第2屈折率を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み第2屈折率より大きい第3屈折率を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲むクラッド領域とを有し、クラッド領域が、第3コア領域の外側に隣接する内クラッド領域と、内クラッド領域の外側に隣接する外クラッド領域とを含み、外側クラッド領域が、内クラッド領域の屈折率より大きい第4屈折率を有し、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 15 \text{ ps/nm/km}$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $45 \mu\text{m}^2$ 以上であり、2mカットオフ波長が $1.40 \mu\text{m}$ 以上であり、第1コア領域の直径を $2a$ 、第2コア領域の直径を $2b$ 、第3コア領域の直径を $2c$ 、内クラッド領域の直径を $2d$ と表すとし、それぞれの直径が、 $2a = 5.1 \mu\text{m} \sim 7.6 \mu\text{m}$ 、 $2b = 14.0 \mu\text{m} \sim 22.7 \mu\text{m}$ 、 $2c = 23.5 \mu\text{m} \sim 32.4 \mu\text{m}$ 、 $2d = 35.0 \mu\text{m} \sim 48.4 \mu\text{m}$ であり、第4屈折率を基準として、第1コア領域の比屈折率差を Δn_1 、第2コア領域の比屈折率差を Δn_2 、第3コア領域の比屈折率差を Δn_3 、内クラッド領域の比屈折率差を Δn_4 と表すとし、それぞれの比屈折率差が、 $\Delta n_1 = 0.40\% \sim 0.58\%$ 、 $\Delta n_2 = -0.20\% \sim -0.05\%$ 、 $\Delta n_3 = 0.15\% \sim 0.26\%$ 、 $\Delta n_4 = -0.20\% \sim -0.05\%$ であることを特徴とする。この光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいので、四光波混合の発生を抑制することができ、分散スロープの絶対値が小さいので、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

30

40

【0008】

また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 12 \text{ ps/nm/km}$ であることを特徴とする。この場合には、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化を抑制する上で好適である。

【0009】

また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。この場合には、信号光波長帯域

50

の広帯域化を図る上で更に好適である。

【0010】

また、本発明に係る光ファイバは、波長帯域 $1.45 \sim 1.65 \mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上であることを特徴とする。広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

【0011】

また、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $50 \mu\text{m}^2$ 以上であることを特徴とする。この場合には、実効断面積が大きいので、四光波混合の発生を抑制する上で好適である。

10

【0012】

また、本発明に係る光ファイバは、2 m カットオフ波長が $1.60 \mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。この場合には、信号光波長よりカットオフ波長の方が長いので、数百 m 以上の伝送をする場合、カットオフ波長の距離依存性を考慮すると、実用上問題がなく、信号光波長帯域でシングルモード条件を満たしている。また、曲げ損失が小さく、曲げに強く、ケーブル化でのロス増を抑えるのに好適である。

【0013】

他の本発明に係る光ファイバは、光軸中心を含み第1屈折率を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み第1屈折率より小さい第2屈折率を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み第2屈折率より大きい第3屈折率を有する第3コア領域と、第3コア領域の外側に隣接し第3屈折率より小さい第4屈折率を有するクラッド領域とを有し、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 15 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積が $45 \mu\text{m}^2$ 以上であり、2 m カットオフ波長が $1.40 \mu\text{m}$ 以上であり、第1コア領域の直径を $2a$ 、第2コア領域の直径を $2b$ 、第3コア領域の直径を $2c$ と表すとし、それぞれの直径が、 $2a = 7.0 \mu\text{m}$ 、 $2b = 20.8 \mu\text{m}$ 、 $2c = 32.0 \mu\text{m}$ であり、第4屈折率を基準として、第1コア領域の比屈折率差を Δn_1 、第2コア領域の比屈折率差を Δn_2 、第3コア領域の比屈折率差を Δn_3 と表すとし、それぞれの比屈折率差が、 $\Delta n_1 = 0.44\%$ 、 $\Delta n_2 = 0.00\%$ 、 $\Delta n_3 = 0.13\%$ であることを特徴とする。

20

30

【0014】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施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。

【0015】

図1は、本実施形態に係る光ファイバを説明する図である。この図に示すように、本実施形態に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 15 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。したがって、この光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいので、四光波混合の発生を抑制することができる。ただし、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が大きすぎると、ビットレート $40 \text{ Gb} / \text{s}$ 以上の光伝送では、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化が問題となるので、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8 \sim 12 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ であるのが、より好適である。

40

【0016】

本実施形態に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下であり、より好適には、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下である。したがって、この光ファイバは、分散スロープの絶対値が小さいので、信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

【0017】

本実施形態に係る光ファイバは、波長帯域 $1.45 \sim 1.65 \mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が $5 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上であるのが好適である。このように、Sバンド（波長帯域

50

1.45 ~ 1.53 μm)、Cバンド(波長帯域1.53 ~ 1.56 μm)およびLバンド(波長帯域1.56 ~ 1.65 μm)を含む広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

【0018】

本実施形態に係る光ファイバは、四光波混合の発生を抑制する上では、実効断面積が大きいのが好適である。したがって、波長1.55 μm における実効断面積は、45 μm^2 以上であるのが好適であり、50 μm^2 以上であるのがより好適である。

【0019】

また、本実施形態に係る光ファイバは、信号光波長帯域でシングルモードであるのが好適である。また、曲げ損失が小さく、曲げに強いことも重要である。したがって、2mカットオフ波長は、1.40 μm 以上であるのが好適であり、1.60 μm 以上であるのがより好適である。また、カットオフ波長の距離依存性を考慮すれば、2mカットオフ波長は、信号光波長より長い2.0 μm 程度であってもよい。ここで、2mカットオフ波長は、長さ2mの光ファイバを半径140mmでゆるく1回巻き付けた状態でのLP₁₁モードのカットオフ波長として定義される。

【0020】

図2は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な1例を示す図である。この光ファイバは、光軸中心を含み屈折率 n_1 を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み屈折率 n_2 を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み屈折率 n_3 を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み屈折率 n_4 を有するクラッド領域とを有する。各屈折率の大小関係は、

$$n_1 > n_2 \quad \dots (1a)$$

$$n_2 < n_3 \quad \dots (1b)$$

$$n_3 > n_4 \quad \dots (1c)$$

である。ここで、第1コア領域の外径を2aと表し、第2コア領域の外径を2bと表し、第3コア領域の外径を2cと表す。クラッド領域の屈折率 n_4 を基準として、第1コア領域の比屈折率差を Δn_1 と表し、第2コア領域の比屈折率差を Δn_2 と表し、第3コア領域の比屈折率差を Δn_3 と表す。

【0021】

図3は、本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な他の例を示す図である。光軸中心を含み屈折率 n_1 を有する第1コア領域と、第1コア領域を取り囲み屈折率 n_2 を有する第2コア領域と、第2コア領域を取り囲み屈折率 n_3 を有する第3コア領域と、第3コア領域を取り囲み屈折率 n_4 を有する内クラッド領域と、内クラッド領域を取り囲み屈折率 n_5 を有する内クラッド領域とを有する。各屈折率の大小関係は、

$$n_1 > n_2 \quad \dots (2a)$$

$$n_2 < n_3 \quad \dots (2b)$$

$$n_3 > n_4 \quad \dots (2c)$$

$$n_4 < n_5 \quad \dots (2d)$$

である。ここで、第1コア領域の外径を2aと表し、第2コア領域の外径を2bと表し、第3コア領域の外径を2cと表し、内クラッド領域の外径を2dと表す。外クラッド領域の屈折率 n_5 を基準として、第1コア領域の比屈折率差を Δn_1 と表し、第2コア領域の比屈折率差を Δn_2 と表し、第3コア領域の比屈折率差を Δn_3 と表し、内クラッド領域の比屈折率差を Δn_4 と表す。

【0022】

次に、本実施形態に係る光ファイバの実施例について説明する。図4は、各実施例の光ファイバの諸元を纏めた図表である。

【0023】

実施例1の光ファイバは、図2に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は0.44%であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は0.

10

20

30

40

50

0.0%であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は0.13%である。第1コア領域の外径 $2a$ は $7.0\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $20.8\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $32.0\mu\text{m}$ である。

【0024】

この実施例1の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1329nm であり、波長分散は、波長 $1.45\mu\text{m}$ で 8.2ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で 13.5ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で 18.0ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.048\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $63.4\mu\text{m}^2$ であり、直径 $32\text{mm}\phi$ での曲げ損失は 0.003dB/ターン である。2mカットオフ波長は $1.78\mu\text{m}$ である。

10

【0025】

実施例2の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は0.40%であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は-0.05%であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は0.15%であり、内クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 は-0.05%である。第1コア領域の外径 $2a$ は $7.6\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $16.3\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $25.5\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $38.0\mu\text{m}$ である。

【0026】

この実施例2の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1330nm であり、波長分散は、波長 $1.45\mu\text{m}$ で 7.5ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で 12.5ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で 17.1ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.047\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $69.2\mu\text{m}^2$ であり、直径 $32\text{mm}\phi$ での曲げ損失は 0.02dB/ターン である。2mカットオフ波長は $1.43\mu\text{m}$ である。

20

【0027】

実施例3の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は0.45%であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は-0.10%であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は0.19%であり、内クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 は-0.10%である。第1コア領域の外径 $2a$ は $6.7\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $18.9\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $29.5\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $44.0\mu\text{m}$ である。

30

【0028】

この実施例3の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1331nm であり、波長分散は、波長 $1.45\mu\text{m}$ で 6.8ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で 10.5ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で 12.6ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.027\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $54.1\mu\text{m}^2$ であり、直径 $32\text{mm}\phi$ での曲げ損失は 0.05dB/ターン である。2mカットオフ波長は $1.73\mu\text{m}$ である。

【0029】

実施例4の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は0.46%であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は-0.20%であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は0.26%であり、内クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 は-0.20%である。第1コア領域の外径 $2a$ は $6.4\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $22.7\mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $32.4\mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $48.4\mu\text{m}$ である。

40

【0030】

この実施例4の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1316nm であり、波長分散は、波長 $1.45\mu\text{m}$ で 8.4ps/nm/km であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ で 11.9ps/nm/km であり、波長 $1.65\mu\text{m}$ で 10.6ps/nm/km である。波長 $1.55\mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.015\text{ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実

50

効断面積は $45.5 \mu\text{m}^2$ であり、直径 $32 \text{ mm } \phi$ の曲げ損失は 0.47 dB / ターン である。2 m カットオフ波長は $1.82 \mu\text{m}$ である。

【0031】

実施例5の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は 0.44% であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は -0.08% であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は 0.18% であり、内クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 は -0.08% である。第1コア領域の外径 $2a$ は $7.0 \mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $18.7 \mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $29.2 \mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $43.6 \mu\text{m}$ である。

【0032】

この実施例5の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1327 nm であり、波長分散は、波長 $1.45 \mu\text{m}$ で 7.4 ps / nm / km であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で $11.6 \text{ ps / nm / km}$ であり、波長 $1.65 \mu\text{m}$ で $14.5 \text{ ps / nm / km}$ である。波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.034 \text{ ps / nm}^2 / \text{km}$ であり、実効断面積は $57.3 \mu\text{m}^2$ であり、直径 $32 \text{ mm } \phi$ の曲げ損失は 0.02 dB / ターン である。2 m カットオフ波長は $1.71 \mu\text{m}$ である。

【0033】

実施例6の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は 0.44% であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は -0.10% であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は 0.18% であり、内クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 は -0.10% である。第1コア領域の外径 $2a$ は $6.8 \mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $17.8 \mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $29.9 \mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $44.6 \mu\text{m}$ である。

【0034】

この実施例6の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1339 nm であり、波長分散は、波長 $1.45 \mu\text{m}$ で 5.6 ps / nm / km であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で 8.4 ps / nm / km であり、波長 $1.65 \mu\text{m}$ で 9.7 ps / nm / km である。波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.018 \text{ ps / nm}^2 / \text{km}$ であり、実効断面積は $57.2 \mu\text{m}^2$ であり、直径 $32 \text{ mm } \phi$ の曲げ損失は 0.07 dB / ターン である。2 m カットオフ波長は $1.85 \mu\text{m}$ である。

【0035】

実施例7の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は 0.58% であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は -0.10% であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は 0.22% であり、内クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 は -0.10% である。第1コア領域の外径 $2a$ は $5.1 \mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $14.0 \mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $23.5 \mu\text{m}$ であり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $35.0 \mu\text{m}$ である。

【0036】

この実施例7の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1700 nm であり、波長分散は、波長 $1.45 \mu\text{m}$ で $-13.4 \text{ ps / nm / km}$ であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で $-12.4 \text{ ps / nm / km}$ であり、波長 $1.65 \mu\text{m}$ で $-5.6 \text{ ps / nm / km}$ である。波長 $1.55 \mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.037 \text{ ps / nm}^2 / \text{km}$ であり、実効断面積は $55.2 \mu\text{m}^2$ であり、直径 $32 \text{ mm } \phi$ の曲げ損失は 0.15 dB / ターン である。2 m カットオフ波長は $1.72 \mu\text{m}$ である。

【0037】

実施例8の光ファイバは、図3に示した屈折率プロファイルを有するものであって、第1コア領域の比屈折率差 Δn_1 は 0.44% であり、第2コア領域の比屈折率差 Δn_2 は -0.10% であり、第3コア領域の比屈折率差 Δn_3 は 0.16% であり、内クラッド領域の比屈折率差 Δn_4 は -0.10% である。第1コア領域の外径 $2a$ は $6.8 \mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $17.8 \mu\text{m}$ であり、第3コア領域の外径 $2c$ は $26.8 \mu\text{m}$

10

20

30

40

50

mであり、内クラッド領域の外径 $2d$ は $44.6\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0038】

この実施例8の光ファイバの諸特性を評価したところ、零分散波長は 1353 nm であり、波長分散は、波長 $1.45\text{ }\mu\text{m}$ で 6.6 ps/nm/km であり、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ で 10.3 ps/nm/km であり、波長 $1.65\text{ }\mu\text{m}$ で 12.7 ps/nm/km である。波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ において、分散スロープは $0.029\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ であり、実効断面積は $55.8\text{ }\mu\text{m}^2$ であり、直径 $32\text{ mm}\phi$ での曲げ損失は 0.06 dB/ターン である。 2 m カットオフ波長は $1.63\text{ }\mu\text{m}$ である。

【0039】

実施例1～8の何れの光ファイバも、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 15\text{ ps/nm/km}$ であり、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、波長帯域 $1.45\sim 1.65\text{ }\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が 5 ps/nm/km 以上であり、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における実効断面積が $45\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上であり、また、 2 m カットオフ波長が $1.40\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。特に、実施例3～6および12それぞれの光ファイバは、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 12\text{ ps/nm/km}$ である。実施例3, 4, 6および8それぞれの光ファイバは、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下である。実施例1～3および5～8それぞれの光ファイバは、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における実効断面積が $50\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上である。実施例1および3～8それぞれの光ファイバは、 2 m カットオフ波長が $1.60\text{ }\mu\text{m}$ 以上である。

【0040】

図5は、実施例3および7それぞれの光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。実施例3および7それぞれの光ファイバは、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における波長分散が互いに異符号である。これらの光ファイバを組み合わせることで、全体の平均波長分散の絶対値を小さくすることができ、累積分散量の絶対値を小さくすることができる。また、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における波長分散が互いに異符号であって分散スロープも互いに異符号である2本の本実施形態に係る光ファイバを組み合わせることで、広い波長帯域において、全体の平均波長分散の絶対値を小さくすることができ、累積分散量の絶対値を小さくすることができる。

【0041】

本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく種々の変形が可能である。例えば、本実施形態に係る光ファイバは、実施例1～8のものに限られることなく、他の設計も可能である。

【0042】

【発明の効果】

以上、詳細に説明したとおり、本発明に係る光ファイバは、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 15\text{ ps/nm/km}$ であり、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.05\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下である。このことから、本発明に係る光ファイバは、波長分散の絶対値が大きいのので四光波混合の発生を抑制することができ、分散スロープの絶対値が小さいので信号光波長帯域の広帯域化を図ることができる。

【0043】

また、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における波長分散の絶対値が $8\sim 12\text{ ps/nm/km}$ である場合には、非線形光学現象と累積分散との相互作用に因る波形劣化を抑制する上で好適である。波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値が $0.03\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下である場合には、信号光波長帯域の広帯域化を図る上で更に好適である。波長帯域 $1.45\sim 1.65\text{ }\mu\text{m}$ において波長分散の絶対値が 5 ps/nm/km 以上である場合には、広い波長帯域で波長分散の絶対値が大きいのので、この広い信号光波長帯域で四光波混合の発生を抑制することができ、大容量の光通信を行うことができる。

【0044】

また、波長 $1.55\text{ }\mu\text{m}$ における実効断面積が $45\text{ }\mu\text{m}^2$ 以上（より好適には $50\text{ }\mu\text{m}^2$ 以

上)である場合には、実効断面積が大きいので、四光波混合の発生を抑制する上で好適である。2 mカットオフ波長が $1.40\text{ }\mu\text{m}$ 以上(より好適には $1.60\text{ }\mu\text{m}$ 以上)である場合には、信号光波長帯域でシングルモード条件を満たし、また、曲げ損失が小さく、曲げに強いので、ケーブル化の際のロス増を抑えるのに好適である。

【図面の簡単な説明】

【図1】本実施形態に係る光ファイバを説明する図である。

【図2】本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な1例を示す図である。

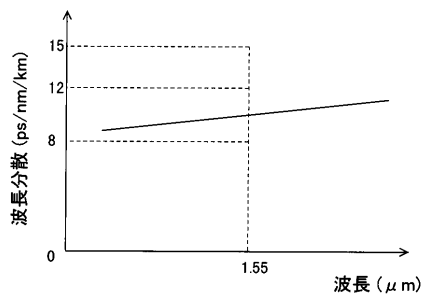
【図3】本実施形態に係る光ファイバの屈折率プロファイルの好適な他の例を示す図である。

【図4】各実施例の光ファイバの諸元を纏めた図表である。

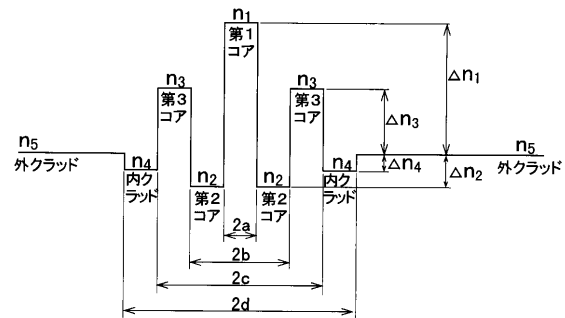
【図5】各実施例の光ファイバの波長分散の波長依存性を示すグラフである。

10

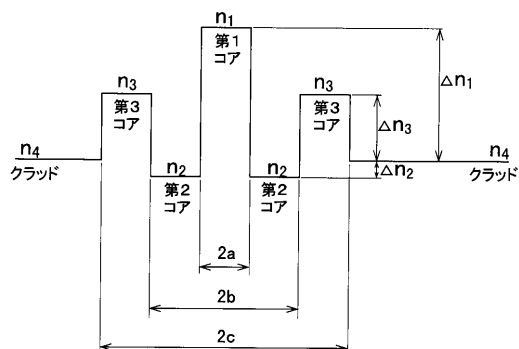
【図1】



【図3】



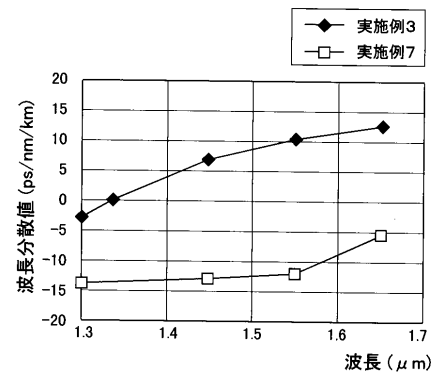
【図2】



【図 4】

実施例	1	2	3	4	5	6	7	8
Δn_1 (%)	0.44	0.40	0.45	0.46	0.44	0.44	0.58	0.44
Δn_2 (%)	0.00	-0.05	-0.10	-0.20	-0.08	-0.10	-0.10	-0.10
Δn_3 (%)	0.13	0.15	0.19	0.26	0.18	0.18	0.22	0.16
Δn_4 (%)	—	-0.05	-0.10	-0.20	-0.08	-0.10	-0.10	-0.10
2a (μm)	7.0	7.6	6.7	6.4	7.0	6.8	5.1	6.8
2b (μm)	20.8	16.3	18.9	22.7	18.7	17.8	14.0	17.8
2c (μm)	32.0	25.5	29.5	32.4	29.2	29.9	23.5	26.8
2d (μm)	—	38.0	44.0	48.4	43.6	44.6	35.0	44.6
零分散波長 (nm)	1329	1330	1331	1316	1327	1339	1700	1333
波長分散 (ps/nm/km)								
@1.45 μm	8.2	7.5	6.8	8.4	7.4	5.6	-13.4	6.6
@1.55 μm	13.5	12.5	10.5	11.9	11.6	8.4	-12.4	10.3
@1.65 μm	18.0	17.1	12.6	10.6	14.5	9.7	-5.6	12.7
分散スロープ @1.55 μm (ps/nm ² /km)	0.048	0.047	0.027	0.015	0.034	0.018	0.037	0.029
実効断面積 @1.55 μm (μm^2)	63.4	69.2	54.1	45.5	57.3	57.2	55.2	55.8
32mm ϕ 曲げ損失 @1.55 μm (dB/ターン)	0.003	0.02	0.05	0.47	0.02	0.07	0.15	0.06
2mカットオフ波長(μm)	1.78	1.43	1.73	1.82	1.71	1.85	1.72	1.63

【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 大西 正志

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 久保 祐二

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 和田 将彦

(56)参考文献 国際公開第 0 1 / 0 0 1 1 7 9 (W O , A 1)

国際公開第 0 0 / 0 1 7 6 8 1 (W O , A 1)

特開平 1 0 - 0 7 3 7 3 8 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G02B 6/036

G02B 6/02