

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-133431

(P2004-133431A)

(43) 公開日 平成16年4月30日(2004.4.30)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
GO2B 6/22	GO2B 6/22	2H050
GO2B 6/10	GO2B 6/10	C
GO2B 6/18	GO2B 6/18	

審査請求 有 請求項の数 10 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2003-312612 (P2003-312612)	(71) 出願人	302003314
(22) 出願日	平成15年9月4日 (2003.9.4)		ファイテル ユーエスエー コーポレーション
(31) 優先権主張番号	10/234818		Fitel USA Corp.
(32) 優先日	平成14年9月4日 (2002.9.4)		アメリカ合衆国 30071 ジョージア
(33) 優先権主張国	米国 (US)		, ノアクロス, ノースイースト エクスプレスウェイ 2000
		(74) 代理人	100064447
			弁理士 岡部 正夫
		(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央
		(74) 代理人	100096943
			弁理士 白井 伸一

最終頁に続く

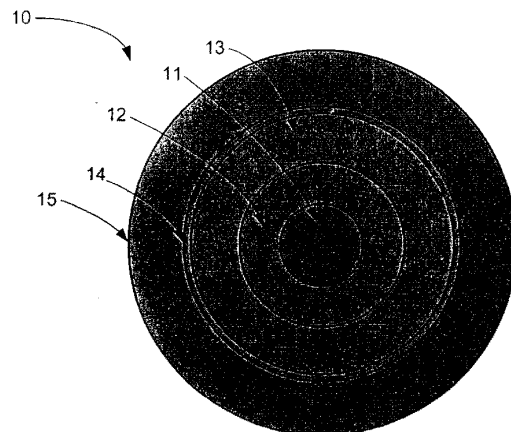
(54) 【発明の名称】 光ファイバ通信とその光ファイバの製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 相対的に低いファイバ損失、スプライス損失および大きな実効モード・フィールド面積を有する逆分散ファイバ10を提供する。

【解決手段】 逆分散ファイバ10は、屈折率 n_1 のドープされたコア領域11、屈折率 n_2 のクラッド領域15、屈折率 n_3 、 n_4 および n_5 をそれぞれ備え、コア領域11とクラッド領域15の間に形成されたトレンチ領域12、第1のバリヤ領域13及び第2のバリヤ領域14を含む。好ましい実施形態による逆分散ファイバ10は約-44ピコ秒/(ナノメートル-キロメートル)の色分散、および相対的に大きな、すなわち、例えば約 $30\mu\text{m}^2$ を超える実効面積 A_{eff} を、両方共に1550nmの波長で有する。

【選択図】 図1A



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ファイバ通信システムであって、
 少なくとも1つの光学エネルギー源、
 前記少なくとも1つの光学エネルギー源に結合された少なくとも1つの正分散光ファイバ、および前記正分散光ファイバに結合された少なくとも1つの逆分散光ファイバを含む光ファイバ・ケーブルにおいて、

前記逆分散光ファイバ(10)が、
 屈折率 n_1 を有するドープされたコア領域(11)、

屈折率 n_2 を有するクラッド領域(15)、

前記ドープされたコア領域(11)と前記クラッド領域(15)の間であって、かつ前記ドープされたコア領域(11)に隣接し、屈折率 n_3 を有するトレンチ領域(12)、

前記ドープされたコア領域(11)と前記クラッド領域(15)の間であって、かつ前記トレンチ領域(12)に隣接し、屈折率 n_4 を有する第1のバリヤ領域(13)、及び

前記ドープされたコア領域(11)と前記クラッド領域(15)の間であって、かつ前記第1のバリヤ領域(13)に隣接し、屈折率 n_5 を有する第2のバリヤ領域(14)を含み、

前記逆分散光ファイバ(10)が、1550ナノメートル(nm)の波長で約-48ピコ秒/(ナノメートル-キロメートル)と-38ピコ秒/(ナノメートル-キロメートル)の間の色分散を有し、

前記逆分散光ファイバ(10)が、1550nmで約0.235デシベル(dB)/キロメートル(dB/km)以下の損失中央値を有する光ファイバ・ケーブル、及び

前記少なくとも1つの光学エネルギー源から光学エネルギーを受けるために前記逆分散光ファイバ(10)に結合される少なくとも1つの受信器を含む光ファイバ通信システム。

【請求項 2】

前記逆分散光ファイバ(10)が、1550nmの波長で約 0.0030nm^{-1} の相対的分散勾配(RDS)を有する、請求項1に記載のシステム。

【請求項 3】

前記ドープされたコア領域(11)、前記クラッド領域(15)、前記トレンチ領域(12)、前記第1のバリヤ領域(13)および前記第2のバリヤ領域(14)が、約 $0.709\% < \Delta n_1 < 1\%$ 、約 $-0.358\% < \Delta n_2 < -0.293\%$ 、約 $0.194\% < \Delta n_3 < 0.237\%$ 、および約 $-0.045\% < \Delta n_4 < -0.037\%$ となるように構成され、 $\Delta n_1 = (n_1 - n_2) / n_2$ 、 $\Delta n_2 = (n_3 - n_2) / n_2$ 、 $\Delta n_3 = (n_4 - n_2) / n_2$ 、および $\Delta n_4 = (n_5 - n_2) / n_2$ である、請求項1に記載のシステム。

【請求項 4】

Δn_1 が約0.788%、 Δn_2 が約-0.326%、 Δn_3 が約0.215%、および Δn_4 が約-0.041%である、請求項3に記載のシステム。

【請求項 5】

前記逆分散光ファイバ(10)が、1550nmの波長で少なくとも約30マイクロメートル平方(μm^2)の実効モード・フィールド面積、 A_{eff} を有する、請求項1に記載のシステム。

【請求項 6】

前記光ファイバ・ケーブルが、互いにスプライス接続された複数の逆分散ファイバ(10)をさらに有し、スプライス接続された逆分散ファイバの間のスプライス損失が約1550nmの波長で0.15dB以下である、請求項1に記載のシステム。

【請求項 7】

前記正分散ファイバと前記逆分散ファイバ(10)の間のスプライス損失が約1550nmの波長で0.40dB以下である、請求項1に記載のシステム。

【請求項 8】

10

20

30

40

50

前記逆分散光ファイバ(10)が1550nmの波長で約6.4μmのモード・フィールド直径(MFD)を有する、請求項1に記載のシステム。

【請求項9】

光ファイバを作製するための方法であって、

屈折率 n_1 を有するドーブされたコア領域(11)を形成する工程、

前記ドーブされたコア領域(11)の周囲に屈折率 n_3 を有するトレンチ領域(12)を形成する工程、

前記トレンチ領域(12)の周囲に屈折率 n_4 を有する第1のバリヤ領域(13)を形成する工程、

前記第1のバリヤ領域(13)の周囲に屈折率 n_5 を有する第2のバリヤ領域(14)を形成する工程、および

前記第2のバリヤ領域(14)の周囲に屈折率 n_2 を有するクラッド領域(15)を形成する工程を含み、

前記ドーブされたコア領域(11)、前記クラッド領域(15)、前記トレンチ領域(12)、前記第1のバリヤ領域(13)および前記第2のバリヤ領域(14)が、約 $0.709\% < \alpha_1 < 1\%$ 、約 $-0.358\% < \alpha_2 < -0.293\%$ 、約 $0.194\% < \alpha_3 < 0.237\%$ 、および約 $-0.045\% < \alpha_4 < -0.037\%$ となるように構成され、 $\alpha_1 = (n_1 - n_2) / n_2$ 、 $\alpha_2 = (n_3 - n_2) / n_2$ 、 $\alpha_3 = (n_4 - n_2) / n_2$ 、および $\alpha_4 = (n_5 - n_2) / n_2$ である方法。

【請求項10】

α_1 が約0.788%、 α_2 が約-0.326%、 α_3 が約0.215%、および α_4 が約-0.041%である、請求項9に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、逆分散光ファイバに関する。さらに特定すると、本発明は従来の逆分散ファイバとの相対関係で低減された光学損失を有し、かつ広い実効面積の正分散ファイバで分散を補償するのに適した逆分散光ファイバに関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバは、相対的に大量の情報を含む光学信号を相対的に低い減衰で長距離にわたって伝送することのできるガラスもしくはプラスチックの細い線条である。通常、光ファイバは、ガラスもしくは他の適切な材料で作製された保護クラッド領域によって取り囲まれた屈折性のコア領域を有する光学プリフォームの一部を加熱して引き延ばすことによって作製される。プリフォームから引き延ばされた光ファイバは、通常、クラッド領域に付着される1層または複数層のコーティングによってさらに保護される。

【0003】

光ファイバ上の伝送の進歩は、光ファイバが極めて大きい帯域幅の可能性を有することを可能にしてきた。そのような帯域幅は数千の電話通話と数百のテレビジョン・チャンネルが毛髪のように細いファイバ上で同時に伝送されるのを可能にする。光ファイバ上の伝送能力は、いくつかのチャンネルが単一のファイバ上に多重化され、各々のチャンネルが異なる波長で動作する波長分割多重(WDM)システムで向上する。しかしながら、WDMシステムでは、システムの容量を大幅に低下させる4光子混合といったチャンネル間の非線形相互作用が生じる。この問題は、本出願の譲受人によって所有される米国特許第5,327,516号('516特許)によって大きく解決された。'516特許は動作波長で少量の色分散を導入することによってこれらの非線形相互作用を減少させる光ファイバを開示している。単一のファイバ上で伝送されるWDMチャンネルの数が増すにつれて、光ファイバによって運搬される光学パワーもまた増大する。光学パワーが増大するにつれてチャンネル間の相互作用によって引き起こされる非線形効果もまた増加する。したがって、特に、増え続ける帯域幅要求の観点から、チャンネル間の非線形相互作用を減少させるために

10

20

30

40

50

WDMチャネルの各々に少量の色分散を供給することが光ファイバにとって望ましい。しかしながら、伝送リンクの後で信号を修復することを可能にするために、導入される分散が様々なWDMチャネルの中で可能な限りわずかに変わることが重要である。

【0004】

光ファイバを作製するのに使用される材料の品質で重要な進歩が遂げられてきた。1970年には、ガラス・ファイバの受容可能な損失は20 dB/kmであったが、それに対して現在の損失は、概して、約0.25 dB/kmである。ガラス・ファイバに関する理論的最少損失は0.16 dB/kmであり、それは約1550ナノメートル(nm)の波長で生じる。ガラス・ファイバ内の分散は、ガラス・ファイバ内の光の速度が光の伝送波長の関数であるという事実に起因して、波長範囲を含む複数パルスのパルス拡散を引き起こす。パルスの拡張はファイバ分散、ファイバ長さおよび光源のスペクトル幅の関数である。個々のファイバに関する分散は、概して、縦軸上の分散(1ナノメートル(nm)当たりのピコ秒(ps)の単位、またはps/nm)またはps/nm-km(キロメートル)および横軸上の波長を有するグラフ(図示せず)を使用して描かれる。正と負の両方の分散が生じる可能性があり、それゆえに縦軸は、例えば、-250から+25 ps/nm-kmの範囲になる可能性がある。分散がゼロに等しくなる横軸上の波長はファイバの最高帯域に相当する。しかしながら、通常、この波長はファイバが最小の減衰量で光を送る波長と一致しない。

10

【0005】

例えば、通常の単一モードファイバは、概して、1550 nmで最も良好に(すなわち最小の減衰量で)伝送するが、それに対して同じファイバに関する分散は1310 nmでほぼゼロになるであろう。また、ガラス・ファイバについて前述した理論的最少損失も約1550 nmの伝送波長で生じる。最少減衰量は零分散以上に優先されるので、そのようなファイバ上で伝送するのに普通使われる波長は、通常、1550 nmである。また、ファイバ上で搬送される光信号を増幅するために現在最も一般的に使用されるエルビウム・ドープした増幅器は1530 nmから1565 nmの範囲で動作する。そのようなファイバに関する分散は1550 nmの最適伝送波長ではなくてむしろ1310 nmの波長で最もゼロに近くなるであろうから、最良の全体システムの性能(すなわち低損失と低分散)を供給するために伝送経路にわたる分散補償を改善することに常に試みが為される。

20

【0006】

1550 nmの伝送波長で分散補償を改善するために、普通は正分散ファイバ(PDF)である伝送ファイバを逆分散ファイバ(IDF)と結合させることが知られている。正分散の伝送ファイバは、通常、チャネル間の非線形相互作用を減少させるために分散を導入するように設計される。逆分散ファイバは負の分散を有し、負の分散の勾配は、広範な波長範囲で分散を補償し、残留分散を最少限にする(すなわち中心波長チャネル以外の波長チャネル上の分散を補償する)ために、正分散の伝送ファイバの分散特性と合致(但し、符号は逆)する。

30

【0007】

伝送PDFはスプライス接続によってある長さのIDFと結合される。PDFとIDFの組み合わせは内因性のファイバ損失とスプライス接続の損失の両方を有する。もちろん、伝送リンクに関する全体的な光学損失は最少限に保たなければならない。伝送リンクが大きな損失を有するにつれてさらに多くの増幅器が伝送品質の劣化を防止するために必要となるので、これは特に長距離伝送リンクで真実である。例えば、大洋横断通信システムでは、広い実効面積のPDF、および整合する分散を有してかつ分散勾配特性がPDFのそれとは逆符号のIDFを使用することが好都合である。この組み合わせは伝送波長範囲にわたる残留分散の蓄積を最少限にする結果につながる。従来のIDFは、例えば、1550 nmで約0.246 db/kmの損失中間値を有する。伝送リンクの全体的損失を減少させる1つの方法は、現在使用されている従来のIDFよりも低いファイバ損失を有するIDFを利用することであろう。

40

【0008】

50

IDFのような多くのファイバの形態は、ファイバの屈折率プロファイルから確認することができる。屈折率プロファイルは、その中心軸からの距離の関数としてファイバの屈折率がどのように変化するかを示すものである。屈折率プロファイルを説明するために使用されるパラメータは、概して、ガラスの最も外側の層の屈折率を参照する。屈折率プロファイルの理想化されたモデルは、通常、異なる屈折率の軸対称のリングもしくは領域を有する。しかしながら、これらの領域のうちのいずれの箇所の数、サイズおよび/または形状を変化させても、概して、ファイバの複数の特性に影響を与える(例えば、分散勾配が小さくなるが、屈曲損失が増大するかまたは実効面積が減少する)。したがって、前部ではないがほとんどの望ましい特性をファイバに供給して、それでもなお容易に作製される屈折率プロファイルを作り出すことが有意な設計努力である。

10

【0009】

現在使用されている従来型の本IDFのファイバ損失よりも低いファイバ損失を備えたIDFを提供し、かつPDFとIDFの組み合わせを有する伝送リンクにわたる残留分散の最少の蓄積を提供する屈折率プロファイルを備えたIDFを得ることが望ましいであろう。付け加えると、このIDFをPDFにスプライス接続するときの損失は可能な限り低く保たなければならない。超大実効面積PDFのような大実効面積PDFの分散を補償するのに適したIDFを提供することもやはり望ましいであろう。

【特許文献1】米国特許第5,327,516号

【非特許文献1】「Ultra Low Nonlinearity Low Loss Pure Silica Core Fiber」、Electronics Letters Online No.19991094、1999年8月3日

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明は、1つまたは複数の送信装置、1つまたは複数の受信装置、およびそれらの中に結合される少なくとも1本の正分散光ファイバとそれに対応する逆分散ファイバを含む少なくとも1本の光ファイバ・ケーブルを有する光通信システムを具体化する。本発明の実施形態によると、逆分散ファイバは負の分散および波長1550nm付近の負の分散の勾配を有する。逆分散ファイバは、屈折率 n_1 のドープされたコア領域、屈折率 n_2 のクラッド領域、および屈折率 n_3 、 n_4 と n_5 をそれぞれ備えてドープ・コア領域とクラッド領域の間に形成されたトレンチ領域、第1のバリヤ領域と第2のバリヤ領域を有する。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の実施形態による逆分散ファイバは、約-44ピコ秒/(ナノメートル-キロメートル)の色分散と、例えば約 $30.0 \mu\text{m}^2$ 以上の相対的に大きなモード・フィールド面積、 A_{eff} を両方共に1550ナノメートルの波長で有することが好ましい。逆分散ファイバの様々な領域は、屈折率範囲が、例えば、 $0.709\% < (n_1 - n_2) / n_2 < 1\%$ 、 $-0.358\% < (n_3 - n_2) / n_2 < -0.293\%$ 、 $0.194\% < (n_4 - n_2) / n_2 < 0.237\%$ 、および $-0.045\% < (n_5 - n_2) / n_2 < -0.037\%$ であることが好ましくなるような方式で作製される。本発明の好ましい実施形態によると、光ファイバの作製は約 $4.83 \mu\text{m}$ の直径を有するコア領域、約 $11.01 \mu\text{m}$ の直径を有するトレンチ領域、約 $18.44 \mu\text{m}$ の直径を有する第1のバリヤ領域、および約 $21.97 \mu\text{m}$ の直径を有する第2のバリヤ領域の作製を含む。

40

【0012】

コアの屈折率は指数法則に準じるようにグレーデッド処理され、 $1 < \dots < 7$ のときの指数であることが好ましい。コア領域は、例えばゲルマニウムまたはその他の適切な材料でドープされる。トレンチ領域、第1のバリヤ領域、第2のバリヤ領域およびクラッド領域は、例えばゲルマニウムおよび/またはフッ素、および/またはその他の適切な材料でドープされる。本発明の実施形態による逆分散光ファイバは、既存の正分散光ファイバを含む正分散光ファイバへの向上した補償を提供する。

50

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

ここに述べるIDFは特定の特性と特定の屈折率プロファイルを有して説明されるであろう。しかしながら、ここに述べるIDFは本発明のIDFの範例であることに留意すべきである。ここに提供した考察の観点から、本発明のIDFがいかなる特定のIDFにも限定されないことを当業者は理解するであろう。ここに述べるIDFのものとは異なる特性と屈折率プロファイルを有するIDFもやはり本発明の範囲内である。

【0014】

本発明のIDFは、例えば「Ultra Low Nonlinearity Low Loss Pure Silica Core Fiber」、Electronic Letters Online No. 19991094、1999年8月3日、に述べられているようなSumitomo Electric Industries, Ltd. から得られる正分散の、純シリカのコア・ファイバ、Corningから得られるVascade 100ファイバ、Fujitsuから得られる大実効面積ファイバ、およびFitel USA Corporationから得られるUltra Wave (登録商標) SLAファイバといった多くのタイプの光ファイバで分散を補償するのに適している。

【0015】

上記で考察したように、光ファイバの全体的な分散は、概して、光ファイバを作製するのに使用される実際の材料によって決まる材料分散と、ファイバの屈折率プロファイルの関数である導波路分散の組み合わせの結果として生じる。図1Aは本発明の好ましい実施形態によるIDF10の断面図を示し、図1Bはそれに対応する屈折率プロファイルを示す。IDF10は複数の層11、12、13、14および15を含み、それらの各々が異なる屈折率を有する。領域11はファイバ10の中心のコアに相当し、公称屈折率 n_1 を有する。中心コア領域11は公称屈折率 n_3 を有する環状リングもしくは領域12(トレンチ領域)で取り囲まれる。トレンチ領域12は公称屈折率 n_4 を有する第2の環状領域13(第1のバリヤ領域)で取り囲まれる。第2の領域13は公称屈折率 n_5 を有する第3の環状領域14(第2のバリヤ領域)で取り囲まれる。公称屈折率 n_2 を有する外側クラッド層15が領域14を取り囲む。

【0016】

光ファイバ10が縮尺通り(クラッド層15の外径は約 $125\mu\text{m}$ であることが好ましいが、それに対してコア領域11の直径は約 $6\mu\text{m}$ 未満であることが好ましい)に描かれていないことに留意すべきである。やはり以下の説明でさらに詳細に検討するように、様々な領域の相対的屈折率の値が理由で、かつそれらの機能に起因して、第1の領域12はこれ以降トレンチ領域と称され、第2の領域13はこれ以降第1のバリヤ領域と称され、第3の領域はこれ以降第2のバリヤ領域と称されるであろう。領域15はこれ以降外側クラッド層と称されるであろう。

【0017】

図1Aのリングは、領域11~15の屈折率間の変化が急峻であることを示唆しているけれども、これは事実とは異なる。本発明の好ましい実施形態によると、ファイバ10はグレーデッド・インデックスのファイバであり、隣接する層間の屈折率変化は緩やかである。しかしながら、領域間の区別を容易にすることができるように急峻な変化が図1Aに示されている。

【0018】

図1Bは図1Aに示したファイバ10の屈折率プロファイルの図式的な表現である。Y軸は屈折率 $\times 100$ に相当し、X軸はファイバ10のコア11の中心からファイバ10のクラッド層15の外側エッジに向かって半径に沿った位置に相当する。図1Bに示した屈折率の値は実際には相対的屈折率の値であり、すなわち、それらは外側クラッド層15の屈折率に対する相対値である。したがって、図1Bに与えられた屈折率値は、特定の領域の屈折率値と外側クラッド層15のそれの間の差異を外側クラッド層のそれで割り算した

10

20

30

40

50

ものに関する(すなわち、 $(n_{\text{region}} - n_{\text{cladding}}) / n_{\text{cladding}}$)。したがって、ファイバ10の様々な領域の屈折率をここで考察するとき、それらが実際には相対的屈折率であると理解すべきである。

【0019】

コア領域11は屈折率 n_1 を有する。トレンチ領域12は n_1 よりも小さい屈折率 n_3 を有する。第1のバリヤ領域13は n_3 よりも大きい屈折率 n_4 を有する。第2のバリヤ領域14は n_4 (第1のバリヤ領域のそれ)よりも小さいが n_3 (トレンチ領域のそれ)よりも大きい屈折率 n_5 を有する。クラッド領域15は n_3 (トレンチ領域のそれ)および n_5 (第2のバリヤ領域のそれ)よりも大きいが、 n_4 (第1のバリヤ領域のそれ)および n_1 (コアのそれ)よりも小さい屈折率 n_2 を有する。

10

【0020】

コア領域11は半径 b_1 を有する。トレンチ領域12は外側半径 b_2 を有し、内側半径は b_1 である。第1のバリヤ領域13は外側半径 b_3 と内側半径 b_2 を有する。第2のバリヤ領域14は外側半径 b_4 と内側半径 b_3 を有する。クラッド領域15は外側半径 b_5 と内側半径 b_4 を有する。

【0021】

図1Bに示したファイバの屈折率プロファイル20は本発明の好ましい実施形態によるファイバを表し、それはゲルマニウムをドーブされたシリカ(SiO_2)のコア11(例えば、適量の GeO_2 とFでドーブされた SiO_2)、コア領域11を取り囲み、フッ素(F)および/またはゲルマニウム(Ge)をドーブされたトレンチ領域12(例えば、適量の GeO_2 およびFでドーブされた SiO_2)、トレンチ領域12を取り囲み、ゲルマニウムおよび/またはフッ素および/またはリンをドーブされた第1のバリヤ領域13(例えば、適量の GeO_2 、FおよびPでドーブされた SiO_2)、第1のバリヤ領域13を取り囲み、ゲルマニウムおよび/またはフッ素をドーブ、および/またはリンをドーブされた第2のバリヤ領域14(例えば、適量の GeO_2 とF、およびFでドーブされた SiO_2)および第2のバリヤ領域14を取り囲む純シリカの外側クラッド層15を含む。

20

【0022】

図1Bに示した屈折率プロファイル20では、名目上の屈折率 n_1 、 n_3 、 n_4 および n_5 はすべて図1BのX軸に相当するクラッド層15の屈折率 n_2 に対する相対値である。コア領域11の名目上の屈折率 n_1 は約0.788%である。トレンチ領域12の名目上の屈折率 n_3 は約-0.326%である。第1のバリヤ領域13の名目上の屈折率 n_4 は約0.215%である。第2のバリヤ領域14の名目上の屈折率 n_5 は約-0.041%である。本発明の実施形態によると、屈折率プロファイルは、相対的に大きな実効面積(すなわち実効モード・フィールド面積、 A_{eff})を備え、かつここで前に検討したような超大実効面積(SLA)正分散ファイバに整合する向上した分散と分散勾配を供給する伝送特性を備えた負の分散、逆分散、もしくは分散補償の光ファイバを提供する。本発明のファイバがこれらの屈折率値に限定されないことに留意すべきである。これらの屈折率が好ましいファイバ構成に対応すること(その結果、好ましい屈折率値に対応すること)および他の屈折率値が本発明の目標に合致するファイバを提供するのに適することはここに提供した考察の観点から当業者は理解するであろう。

30

40

【0023】

屈折率 n_1 でラベルしたプロファイル20の一部はファイバ10のコア領域11に相当する。名目上の屈折率 n_3 でラベルしたプロファイル20の一部はファイバ10のトレンチ領域12に相当する。名目上の屈折率 n_4 でラベルしたプロファイル20の一部はファイバ10の第1のバリヤ領域13に相当する。名目上の屈折率 n_5 でラベルしたプロファイル20の一部はファイバ10の第2のバリヤ領域14に相当する。名目上の屈折率 n_2 でラベルしたプロファイル20の一部はファイバ10のクラッド領域15に相当する。コア11が正の名目上の屈折率(n_1)を有し、トレンチ領域12が負の名目上の屈折率(n_3)を有し、第1のバリヤ領域13が正であるがコア領域11の屈折率 n_1 よりも小さ

50

い名目上の屈折率 (n_4) を有することはプロファイル 20 から判る。したがって、第 1 のバリヤ領域 13 はトレンチ領域の n_3 よりも大きい名目上の屈折率 n_4 を有する。第 2 のバリヤ領域 14 は名目上の屈折率 n_5 を有し、それは n_4 (第 1 のバリヤ領域のそれ) よりも小さいが n_3 (トレンチ領域のそれ) よりも大きい。クラッド領域 15 は n_3 (トレンチ領域のそれ) および n_5 (第 2 のバリヤ領域のそれ) よりも大きい、 n_4 (第 1 のバリヤ領域のそれ) および n_1 (コアのそれ) よりも小さい屈折率 n_2 を有する。

【0024】

図 1 B に示したように屈折率の実際の値を使用して本発明の光ファイバ 10 の屈折率プロファイルをグラフ化することに加えて、屈折率差異のプロファイルを正規化した屈折率値の差異 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 および δ_4 として示すことが有用であり、それらは、 $\delta_1 = (n_1 - n_2) / n_2 \times 100\%$ 、 $\delta_2 = (n_3 - n_2) / n_2 \times 100\%$ 、 $\delta_3 = (n_4 - n_2) / n_2 \times 100\%$ 、および $\delta_4 = (n_5 - n_2) / n_2 \times 100\%$ として規定される。これは図 2 A と図 2 B を参照すると理解することができる。図 2 A は図 1 A と同じであり、図 2 B に示した屈折率の差異が図 2 A に示した本発明のファイバ 10 の領域 11 ~ 15 にどのように対応するかを示すために繰り返される。

10

【0025】

図 2 B は屈折率差異のプロファイル 30 である。図 2 A と図 2 B の間の点線は、屈折率の差異 δ_1 、 δ_2 、 δ_3 と δ_4 がファイバ 10 の領域 11 ~ 15 にどのように関係するかを示している。上記で与えられる屈折率値を備えた上記の差異の式を使用して、次のデルタ値が得られる、すなわち、 $\delta_1 = 0.788\%$ 、 $\delta_2 = -0.326\%$ 、 $\delta_3 = 0.215\%$ 、および $\delta_4 = -0.041\%$ である。デルタ値の範囲は次のようであることが好ましい、すなわち、 $0.709\% < \delta_1 < 1\%$ 、 $-0.358\% < \delta_2 < -0.293\%$ 、 $0.194\% < \delta_3 < 0.237\%$ 、 $-0.045\% < \delta_4 < -0.037\%$ である。本発明の好ましい実施形態によると、 b_1 は約 $2.41 \mu\text{m}$ (すなわち、コア領域の直径が約 $4.83 \mu\text{m}$ である)、 b_2 は約 $5.50 \mu\text{m}$ (すなわち、トレンチ領域の直径が約 $11.01 \mu\text{m}$ である)、 b_3 は約 $9.22 \mu\text{m}$ (すなわち、第 1 のバリヤ領域の直径が約 $18.44 \mu\text{m}$ である)、および b_4 は約 $10.98 \mu\text{m}$ (すなわち、第 2 のバリヤ領域の直径が約 $21.97 \mu\text{m}$ である)。したがって、トレンチ領域の幅は約 $3.09 \mu\text{m}$ ($5.50 \mu\text{m} - 2.41 \mu\text{m}$)、第 1 のバリヤ領域の幅は約 $3.72 \mu\text{m}$ ($9.22 \mu\text{m} - 5.50 \mu\text{m}$)、および第 2 のバリヤ領域の幅は約 $1.76 \mu\text{m}$ ($10.98 \mu\text{m} - 9.22 \mu\text{m}$) である。

20

30

次の表は好ましい実施形態による本発明の光ファイバの領域 11 ~ 14 の各々の直径ならびに領域 11 ~ 14 の各々の屈折率を示している。

【0026】

【表 1】

ファイバ領域	直径[ミクロン]	屈折率 (x1000) [SiO ₂ と比較した絶対屈折率の差異]
第2のバリヤ領域	21.97	-0.59
第1のバリヤ領域	18.44	3.12
トレンチ	11.01	-4.72
コア	4.83	11.43
屈折率プロファイル指数		
コア		$\gamma=4$

40

【0027】

表 1 に与えられた屈折率値が相対値とは逆の絶対値であることに留意すべきである。図 1 B のファイバの屈折率プロファイル 20 はグレーデッド・インデックスのプロファイルであり、次の式で与えられる指数プロファイルに従い、

【0028】

【数1】

$$n(r) = n_0 \cdot (1 - (r/r_0)^{\gamma}) \quad r < r_0 \quad \text{式1}$$

ここで $n(r)$ はファイバの半径の関数としてのコアの屈折率であり、コアの屈折率プロファイル指数である（この範例に関する表1で $\gamma = 4$ ）はコア形状を決定する指数である。用語 n_0 は最大のコア屈折率であり、用語 r_0 は最大コア半径である。式1によって規定される屈折率プロファイルに従ってコアを作製する効果は、次の式で与えられる異常ファイバ損失項、 $\alpha_{anomalous}$ を下げることである。

【0029】

【数2】

$$\alpha_{anomalous} \propto \frac{\gamma^2}{(\gamma+2)^2} \quad \text{式2}$$

10

本発明の好ましい実施形態のケースとしてコア指数4を使用することは、30以上のコア指数を備えた階段式コア屈折率を有する類似したファイバと比較して異常損失項 $\alpha_{anomalous}$ が因数2以上で下げられることを可能にする。前述したように、本発明の好ましい実施形態によると、 γ の範囲は約 $1 < \gamma < 7$ である。

以下の表は、図1A~2Bを参照して上記で検討した屈折率およびその他の特性を有する本発明の光ファイバの最適パラメータに関する中央値のリストである。

【0030】

20

【表2】

パラメータ	単位	値
合計ファイバ長	[km]	2300
OTDR減衰@1550nm	[dB/km]	0.234
減衰スパイク	[dB]	0.02
最大1kmの個別区画の損失@1550nm	[dB/km]	0.242
色分散@1550nm	[ps/nm km]	-44.16
色分散の勾配@1550nm	[ps/nm ² km]	-0.133
相対的分散勾配@1550nm	[1/nm]	0.00303
ケーブルのカットオフ波長	[nm]	1341
モード・フィールド直径@1550nm	[micron]	6.4
スプールPMD	[ps/km ^{0.5}]	0.044
減衰@1385nm(水による吸収ピーク)	[dB/km]	0.437
平均スプライス接続損失(IDF-SLA)	[dB]	<0.40
平均スプライス接続損失(IDF-IDF)	[dB]	<0.15

30

表2で特定される相対的分散勾配(RDS)は、

【0031】

【数3】

$$RDS = \left(\frac{\partial D}{\partial \lambda} \right) / D$$

として規定され、ここでDはファイバの色分散であり、 $\frac{\partial D}{\partial \lambda}$ に関するDの導関数はファイバの色分散勾配である。

【0032】

図3は、SLAファイバの長さとお発明のIDFファイバの長さを含む光ファイバ・リンクの全長について、波長の関数として得ることのできる残留分散を例示するグラフであ

40

50

る。残留分散の変化が1550nm付近の広い波長範囲で極めて低く保たれ得ること、および、所望であれば、目標伝送波長1550nmで曲線30がゼロにされ得ることを見出すことができる。本発明のファイバ10は、下記に表3で示すように、他のIDFと比較して改善されたファイバ損失特性を有する。本発明のファイバ10は1550nmでキロメートル当たり0.234デシベル(dB/km)の損失中央値を有する。「損失中央値」は損失測定値の50%が損失中央値を下回り、損失測定値の50%が中央値を超える損失値である。これは、過去に使用され、1550nmで少なくとも約0.246デシベル/km(dB/km)の損失中央値を概して有する他の従来IDFファイバ(図示せず)を超える大幅な改善である。表3は、UltraWave(登録商標)SLAファイバと従来のIDFファイバを組み合わせた全長45km、UltraWave(登録商標)SLAファイバと本発明のIDFファイバを組み合わせた全長45kmおよび従来の非零分散海底ファイバを組み合わせた全長45kmに関する損失を示しており、それらのうちの1つは大きな実効面積を有し、その他は低い分散勾配を有する。等価実効面積は減衰量0.21dB/kmを備えた非零分散シフト・ファイバの実効面積として規定され、それは対象の伝送全長と同じ自己位相変調からの非線形位相シフトに結びつくであろう。計算の必要条件として、発射される入力パワーは一定の出力パワーを保つように調節される。

10

【0033】

【表3】

ファイバ組み合わせ	等価実効面積	損失[dB/km]、 スプライス損失を含む
SLA/従来IDF	63.9	0.233
SLA/本発明の好ましい 実施形態によるIDF	73.3	0.218
従来のNZDFソリューション	64	0.218

20

表3から、本発明のIDFを利用する全長が他の全長よりも大きな等価実効面積と低い損失を有することを見出すことができる。表2から、図1Bの屈折率プロファイルを有する本発明のファイバの色分散が1550nmで-44.16ps/nmであって、それが1550nmにおける通常のIDFのそれよりも(数値的に)大きいことを見出すことができる。損失の低減および絶対分散量の増大(-44.16)は伝送全長(光ファイバ・リンク)内の非線形の不利益の低減につながる。したがって、本発明のファイバは、光ファイバ・リンクが伝送帯域にわたって極めて低い残留分散を有しながらも、同時に、大きな等価実効面積(その結果、光ファイバ・リンク内の低い非線形不利益と低い光学的損失)を提供して作製されることを可能にする。これらの改善は、今度は逆に、全長を増加させ、光ファイバ・リンクに沿った増幅器の数を減少させることを可能にし、それゆえに全体的システムのコストを下げることを可能にする。

30

【0034】

添付の特許請求項およびその全範囲の同等物によって規定される本発明の精神と範囲から逸脱することなく、ここに述べた光ファイバの実施形態に多くの変形および置き換えが為され得ることは当業者にとって明らかであろう。そのような変形および置き換えには、限定はされないが、同じ総合的プロファイル形状を達成するための異なるドープ材料を使用すること、および光ファイバを作製するのに(ガラスではなく)プラスチックを使用することが含まれる。

40

【図面の簡単な説明】

【0035】

【図1A】本発明の実施形態による逆分散光ファイバの端部断面図である。

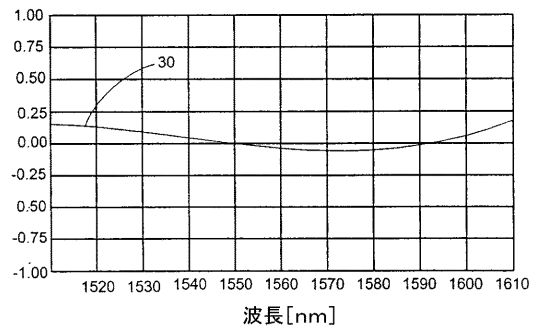
【図1B】図1に示した逆分散光ファイバの、グレーデッド処理されたコアの屈折率プロファイルのグラフィック図である。

【図2】図2Aは図1Aと同じで、ファイバの様々な層の屈折率間の関係を様々な領域の半径の関数として示すために繰り返す図である。図2Bは図2Aに示したファイバの層の屈折率間の差異を様々な領域の半径の関数として表す屈折率差異プロファイルを示す図で

50

【 図 3 】

全長残留分散の変化
[ps/nm km]



フロントページの続き

- (74)代理人 100091889
弁理士 藤野 育男
- (74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
- (74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
- (74)代理人 100102808
弁理士 高梨 憲通
- (74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
- (74)代理人 100107401
弁理士 高橋 誠一郎
- (74)代理人 100106183
弁理士 吉澤 弘司
- (72)発明者 ラルス グルナー - ニールセン
デンマーク, DK - 2700 ブロンショイ, アヴェンディンゲン 22A
- (72)発明者 スティグ ニッセン クヌードセン
デンマーク, 2000 フレデリクスベリイ, ダルガス ハーフ 34, L.TV.
- (72)発明者 モルテン オステルガールド ペデルセン
デンマーク, 2625 ヴァレンスバエク, シュヴホエイヴァエンゲ 69
- Fターム(参考) 2H050 AC09 AC15 AC71