(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3999957号
(P3999957)
(45)発行日　平成19年10月31日(2007.10.31)　(24)登録日　平成19年8月17日(2007.8.17)

(51)Int.Cl.　F I
G02B　6/036　(2006.01)　G02B　6/22

請求項の数 19　(全 14 頁)

(21)出願番号　特願2001-317301(P2001-317301)
(22)出願日　平成13年10月15日(2001.10.15)
(65)公開番号　特開2002-182055(P2002-182055A)
(43)公開日　平成14年6月26日(2002.6.26)
審査請求日　平成16年9月1日(2004.9.1)
(31)優先権主張番号　0013210
(32)優先日　平成12年10月16日(2000.10.16)
(33)優先権主張国　フランス(FR)

(73)特許権者　391030332
アルカテル－ルーセント
フランス共和国、７５４１１　パリ、セデックス　８　リュ・ラ　ボエテイ　５４
(74)代理人　100062007
弁理士　川口　義雄
(74)代理人　100114188
弁理士　小野　誠
(74)代理人　100105131
弁理士　井上　満
(74)代理人　100113332
弁理士　一入　章夫
(74)代理人　100103920
弁理士　大崎　勝真

最終頁に続く

(54)【発明の名称】シングルモードファイバのＳバンドの波長分散を補償するファイバ

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

波長１４７５ｎｍのシングルモード光ファイバであって、前記波長に対する波長分散が、－４０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）未満、波長分散と波長分散勾配との比が、２５０ｎｍ未満、有効面積が、１４μｍ^2 以上であり、該光ファイバが凹部区間およびリングを有する矩形または台形の屈折率分布を有し、矩形または台形の屈折率とクラッドの屈折率との差（Δｎ$_1$）が、１６×１０$^{-3}$から２５×１０$^{-3}$であり、クラッドの屈折率よりも大きい屈折率を有するファイバ部分の半径（ｒ$_1$）が、１．３μｍから２．３μｍであり、凹部区間の屈折率とクラッドの屈折率との差（Δｎ$_2$）が、－９×１０$^{-3}$から－５×１０$^{-3}$であり、凹部区間の外側半径（ｒ$_2$）が、３．７から６μｍであり、リングの屈折率とクラッドの屈折率との差（Δｎ$_3$）が、３×１０$^{-3}$から１１×１０$^{-3}$であり、該リングの外部半径（ｒ$_3$）が、６．６μｍから８．３μｍである、ファイバ。

【請求項２】

波長１４５０ｎｍで有効面積が１３μｍ^2 より大きいことを特徴とする、請求項１に記載のファイバ。

【請求項３】

波長１４７５ｎｍで波長分散が－１５０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）以上であることを特徴とする、請求項１または２に記載のファイバ。

【請求項４】

波長１４７５ｎｍで波長分散が－６０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）以下であることを特徴とす

る、請求項１、２または３に記載のファイバ。
【請求項５】
波長１４７５ｎｍで波長分散と波長分散勾配との比が、１７０ｎｍから２３０ｎｍであることを特徴とする、請求項１から４のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項６】
波長１５００ｎｍの場合、３０ｍｍの半径でファイバを１００回巻きつけることに対して、曲げ損失が10^{-3}ｄＢ未満であることを特徴とする、請求項１から５のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項７】
半径１０ｍｍのファイバループに対して、波長１５００ｎｍで曲げ損失が１００ｄＢ／ｍ未満であることを特徴とする、請求項１から６のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項８】
波長１４７５ｎｍに対して、減衰が１．２ｄＢ／ｋｍ未満であることを特徴とする、請求項１から７のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項９】
波長１４７５ｎｍに対して、モード直径が４μｍより大きいことを特徴とする、請求項１から８のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１０】
波長１４７５ｎｍに対して、マイクロベンドに対する感度が１未満であることを特徴とする、請求項１から９のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１１】
理論上のカットオフ波長が１１００ｎｍより大きく、１８００ｎｍ未満であることを特徴とする、請求項１から１０のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１２】
凹部区間とリングとを備えた矩形の屈折率分布を有することを特徴とする、請求項１から１１のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１３】
凹部区間とリングとを備える台形の屈折率分布を有することを特徴とする、請求項１から１１のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１４】
半径ゼロと、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有するファイバの中央部分の外側半径（r_1）との間の、半径と屈折率との積の積分の２倍が、30×10^{-3} μｍ^{2}から60×10^{-3} μｍ^{2}であることを特徴とする、請求項１から１３のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１５】
凹部区間の外側半径（r_2）の二乗と凹部区間の屈折率との積が、-300×10^{-3} μｍ^{2}から-110×10^{-3} μｍ^{2}であることを特徴とする、請求項１から１４のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１６】
リングの厚み（r_3-r_2）とリングの屈折率との積が、7×10^{-3} μｍから14.5×10^{-3} μｍであることを特徴とする、請求項１から１５のいずれか一項に記載のファイバ。
【請求項１７】
ラインファイバが、請求項１から１６のいずれか一項に記載のファイバにより、Ｓバンドにおける分散を補償されるステップインデックス形シングルモードファイバ（4_i、12_i）を含む、伝送システム。
【請求項１８】
１４６０ｎｍから１４９０ｎｍの間で各チャンネルで累積される波長分散の絶対値が、１００ｋｍの伝送で平均１００ｐｓ／ｎｍ未満になることを特徴とする、請求項１７に記載のシステム。

【請求項１９】
増幅器と、請求項１から１６のいずれか一項に記載のファイバ区間とを含む、分散補償モジュール。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、光ファイバ伝送の領域に関し、また特に、光ファイバ伝送システムにおける波長分散補償と波長分散勾配補償とに関する。
【０００２】
【従来の技術】
光ファイバの場合、一般に、屈折率分布は、ファイバの半径と屈折率の関係を示す関数グラフの形状に応じて規定される。一般に、横座標にはファイバの中心までの距離ｒを、縦座標には半径ｒにおける屈折率とファイバのクラッドの屈折率との差を示す。かくして、形状が、ステップ形、台形、または三角形であるグラフの場合、屈折率分布を、「ステップ形」、「台形」、または「三角形」として示す。これらの曲線は一般に、ファイバの理論上の分布または目標分布を示しており、ファイバの製造上の制約により、分布が著しく異なることがある。
【０００３】
新しい波長分割多重の高速伝送ネットワークでは、特に１０Ｇｂｉｔ／ｓ以上のビットレートに対して、波長分散を管理することが有利である。その目的は、多重化の全ての波長値に対して、リンクにおける累積波長分散をほぼゼロにし、パルスの拡大を制限することにある。伝送システム全体では、数百ｐｓ／ｎｍの累積分散値を許容できる。また、システムで用いられる波長付近では、波長分散値をゼロにしないようにすることが有効である。波長分散値をゼロにすると、非線形効果が大きくなってしまう。さらに、多重チャンネル間のひずみを回避または制限するために、多重範囲で波長分散勾配を制限することも有効である。こうした波長分散および波長分散勾配を補償するという問題は、超高速伝送システム、一般には各チャンネルのビットレートが４０Ｇｂｉｔ／ｓより大きい波長分割多重伝送システムで、特に重大である。問題は、バンド幅がふえ、３０ｎｍ、さらには３５ｎｍ以上の値に達しているだけにますます深刻化している。
【０００４】
光ファイバ伝送システムでは、一般に、ラインファイバとしてステップインデックス形ファイバを使用している。こうしたファイバは、通常、シングルモードファイバすなわちＳＭＦ（「ｓｉｎｇｌｅ　ｍｏｄｅ　ｆｉｂｅｒ」）と呼ばれている。かくして、本出願人が、ＡＳＭＦ２００という整理番号で商品化したステップインデックス形シングルモードファイバは、波長分散がなくなる波長λ_0が、１３００ｎｍから１３２０ｎｍであり、波長分散が、１２８５ｎｍから１３３０ｎｍの範囲で３．５ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）、１５５０ｎｍで１８ｐｓ／ｎｍ・ｋｍである。１５５０ｎｍにおける波長分散勾配は、約０．０６ｐｓ／（$ｎｍ^2$・ｋｍ）である。知られている伝送システムでは、このファイバは、約１５５０ｎｍ（Ｃバンド）の波長での信号伝送に使用されている。
【０００５】
このバンドで、ラインファイバとして使用されるＳＭＦファイバ、またはＮＺ－ＤＳＦファイバ（非ゼロ分散シフトファイバ：「ｎｏｎ－ｚｅｒｏ　ｄｉｓｐｅｒｓｉｏｎ　ｓｈｉｆｔｅｄ　ｆｉｂｅｒｓ」）における波長分散および波長分散勾配を補償するために、短い長さの分散補償ファイバ（「Ｄｉｓｐｅｒｓｉｏｎ　Ｃｏｍｐｅｎｓａｔｉｎｇ　Ｆｉｂｅｒ」）を用いることが知られている。このファイバの波長分散および波長分散勾配は、ラインファイバの波長分散および波長分散勾配と符号が反対である。ＳＭＦラインファイバの一例は、Ｌ．Ｇｒｕｎｅｒ－Ｎｉｅｌｓｅｎらによる「Ｌａｒｇｅ　ｖｏｌｕｍｅ　Ｍａｎｕｆａｃｔｕｒｉｎｇ　ｏｆ　ｄｉｓｐｅｒｓｉｏｎ　ｃｏｍｐｅｎｓａｔｉｎｇ　ｆｉｂｅｒｓ」（ＯＦＣ’９８、Ｔｅｃｈｎｉｃａｌ　Ｄｉｇｅｓｔ　ＴｕＤ５）に記載されている。

【０００６】
ＥＰ－Ａ－０９３５１４６は、約１５５０ｎｍの波長範囲でＳＭＦファイバの波長分散および波長分散勾配を補償するように構成された、分散補償ファイバを提案している。この波長に関して、上記ファイバの波長分散と波長分散勾配との比は、ラインファイバの波長分散と波長分散勾配との比に近い。この引例は、ファイバの様々な屈折率分布を提案している。図３は、埋め込み区間とリングとを備えた矩形の屈折率分布を有するファイバを示している。
【０００７】
【発明が解決しようとする課題】
上記の引例に対して、本発明は、ＳバンドにおけるＳＭＦファイバの波長分散補償の新たな問題を解決することを提案する。ここでは、１４５０から１５００ｎｍ、または１４６０から１４９０ｎｍ、あるいは約１４７５ｎｍの範囲におよぶバンドをＳバンドと呼ぶ。このバンドの長所は、地上の波長分割多重伝送システムのチャンネル数が増えれば増えるほど大きくなる。本発明は、既存の伝送システムにおいて、帯域幅の広い高速伝送に適した解決方法を提案するものである。
【０００８】
【課題を解決するための手段】
より詳しくは、本発明は、波長１４７５ｎｍのシングルモード光ファイバを提案し、この波長に対する波長分散が－４０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）未満、波長分散と波長分散勾配との比が２５０ｎｍ未満、有効面積が１４μm^2以上である。
【０００９】
有利には、ファイバは、波長１４５０ｎｍで有効面積が１３μm^2より大きい。ファイバはまた、波長１４７５ｎｍで波長分散が－１５０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）以上である。
【００１０】
ある実施形態では、ファイバは、波長１４７５ｎｍで波長分散が－６０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）以下である。ファイバはまた、波長１４７５ｎｍに対して、波長分散と波長分散勾配との比が１７０ｎｍから２３０ｎｍである。
【００１１】
別の実施形態では、波長１５００ｎｍの場合、３０ｍｍの半径でファイバを１００回巻きつけることに対して、曲げ損失が10^{-3}ｄＢ未満である。ファイバはさらに、半径１０ｍｍのファイバループに対して、波長１５００ｎｍで曲げ損失が１００ｄＢ／ｍ未満である。
【００１２】
好適には、ファイバは、１４７５ｎｍの波長に対して、減衰が１．２ｄＢ／ｋｍ未満である。さらに別の実施形態では、ファイバは、１４７５ｎｍの波長に対して、モード直径が４μｍより大きい。ファイバはまた、１４７５ｎｍの波長に対して、マイクロベンドに対する感度が１未満であり、好適には０．５以下である。
【００１３】
また、ファイバの理論上のカットオフ波長が、１１００ｎｍより大きくて１８００ｎｍより小さく、好適には１７００ｎｍより小さく、さらには１６００ｎｍより小さいことが有利である。
【００１４】
屈折率分布に関しては、ファイバは、凹部区間とリングとを備えた矩形の屈折率分布か、または凹部区間とリングとを備える台形の屈折率分布を有することができる。
【００１５】
実施形態では、矩形またはリングの屈折率とクラッドの屈折率との差が、16×10^{-3}から25×10^{-3}であり、クラッドの屈折率よりも大きい屈折率を有するファイバ部分の半径が、１．３μｍから２．３μｍである。
【００１６】
別の実施形態では、凹部区間の屈折率とクラッドの屈折率との差が、-9×10^{-3}から

－５×１０$^{-3}$であり、この区間の外側半径が、３．７μｍから６μｍである。
【００１７】
別の実施形態では、リングの屈折率とクラッドの屈折率との差が、３×１０$^{-3}$から１１×１０$^{-3}$であり、このリングの外部半径が、６．６μｍから８．３μｍである。
【００１８】
好適には、半径ゼロと、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有するファイバの中央部分の外側半径との間の、半径と屈折率との積の積分の２倍が、３０×１０$^{-3}$ μｍ^{2}から６０×１０$^{-3}$ μｍ^{2}である。
【００１９】
凹部区間の外側半径の二乗と凹部区間の屈折率との積が、－３００×１０$^{-3}$ μｍ^{2}から－１１０×１０$^{-3}$ μｍ^{2}となるように構成することもできる。
【００２０】
リングの厚みとリングの屈折率との積が、７×１０$^{-3}$ μｍから１４．５×１０$^{-3}$ μｍである。
【００２１】
本発明はまた、ラインファイバが、Ｓバンドにおける分散を補償されるステップインデックス形シングルモードファイバを含む、伝送システムを提案する。１４６０から１４９０ｎｍの間で各チャンネルで累積される波長分散の絶対値が、１００ｋｍの伝送で平均１００ｐｓ／ｎｍ未満になることが有利である。
【００２２】
ラインファイバは、ステップインデックス形シングルモードファイバから構成してもよいし、ステップインデックス形シングルモードファイバと分散補償形ファイバとから構成してもよい。上記で提案されたファイバは、このような伝送システムで分散補償ファイバとして使用することが、特に有利である。
【００２３】
本発明は最後に、増幅器と、このようなファイバの一区間とを含む、分散補償モジュールを提案する。
【００２４】
本発明の他の特徴および長所は、添付図面に関して例として挙げられた本発明の実施形態の以下の説明を読めば、明らかになるであろう。
【００２５】
【発明の実施の形態】
本発明は、Ｓバンドにおけるステップインデックス形シングルモードファイバの波長分散を補償するように構成された波長分散補償ファイバを提案する。ファイバは、１４７５ｎｍでシングルモードである。ファイバは、約１４７５ｎｍで波長分散が－４０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）未満、波長分散勾配が０．１６ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）未満、この同じ波長値の周辺で有効面積が１４μｍ^{2}以上である。また、波長分散と波長勾配との比が、約１４７５ｎｍの波長で２５０ｎｍ未満の値になるようにしてもよい。これによって、ファイバがＳＭＦファイバの補償ファイバとして使用される場合、１４５０ｎｍから１５００ｎｍの波長範囲で各チャンネルに対して累積される分散が、１００ｋｍの伝送で平均して絶対値７０ｐｓ／ｎｍ未満となる。
【００２６】
本発明のファイバにより、従来のステップインデックス形シングルモードファイバをラインファイバとして使用する、Ｓバンドの伝送システムに対して波長分散と波長分散勾配とを補償することができる。前述のように、ＳＭＦファイバは、一般に、約１５５０ｎｍの波長で、１５ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）から２０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）の波長分散と、約０．０６ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）の波長分散勾配とを有する。Ｓバンドでは、１４７５ｎｍの波長に対し、ＳＭＦファイバの波長分散値が約１３ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）、波長分散勾配が、約０．０６４ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）である。波長分散と波長分散勾配との比は、約２００ｎｍである。この波長に対して、従来技術、たとえばＥＰ－Ａ－０９３５１４６の

補償ファイバは、波長分散および波長分散勾配の補償には適さない。一般に、こうした従来技術のファイバでは、波長分散と波長分散勾配との比が、２５０ｎｍ、さらには３００ｎｍより大きい。この分散補償ファイバが、ＳＭＦラインファイバによる伝送システムに対してＳバンドで使用されても、波長分散および波長分散勾配を部分的に補償することしかできない。たとえば、比が３００ｎｍである場合、１００ｋｍの伝送における累積分散は、１４５０から１５００ｎｍに中心を合わせたチャンネルに対して、絶対値で１００ｐｓ／ｎｍより大きくなってしまう。

【００２７】

本発明はまた、ラインファイバがＳＭＦファイバ、すなわち波長１５００ｎｍで１５ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）から２０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）の波長分散と、０．０５５ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）から０．０６０ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）の波長分散勾配とを有する、光ファイバ伝送システムに関する。このようなラインファイバはまた、約１４７５ｎｍの波長で上記のような波長分散値と波長分散勾配値とを特徴とすることができる。

【００２８】

図１は、本発明による伝送システムの第一の実施形態を示す概略図である。図では、送信機ＴＸ１と、受信機ＲＸ２とを示した。この二つの要素は、複数のラインファイバ区間4_1から4_nにより接続されている。ここで、ラインファイバとは、伝送システムに沿って延びるファイバを意味し、その長さは、システムの長さにほぼ対応する。図１の実施形態では、ラインファイバは、ＳＭＦファイバから構成される。区間の間には、分散補償モジュール5_1から5_{n-1}が配置される。分散補償モジュール5_iは、増幅器6_iと、それに続く分散補償ファイバ区間7_iとを含む。本発明の機能に直接影響を及ぼさない、フィルタおよび他の要素については図示していない。

【００２９】

ＳＭＦファイバから送られる光は、増幅されてから、補償分散ファイバ区間を通り、ここで、波長分散および波長分散勾配が補償される。補償モジュールにおいて、補償分散ファイバおよび増幅器の個々の位置を逆転することも可能である。

【００３０】

図２は、本発明による伝送システムの別の実施形態を示す。図２の実施形態では、分散補償ファイバが、ラインファイバとしても使用されている。図では、送信機ＴＸ１、受信機ＲＸ２が示されている。この二つの要素は、中継器11_iによって隔てられた複数のラインファイバ区間10_iにより接続されている。各中継器は、それ自体知られている複数の増幅器、フィルタ、または他の要素を含み、ここでは詳しい説明を省く。各ラインファイバ区間10_iは、ＳＭＦファイバ区間12_iと、本発明による分散補償ファイバ区間13_iとを含む。

【００３１】

図１および図２の実施形態は、二つの極端な例である。すなわち、図１の実施形態では、ラインファイバがＳＭＦファイバだけから構成され、分散補償ファイバ全体が、離散的な中継器内に設けられている。この場合、分散補償ファイバは、伝送システムの距離には全く貢献しない。この実施形態は、特に、既存のＳＭＦファイバの接続に適しており、かくして、Ｓバンドの伝送を可能にするように既存のＳＭＦファイバを修正することが可能になる。反対に、図２の実施形態では、分散補償ファイバがラインファイバの役割をし、中継器は分散補償ファイバを含まない。図１と図２の解決方法の中間の解決方法も可能である。

【００３２】

いずれの場合にも、分散補償ファイバおよびラインファイバ（Ｆで示す）の各長さL_{DCF}、L_Fは、理想的には次のように選択される。

【００３３】

【数１】

$$L_{DCF} \times C_{DCF} = -L_F \times C_F$$

ここで、C_{DCF}は、波長１４７５ｎｍにおける分散補償ファイバの波長分散、C_Fは、波長１４７５ｎｍにおけるラインファイバの波長分散である。この式により、ラインファイバに累積される波長分散が、分散補償ファイバで補償される。この制約をゆるめて、累積分散が、１００ｋｍの伝送後、１４７５ｎｍで１０ｐｓ／ｎｍに留まるように許容することができる。また、できるだけ短い長さの補償ファイバを使えるように、非常に大きな負の波長分散を選択する。

【００３４】

たとえば、長さL_{SMF}が１００ｋｍのＳＭＦファイバ区間と、中継器内に長さL_{DCF}が２０ｋｍの分散補償ファイバ区間とを備えた、図１のような種類の伝送システムを考えることができる。１４７５ｎｍでは、ＳＭＦファイバの波長分散が約１３ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）であり、波長分散勾配が、０．０６４ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）である。ＤＣＦファイバは、図３に関して記載した種類のファイバであり、波長１４７５ｎｍでは、波長分散が－６５ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）、波長分散勾配が－０．３３ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）である。このような場合、１４７５ｎｍにおける累積波長分散は、約０ｐｓ／ｎｍである。１４５０ｎｍから１５００ｎｍの波長分割多重信号では、累積波長分散が、伝送システムの区間が形成する１００ｋｍに対し、各チャンネルで２０ｐｓ／ｎｍ未満である。従って、前述のように累積波長分散を、数十ｐｓ／ｎｍ未満の値に制限することができる。Ｓバンドの各チャンネルによる１００ｋｍの伝送では、累積波長分散が、平均２０ｐｓ／ｎｍ未満に制限される。

【００３５】

波長分散の補償と同時に波長分散勾配の補償は、ＳＦＭファイバおよび分散補償ファイバにおける、波長分散と波長分散勾配との比によって決まる。理想的な場合、ＳＭＦファイバおよび分散補償ファイバにおけるこの比をそれぞれR_{SMF}、R_{DCF}とすると、波長１４７５ｎｍで$R_{SMF}=R_{DCF}$となるので、波長分散勾配は、累積波長分散自体が波長１４７５ｎｍで１０ｐｓ／ｎｍ未満に補償される場合、このように約１４７５ｎｍの波長で適切に補償される。

【００３６】

比R_{DCF}を２５０ｎｍ未満に保持することによって、１００ｋｍの伝送における累積波長分散が、約１４７５ｎｍの波長を中心とする３０ｎｍ幅の多重化装置の波長１４６０ｎｍから１４９０ｎｍの間で、各チャンネルに対して５０ｐｓ／ｎｍ未満に留まる。利用範囲を１４５０ｎｍから１５００ｎｍに広げると、累積波長分散は、絶対値で７０ｐｓ／ｎｍ未満に留まる。比R_{DCF}が２５０ｎｍのときに、最大値になる。

【００３７】

比R_{DCF}が２５０ｎｍより大きくなると、累積波長分散の絶対値は、約１４７５ｎｍの波長を中心とする多重化装置のチャンネル全体で平均して増加する。従って、本発明は、ファイバにおける波長分散と波長分散勾配との比を２５０ｎｍ未満に留めて、所定の伝送距離に対して、波長１４５０ｎｍから１５００ｎｍの累積波長分散の平均を、絶対値で最小化することを提案する。

【００３８】

次に、本発明の分散補償ファイバの特徴について説明してから、実施形態を示す。ファイバは、ＳＭＦファイバの波長分散および波長分散勾配を補償できるように、１４７５ｎｍの波長に対して、負の波長分散と負の波長分散勾配とを有する。波長分散は、－４０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）未満であり、たとえば－１５０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）から－４０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）である。波長分散勾配は、－０．５ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）から－０．１６ｐｓ／（ｎｍ^2・ｋｍ）である。あるいは、波長分散と波長分散勾配との比を、約２００ｎｍにするように構成できる。この値は、ＳＭＦファイバの波長分散と波長分散勾配との比の値にきわめて近い。１４７５ｎｍでは、この比を１７０ｎｍから２３０ｎｍにする

ことが有利である。さらに、ファイバは、１４７５ｎｍでシングルモードである。

【００３９】

前述のように、ファイバの曲げ損失は少ないことが有利である。こうした曲げ損失は、ファイバの巻きつけによって生じる損失を測定することにより、知られている方法で推定される。たとえば、半径３０ｍｍのスリーブを中心としてファイバを１００回巻き、この巻きつけによって発生する損失を測定することができる。また、単に、半径１０ｍｍのスリーブを中心としてファイバループを形成し、線形損失を測定することも可能である。いずれの場合にも、曲げ損失は波長の増加関数であり、１４７５ｎｍにおけるファイバの挙動は、１５００ｎｍにおけるファイバの挙動よりも、常に良好である。従って、Ｓバンドで適正な動作を保証するには、１５００ｎｍを中心とするファイバ特性を決定するだけでよい。本発明によれば、ファイバは、好適には、１５００ｎｍの波長のとき、３０ｍｍの半径でファイバを１００回巻きつける場合に測定される曲げ損失が、10^{-3} ｄＢ未満である。曲げ損失に関するこの限界値によって、図１の実施形態のように分散補償ファイバを中継器内で巻きつけることができ、あるいは図２の実施形態のようにケーブル設置をサポートする。また、半径１０ｍｍのファイバループで測定される曲げ損失を、１５００ｎｍで１００ｄＢ／ｍ未満にするように課すことができる。

【００４０】

有利には、ファイバがまた、以下のような一つまたは複数の特性を有する。

【００４１】

波長分散が、１４７５ｎｍの波長で－６０ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）、
２ｍにわたって測定される１４５０ｎｍ未満の波長のカットオフ波長、
ケーブルにおいて有効な１３００ｎｍ未満の波長のカットオフ波長、
理論上のカットオフ波長は、１１００ｎｍより大きくて１８００ｎｍより小さく、さらには１７００ｎｍまたは１６００ｎｍより小さい、
有効面積は、１４５０ｎｍの波長で１４μm^2 より大きく、好適には３μm^2 より大きい、
マイクロベンドに対する感度が１未満であり、好適には０．５以下である、
１４５０ｎｍより大きい波長に対して、モード直径が４μｍより大きい。

【００４２】

提案された波長分散値により、システムで使用される分散補償ファイバの長さを制限することができる。理論上のカットオフ波長を１１００ｎｍ以上に増やすことにおり、伝播特性に関する最適の妥協策を見つけることができる。理論上のカットオフ波長を１６００ｎｍ未満にすることによって、大部分の屈折率分布に対して、ファイバは、常にＳバンドでシングルモードとされる。理論上のカットオフ波長が１６００ｎｍより大きい場合、幾つかの屈折率分布に対して、ファイバはもはやＳバンドでシングルモードではなくなる。規格ＵＩＴ－ＴＧ６５０による有効なカットオフ波長が１４５０ｎｍ未満であるので、Ｓバンドにおける補償ファイバのシングルモード動作が保証される。有効面積の値により非線形効果が制限される。非線形効果は、特に、本発明による伝送システムの図１の実施形態において、補償ファイバで伝播される信号のパワーが強いときに現れる。１４７５ｎｍで有効面積の値が１４μm^2 より大きいと、Ｓバンド全体で非線形効果を制限することができる。マイクロベンドに対するファイバの感度は、本出願人がＡＳＭＦ２００という整理番号で商品化したファイバに対して、相対的に推定される。周知のように、２個のグリッドの間でファイバをつぶす方法を使用してもよい。

【００４３】

図３は、本発明によるファイバの目標屈折率分布の概略図である。この実施形態では、屈折率分布が、埋め込み区間とリングとを備えた矩形タイプの屈折率分布であり、ファイバの中心から、
クラッドの屈折率以上のほぼ一定の屈折率を備えた中央部分と、
クラッドの屈折率以下の屈折率を備えた環状部分とを有し、
全体が、いわゆる「埋め込み区間または凹部区間を備えた矩形」の屈折率分布を構成する

。
【００４４】
図３のファイバは、埋め込み区間の周囲に、リング、すなわちクラッドの屈折率より大きい屈折率部分を有するので、埋め込み区間およびリングを備えた矩形の分布と呼ばれる。
【００４５】
図３の実施形態における屈折率の値および半径の値は、次の通りである。中央の矩形の半径r_1が１．６６μｍであり、その屈折率とクラッドの屈折率との差Δn_1が１８．４×10^{-3}である。
【００４６】
埋め込み区間は、半径r_1とr_2との間に延びて、r_2＝４．６８μｍであり、その屈折率とクラッドの屈折率との差Δn_2が－７．０×10^{-3}である。
【００４７】
リングは、凹部の周囲に半径r_2とr_3との間に延び、半径r_3＝７．２μｍである。リングとクラッドとの屈折率の差Δn_3は、４．１×10^{-3}である。
【００４８】
リングの周囲にファイバのクラッドが延び、クラッドに対して屈折率の差が測定される。
【００４９】
以上の値から、次の特性を備えたファイバが得られる。
【００５０】
理論上のカットオフ波長λ_{cth}は１６００ｎｍ、
波長１４７５ｎｍにおける有効面積は１７μm^2、
波長１４７５ｎｍにおける波長分散は－６５ｐｓ／（ｎｍ・ｋｍ）、
波長１４７５ｎｍにおける波長分散勾配は－０．３３ｐｓ／（nm^2・ｋｍ）、
波長分散と波長分散勾配との比は１９７ｎｍ、
波長１４７５ｎｍにおける$2W_{02}$モードの直径は４．６２μｍ、
波長１４７５ｎｍから１５００ｎｍで、半径３０ｍｍの巻き枠に１００回巻きつけることに対する曲げ損失は10^{-3}ｄＢ未満、
波長１４７５ｎｍにおけるマイクロベンドに対する感度は０．２。
【００５１】
ここで与えられたカットオフ波長は、理論上のカットオフ波長である。実際には、ケーブルで測定されるカットオフ波長は、数百ｎｍ未満である。実際に、ファイバは、たとえば１４６０ｎｍから１４９０ｎｍの有効信号の波長範囲で、シングルモードである。
【００５２】
別の実施形態では、ファイバの屈折率分布は同じであるが、屈折率の値と半径の値は次のようになる。
【００５３】
【表１】

r_1 (μm)	r_2 (μm)	r_3 (μm)	$10^3 \cdot \Delta n_1$	$10^3 \cdot \Delta n_2$	$10^3 \cdot \Delta n_3$
1.45	4.39	7.174	22.2	−6.9	4.6

上記の値により、次の伝播特性が得られる。
【００５４】
【表２】

λcth (nm)	Aeff (μm^2)	C (ps/nm/km)	dC/dλ (ps/nm^2/km)	C/(dC/dλ) (nm)	$2W_{02}$ (μm)
1629	15.1	−101.8	−0.51	201	4.56

図４は、本発明によるファイバの別の屈折率分布を示している。この実施形態では、ファイバの屈折率分布が、埋め込み区間とリングとを備えた台形である。換言すれば、ファイバの中心から、
クラッドの屈折率以上のほぼ一定の屈折率を備えた中央部分と、
クラッドの屈折率以下の屈折率を備えた環状部分とを有し、
この二つの部分は、ほぼ線形に、屈折率が減少する環状部分によって分離されている。全体は、いわゆる「埋め込み区間または凹部を備えた台形」の屈折率分布を構成する。

【００５５】

この埋め込み区間の周囲に、図３の実施形態と同様にリングがある。

【００５６】

図３の実施形態との類推から、図４に示されているように以下が記載されている。

【００５７】

台形の短い方の底辺の半径、すなわち屈折率がほぼ一定の中央部分の半径r_{1a}。

【００５８】

台形の長い方の底辺の半径、すなわち凹部区間の内径r_{1b}。

【００５９】

屈折率がクラッドの屈折率に等しい台形の半径r_1。

【００６０】

凹部区間の外径r_2。

【００６１】

リングの外径r_3。

【００６２】

この場合、屈折率および半径は、次の値を取ることができる。

【００６３】

【表３】

r_{1a}/r_{1b}	r_1 (μm)	r_2 (μm)	r_3 (μm)	$10^3\cdot\Delta n_1$	$10^3\cdot\Delta n_2$	$10^3\cdot\Delta n_3$
0.73	1.97	5.25	7.71	18	−5.9	5.15

また、この場合、次の伝播特性を有するファイバが得られる。

【００６４】

【表４】

λcth (nm)	Aeff (μm^2)	C (ps/nm/km)	dC/dλ (ps/nm^2/km)	C/(dC/dλ) (nm)	$2W_{02}$ (μm)
1698	17.6	−53	−0.256	207	4.73

従って、ファイバの屈折率分布は、一般に、次のように形容することができる。屈折率分布は、埋め込み区間または凹部区間とリングとを備えた台形または矩形である。中央部分は、次式を満たすクラッドに対する屈折率差を有する。

【００６５】

【数２】

$$16\times10^{-3} \le \Delta n_1 \le 25\times10^{-3}$$

上記の半径r_1は、クラッドの屈折率より大きい屈折率部分を有する半径と呼ぶことができる。屈折率は、矩形の屈折率分布では半径r_1未満で一定であるが、台形の屈折率分布では一定ではない。この場合、有利には、半径r_1（μｍ）は、以下を満たす。

【００６６】

【数３】

$$1.3 \le r_1 \le 2.3\mu m$$

埋め込み区間に対しては、屈折率差Δｎ$_2$の値と外径ｒ$_2$の値として以下を満たす値を選択することができる。

【００６７】

【数４】

$$-9\times10^{-3} \le \Delta n_2 \le -5\times10^{-3}$$

また、

【００６８】

【数５】

$$3.7 \le r_2 \le 6\mu m$$

リングに対しては、屈折率差Δｎ$_3$と外径ｒ$_3$の値として以下を満たす値を選択することができる。

【００６９】

【数６】

$$3\times10^{-3} \le \Delta n_3 \le 11\times10^{-3}$$

また、

【００７０】

【数７】

$$6.6 \le r_3 \le 8.3\mu m$$

他の特性を持つファイバも可能である。かくして、以下の式により決定されるパラメータＳを使用できる。

【００７１】

【数８】

$$S = 2\int_0^{r_1} \Delta n(r) r dr$$

パラメータＳは、面積と屈折率との積と同等である。このパラメータは、台形の屈折率分布にも矩形の屈折率分布にも簡単に適用され、ファイバのコア付近の屈折率の増加を示す。好適には、このパラメータにより、以下が満たされる。

【００７２】

【数９】

$$30\times10^{-3} \le S \le 60\times10^{-3}\mu m^2$$

埋め込み区間を特徴づけるために、パラメータとして外径の２乗と屈折率との積を使用してもよい。このパラメータは、本発明のファイバを判別するものであるが、パラメータを

物理的に簡単に説明することは容易ではない。従って、有利には次の通りである。

【００７３】

【数１０】

$$-300\times10^{-3} \le r_2^2\Delta n_2 \le -110\times10^{-3}\,\mu m^2$$

リングに対しては、中央部分と同じ種類のパラメータを使用できる。すなわち、リングの幅と屈折率の差との積である。この場合、有利には次の通りである。

【００７４】

【数１１】

$$7\times10^{-3} \le (r_3 - r_2)\Delta n_3 \le 14.5\times10^{-3}\,\mu m$$

本発明のファイバは、ＭＣＶＤ、ＯＶＤ等の知られている技術、または光ファイバの製造に通常用いられる他の技術によって当業者が製造可能である。

【００７５】

もちろん、本発明は、記載および図示した例および実施形態に制限されるものではなく、当業者が検討できる多数の変形実施形態を含む。本発明によるファイバを、図１、２に示した以外のシステムで使用してもよい。特に、Ｓバンド、Ｃバンド、Ｌバンドの信号を分離するデマルチプレクサを備えた、図１と同種の伝送システムを使用することができる。このような場合、Ｓバンドの波長分散を補償するために本発明の補償ファイバを使用し、ＣバンドおよびまたはＬバンドの分散を補償するために、他の波長分散ファイバを使用できる。また、図１の構成で、波長分散ファイバの後に増幅器を加えてもよい。すなわち増幅器＋ＤＣＦ＋増幅器の二段増幅構成である。

【００７６】

このようにして、屈折率分布が図３または４とは異なる、本発明によるファイバが得られる。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明による伝送システムの第一の実施形態を示す概略図である。

【図２】本発明による伝送システムの第二の実施形態を示す概略図である。

【図３】本発明によるファイバの屈折率分布の一例を示す図である。

【図４】本発明によるファイバの屈折率分布の一例を示す図である。

【符号の説明】

ＴＸ１　送信機

ＲＸ２　受信機

4_1から4_n、10_i　ラインファイバ区間

5_1から5_{n-1}、5_i　分散補償モジュール

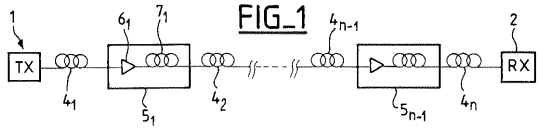
6_i　増幅器

7_i、13_i　分散補償ファイバ区間

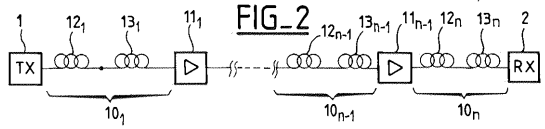
11_i　中継器

12_i　ＳＭＦファイバ区間

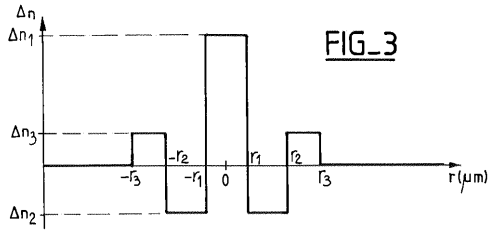
【図１】


FIG_1
1
TX
6_1
7_1
4_{n-1}
2
RX
4_1
5_1
4_2
5_{n-1}
4_n

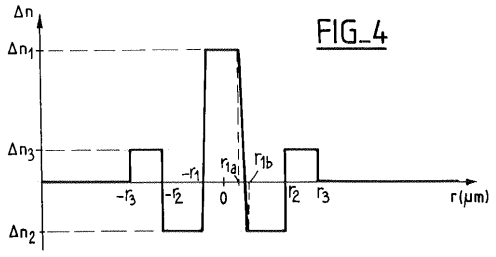
【図２】


FIG_2
1
TX
12_1
13_1
11_1
12_{n-1}
13_{n-1}
11_{n-1}
12_n
13_n
2
RX
10_1
10_{n-1}
10_n

【図３】


FIG_3
Δn
Δn_1
Δn_3
Δn_2
$-r_3$
$-r_2$
$-r_1$
0
r_1
r_2
r_3
r(μm)

【図４】


FIG_4
Δn
Δn_1
Δn_3
Δn_2
$-r_3$
$-r_2$
$-r_1$
r_{1a}
r_{1b}
0
r_2
r_3
r(μm)

フロントページの続き

(74)代理人 100117053
弁理士 相馬 貴昌
(72)発明者 リユドビツク・フルリー
フランス国、７８３９０・ボワ・ダルシー、リユ・ジヤン・ラシーヌ、１７、レジダンス“ラ・フオレ”
(72)発明者 フロラン・ボーモン
フランス国、７８７００・コンフラン・サント・オノリヌ、アブニユ・アルフレード・ベルナール、１８
(72)発明者 ピエール・シラール
フランス国、７８１５０・ル・シエスネ、スクワール・ラフアエル・２、レジダンス・オルセー
(72)発明者 ルイ－アンヌ・ドウ・モンモリオン
フランス国、７５０１７・パリ、リユ・トリユフオー、３２
(72)発明者 マキシム・ゴルリエ
フランス国、７５０１７・パリ、リユ・フルクロワ、１８
(72)発明者 パスカル・ヌキ
フランス国、７８６００・メゾン・ラフイツト、アブニユ・ボシユ・２

審査官 井口 猶二

(56)参考文献 特開平１０－３１９２６６（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
G02B 6/036