

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3928355号
(P3928355)

(45) 発行日 平成19年6月13日(2007.6.13)

(24) 登録日 平成19年3月16日(2007.3.16)

(51) Int.Cl.

G02B 6/036 (2006.01)

F I

G02B 6/22

請求項の数 9 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2000-584332 (P2000-584332)	(73) 特許権者	000002130
(86) (22) 出願日	平成11年11月26日(1999.11.26)		住友電気工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP1999/006611		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(87) 国際公開番号	W02000/031573	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成12年6月2日(2000.6.2)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成18年4月6日(2006.4.6)	(74) 代理人	100089978
(31) 優先権主張番号	JP9905855		弁理士 塩田 辰也
(32) 優先日	平成11年10月22日(1999.10.22)	(74) 代理人	100092657
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		弁理士 寺崎 史朗
(31) 優先権主張番号	特願平10-335797	(74) 代理人	100110582
(32) 優先日	平成10年11月26日(1998.11.26)		弁理士 柴田 昌聰
(33) 優先権主張国	日本国(JP)	(72) 発明者	加藤 考利
(31) 優先権主張番号	特願平11-93511		神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
(32) 優先日	平成11年3月31日(1999.3.31)		気工業株式会社横浜製作所内
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ及びそれを含む光伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

波長1. 20 μm ~ 1. 60 μm の範囲内に零分散波長を1つのみ有する光ファイバであって、

所定軸に沿って伸びた領域であって、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアとからなるコア領域と、前記コア領域の外周に設けられた領域であって、前記第2コアよりも低い屈折率を有するクラッド領域とを備え、

単層からなる前記クラッド領域の屈折率、又は前記クラッドのうち少なくとも最外部に位置し純シリカからなる領域の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が0. 65%以下であって最小値が-0. 05%以上である屈折率プロファイルを有し、

前記零分散波長は波長1. 37 μm 以上1. 43 μm 以下の範囲内に存在するとともに、前記零分散波長において正である分散スロープを有し、

波長1. 3 μm における分散の絶対値と、波長1. 55 μm における分散の絶対値は、いずれも12 ps / nm / km以下であり、

波長1. 55 μm において、45 μm^2 以上の実効断面積を有する光ファイバ。

【請求項2】

前記分散スロープは、その絶対値が0. 10 ps / nm² / 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3】

波長 1. 30 μm ~ 1. 55 μm の範囲において、単調に変化する分散を有す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 1. 55 μm において、直径 32 mm で巻かれたときに 0. 5 dB/ターン以下となる曲げ損失を有す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 μm において、直径 32 mm で巻かれたときに 0. 06 dB/ターン以下となる曲げ損失を有することを特徴とする請求項 4 記載の光ファイバ。

【請求項 6】

波長 1. 55 μm において、49 μm^2 よりも大きい実効断面積を有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

10

【請求項 7】

1. 05 μm 以上のカットオフ波長を有することを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 8】

前記クラッド領域は、前記第 2 コアの外周に接しかつ該第 2 コアより低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第 2 コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとを有することを特徴とする請求項 1 ~ 7 のいずれか一項記載の光ファイバ。

【請求項 9】

20

1. 3 μm 波長帯の第 1 光を出力する第 1 送信器と、

1. 55 μm 波長帯の第 2 光を出力する第 2 送信器と、

前記第 1 送信器から出力された前記第 1 光と、前記第 2 送信器から出力された前記第 2 光を合波する合波器と、

一端が前記合波器に光学的に接続され、該合波器により合波された前記第 1 光及び前記第 2 光それぞれを伝送する請求項 1 ~ 8 のいずれか一項記載の光ファイバとを備えた光伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

30

この発明は、光通信における伝送路に適用可能な光ファイバ、及び該光ファイバを含む光伝送システムに関するものである。

【0002】

【従来の技術】

従来から光通信における伝送路として、主に、1. 3 μm 波長帯 (1280 nm ~ 1320 nm) に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバが利用されてきた。このような光ファイバの主材料 (シリカ) に起因した伝送損失は、1. 55 μm 波長帯 (1530 nm ~ 1565 nm) で最小となることが知られており、加えて、Er 添加光ファイバを用いた光ファイバ増幅器は、1. 55 μm 波長帯の光を高効率に増幅することができる。このような理由から、1. 55 μm 波長帯に零分散波長を有するよう設計された分散シフト光ファイバが、複数波長の信号光を伝送する波長分割多重 (WDM: Wavelength Division Multiplexing) 通信における伝送路に適用されている。なお、信号光を送出する光源については、従来から 1. 3 μm 波長帯の光や 1. 55 μm 波長帯の光の出力を可能にするデバイス技術が確立されている。

40

【0003】

【発明が解決しようとする課題】

発明者らは、上述の従来技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、1. 55 μm 波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバを光伝送路として、1. 3 μm 波長帯の信号光を伝送する場合、分散の絶対値が大きくなることから広帯域で WDM 通信を行うことができない。また、このような分散シフト光ファイバで 1. 55 μm 波

50

長帯の信号光を伝送する場合、分散の絶対値が小さくなりすぎることから非線形光学現象の1つである四光波混合が発生し易くなる。一方、1.3 μm 波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバを光伝送路として、1.3 μm 波長帯の信号光を伝送する場合も、分散の絶対値が小さくなりすぎることから非線形光学現象の1つである四光波混合が発生し易くなる。また、このようなシングルモード光ファイバで1.55 μm 波長帯の信号光を伝送する場合には、分散の絶対値が大きくなることから広帯域でWDM通信を行うことができない。

【0004】

これに対し、広い波長帯域に亘って分散の発生を抑える光ファイバの開発が試みられている（例えば、K. Okamoto et al., "Zero total in single-mode optical fibers over an extended spectral range", Radio Science, Volume 17, Number 1, pages 31-36, January-February 1982 参照）。例えば、クラッド領域とコア領域との比屈折率差を2.4%と大きくし、かつコア領域の径を3.5 μm と小さくすることにより、広い波長帯域に亘って分散値の小さな光ファイバが提案されている。しかしながら、このようなクラッド領域とコア領域との比屈折率差が非常に大きい光ファイバは製造が困難であり、伝送損失が大きい。一方で、コア領域の径が小さい光ファイバでは実効断面積が小さくなり、非線形光学現象も発生し易くなる。

【0005】

この発明は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、1.3 μm 波長帯の信号光及び1.55 μm 波長帯の信号光双方の効率的な伝送を可能にする光ファイバ及びそれを含む光伝送システムを提供することを目的としている。

【0006】

【課題を解決するための手段】

この発明に係る光ファイバは、1.3 μm 波長帯の信号光及び1.55 μm 波長帯の信号光双方の効率的な伝送を可能にする光ファイバであって、波長1.20 μm ～1.60 μm の範囲に零分散波長を1つのみ有し、該零分散波長において正の分散スロープを有する光ファイバである。なお、この零分散波長は、1.3 μm 波長帯と1.55 μm 波長帯とに挟まれた、波長1.37 μm ～1.50 μm の範囲に存在する。また、上記分散スロープは、上記零分散波長においてその絶対値が0.10 $\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下（好ましくは波長1.55 μm において0.06 $\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下）であることが好ましく、少なくとも、波長1.30 μm ～1.55 μm の範囲において分散が単調に変化（例えば、単調増加）している。

【0007】

このように、当該光ファイバは、OH吸収に起因した伝送損失の増加が認められる波長1.38 μm を含む波長1.37 μm ～1.50 μm の範囲に零分散波長を有しているため、1.3 μm 波長帯近傍及び1.55 μm 波長帯近傍ではある程度分散が発生する。したがって、これら1.3 μm 波長帯の信号光及び1.55 μm 波長帯の信号光が伝搬する場合でも、当該光ファイバは、四光波混合は発生し難い構造を備える。

【0008】

なお、増幅帯域が1.47 μm 波長帯にあるツリウム添加ファイバ増幅器を利用する場合、零分散波長は、波長1.37 μm ～1.43 μm の範囲に設定されるのがより好ましい。OH吸収ピーク（1.38 μm ）の裾に零分散波長を合わせることにより、さらに伝送帯域を広げることができるからである。一方、脱水処理等を施すことにより上記OH吸収ピークを低く抑え、波長1.38 μm を含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、係る波長帯域において意図的に分散を発生させるべく、零分散波長を、波長1.45 μm よりも大きく1.50 μm 以下の範囲に設定してもよい。

【0009】

当該光ファイバにおいて、分散は単調に増加するとともに、その零分散波長における分散スロープの絶対値は0.10 $\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下、好ましくは波長1.55 μm における分散スロープが0.06 $\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることから、1.3 μm 波長

10

20

30

40

50

帯における分散及び $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯における分散は均一化される。このとき、波長 $1.3\ \mu\text{m}$ における分散の絶対値と、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における分散の絶対値は、いずれも $6\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上かつ $12\ \text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である。

【0010】

以上のように、この発明に係る光ファイバは、 $1.3\ \mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯の双方において効率的な光通信を実現する。なお、シングルモードを保証する観点から、伝送路長が数百 m 以下でカットオフ波長が $1.3\ \mu\text{m}$ 以下である場合、 $1.3\ \mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯それぞれにおいて基底モード光のみが伝搬し得るので好ましい。また、比較的長距離（伝送路長が数 km 以下）の光伝送では、カットオフ波長の距離依存性を考慮すると、カットオフ波長は $1.45\ \mu\text{m}$ 以下（信号光波長よりも長い場合）でも 10
実用上の問題はない。一方、曲げ損失を低減する観点では、カットオフ波長が $1.0\ \mu\text{m}$ を下回ると、曲げ損失が著しく増加する場合がある。そのため、該カットオフ波長は $1.05\ \mu\text{m}$ 以上、さらには $1.30\ \mu\text{m}$ 以上であるのが好ましい。

【0011】

さらに、この発明に係る光ファイバは、 $1.3\ \mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\ \mu\text{m}$ 波長帯において効率的な光伝送を可能にすべく、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において、直径 $32\ \text{mm}$ で巻かれたときに 1 ターン当たり $0.5\ \text{dB}$ 以下、好ましくは $0.06\ \text{dB}$ 以下となる曲げ損失を有するとともに、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ において $45\ \mu\text{m}^2$ 以上、好ましくは $49\ \mu\text{m}^2$ よりも大きい実効断面積 A_{eff} を有する。また、当該光ファイバは、波長 $1.38\ \mu\text{m}$ における OH 吸収に起因した伝送損失の増加量が $0.1\ \text{dB}/\text{km}$ 以下である。特に、波長 $1.38\ \mu\text{m}$ における OH 吸収に起因した伝送損失の増加量が $0.1\ \text{dB}/\text{km}$ 以下であれば、該波長 $1.38\ \mu\text{m}$ 近傍の波長帯域を信号光波長帯域に利用することも可能である。この場合は、意図的に該波長 $1.38\ \mu\text{m}$ 近傍の波長帯域に分散を発生させるべく（四光波混合を抑制するため）、零分散波長を波長 $1.45\ \mu\text{m}$ よりも大きくかつ $1.50\ \mu\text{m}$ 以下の範囲内に設定してもよい。 20

【0012】

なお、実効断面積 A_{eff} は、特開平 8-248251 号公報（EP 0 724 171 A2）に示されたように、以下の（1）式で与えられる。

【0013】

ここで、 E は伝搬光に伴う電界、 r はコア中心からの径方向の距離である。 30

【0014】

この発明に係る光ファイバは、純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が 1% 以下であって最小値が -0.5% 以上である屈折率プロファイルを有する。このような屈折率プロファイルにおいて、例えば Ge 元素が添加された高屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は 1% 以下であり、例えば F 元素が添加された低屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は -0.5% 以上であることから、製造（不純物添加による屈折率制御）が容易であり、また、伝送損失を小さくすることが可能になる。なお、純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値が -0.2% 以上、より好ましくは -0.15% よりも大きいければ、当該光ファイバの製造を容易にする点でさらに好ましい。 40

【0015】

上述のような諸特性を有する光ファイバは、種々の構成によって実現できる。すなわち、当該光ファイバの第 1 構造は、所定軸に沿って伸びた、所定の屈折率を有するコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域を備えた構造により実現できる。この第 1 構造の光ファイバは、ディプレストクラッド構造をさらに備えてもよい。ディプレストクラッド構造は、上記クラッド領域を、上記コア領域の外周に設けられ、該コア領域よりも低い屈折率を有する内側クラッドと、この内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつコア領域よりも低い屈折率を有する外側クラッドにより構成することにより実現される。

【0016】

当該光ファイバの第2構造も、第1構造と同様にコア領域と該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備える。ただし、上記コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアとから構成される。この第2構造の光ファイバがディプレストクラッド構造を備える場合には、上記クラッド領域は、上記第2コアの外周に接しかつ該第2コアより低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第2コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとで構成される。

【0017】

当該光ファイバの第3構造は、第1構造と同様に所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域を備え、特に、該コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも低い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられ該第2コアよりも高い屈折率を有する第3コアとを備える。ただし、この第3構造の光ファイバがディプレストクラッド構造を備える場合には、上記クラッド領域は、上記第3コアの外周に接しかつ該第3コアより低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第3コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとで構成される。

【0018】

上述のような第3構造の適用により、特に波長 $1.55\mu\text{m}$ において $0.06\text{ps/nm}^2/\text{km}$ 以下の低分散スロープを有する光ファイバが得やすくなる。

【0019】

さらに、当該光ファイバの第4構造も、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、特に、該コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアとを備える。この第4構造の光ファイバがディプレストクラッド構造を備える場合には、上記クラッド領域は、上記第2コアの外周に接しかつ該第2コアより低い屈折率を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられ、該内側クラッドよりも高くかつ該第2コアよりも低い屈折率を有する外側クラッドとで構成される。

【0020】

当該光ファイバの第5構造は、所定軸に沿って伸びたコア領域と、該コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、特に、該コア領域は、所定の屈折率を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられ該第1コアよりも高い屈折率を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられ該第2コアよりも低い屈折率を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられ該第3コアよりも高い屈折率を有する第4コアとからなるコア領域とを備える。この第5態様の光ファイバにおいて、上記クラッド領域は、上記第4コアよりも低い屈折率を有する。

【0021】

この発明に係る光伝送システムは、上述のような構造を備えた光ファイバにより実現される。具体的に、この発明に係る光伝送システムは、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯の第1光を出力する第1送信器と、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の第2の光を出力する第2送信器と、該第1送信器から出力された第1光及び該第2送信器から出力された第2光とを合波する合波器と、該合波器にその一端が光学的に接続された、上述の構造を備えた光ファイバとを、少なくとも備える。この構成により、当該光ファイバは、合波器により合波された第1光及び第2光それぞれを伝送する。以上のような構成を備えた光伝送システムによれば、第1送信器から出力された $1.3\mu\text{m}$ 波長帯の第1光は、合波器を経て上記光ファイバに入射され、該光ファイバ内を受信系に向かって伝搬する。一方、第2の送信器から出力された $1.55\mu\text{m}$ 波長帯の第2の光は、合波器を経て光ファイバに入射され、該光ファイバ内を受信系に向かって伝搬する。光伝送路に適用される光ファイバは、上述のように、また、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯のいずれにおいても効率的な光通信を可能にする構造を備えており、上述のような特殊構造を備えた光ファイバが適用されることにより、当該光伝送システムは大容量通信を可能にする。

10

20

30

40

50

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、この発明に係る光ファイバ及び光伝送システムの各実施例を、図1A～図2B、図3～16、及び図17A～図18Bを用いて説明する。なお、図面中の同一要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0023】

まず、図1Aは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフであり、図1Bは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

【0024】

この発明に係る光ファイバは、零分散波長を波長 $1.20\mu\text{m}$ ～ $1.60\mu\text{m}$ の範囲に1つのみ有し、該零分散波長が波長 $1.37\mu\text{m}$ ～ $1.50\mu\text{m}$ の範囲内に存在する。図1Aのグラフに示されたように、OH吸収に起因した伝送損失が波長 $1.38\mu\text{m}$ 付近で発生するので（例えば、KAZUHIRO NOGUCHI et al., “Loss Increase for Optical Fibers Exposed to Hydrogen Atmosphere”, JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, VOL. LT-3, NO. 2, APRIL 1985 参照）、この波長近傍の信号光の光通信への利用は必ずしも好ましくない。そこで、この発明に係る光ファイバでは、図1Bに示されたように、OH吸収に起因した伝送損失が生じる波長 $1.38\mu\text{m}$ を含む波長 $1.37\mu\text{m}$ ～ $1.43\mu\text{m}$ の範囲内に零分散波長が設定され、逆に、該波長範囲を挟む $1.3\mu\text{m}$ 波長帯近傍及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯近傍への零分散波長の設定が避けられている。なお、波長 $1.38\mu\text{m}$ を含むこの波長帯を信号光波長帯域として利用する場合には、零分散波長を $1.45\mu\text{m}$ よりも大きくかつ $1.50\mu\text{m}$ 以下の範囲内に設定してもよい。このように、この発明に係る光ファイバは、零分散波長を含む所定の波長帯域を避けた $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯が信号光波長帯域として利用されることにより、これら波長帯域において意図的に分散を生じさせ、逆に四光波混合の発生を効果的に抑制している。上述のように、 $1.37\mu\text{m}$ ～ $1.43\mu\text{m}$ の範囲内に零分散波長を設定すると、増幅帯域が $1.47\mu\text{m}$ 波長帯にあるツリウム添加ファイバ増幅器を利用することによりさらに伝送帯域を広げることができる。一方、脱水処理等を施すことにより上記OH吸収ピークを低く抑え、波長 $1.38\mu\text{m}$ を含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、係る波長帯域において意図的に分散を発生させるべく、零分散波長を波長 $1.45\mu\text{m}$ よりも大きく $1.50\mu\text{m}$ 以下の範囲に設定してもよい。

【0025】

また、この発明に係る光ファイバは、上記零分散波長における分散スロープの絶対値が $0.10\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下（好ましくは波長 $1.55\mu\text{m}$ において $0.06\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下）であり、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯それぞれにおける分散の均一化が実現できる。このとき、当該光ファイバでは、波長 $1.3\mu\text{m}$ における分散 $D_{1.3}$ の絶対値、及び波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散 $D_{1.55}$ の絶対値それぞれが、 $6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上 $12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である。 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバの、 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯における分散値が $17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度であることを考慮しても、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯それぞれにおける当該光ファイバの分散の絶対値は十分小さいので（ $12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下）、光通信の利用により適している。一方、これら波長帯域では適度に分散が発生するので（ $6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上）、四光波混合の発生を効果的に避けることができる。

【0026】

さらに、この発明に係る光ファイバは、伝送路長が数百m以下でカットオフ波長が $1.3\mu\text{m}$ 以下であるのがシングルモードを保証する観点から好ましい。この場合、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯それぞれにおいて基底モード光のみが伝搬し得る。比較的長距離（伝送路長が数km以下）の伝送では、カットオフ波長の距離依存性を考慮すると、カットオフ波長は $1.45\mu\text{m}$ 以下でもよい。なお、この明細書において、カットオフ

10

20

30

40

50

波長はC C I T T規格に規定されているように、長さ2 mの光ファイバを半径1 4 0 mmで1 ターンだけ巻いた状態で測定されたL P 1 1モードのカットオフ波長である。また、曲げ損失を低減する観点では、カットオフ波長が1 . 0 μ mを下回ると、曲げ損失が著しく増加する場合がある。そのため、該カットオフ波長は1 . 0 5 μ m以上、さらには1 . 3 0 μ m以上であるのが好ましい。

【0027】

以上のように、この発明に係る光ファイバは、1 . 3 μ m波長帯及び1 . 5 5 μ m波長帯の双方を避けた波長範囲に零分散波長を設定し、かつ各波長帯域における分散値の小さなシングルモード光ファイバであるため、複数の波長帯域を利用した光通信システムの伝送媒体に適している。

10

【0028】

この発明に係る光ファイバは、波長1 . 3 0 μ m～1 . 5 5 μ mの範囲において分散が単調に変化するのが好ましい（図1 Bに示されたケースでは単調増加）。この場合、波長1 . 2 0 μ m～1 . 6 0 μ mの範囲内に零分散波長を1 つのみ設定することが可能であり、加えて、1 . 3 μ m波長帯及び1 . 5 5 μ m波長帯それぞれにおける分散が零に近づくことがない点でも好ましい（分散が零に近づくとき非線形光学現象が生じ易くなる）。

【0029】

この発明に係る光ファイバは、直径3 2 mmで巻かれたときの波長1 . 5 5 μ mにおける曲げ損失が0 . 5 d B / ターン以下、さらには0 . 0 6 d B / ターン以下であるのが好ましい。この場合、曲げ損失が十分に小さいので、ケーブル化等に起因した損失増加を効果的に抑制することができる。なお、この曲げ損失（d B / ターン）は、直径3 2 mmのマンドレル（mandrel）に巻き付けられた光ファイバについて、波長1 . 5 5 μ mの光の伝送損失を1 ターン当たりの損失値に換算した値である。

20

【0030】

この発明に係る光ファイバは、波長1 . 5 5 μ mにおける実効断面積 A_{eff} が4 5 μ m²以上、さらには4 9 μ m²よりも大きいことが好ましい。この値は、1 . 5 5 μ m波長帯に零分散波長を有する従来の分散シフト光ファイバにおける実効断面積と同等以上であり、単位断面積当たりの光強度が小さくなるので、四光波混合等の非線形光学現象の発生が効果的に抑制される。

【0031】

この発明に係る光ファイバは、波長1 . 3 8 μ mにおけるOH吸収に起因した伝送損失の増加量 α が0 . 1 d B / km以下であることが好ましい。光通信に適用可能な波長帯域が広くなり、さらに大容量光通信が可能となるからである。なお、波長1 . 3 8 μ mを含む波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、非線形光学現象の発生を抑制するため、該波長帯域を避けた波長1 . 4 5 μ mよりも大きくかつ波長1 . 5 0 μ m以下の範囲内に零分散波長を設計するのが好ましい。

30

【0032】

この発明に係る光ファイバは、純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が1 %以下であって最小値が- 0 . 5 %以上である屈折率プロファイルを有するのが好ましい。例えばGe元素が添加される高屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は1 %以下であって、例えばF元素が添加される低屈折率領域の、純シリカに対する比屈折率差は- 0 . 5 %以上であるので、製造が比較的容易であり、また、伝送損失の小さな光伝送媒体が得られる。なお、より製造を容易にするためには、純シリカの屈折率を基準とした比屈折率差の最小値は- 0 . 2 %以上、より好ましくは- 0 . 1 5 %よりも大きいことが好ましい。

40

【0033】

次に、この発明に係る光ファイバの第1～22実施例を図2 A、図2 B、及び図3～図10を用いて説明する。

【0034】

（第1実施例）

50

図 2 A は、第 1 実施例に係る光ファイバ 1 0 0 の断面構造を示す図であり、図 2 B は、図 1 A に示された光ファイバ 1 0 0 の屈折率プロファイルである。この第 1 実施例に係る光ファイバ 1 0 0 は、所定軸に沿って伸びた屈折率 n_1 を有する外径 2 a のコア領域 1 1 0 と、該コア領域 1 1 0 の外周に設けられた屈折率 n_2 を ($< n_1$) を有するクラッド領域 1 2 0 とを備える。なお、コア領域 1 1 0 の屈折率は、クラッド領域 1 2 0 の屈折率よりも大きい。コア領域 1 1 0 の外径 2 a は $5.2 \mu\text{m}$ であり、クラッド領域 1 2 0 を基準としたコア領域 1 1 0 の比屈折率差 Δ_1 は 0.55% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、コア領域 1 1 0 に Ge 元素を添加することにより得られる。

【0035】

図 2 B に示された屈折率プロファイル 1 5 0 の横軸は、図 2 A 中の線 L に沿った、コア領域 1 1 0 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図 2 B の屈折率プロファイル 1 5 0 において、領域 1 5 1 はコア領域 1 1 0 の線 L 上の各部位における屈折率、領域 1 5 2 はクラッド領域 1 2 0 の線 L 上の各部位における屈折率をそれぞれ示している。

【0036】

なお、最外郭のクラッド領域 1 2 0 に対するコア領域 1 1 0 の比屈折率差 Δ_1 は、以下のよう定義される。

【0037】

$$\Delta_1 = (n_1 - n_2) / n_2$$

ここで、 n_1 はコア領域 1 1 0 の屈折率、 n_2 はクラッド領域 1 2 0 の屈折率である。また、この明細書では、比屈折率差 Δ は百分率で表示されており、上記定義式における各領域の屈折率は順不同である。したがって、 Δ が負の値の場合、対応する領域の屈折率はクラッド領域 1 2 0 の屈折率よりも低いことを意味する。

【0038】

この第 1 実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.44 \mu\text{m}$ であり、波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.060 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.054 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長が $0.96 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が $-18.5 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が $-9.6 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が $0.6 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が $6.2 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が $8.8 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ である。さらに、直径 32 mm で巻まれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は 1 ターン当たり 0.06 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $49.1 \mu\text{m}^2$ である。

【0039】

(第 2 実施例)

次に、図 3 は、第 2 実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第 2 実施例に係る光ファイバの基本構造は、図 2 A に示された第 1 実施例に類似しており、図 2 A に示されたクラッド領域 1 2 0 がディプレストクラッド構造を有する点が第 1 実施例と異なっている。図 2 A を参照して説明すると、第 2 実施例に係る光ファイバは、屈折率 n_1 を有する外径 2 a のコア領域 1 1 0 と、該コア領域 1 1 0 の外周に設けられたクラッド領域 1 2 0 を備えている。該クラッド領域 1 2 0 は、コア領域 1 1 0 に接して設けられかつ屈折率 n_3 ($< n_1$) を有する外径 2 b の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率 n_2 ($< n_1$, $> n_3$) を有する外側クラッドにより構成されている。なお、コア領域 1 1 0 の外径 2 a は $5.2 \mu\text{m}$ であり、内側クラッドの外径 2 b は $10.9 \mu\text{m}$ である。また、外側クラッド領域の屈折率 n_2 を基準とした、コア領域の比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_2) / n_2$) は 0.55% 、内側クラッドの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_2) / n_2$) は -0.05% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、コア領域に Ge 元素が添加され、内側クラッドに F 元素が添加されることにより得られる

。

【0040】

図3に示された屈折率プロファイル250と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル250の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図3の屈折率プロファイル250において、領域251はコア領域110の線L上の各部位における屈折率、領域252はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域253はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

【0041】

10

この第2実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.46\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m}$ ～ $1.60\mu\text{m}$ の範囲内には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.053\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.049\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $0.93\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m}$ ～ $1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-18.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-10.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $-0.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $4.3\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $6.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.20dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $47.2\mu\text{m}^2$ である。

20

【0042】

(第3実施例)

図4は、第3実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第2実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例に類似しており、図2Aに示されたコア領域110が第1コアと第2コアで構成された点が第1実施例と異なっている。図2Aを参照して第3実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、光軸中心に最大屈折率 n_1 を有する外径 $2a$ の第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する外径 $2b$ の第2コアとを備える。第2コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率は n_3 ($< n_2$) である。

30

【0043】

図4に示された屈折率プロファイル350と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル350の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図4の屈折率プロファイル350において、領域351はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域352はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域353はクラッド領域120の線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、コア領域110を構成する第1コアの外径 $2a$ は $6.4\mu\text{m}$ であり、第2コア領域の外径 $2b$ は $16.0\mu\text{m}$ である。クラッド領域120の屈折率 n_3 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_3) / n_3$) は 0.60% 、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_3) / n_3$) は 0.10% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第2コアそれぞれに適切な量のGe元素が添加されることにより得られる。

40

【0044】

この第3実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.42\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m}$ ～ $1.60\mu\text{m}$ の範囲内には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.079\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.070\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.19\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m}$ ～ $1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-20.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 1.30

50

μm における分散が $-10.6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $2.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $9.3\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $12.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.006dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $63.6\mu\text{m}^2$ である。

【0045】

(第4実施例)

図5は、第4実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第4実施例に係る光ファイバも、図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。ただし、クラッド領域120がディプレスト構造を備える点で上述の第3実施例と異なる。図2Aを参照して第4実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する外径 $2b$ の第2コアとを備えている。クラッド領域120は、第2コアの外周に接して設けられかつ屈折率 n_4 ($< n_2$) を有する外径 $2c$ の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_4$, $< n_2$) を有する外側クラッドを備える。

【0046】

図5に示された屈折率プロファイル450と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル450の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図5の屈折率プロファイル450において、領域451はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域452はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域453はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域454はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第1コアの外径 $2a$ は $6.3\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $16.1\mu\text{m}$ 、内側クラッドの外径 $2c$ は $28.8\mu\text{m}$ である。純シリカの外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_3) / n_3$) は 0.60% 、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_3) / n_3$) は 0.10% 、内側クラッドの比屈折率差 Δ_4 ($= (n_4 - n_3) / n_3$) は -0.05% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第2コアそれぞれに適切な量のGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

【0047】

この第4実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.41\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m} \sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.081\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.070\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.15\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-20.3\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-9.9\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $3.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $10.2\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $13.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.004dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $62.0\mu\text{m}^2$ である。

【0048】

(第5実施例)

図6は、第5実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第5実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例に類似しており、コア領域110とクラッド領域120から構成されている。図2Aに示された第5実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、クラッド領域120に囲まれたコア領域110は、所定軸に沿

10

20

30

40

50

って伸びた屈折率 n_1 を有する外径 $2a$ の第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する外径 $2b$ の第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2$ 、 $< n_1$) を有する外径 $2c$ の第3コアとを備える。第3コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率は、 n_4 ($< n_1$ 、 $< n_3$) である。

【0049】

図6に示された屈折率プロファイル550と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル550の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図6の屈折率プロファイル550において、領域551はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域552はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域553はコア領域110を構成する第3コアの線L上の各部位における屈折率、領域554はクラッド領域120の線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第1コアの外径 $2a$ は $5.3\ \mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $10.0\ \mu\text{m}$ 、第3コア領域の外径 $2c$ は $16.6\ \mu\text{m}$ である。クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$) は 0.58% 、第2コアの比屈折率差は $n_2 = n_4$ に設定されているため 0% 、第3コアの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_4) / n_4$) は 0.14% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コア及び第3コアそれぞれに適切な量のGe元素を添加することにより得られる。

【0050】

この第5実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.48\ \mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\ \mu\text{m} \sim 1.60\ \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.064\ \text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.064\ \text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長は $1.24\ \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\ \mu\text{m} \sim 1.55\ \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\ \mu\text{m}$ における分散が $-20.3\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.30\ \mu\text{m}$ における分散が $-11.9\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.45\ \mu\text{m}$ における分散が $-1.9\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における分散が $4.8\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.60\ \mu\text{m}$ における分散が $8.0\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。さらに、直径 $32\ \text{mm}$ で巻かれたときの波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり $0.0008\ \text{dB}$ であり、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $53.9\ \mu\text{m}^2$ である。

【0051】

(第6実施例)

図7は、第6実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。この第6実施例に係る光ファイバの基本構造も、図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。ただし、クラッド領域120がディプレストクラッド構造を備えている点が第5実施例と異なる。図2Aを参照して第6実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率 n_1 を有する外径 $2a$ の第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する外径 $2b$ の第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($< n_1$ 、 $> n_2$) を有する外径 $2c$ の第3コアとを備える。ディプレストクラッド構造のクラッド領域120は、第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_5 ($< n_3$) を有する外径 $2d$ の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率 n_4 ($< n_3$ 、 $> n_5$) を有する外側クラッドとを備える。

【0052】

図7に示された屈折率プロファイル650と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル650の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図7の屈折率プロファイル650において、領域651はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域652はコア領域110を構成する第2コアの線L上の

各部位における屈折率、領域 6 5 3 はコア領域 1 1 0 を構成する第 3 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 6 5 4 はクラッド領域 1 2 0 を構成する内側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率、領域 6 5 5 はクラッド領域 1 2 0 を構成する外側クラッドの線 L 上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。なお、第 1 コアの外径 2 a は 5.7 μm 、第 2 コアの外径 2 b は 16.2 μm 、第 3 コア領域の外径 2 c は 23.0 μm であり、内側クラッドの外径 2 d は 34.4 μm である。また、外側クラッド領域の屈折率を基準とした、第 1 コアの比屈折率差 $\Delta_1 = (n_1 - n_4) / n_4$ は 0.50%、第 2 コアの比屈折率差は $n_2 = n_4$ に設定されているため 0%、第 3 コアの比屈折率差 $\Delta_3 = (n_3 - n_4) / n_4$ は 0.16%、内側クラッドの比屈折率差 $\Delta_5 = (n_5 - n_4) / n_4$ は -0.10% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第 1 コア及び第 3 コアそれぞれに適切な量の Ge 元素を添加し、内側クラッドに F 元素を添加することにより得られる。

10

【0053】

この第 6 実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1.42 μm であり、波長 1.20 μm ~ 1.60 μm の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは 0.056 $\text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 1.55 μm における分散スロープは 0.052 $\text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長は 1.23 μm である。また、少なくとも波長 1.30 μm ~ 1.55 μm の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 1.20 μm における分散が -16.4 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.30 μm における分散が -7.9 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.45 μm における分散が 1.6 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.55 μm における分散が 6.6 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.60 μm における分散が 9.2 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 1.55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.02 dB であり、波長 1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は 57.1 μm^2 である。

20

【0054】

(第 7 及び第 8 実施例)

図 8 は、第 7 及び第 8 実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第 7 及び第 8 実施例は同じ構造を備え、いずれも図 2 A に示された第 1 実施例と同様にコア領域 1 1 0 とクラッド領域 1 2 0 を備える。図 2 A を参照して第 7 及び第 8 実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域 1 1 0 は、所定軸に沿って伸びた屈折率 n_1 を有する外径 2 a の第 1 コアと、該第 1 コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 を ($> n_1$) 有する外径 2 b の第 2 コアを備える。第 2 コアの外周に設けられたクラッド領域 1 2 0 の屈折率は n_3 ($< n_2$) である。

30

【0055】

図 8 に示された屈折率プロファイル 7 5 0 と図 2 A に示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル 7 5 0 の横軸は、図 2 A 中の線 L に沿った、コア領域 1 1 0 の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図 8 の屈折率プロファイル 7 5 0 において、領域 7 5 1 はコア領域 1 1 0 を構成する第 1 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 7 5 2 はコア領域 1 1 0 を構成する第 2 コアの線 L 上の各部位における屈折率、領域 7 5 3 はクラッド領域 1 2 0 の線 L 上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

40

【0056】

なお、第 7 実施例に係る光ファイバにおいて、第 1 コアの外径 2 a は 2.8 μm 、第 2 コアの外径 2 b は 5.6 μm である。クラッド領域の屈折率を基準とした、第 1 コアの比屈折率差 Δ_1 は $n_1 = n_3$ に設定されるため 0% であり、第 2 コア領域の比屈折率差 $\Delta_2 = (n_2 - n_3) / n_3$ は 0.7% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第 2 コアに Ge 元素を添加することにより得られる。

【0057】

この第 7 実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1.41 μm であり、波長 1.20 μm ~ 1.60 μm の範囲には該零分散波長が 1 つのみ存在している。該零分散波長にお

50

る分散スロープは $0.075 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.061 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.10 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が -20.1 ps/nm/km 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が -9.3 ps/nm/km 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が 3.0 ps/nm/km 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が 9.4 ps/nm/km 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が 12.4 ps/nm/km である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.3 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $67.3 \mu\text{m}^2$ である。

【0058】

10

一方、第8実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $3.2 \mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $6.4 \mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1 (= (n_1 - n_3) / n_3)$ は -0.2% 、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2 (= (n_2 - n_3) / n_3)$ は 0.7% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第1コアにF元素を添加し、第2コアにGe元素を添加することにより得られる。

【0059】

この第8実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.42 \mu\text{m}$ であり、波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.084 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.068 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.17 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が -22.9 ps/nm/km 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が -11.1 ps/nm/km 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が 2.4 ps/nm/km 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が 9.9 ps/nm/km 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が 13.2 ps/nm/km である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.2 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $79.1 \mu\text{m}^2$ である。

20

【0060】

(第9及び第10実施例)

30

図9は、第9及び第10実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第9及び第10実施例は同じ構造を備え、いずれも図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。ただし、これら第9及び第10実施例は、クラッド領域120がディプレストクラッド構造備えている点で第7及び第8実施例と異なる。図2Aを参照して第9及び第10実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率 n_1 を有する外径 $2a$ の第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 を($>n_1$)を有する外径 $2b$ の第2コアとを備える。ディプレストクラッド構造を備えるクラッド領域は、第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($<n_1$)を有する外径 $2c$ の内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられた屈折率 n_3 ($>n_4$)を有する外側クラッドとを備える。

40

【0061】

図9に示された屈折率プロファイル850と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル850の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図9の屈折率プロファイル850において、領域851はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域852はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域853はクラッド領域120を構成する内側クラッドの線L上の各部位における屈折率、領域854はクラッド領域120を構成する外側クラッドの線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

【0062】

50

なお、第9実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $3.8\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $7.1\mu\text{m}$ 、内側クラッドの外径 $2c$ は $10.6\mu\text{m}$ である。外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 は $n_1=n_3$ に設定しているため 0% であり、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2(=(n_2-n_3)/n_3)$ は 0.7% 、内側クラッドの比屈折率差 $\Delta_4(=(n_4-n_3)/n_3)$ は -0.2% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コアにGe元素を添加し、内側クラッドにF元素を添加することにより得られる。

【0063】

この第9実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.42\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m}\sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.077\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.061\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.22\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m}\sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-21.6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-10.2\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $2.2\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $9.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $12.1\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.2dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $73.5\mu\text{m}^2$ である。

【0064】

一方、第10実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $2.6\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $6.4\mu\text{m}$ 、内側クラッドの外径 $2c$ は $9.6\mu\text{m}$ である。外側クラッドの屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1(=(n_1-n_3)/n_3)$ は -0.2% 、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2(=(n_2-n_3)/n_3)$ は 0.7% 、内側クラッドの比屈折率差 $\Delta_4(=(n_4-n_3)/n_3)$ は -0.2% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コアにGe元素を添加し、第1コア及び内側クラッドそれぞれにF元素を添加することにより得られる。

【0065】

この第10実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.44\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m}\sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.070\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.058\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.18\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m}\sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-21.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-10.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $0.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $7.3\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $10.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.03dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $59.6\mu\text{m}^2$ である。

【0066】

(第11及び第12実施例)

図10は、第11及び第12実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。これら第9及び第10実施例は同じ構造を備え、いずれも図2Aに示された第1実施例と同様にコア領域110とクラッド領域120を備える。図2Aを参照して第11及び第12実施例に係る光ファイバの構造を説明すると、コア領域110は、所定軸に沿って伸びた屈折率 n_1 を有する外径 $2a$ の第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2(>n_1)$ を有する外径 $2b$ の第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3(<n_2)$ を有する外径 $2c$ の第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_4(<n_2, >n_3)$ を有する外径 $2d$ の第4コアとを備える。第4コアの外周に設けられたクラッド領域120の屈折率は $n_5(<n_4)$ である。

【0067】

図10に示された屈折率プロファイル950と図2Aに示された断面構造との関係について説明すると、該屈折率プロファイル950の横軸は、図2A中の線Lに沿った、コア領域110の中心軸に対して垂直な断面上の各部位に相当している。したがって、図10の屈折率プロファイル950において、領域951はコア領域110を構成する第1コアの線L上の各部位における屈折率、領域952はコア領域110を構成する第2コアの線L上の各部位における屈折率、領域953はコア領域110を構成する第3コアの線L上の各部位における屈折率、領域954はコア領域110を構成する第4コアの線L上の各部位における屈折率、領域955はクラッド領域120の線L上の各部位における屈折率を、それぞれ示している。

10

【0068】

なお、第11実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $2.7\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $5.4\mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は $8.1\mu\text{m}$ であり、第4コアの外径 $2d$ は $10.8\mu\text{m}$ である。クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 は $n_1=n_3$ に設定されるため 0% 、第2コア領域の比屈折率差 $\Delta_2(=(n_2-n_5)/n_5)$ は 0.8% 、第3コアの比屈折率差 Δ_3 は $n_3=n_5$ に設定されているため 0% 、第4コアの比屈折率差 $\Delta_4(=(n_4-n_5)/n_5)$ は 0.1% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コア及び第4コアそれぞれにGe元素を添加することにより得られる。

【0069】

この第11実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.42\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m}\sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.080\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.065\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.16\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m}\sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-21.8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-10.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $2.3\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $9.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $12.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.005dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $62.6\mu\text{m}^2$ である。

20

30

【0070】

一方、第12実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $3.2\mu\text{m}$ 、第2コア領域の外径 $2b$ は $7.0\mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は $9.0\mu\text{m}$ 、第4コアの外径 $2d$ は $12.8\mu\text{m}$ である。クラッド領域の屈折率を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1(=(n_1-n_5)/n_5)$ は -0.2% 、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2(=(n_2-n_5)/n_5)$ は 0.6% 、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3(=(n_3-n_5)/n_5)$ は -0.2% 、第4コアの比屈折率差 $\Delta_4(=(n_4-n_5)/n_5)$ は 0.1% である。このような光ファイバは、シリカをベースとして、例えば、第2コア及び第4コアそれぞれにGe元素を添加し、第1コア及び第3コアそれぞれにF元素を添加することにより得られる。

40

【0071】

この第12実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.41\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m}\sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.088\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.071\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.22\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m}\sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-22.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-10.6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $3.4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $11.0\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $14.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で

50

巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.4 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $92.7 \mu\text{m}^2$ である。

【0072】

(第13実施例)

この発明に係る光ファイバの第13実施例は、基本的に図2A及び図2Bに示されたような断面構造及び屈折率プロファイルを有する。ただし、この第13実施例に係る光ファイバは、シリカをベースにしてコア領域110を除くクラッド領域120にフッ素（屈折率低下剤）を添加することにより、コア領域110とクラッド領域120との間に、相対的に屈折率の差を生じさせている点で第1実施例と異なる。

【0073】

この第13実施例に係る光ファイバにおいて、純シリカ（屈折率 n_0 ）のコア領域110の外径 $2a$ は $5.6 \mu\text{m}$ である。また、クラッド領域120の屈折率 n_2 ($< n_0$) を基準とした、コア領域110の比屈折率差 Δ_1 ($= (n_0 - n_2) / n_2$) は 0.53% である。なお、この第13実施例では、コア領域110を純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）で構成したが、このコア領域110には、塩素が添加されたシリカであってもよい。

【0074】

この第13実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.41 \mu\text{m}$ であり、波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.057 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.048 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長は $1.04 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が $-15.7 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が $-7.2 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が $2.2 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が $7.1 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が $9.4 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.04 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $52.2 \mu\text{m}^2$ である。

【0075】

加えて、この第13実施例に係る光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における伝送損失が $0.17 \text{ dB} / \text{km}$ であり、コア領域に Ge が添加された実施例（波長 $1.55 \mu\text{m}$ における伝送損失は $0.20 \text{ dB} / \text{km}$ 程度）と比較して、より低損失の光ファイバである。

【0076】

(第14実施例)

この発明に係る光ファイバの第14実施例は、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、波長 $1.55 \mu\text{m}$ において $50 \mu\text{m}^2$ 程度の実効断面積を有する。ただし、この第14実施例のプロファイル形状は、第1コアの屈折率 (n_1) が半径方向に均一である点で第3実施例と異なる。

【0077】

この第14実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($< n_2$) を有するクラッド領域とを備える。

【0078】

なお、この第14実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $5.5 \mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $23.7 \mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 n_3 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_3) / n_3$) は 0.59% 、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_3) / n_3$) は 0.06% である。

【0079】

この第14実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.41 \mu\text{m}$ であり、波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長にお

10

20

30

40

50

ける分散スロープは $0.065 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.055 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.25 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が -16.8 ps/nm/km 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が -7.7 ps/nm/km 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が 2.5 ps/nm/km 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が 8.5 ps/nm/km 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が 11.2 ps/nm/km である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.00002 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $50.1 \mu\text{m}^2$ である。

【0080】

10

(第15実施例)

この発明に係る光ファイバの第15実施例も、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、 1450 nm 近傍の零分散波長を有する。ただし、この第15実施例のプロファイル形状は、第1コアの屈折率(n_1)が半径方向に均一である点で第3実施例と異なる。

【0081】

この第15実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($< n_2$)を有するクラッド領域とを備える。

【0082】

20

なお、この第15実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $4.8 \mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $15.1 \mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 n_3 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_3) / n_3$)は 0.65% 、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_3) / n_3$)は 0.06% である。

【0083】

この第15実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1.46 (1.457) μm であり、波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.060 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.060 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.07 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が -20.2 ps/nm/km 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が -11.1 ps/nm/km 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が -0.6 ps/nm/km 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が 5.7 ps/nm/km 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が 8.7 ps/nm/km である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.00006 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $45.3 \mu\text{m}^2$ である。

30

【0084】

(第16実施例)

この発明に係る光ファイバの第16実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するが、第2コアの屈折率(n_2)がクラッド領域の屈折率(n_4)よりも高く設定されている点、及び第1コアの屈折率プロファイルの形状が α 系分布(図5に示されたようなドーム形状)である点で、該第5実施例と異なる。

40

【0085】

この第16実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、最大屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$)を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2$ 、 $< n_1$)を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($< n_3$)を有するクラッド領域とを備える。

【0086】

なお、この第16実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $6.7 \mu\text{m}$ 、

50

第2コアの外径 $2b$ は $13.4\mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は $22.4\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 n_4 を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1 (= (n_1 - n_4) / n_4)$ は 0.60% 、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2 (= (n_2 - n_4) / n_4)$ は 0.05% 、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3 (= (n_3 - n_4) / n_4)$ は 0.11% である。

【0087】

この第16実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.47\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m} \sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.065\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.065\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.37\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-21.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-12.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $-1.3\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $5.1\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $8.4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.02dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $62.6\mu\text{m}^2$ である。

10

【0088】

(第17実施例)

この発明に係る光ファイバの第17実施例は、図4に示された第3実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、信号光波長よりも長いカットオフ波長を有する。

20

【0089】

この第17実施例に係る光ファイバは、上述の第3実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2 (< n_1)$ を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3 (< n_2)$ を有するクラッド領域とを備える。

【0090】

なお、この第17実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $7.5\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $29.0\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 n_3 を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1 (= (n_1 - n_3) / n_3)$ は 0.61% 、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2 (= (n_2 - n_3) / n_3)$ は 0.10% である。

【0091】

この第17実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.40\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m} \sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.071\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.059\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.78\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-17.4\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-7.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $3.5\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $9.7\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $12.6\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.00002dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $60.3\mu\text{m}^2$ である。

30

40

【0092】

続いて、図6及び図7に示されたようにコア領域が第1～第3コアから構成された3重構造の光ファイバについて、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープが $0.06\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下である低分散スロープを有する複数の実施例について以下説明する。

【0093】

(第18実施例)

この発明に係る光ファイバの第18実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。

【0094】

50

この第18実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2$ 、 $< n_1$) を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($= n_2$) を有するクラッド領域とを備える。

【0095】

なお、この第18実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $5.5\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $22.8\mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は $34.6\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 n_4 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$) は 0.48% 、第2コアの比屈折率差は $n_2 = n_4$ に設定されているため 0% 、第3コアの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_4) / n_4$) は 0.12% である。

10

【0096】

この第18実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.41\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m} \sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.058\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.040\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.75\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-16.5\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-7.5\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $2.1\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $6.8\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $8.6\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失は、1ターン当たり 0.2dB であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $57.1\mu\text{m}^2$ である。

20

【0097】

(第19実施例)

この発明に係る光ファイバの第19実施例も、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第19実施例の屈折率プロファイルは、第2コアの屈折率(n_2)がクラッド領域の屈折率(n_4)よりも高く設定されている点で、該第5実施例や上述の第18実施例と異なる。

【0098】

この第19実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2$ 、 $< n_1$) を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($< n_3$) を有するクラッド領域とを備える。

30

【0099】

なお、この第19実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $6.2\mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $19.9\mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は $28.4\mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 n_4 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$) は 0.44% 、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_4) / n_4$) は 0.01% 、第3コアの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_4) / n_4$) は 0.13% である。

40

【0100】

この第19実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.38\mu\text{m}$ であり、波長 $1.20\mu\text{m} \sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.065\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープは $0.047\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 、カットオフ波長は $1.52\mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30\mu\text{m} \sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20\mu\text{m}$ における分散が $-14.5\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.30\mu\text{m}$ における分散が $-5.4\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.45\mu\text{m}$ における分散が $4.4\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散が $9.4\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 、波長 $1.60\mu\text{m}$ における分散が $11.7\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ である。さらに、直径 32mm で巻かれ

50

たときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.07 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $64.5 \mu\text{m}^2$ である。

【0101】

(第20実施例)

この発明に係る光ファイバの第20実施例は、図7に示された第6実施例と同様に、ディプレストクラッド構造の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第20実施例の屈折率プロファイルも上述の第19実施例と同様に第2コアの屈折率 (n_2) がクラッド領域の屈折率 (n_4) よりも高く設定されている。

【0102】

この第20実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域は、上述の第6実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2$, $< n_1$) を有する第3コアとを備える。また、クラッド領域は、第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_5 ($< n_3$) を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($< n_3$, $> n_5$) を有する外側クラッドとを備え、これら内側及び外側クラッドによりディプレストクラッド構造が構成されている。

【0103】

なお、この第20実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $5.6 \mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $19.7 \mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は $28.1 \mu\text{m}$ 、内側クラッドの外径 $2d$ は $42.0 \mu\text{m}$ である。また、外側クラッドの屈折率 n_4 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$) は 0.55% 、第2コアの比屈折率差 Δ_2 ($= (n_2 - n_4) / n_4$) は 0.01% 、第3コアの比屈折率差 Δ_3 ($= (n_3 - n_4) / n_4$) は 0.16% 、内側クラッドの比屈折率差 Δ_5 ($= (n_5 - n_4) / n_4$) は -0.05% である。

【0104】

この第20実施例に係る光ファイバの零分散波長は $1.40 \mu\text{m}$ であり、波長 $1.20 \mu\text{m} \sim 1.60 \mu\text{m}$ の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは $0.059 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープは $0.043 \text{ ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長は $1.59 \mu\text{m}$ である。また、少なくとも波長 $1.30 \mu\text{m} \sim 1.55 \mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 $1.20 \mu\text{m}$ における分散が $-15.8 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.30 \mu\text{m}$ における分散が $-6.9 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.45 \mu\text{m}$ における分散が $2.7 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散が $7.4 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 $1.60 \mu\text{m}$ における分散が $9.5 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.001 dB であり、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} は $50.4 \mu\text{m}^2$ である。

【0105】

(第21実施例)

この発明に係る光ファイバの第21実施例は、図6に示された第5実施例と同様の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。

【0106】

この第21実施例に係る光ファイバは、上述の第5実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 n_2 ($< n_1$) を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 n_3 ($> n_2$, $< n_1$) を有する第3コアと、該第3コアの外周に設けられかつ屈折率 n_4 ($= n_2$) を有するクラッド領域とを備える。

【0107】

なお、この第21実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は $6.1 \mu\text{m}$ 、第2コアの外径 $2b$ は $17.8 \mu\text{m}$ 、第3コアの外径 $2c$ は $25.4 \mu\text{m}$ である。また、クラッド領域の屈折率 n_4 を基準とした、第1コアの比屈折率差 Δ_1 ($= (n_1 - n_4) / n_4$) は

10

20

30

40

50

4) は 0.45%、第2コアの比屈折率差は $n_2 = n_4$ に設定されているため 0%、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3 (= (n_3 - n_4) / n_4)$ は 0.14% である。

【0108】

この第21実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1.40 μm であり、波長 1.20 μm ~ 1.60 μm の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは 0.057 $\text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 1.55 μm における分散スロープは 0.046 $\text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長は 1.44 μm である。また、少なくとも波長 1.30 μm ~ 1.55 μm の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 1.20 μm における分散が -15.2 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.30 μm における分散が -6.5 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.45 μm における分散が 2.7 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.55 μm における分散が 7.5 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.60 μm における分散が 9.8 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 1.55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.1 dB であり、波長 1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は 64.4 μm^2 である。

10

【0109】

(第22実施例)

この発明に係る光ファイバの第22実施例は、図7に示された第6実施例と同様に、ディプレストクラッド構造の屈折率プロファイルを有するとともに、低分散スロープを有する光ファイバである。なお、当該第22実施例の屈折率プロファイルでは、上述の第20実施例とは逆に第2コアの屈折率 (n_2) がクラッド領域の屈折率 (n_4) よりも低く設定されている。

20

【0110】

この第22実施例に係る光ファイバにおいて、コア領域は、上述の第6実施例と同様に、屈折率 n_1 を有する第1コアと、該第1コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_2 (< n_1)$ を有する第2コアと、該第2コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_3 (> n_2, < n_1)$ を有する第3コアとを備える。また、クラッド領域は、第3コアの外周に設けられかつ屈折率 $n_5 (< n_3)$ を有する内側クラッドと、該内側クラッドの外周に設けられかつ屈折率 $n_4 (< n_3, > n_5)$ を有する外側クラッドとを備え、これら内側及び外側クラッドによりディプレストクラッド構造が構成されている。

【0111】

なお、この第22実施例に係る光ファイバにおいて、第1コアの外径 $2a$ は 6.0 μm 、第2コアの外径 $2b$ は 19.7 μm 、第3コアの外径 $2c$ は 30.0 μm 、内側クラッドの外径 $2d$ は 44.8 μm である。また、外側クラッドの屈折率 n_4 を基準とした、第1コアの比屈折率差 $\Delta_1 (= (n_1 - n_4) / n_4)$ は 0.46%、第2コアの比屈折率差 $\Delta_2 (= (n_2 - n_4) / n_4)$ は -0.05%、第3コアの比屈折率差 $\Delta_3 (= (n_3 - n_4) / n_4)$ は 0.16%、内側クラッドの比屈折率差 $\Delta_5 (= (n_5 - n_4) / n_4)$ は -0.05% である。

30

【0112】

この第22実施例に係る光ファイバの零分散波長は 1.39 μm であり、波長 1.20 μm ~ 1.60 μm の範囲には該零分散波長が1つのみ存在している。該零分散波長における分散スロープは 0.052 $\text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、波長 1.55 μm における分散スロープは 0.023 $\text{ps}^2 / \text{nm}^2 / \text{km}$ 、カットオフ波長は 1.66 μm である。また、少なくとも波長 1.30 μm ~ 1.55 μm の範囲において分散は単調に増加しており、具体的には、波長 1.20 μm における分散が -14.4 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.30 μm における分散が -5.7 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.45 μm における分散が 2.8 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.55 μm における分散が 5.9 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 、波長 1.60 μm における分散が 7.0 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。さらに、直径 32 mm で巻かれたときの波長 1.55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.3 dB であり、波長 1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は 55.6 μm^2 である。

40

【0113】

50

図11は、上述の第1～第13実施例それぞれに係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。また、図12は、上述の第14～第22実施例それぞれに係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。これらの表に示されたように、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、波長 $1.20\mu\text{m}\sim 1.60\mu\text{m}$ の範囲に零分散波長が1つのみ存在し、その零分散波長は波長 $1.37\mu\text{m}\sim 1.50\mu\text{m}$ の範囲に存在している。特に、第3～第4、第6～第9、第11～第14及び第17～第22実施例では、零分散波長は波長 $1.37\mu\text{m}\sim 1.43\mu\text{m}$ の範囲内にあり、第2、第5、第15及び第16実施例では、零分散波長は波長 $1.45\mu\text{m}$ よりも大きくかつ $1.55\mu\text{m}$ 以下の範囲内にある。何れの実施例も、零分散波長における分散スロープの絶対値は $0.10\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であり、カットオフ波長は $1.3\mu\text{m}$ 以下である。したがって、これら何れの光ファイバも、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯には零分散波長が存在しない一方、これら各波長帯域における分散も小さく抑えられたシングルモードであるので、複数の波長帯域を利用した光通信に適している。なお、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、第1、第2、第6、第13～第15及び第18～第22実施例は、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープが $0.06\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下、特に第18～第22実施例はさらに低い分散スロープを有する。

10

【0114】

また、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、波長 $1.30\mu\text{m}\sim 1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散が単調に変化しており、波長 $1.3\mu\text{m}$ 及び波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散の絶対値が $12\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以下である。したがって、これら何れの光ファイバも、 $1.3\mu\text{m}$ 波長帯及び $1.55\mu\text{m}$ 波長帯における分散の絶対値が、従来の $1.3\mu\text{m}$ 波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバの波長 $1.55\mu\text{m}$ 波長帯における分散値($17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度)と比較して十分に小さい。仮に、光伝送システム全体として、上記標準的なシングルモード光ファイバの $1.55\mu\text{m}$ 波長帯における分散値($17\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 程度)まで許容可能であれば、第1～第22実施例それぞれに係る光ファイバは何れも、信号光波長帯域が $1.2\mu\text{m}\sim 1.7\mu\text{m}$ の範囲である光通信への利用に適している。

20

【0115】

さらに、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、直径 32mm で巻かれたときの波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ損失が、1ターン当たり 0.5dB 以下、特に、第1～第6、第11、第13～第17、第19及び第20実施例では係る曲げ損失は 0.06dB 以下であり、ケーブル化等に起因する損失増加を効果的に抑制できる点で好ましい。また、第1～第22実施例に係る光ファイバは何れも、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} が $45\mu\text{m}^2$ 以上、特に、第1、第3～第14及び第16～第22実施例の実効断面積 A_{eff} は $49\mu\text{m}^2$ を越えており、従来の分散シフト光ファイバの実効断面積と比べて同等かそれ以上である。このため、当該光ファイバ中を伝搬する光の、単位断面積当たりの強度が小さくなるので、四光波混合等の非線形光学現象の発生が効果的に抑制される。

30

【0116】

なお、図2B、図3～図10に示された光ファイバの屈折率プロファイル $150\sim 950$ は、上述の第13実施例を除き純シリカ（故意には不純物が添加されていないシリカ）の基準領域（クラッド領域120、あるいは該クラッド領域120がディプレストクラッド構造を有する場合には外側クラッド）の屈折率を基準とした比屈折率差の最大値が1%以下であって最小値が -0.5% 以上である。第13実施例では、クラッド領域120にフッ素を添加することで、純シリカのコア領域とクラッド領域との屈折率の差を相対的に大きした構成を備えるが、この実施例においてもクラッド領域120に対するコア領域110の比屈折率差の最大値は1%以下である。高屈折率領域は、例えばGe元素が添加されることにより実現されるが、その比屈折率差は1%以下であるので、当該光ファイバの製造（不純物添加による屈折率制御）が比較的容易であり、また、伝送損失が小さくなる。一方、低屈折率領域は、例えばF元素が添加されることにより実現されるが、その比屈折率差は -0.5% 以上であるので、この点でも当該光ファイバの製造は容易である。

40

50

【0117】

図13は、第1実施例に係る光ファイバの波長に対する分散特性を示すグラフである。このグラフに示されたように、波長 $1.30\mu\text{m}$ ～ $1.55\mu\text{m}$ の範囲において分散は単調に増加している。また、図14及び図15は、脱水処理が不十分な場合と十分な場合の第1実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。このグラフに示されたように、波長 $1.38\mu\text{m}$ においてOH吸収に起因した伝送損失の増加が認められる。この図14に示されたような伝送損失特性を有する光ファイバでは、脱水処理が十分に行われておらずOH基の含有量が多いので、OH吸収に起因した伝送損失の増加は 0.5dB/km 程度である。一方、図15に示されたような伝送損失特性を有する光ファイバでは、脱水処理が十分に行われてOH基の含有量が低減されているので、OH吸収に起因した伝送損失の増加は 0.01dB/km 程度に抑えられている。なお、この波長帯域を信号光波長帯域として利用する場合には、零分散波長を $1.45\mu\text{m}$ よりも大きくかつ $1.55\mu\text{m}$ 以下の範囲内に設定することもできる。第2～第12及び第14～第22実施例に係る光ファイバそれぞれの、波長に対する分散特性及び伝送損失特性も同様である。

10

【0118】

また、図16は、脱水処理が不十分である第13実施例に光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。この第13実施例では、脱水処理が十分に行われていない場合、OH吸収に起因した伝送損失の増加（波長 $1.38\mu\text{m}$ ）は 0.3dB/km である。ただし、この第13実施例の場合も、脱水処理が十分に行われれば、図14に示されたように波長 $1.3\mu\text{m}$ における伝送損失の増加（波長 $1.38\mu\text{m}$ ）を 0.01dB/km 以下に抑えられる。

20

【0119】

なお、この発明に係る光ファイバは、上記各実施例に限定されるものではなく種々の変形が可能であり、例えば、この発明の範囲内において他にも設計が可能である。

【0120】

図17Aは、主に第18～第22実施例について、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} と分散スロープとの関係を示すグラフである。なお、このグラフ中、P1、P5、P7、P9、P10、P18～P22は、それぞれ第1、第5、第7、第9、第10及び第18～第22実施例の実効断面積 A_{eff} と分散スロープとの関係を示す点である。

30

【0121】

このグラフからも分かるように、図6に示されたような屈折率プロファイルを有する光ファイバ（第18～第22実施例）の場合、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散スロープを特に低くすることができる。また、これら第18～第22実施例に係る光ファイバでは、波長 $1.55\mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} が $49\mu\text{m}^2$ よりも大きくなっている。

【0122】

さらに、図17Bは、主な実施例について、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるカットオフ波長 λ_c と直径 3.2mm で曲げられたときの1ターン当たりの曲げ損失との関係を示すグラフである。なお、このグラフにおいて、P1、P3、P4、P6、P7、P10、P14～P16は、第1、第3、第4、第6、第7、第10及び第14～第16実施例のカットオフ波長 λ_c と曲げ損失との関係を示す図である。また、このグラフ中、斜線部分は図6に示された屈折率プロファイルと類似している屈折率プロファイルを有する従来の光ファイバについて、カットオフ波長 λ_c と曲げ損失との関係を示す点が集中的にプロットされたエリアである。したがって、係るエリア（斜線部分）を避けるためには、すなわち、波長 $1.55\mu\text{m}$ において、 3.2mm での曲げ損失を 1.0dB/ターン 、好ましくは 0.06dB/ターン 以下にするためには、カットオフ波長 λ_c は $1.05\mu\text{m}$ 以上、さらには $1.3\mu\text{m}$ 以上であるのが好ましい。

40

【0123】

次に、この発明に係る光伝送システムの各実施例について説明する。図18Aは、この発明に係る光伝送システムの一実施例の概略構成を示す図である。この図に示された光伝送

50

システムは、送信器 11、12、光伝送路 21、22、合波器 30、光ファイバ 40、分波器 50、光伝送路 61、62、及び受信器 71、72 を備えている。

【0124】

送信器 11 は、1.3 μm 波長帯の信号光（第 1 光）を出力し、光伝送路 21 は、送信器 11 から出力された 1.3 μm 波長帯の信号光を合波器 30 に導くための伝送媒体であって、例えば、1.3 μm 波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバである。送信器 12 は、1.55 μm 波長帯の信号光（第 2 光）を出力し、光伝送路 22 は、送信器 12 から出力された 1.55 μm 波長帯の信号光を合波器 30 に導くための伝送媒体であって、例えば、1.55 μm 波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバである。

10

【0125】

合波器 30 は、光伝送路 21、22 を伝搬してきた 1.3 μm 波長帯の信号光及び 1.55 μm 波長帯の信号光を合波し、この合波光を光ファイバ 40 へ出力する。光ファイバ 40 は、合波器 30 により合波された 1.3 μm 波長帯の信号光及び 1.55 μm 波長帯の信号光を分波器 50 に向けて伝送する。分波器 50 は、光ファイバ 40 を伝搬してきた 1.3 μm 波長帯の信号光及び 1.55 μm 波長帯の信号光を分波する。

【0126】

上記光ファイバ 40 は、上述された構造を有する、この発明に係る光ファイバであって、波長 1.20 μm ~ 1.60 μm の範囲に零分散波長が 1 つのみ存在し、その零分散波長は波長 1.37 μm ~ 1.50 μm の範囲（好ましくは波長 1.37 μm ~ 1.43 μm の範囲又は 1.45 μm よりも大きく 1.50 μm 以下の範囲）にある。また、光ファイバ 40 において、該零分散波長における分散スロープの絶対値は 0.10 $\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下（好ましくは波長 1.55 μm において 0.06 $\text{ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下）である。また、より好ましい態様として、光ファイバ 40 は、波長 1.30 μm ~ 1.55 μm の範囲において分散は単調に変化しており、波長 1.3 μm 及び波長 1.55 μm における分散の絶対値は、いずれも 12 $\text{ps}^2/\text{nm}/\text{km}$ 以下、直径 32 mm で巻かれたときの波長 1.55 μm における曲げ損失は、1 ターン当たり 0.5 dB 以下（好ましくは 0.06 dB 以下）、波長 1.55 μm における実効断面積 A_{eff} は 45 μm^2 以上（49 μm^2 よりも大）、あるいは、波長 1.38 μm における OH 吸収に起因した伝送損失の増加は 0.1 dB/km 以下である。

20

30

【0127】

光伝送路 61 は、分波器 50 によって分波された 1.3 μm 波長帯の信号光を受信器 71 に導くための伝送媒体であって、例えば、1.3 μm 波長帯に零分散波長を有する標準的なシングルモード光ファイバである。受信器 71 は、光伝送路 61 を伝搬してきた 1.3 μm 波長帯の信号光を受信する。一方、光伝送路 62 は、分波器 50 により分波された 1.55 μm 波長帯の信号光を受信器 72 に導くための伝送媒体であって、例えば、1.55 μm 波長帯に零分散波長を有する分散シフト光ファイバである。受信器 72 は、光伝送路 62 を伝搬してきた 1.55 μm 波長帯の信号光を受信する。

【0128】

この実施例に係る光伝送システムによれば、送信器 11 から出力され光伝送路 21 を経て合波器 30 に到達した 1.3 μm 波長帯の信号光と、送信器 12 から出力され光伝送路 22 を経て合波器 30 に到達した 1.55 μm 波長帯の信号光とは、合波器 30 により合波され、この合波光が光ファイバ 40 を伝搬して分波器 50 に到達する。そして、分波器 50 に到達した合波光は、分波器 50 により 1.3 μm 波長帯の信号光と 1.55 μm 波長帯の信号光に分波される。分波された 1.3 μm 波長帯の信号光は光伝送路 61 を経て受信器 71 に到達し、1.55 μm 波長帯の信号光は光伝送路 62 を経て受信器 72 に到達する。

40

【0129】

このように、この実施例の光伝送システムで用いられている光ファイバ 40 は、上述のように 1.3 μm 波長帯及び 1.55 μm 波長帯の双方において好適な光通信を実現する構

50

造を備えているため、該光ファイバ40が適用された当該光伝送システムは大容量の通信を可能にする。

【0130】

なお、この発明に係る光ファイバは、上記実施例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、合波器30と分波器50との間に配置された伝送媒体である光ファイバ40は、図18Bに示されたように、複数の光ファイバ40a~40cで構成されてもよい。

【0131】

【発明の効果】

以上のようにこの発明によれば、当該光ファイバでは、OH吸収に起因した伝送損失の増加が認められる波長1.38 μ mを含む波長1.37 μ m~1.50 μ mの範囲、好ましくは波長1.37 μ m~1.43 μ m又は波長1.45 μ mよりも大きくかつ1.50 μ m以下の範囲に唯一の零分散波長が有し、この波長範囲を挟む1.3 μ m波長帯及び1.55 μ m波長帯近傍に零分散波長は存在しない。したがって、これら波長帯域を信号光波長帯域と利用する場合、意図的な分散の発生により四光波混合等の非線形光学現象を効果的に抑制する。また、設定された零分散波長における分散スロープの絶対値は0.10ps/nm²/km以下（好ましくは波長1.55 μ mにおいて0.06ps/nm²/km以下）であるから、1.3 μ m波長帯及び1.55 μ m波長帯それぞれにおける分散は均一化される。このような光ファイバを光伝送システムの伝送路に適用することにより、1.3 μ m波長帯及び1.55 μ m波長帯の双方において良好な光通信が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 図1Aは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフであり、図1Bは、この発明に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

【図2】 図2Aは、この発明に係る光ファイバの第1及び第13実施例の断面構造を示す図であり、図2Bは、図2Aに示された第1実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図3】 図3は、第2実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図4】 図4は、第3、第15及び第17実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図5】 図5は、第4実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図6】 図6は、第5、第16、第18、第19及び第21実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図7】 図7は、第6、第20及び第22実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図8】 図8は、第7及び第8実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図9】 図9は、第9及び第10実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図10】 図10は、第11及び第12実施例に係る光ファイバの屈折率プロファイルである。

【図11】 図11は、図2B、図3~図10に示されたような種々の屈折率プロファイルを有する第1~第13実施例に係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。

【図12】 図12は、第14~第22実施例に係る光ファイバの諸特性をまとめた表である。

【図13】 図13は、第1実施例に係る光ファイバの、波長に対する分散特性を示すグラフである。

【図14】 図14は、脱水処理が不十分であった第1実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。

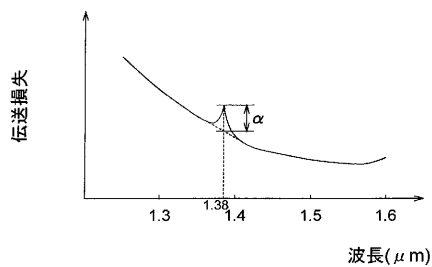
【図15】 図15は、脱水処理が十分に行われた第1及び第13実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。

【図 1 6】 図 1 6 は、脱水処理が不十分であった第 1 3 実施例に係る光ファイバの、波長に対する伝送損失特性を示すグラフである。

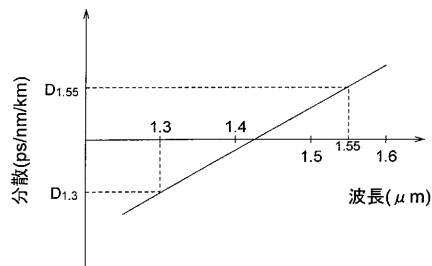
【図 1 7】 図 1 7 A は、主に第 1 8 ～第 2 2 実施例について、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における実効断面積 A_{eff} と分散スロープとの関係を示すグラフであり、図 1 7 B は、主な実施例について、波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるカットオフ波長 λ_c と直径 32 mm で曲げられたときの 1 ターン当たりの曲げ損失との関係を示すグラフである。

【図 1 8】 図 1 8 A は、この発明に係る光伝送システムの概略構成を示す図であり、図 1 8 B は、この発明に係る光伝送システムの変形例を示す図である。

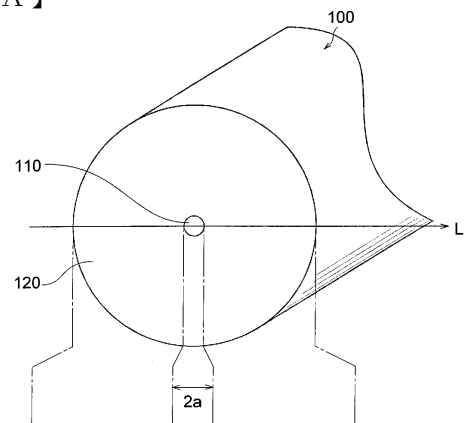
【図 1 A】
図 1A



【図 1 B】
図 1B

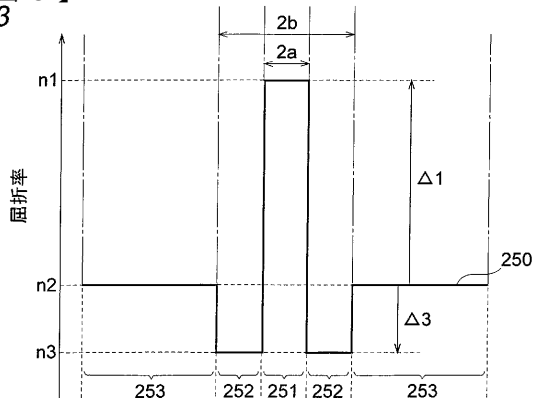
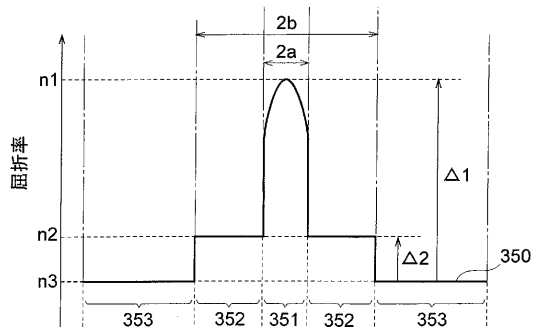
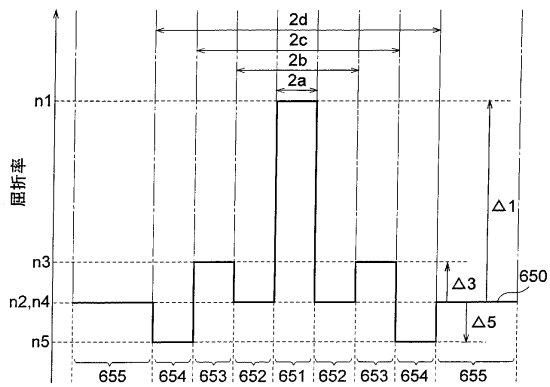
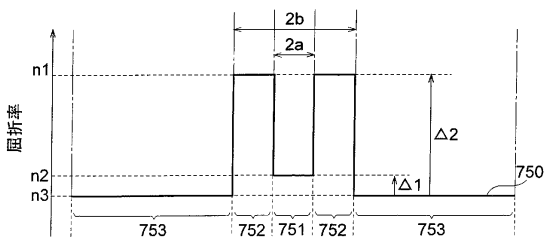
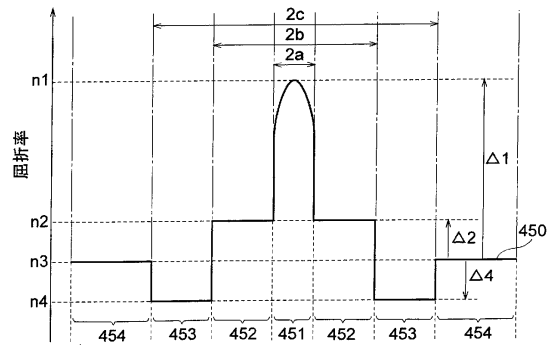
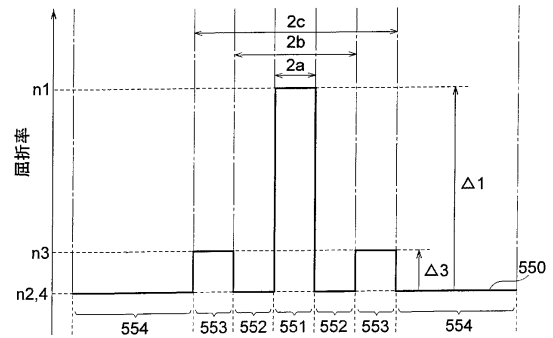
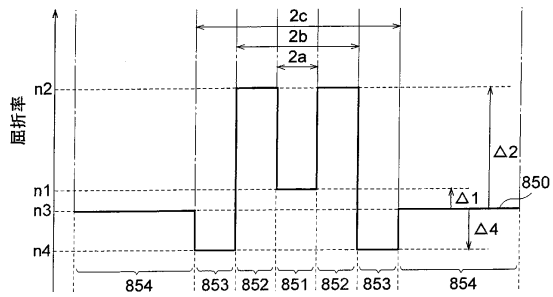
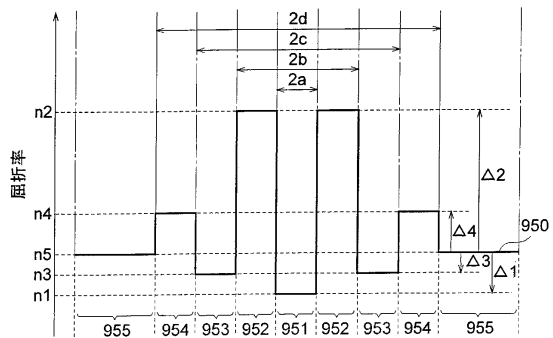


【図 2 A】
図 2A



【図 2 B】
図 2B



【図 3】
図3【図 4】
図4【図 7】
図7【図 8】
図8【図 5】
図5【図 6】
図6【図 9】
図9【図 10】
図10

【図 1 1】

	第1実施例	第2実施例	第3実施例	第4実施例	第5実施例	第6実施例	第7実施例	第8実施例	第9実施例	第10実施例	第11実施例	第12実施例	第13実施例
零分散波長 (μm)	1.44	1.46	1.42	1.41	1.48	1.42	1.41	1.42	1.42	1.44	1.42	1.41	1.41
零分散波長における分散スロープ (ps/nm ² /km)	0.060	0.053	0.079	0.081	0.064	0.056	0.075	0.084	0.077	0.070	0.080	0.088	0.057
分散スロープ (ps/nm ² /km)	0.054	0.049	0.070	0.070	0.064	0.052	0.061	0.068	0.061	0.058	0.065	0.071	0.048
カットオフ波長 (μm)	0.96	0.93	1.19	1.15	1.24	1.23	1.10	1.17	1.22	1.18	1.16	1.22	1.04
分散	-18.5	-18.5	-20.8	-20.3	-20.3	-16.4	-20.1	-22.9	-21.6	-21.5	-21.8	-22.5	-15.7
波長 120 μm	-9.6	-10.1	-10.6	-9.9	-11.9	-7.9	-9.3	-11.1	-10.2	-10.8	-10.5	-10.6	-7.2
波長 130 μm	0.6	-0.5	2.1	3.1	-1.9	1.6	3.0	2.4	2.2	0.7	2.3	3.4	2.2
波長 145 μm	6.2	4.3	9.3	10.2	4.8	6.6	9.4	9.9	9.1	7.3	9.5	11.0	7.1
波長 155 μm	8.8	6.7	12.8	13.7	8.0	9.2	12.4	13.2	12.1	10.1	12.7	14.5	9.4
波長 160 μm													
波長 155 μm における直後 32 mm での曲げ損失 (dB/ターン)	0.06	0.20	0.006	0.004	0.0008	0.02	0.3	0.2	0.2	0.03	0.005	0.4	0.04
波長 155 μm における実効断面積 (μm ²)	48.1	47.2	63.6	62.0	53.9	57.1	67.3	79.1	73.5	59.6	62.6	92.7	52.2

図 11

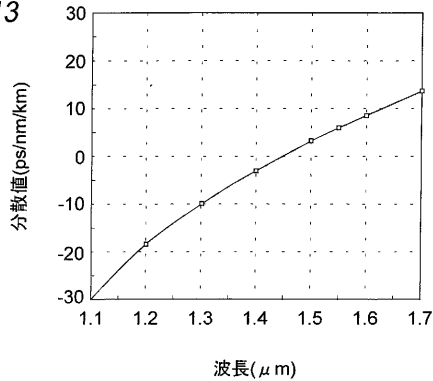
【図 1 2】

	第14実施例	第15実施例	第16実施例	第17実施例	第18実施例	第19実施例	第20実施例	第21実施例	第22実施例
零分散波長 (μm)	1.41	1.46	1.47	1.40	1.41	1.38	1.40	1.40	1.39
零分散波長における分散スロープ (ps/nm ² /km)	0.065	0.060	0.065	0.071	0.058	0.065	0.059	0.057	0.052
分散スロープ (ps/nm ² /km)	0.055	0.060	0.065	0.059	0.040	0.047	0.043	0.046	0.023
カットオフ波長 (μm)	1.25	1.07	1.37	1.78	1.75	1.52	1.59	1.44	1.66
分散	-16.8	-20.2	-21.1	-17.4	-16.5	-14.5	-15.8	-15.2	-14.4
波長 120 μm	-7.7	-11.1	-12.1	-7.7	-7.5	-5.4	-6.9	-6.5	-5.7
波長 130 μm	2.5	-0.6	-1.3	3.5	2.1	4.4	2.7	2.8	2.7
波長 145 μm	8.5	5.7	5.1	9.7	6.8	9.4	7.4	7.5	5.9
波長 155 μm	11.2	8.7	8.4	12.6	8.6	11.7	9.5	9.8	7.0
波長 160 μm									
波長 155 μm における直後 32 mm での曲げ損失 (dB/ターン)	0.00002	0.00006	0.02	0.00002	0.2	0.07	0.001	0.1	0.3
波長 155 μm における実効断面積 (μm ²)	50.1	45.3	82.6	60.3	57.1	64.5	50.4	64.4	55.6

図 12

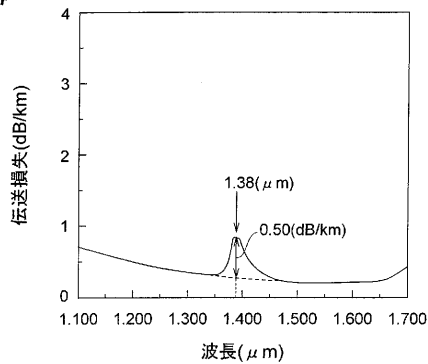
【図 1 3】

図 13



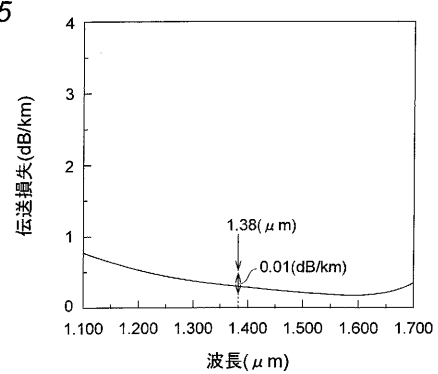
【図 1 4】

図 14



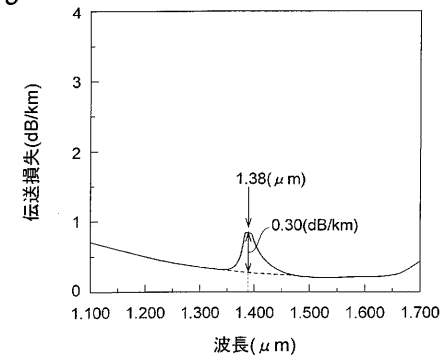
【図 1 5】

図 15



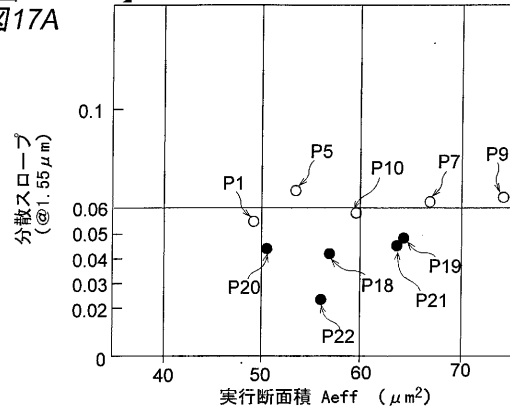
【図 1 6】

図 16



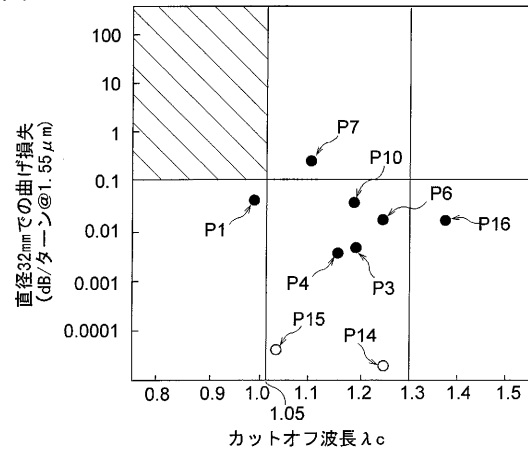
【図 17 A】

図17A



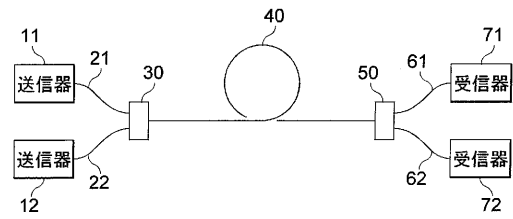
【図 17 B】

図17B



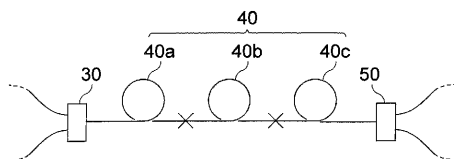
【図 18 A】

図18A



【図 18 B】

図18B



フロントページの続き

- (72)発明者 笹岡 英資
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 田中 茂
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 吉田 英一

- (56)参考文献 国際公開第97/033188 (WO, A1)
特開平11-281840 (JP, A)
特開平10-300966 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/036