

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2001年1月4日 (04.01.2001)

PCT

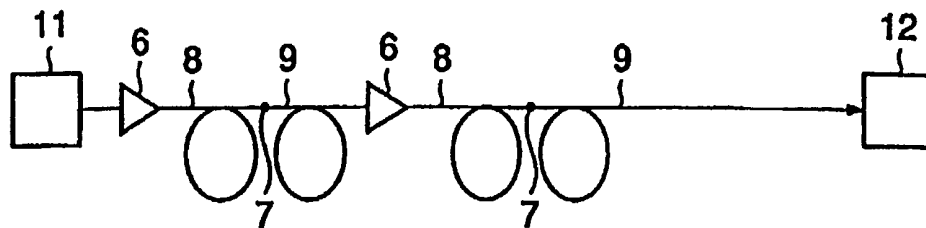
(10) 国際公開番号
WO 01/01179 A1

- (51) 国際特許分類⁷: G02B 6/16, 6/22 (MUKASA, Kazunori) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP00/04206
- (22) 国際出願日: 2000年6月27日 (27.06.2000) (74) 代理人: 五十嵐清 (IGARASHI, Kiyoshi); 〒220-0011 神奈川県横浜市西区高島2丁目10番13号 横浜東口ビル908号室 Kanagawa (JP).
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語 (81) 指定国 (国内): CA, JP, US.
- (30) 優先権データ: 特願平11/181453 1999年6月28日 (28.06.1999) JP (84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 古河電気工業株式会社 (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒100-8322 東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 Tokyo (JP). 添付公開書類:
— 国際調査報告書
- (72) 発明者; および 2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 武笠和則



(54) Title: OPTICAL TRANSMISSION LINE

(54) 発明の名称: 光伝送路



(57) Abstract: An optical transmission line which can restrict both wavelength distortion due to a non-linear phenomenon and wavelength distortion due to dispersion, and which is formed by series-connecting a first optical fiber (8) having a dispersion value of 6 to 14 ps/nm/km in a set wavelength band in a wavelength band of 1.5 μm and a second optical fiber (9) having a dispersion value of -14 to -6 ps/nm/km in the above set wavelength band, the dispersion slopes of the first optical fiber (8) and the second optical fiber (9) having signs opposite to each other. Light transmitted from an optical transmitter (11) is shone on the first optical fiber, and light transmitted through the first optical fiber (8) is shone on the second optical fiber (9). Absolute value of dispersion in a wavelength band of 1.5 μm of each optical fiber (8), (9) is set to be at least 6 ps/nm/km to restrict four-light-wave mixing, and the above each absolute value is set to be up to 14 ps/nm/km to restrict local dispersion, to thereby render almost zeroes dispersion values and dispersion slopes in the above set wavelength band over the entire optical transmission line.

WO 01/01179 A1



(57) 要約:

本発明の光伝送路は、非線形現象による波形歪みと分散による波形歪みを共に抑制可能な光伝送路である。波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値を $6 \sim 14 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ とした第1の光ファイバ(8)と、前記設定波長帯における分散値を $-14 \sim -6 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ とした第2の光ファイバ(9)を直列に接続して光伝送路を形成する。第1の光ファイバ(8)と第2の光ファイバ(9)の分散スロープは互いに逆符号とする。光送信器(11)からの発信光を第1の光ファイバ(8)に入射させ、第1の光ファイバ(8)を伝送した光を第2の光ファイバ(9)に入射させる。各光ファイバ(8)、(9)の波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯における分散の絶対値を $6 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上として四光波混合を抑制し、前記絶対値を $14 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以下として局所分散を抑制し、光伝送路全体での前記設定波長帯における分散値と分散スロープを共にほぼ零とする。

明 細 書

光伝送路

技術分野

本発明は、例えば波長多重光伝送を行なう際に用いられる光伝送路に関するものである。

背景技術

情報社会の発展により、通信情報量が飛躍的に増大する傾向にある。このような情報の増大化に伴い、波長多重伝送（WDM伝送）が通信分野に広く受け入れられ、今や波長多重伝送の時代を迎えている。波長多重伝送は、複数の波長の光を1本の光ファイバで伝送できる。そのため、波長多重伝送は大容量高速通信に適した光伝送方式であり、現在、この伝送技術の検討が盛んに行なわれている。

なお、周知の如く、光通信の伝送網として、波長 $1.3\mu\text{m}$ 付近の波長帯に零分散を持つシングルモード光ファイバが世界中に敷設されている。しかしながら、既設の $1.3\mu\text{m}$ 付近に零分散を持つシングルモード光ファイバを使用し、 $1.3\mu\text{m}$ 付近の波長帯を用いて波長多重伝送を行う場合には、通常的光増幅器の利得帯域である波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯と波長域が一致しない。したがって、上記シングルモード光ファイバを使用した波長多重伝送は通常的光増幅器を使用できず、長距離光通信に支障を来すという問題が生じる。なお、上記波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯の用語は、例えば $1530\text{nm}\sim 1570\text{nm}$ のように、波長 1550nm をほぼ中心とした波長帯を意味し、以後、波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯という用語は、この意味で用いる。

そこで、最近においては、上記のような問題を解消すべく、零分散波長を $1.3 \mu\text{m}$ 付近から $1.55 \mu\text{m}$ 付近にシフトさせた分散シフト光ファイバと前記光増幅器を用いて光伝送を行う方式が提案されている。 $1.55 \mu\text{m}$ 付近の波長に零分散を持つ分散シフト光ファイバを用いて、 $1.55 \mu\text{m}$ 付近の波長によって光信号の伝送を行うと、信号光を光増幅器によって増幅しながら、しかも、分散による波形歪みの殆どない信号伝送が可能となる。

しかしながら、波長多重伝送技術の検討が進む一方で、光信号の高パワー化が進んでおり、波長多重伝送用として分散シフト光ファイバを用いる場合、各信号波間の相互作用による非線形現象が新たな問題として生じている。そこで、前記波長分散および分散スロープを抑制すると共に、非線形現象を低減可能な分散シフト光ファイバが、波長多重伝送用の分散シフト光ファイバとして望まれている。

非線形現象解決の研究としては、四光波混合を抑制する検討が予てより盛んである。四光波混合は波形歪みに大きな影響を与えるものであり、この四光波混合を抑制することは重要である。四光波混合抑制の研究例として、例えば学会報告書 OFC'94 Technical Digest PD19 には、四光波混合を抑制するために、零分散波長を信号光波長からずらした分散シフト光ファイバが報告されている。

光伝送用の光ファイバが信号光波長帯において零分散を有していると、四光波混合が生じ易い。そのため、前記報告書は、光伝送用として用いる分散シフト光ファイバに、信号光波長である波長 $1.55 \mu\text{m}$ で微小分散を持たせることで、四光波混合を抑制することを報告している。なお、前記微小分散は、例えば局所分散（単位長さ当たりの分散）の絶対値が $2 \sim 3 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 程度となる分散である。

また、前記非線形現象のうち、SPM（自己位相変調）やXPM（相

互位相変調)による波形の歪みも深刻な問題であるため、最近では、この波形歪みを抑制する検討も多くなされるようになった。この解決手段として、学会報告書OFC'97 TuN1b等は非線形屈折率(n_2)を小さく押える検討を報告している。また、この非線形屈折率を小さくする検討と共に、分散シフト光ファイバの有効コア断面積(A_{eff})を大きくする検討が注目されている。非線形現象による信号の歪み ϕ_{NL} は、一般に、次式(1)により表わせる。そのため、光ファイバの有効コア断面積が大きい方が非線形現象による信号の波形歪みを小さくすることができる。

$$\phi_{NL} = (2\pi \times n_2 \times L_{eff} \times P) / (\lambda \times A_{eff}) \dots \dots (1)$$

なお、式(1)において、 π は円周率、 L_{eff} は有効光ファイバ長、 P は信号光強度、 λ は信号光波長をそれぞれ示している。

また、前記有効コア断面積は、定数 k と光ファイバのモードフィールド径(MFD)を用いて、次式(2)により表わせる。そのため、モードフィールド径が大きいほど有効コア断面積が大きくなり、非常に効率よく低非線形性が達成できることが分かる。

$$A_{eff} = k \times (MFD)^2 \dots \dots (2)$$

このように、波長多重伝送用として用いられる光ファイバにおけるモードフィールド径の拡大および有効コア断面積の拡大は非常に重要であり、注目されている。波長多重伝送用として用いられる光ファイバにおけるモードフィールド径の拡大および有効コア断面積の拡大は、例えば、学会報告書OFC'96 WK15やOFC'97 YuN2に報告

されている。

また、非線形現象は、光ファイバに入力される信号光強度が大きいほど生じ易いことが知られている。そこで、特開平9-211511号公報には、低非線形の光ファイバの出射側に高非線形の光ファイバを接続して光伝送路を形成し、光伝送路から出射される光に非線形現象による歪みが生じることを抑制することが提案されている。なお、この提案には、光伝送路を形成する前記光ファイバの波長 $1.55\mu\text{m}$ 帯における分散値の符号を互いに異なる符号にすることで、分散による波形歪みも抑制することが述べられている。

しかしながら、特開平9-211511号公報に提案されている提案においては、光伝送路を形成する光ファイバの具体的な分散値に関する構成等が示されておらず、単に、低非線形の光ファイバの出射側に高非線形の光ファイバを接続するといった構成のみが示されている。このような構成のみからは、非線形現象による歪みと分散による歪みとを抑制可能な光伝送路を形成することは困難である。

ちなみに、この提案には、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散値が $\pm 2\sim 3\text{ps/nm/km}$ 程度の分散シフト光ファイバを適用することが可能である。この場合、波長 $1.55\mu\text{m}$ における分散値の絶対値が微小であるので、光伝送路が四光波混合の影響を全く受けないといった保証がない。また、この場合、波長 $1.5\mu\text{m}$ 帯における広い範囲の波長の光を用いて波長多重光伝送を行なおうとすると、この範囲内のいずれかの波長において分散が零に近くなる（例えば $\pm 0.5\text{ps/nm/km}$ 以内）ことがある。そうすると、光伝送路は、四光波混合の影響を受けてしまうことになる。

一方、シングルモード光ファイバは低非線形性の点では優れている。そこで、この特性を利用し、上記非線形現象による波形歪みを抑制する

ために、光伝送路をシングルモード光ファイバにより形成し、この光伝送路の出射端に短尺の分散補償光ファイバを接続する提案が成されている。この提案は、例えば特開平6-11620号公報等に提案されているものである。この提案は、上記構成によって光伝送路の低非線形を実現すると共に、シングルモード光ファイバの波長分散を抑制しようとするものである。

しかしながら、短い長さでシングルモード光ファイバの分散特性を補償するためには、設計上、分散補償光ファイバの波長1.5 μ m帯におけるモードフィールド径が小さくなり、非線形現象が生じ易くなってしまふ。そのため、上記特開平6-11620号公報の案では、非線形現象の問題を抑制することができない。

また、上記分散補償光ファイバは、波長1.55 μ m帯における分散値の絶対値が非常に大きい。そのため、シングルモード光ファイバと分散補償光ファイバとを接続して形成される光伝送路は、分散補償光ファイバ側の局所分散（単位長さ当たりの分散値）の絶対値が非常に大きくなる。したがって、この光伝送路は、たとえ光伝送路全体で波長分散をほぼ零にできても、分散による波形歪みをほぼ完全に抑制することができずに、分散による波形歪みが残存する虞がある。

さらに、最近では、シングルモード光ファイバと逆の分散特性を有する分散補償光ファイバをシングルモード光ファイバと同じ長さ接続した光伝送路が提案されている。この提案は、学会報告書ECC'97 Vol. P127に提案報告されている。この提案の光伝送路に用いられる分散補償光ファイバは、短尺でシングルモード光ファイバの分散を補償する前記分散補償光ファイバに比べれば低非線形である。

一方、シングルモード光ファイバの波長1.55 μ m帯における分散値は約17 ps/nm/kmであり、局所分散の影響を防ぐためには、

さらに分散値の絶対値を小さくする必要がある。しかしながら、シングルモード光ファイバより低分散の光ファイバは、分散値が $\pm 5 \text{ p s / n m / k m}$ 以内である微小分散を有する分散シフト光ファイバしか知られていない。そして、この分散シフト光ファイバは、前述の通り、非線形現象を抑制することができない。

さらに、最近では、通信情報量をより一層増大させることが要求されている。それに対し、波長 $1.55 \mu \text{ m}$ 帯だけで波長多重伝送を行なうのでは、送ることのできる波長数に限界があり、ある時点で飽和してしまう。そのため、波長多重伝送用としての使用波長帯を、従来の波長 $1.55 \mu \text{ m}$ 帯（例えば $1530 \sim 1570 \text{ nm}$ ）の両側の波長帯に広げ、波長 $1.5 \mu \text{ m}$ 帯を使用波長帯とすることができる新しい光伝送路が求められている。なお、波長 $1.5 \mu \text{ m}$ 帯は、従来の波長 $1.55 \mu \text{ m}$ 帯を含む例えば $1520 \sim 1620 \text{ nm}$ のような波長帯を示し、以後、 $1.5 \mu \text{ m}$ 帯という用語は、この意味で用いる。

本発明は、上記従来の課題を解決するためになされたものである。本発明の目的は、以下に示す特性を有する光伝送路を提供することである。すなわち、本発明の目的は、第1に、本発明の光伝送路を波長多重伝送用として用いたときに、光伝送路全体としての分散をほぼ零にできること、第2に、本発明は光伝送路を形成する光ファイバの局所分散を抑制でき、それにより、分散による波形歪みをほぼ確実に抑制できること、第3に、非線形現象による波形歪みを抑制できる品質の高い信号光伝送を可能とすることである。

発明の開示

上記目的を達成するために、本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、本発明の第1構成は、1.

波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値を $6 \sim 14 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ とした第 1 の光ファイバと、波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値を $-14 \sim -6 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ とした第 2 の光ファイバを直列に接続して形成されており、光伝送路全体での波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値がほぼ零と成していることを特徴とする。

また、本発明の第 2 構成は、上記第 1 構成に加え、光ファイバの配設位置が光信号の入力側に近い光ファイバほど低非線形の光ファイバとしたことを特徴とする。

さらに、本発明の第 3 構成は、上記第 1 又は第 2 構成に加え、第 1 の光ファイバの分散スロープは第 2 の光ファイバの分散スロープと逆符号であり、光伝送路全体での波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散スロープがほぼ零と成していることを特徴とする。

さらに、本発明の第 4 構成は、上記第 1 又は第 2 構成に加え、波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第 1 の光ファイバの諸特性は、伝送損失を $0.25 \text{ dB} / \text{km}$ 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を $10 \text{ dB} / \text{m}$ 以下とし、モードフィールド径を 9.5 μm 以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第 5 構成は、上記第 3 構成に加え、波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第 1 の光ファイバの諸特性は、伝送損失を $0.25 \text{ dB} / \text{km}$ 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を $10 \text{ dB} / \text{m}$ 以下とし、モードフィールド径を 9.5 μm 以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第 6 構成は、上記第 4 構成に加え、波長 1.5 μm

帯中の設定波長帯における第1の光ファイバの諸特性は、伝送損失を0.25 dB/km以下とし、偏波モード分散値を0.15 ps/km^{1/2}以下とし、曲げ直径20 mmでの曲げ損失を10 dB/m以下とし、モードフィールド径を9.5 μm以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第7構成は、上記第5構成に加え、波長1.5 μm帯中の設定波長帯における第1の光ファイバの諸特性は、伝送損失を0.25 dB/km以下とし、偏波モード分散値を0.15 ps/km^{1/2}以下とし、曲げ直径20 mmでの曲げ損失を10 dB/m以下とし、モードフィールド径を9.5 μm以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第8構成は、上記第1又は第2構成に加え、第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状がα乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第9構成は、上記第3構成に加え、第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状がα乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第10構成は、上記第4構成に加え、第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状がα乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第11構成は、上記第5構成に加え、第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状がα乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第12構成は、上記第1又は第2構成に加え、第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さい

サイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第 1 3 構成は、上記第 3 構成に加え、第 1 の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第 1 4 構成は、上記第 4 構成に加え、第 1 の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第 1 5 構成は、上記第 5 構成に加え、第 1 の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第 1 6 構成は、上記第 1 又は第 2 構成に加え、第 1 の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく前記センタコアよりも屈折率が大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第 1 7 構成は、上記第 3 構成に加え、第 1 の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく

前記センタコアよりも屈折率の大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第18構成は、上記第4構成に加え、第1の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率の大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく前記センタコアよりも屈折率の大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第19構成は、上記第5構成に加え、第1の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率の大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく前記センタコアよりも屈折率の大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第20構成は、上記第1又は第2構成に加え、第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第21構成は、上記第3構成に加え、第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$

としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第22構成は、上記第4構成に加え、第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第23構成は、上記第5構成に加え、第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第24構成は、上記第1又は第2構成に加え、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第2の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第25構成は、上記第3構成に加え、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第2の光ファイバの諸特

性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15\text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第26構成は、上記第24構成に加え、波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における第2の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15\text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第27構成は、上記第25構成に加え、波長 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における第2の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15\text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5\text{ }\mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする。

さらに、本発明の第28構成は、上記第1又は第2構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成されたW型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第29構成は、上記第3構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成されたW型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第30構成は、上記第24構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイ

ドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成されたW型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第3 1構成は、上記第2 5構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成されたW型の光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第3 2構成は、上記第1又は第2構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第3 3構成は、上記第3構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第3 4構成は、上記第2 4構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコ

アの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

さらに、本発明の第35構成は、上記第25構成に加え、第2の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイバであることを特徴とする。

なお、本発明において、「設定波長帯」とは、少なくとも30nmの帯域を有する波長帯を言い、「設定波長帯の中心付近の波長」とは、設定波長帯の中心波長から5nm以内の範囲の波長を言う。

上記構成の本発明において、光伝送路を構成する第1、第2の光ファイバは、いずれも波長1.5 μ m帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が6ps/nm/km以上であり、波長1.5 μ m帯中の設定波長における分散値が零からずれている。そのため、本発明の光伝送路は、非線形現象により波形歪みに深刻な影響を与えるとされている、四光波混合の発生を抑制することができ、非線形現象による波形歪みを抑制できる。

また、前記第1、第2の光ファイバは、いずれも波長1.5 μ m帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が14ps/nm/km以下であ

り、シングルモード光ファイバなどに比べて波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が小さい。そのため、本発明の光伝送路は、光伝送路を構成する光ファイバにおける局所分散を抑制でき、局所分散による波形歪みを抑制できる。

また、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値が大きすぎると、波長分散による波形歪みが大きくなる。しかし、本発明の光伝送路に適用されている前記第 1、第 2 の光ファイバは、いずれも波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が $14 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以下である。すなわち、上記第 1、第 2 の光ファイバは、シングルモード光ファイバなどに比べて波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が小さい。そのため、本発明の光伝送路は、第 1、第 2 の光ファイバにおける局所分散を抑制でき、局所分散による波形歪みを抑制できる。

そして、本発明は、光伝送路全体での波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値（トータル分散値）がほぼ零と成しているために、光伝送路全体においては、残留分散が殆どなく、残留分散による信号波形の歪みも抑制できる。

特に、前記非線形現象は、光ファイバに入力される入力光の強度が大きいほど発生しやすい。そのため、光ファイバの配設位置が光信号の入力側に近い光ファイバほど低非線形の光ファイバとした本発明の光伝送路は、非線形現象による波形歪みの抑制をより一層確実にできる。また、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯におけるモードフィールド径を大きく構成したものは、非線形現象の内の自己位相変調や相互位相変調等による影響も抑制でき、非線形現象による波形歪みをより一層確実に抑制できる。

さらに、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における伝送損失を 0.3

0 dB/km以下（第1の光ファイバにおいては0.25 dB/km以下）とし、波長1.5 μ m帯中の設定波長帯における偏波モード分散値を0.15 ps/km^{1/2}以下とし、波長1.5 μ m帯中の設定波長帯における曲げ直径20 mmでの曲げ損失を10 dB/m以下としたものにあつては、偏波モード分散による波形歪みを抑制し、伝送損失や曲げ損失の小さい、優れた光伝送路とすることができる。

さらに、第1の光ファイバを単峰型の光ファイバとした構成、階段型の光ファイバとした構成、デプレストセンタコア型の光ファイバとした構成は、このような屈折率プロファイルにより、第1の光ファイバの屈折率プロファイルを最適化できる。そのため、この構成のものは、上記優れた効果を奏する光伝送路を上記屈折率プロファイルの第1の光ファイバを用いて形成することができる。

さらに、センタコアクラッドに対する比屈折率差 $\Delta 1$ と、センタコアの周りを覆う第1サイドコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta 2$ と、第1サイドコアの周りを覆う第2サイドコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta 3$ の関係を、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ として第1の光ファイバを構成したのも、第1の光ファイバを上記単峰型の光ファイバ等により構成したものと同様の効果を奏する。

さらに、第2の光ファイバをW型の光ファイバとした構成は、この屈折率プロファイルにより、第2の光ファイバの屈折率プロファイルを最適化し、上記優れた効果を奏する光伝送路を上記屈折率プロファイルの第2の光ファイバを用いて形成することができる。

さらに、センタコアクラッドに対する比屈折率差 $\Delta 1$ と、センタコアの周りを覆う第1サイドコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta 2$ と、第1サイドコアの周りを覆う第2サイドコアのクラッドに対する比屈折率差 $\Delta 3$ の関係を、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ として第2の光ファイバを構成した

ものも同様の効果を奏することができる。

図面の簡単な説明

第1図は、本発明に係る光伝送路の一実施形態例を適用した光通信システムを示す構成図であり、第2図は、上記実施形態例および本発明の他の実施形態例の光伝送路に適用される第1の光ファイバの屈折率プロファイル例を示す説明図であり、第3図は、上記実施形態例の光伝送路に適用される第2の光ファイバの屈折率プロファイル例を示す説明図であり、第4図は、第1の光ファイバと第2の光ファイバおよび、これらの光ファイバを接続して形成される光伝送路の分散特性例をそれぞれ示すグラフであり、第5図は、本発明に係る光伝送路の他の実施形態例を適用した光通信システムを示す構成図である。

発明を実施するための最良の形態

本発明をより詳細に説述するために、添付の図面に従い各実施の形態に基づきこれを説明する。

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。第1図には、本発明に係る光伝送路の一実施形態例を備えた光伝送システムのシステム構成が示されている。同図に示されるように、本実施形態例の光伝送路は、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9とを直列に接続して形成されている。なお、図中、7は、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9との融着接続部を示し、11は光送信器、12は光受信器を示している。また、本実施形態例では、第1の光ファイバ8の入射側に光増幅器6が設けられている。

本実施形態例の最も特徴的なことは、以下の特性を有する第1と第2の光ファイバ8、9を直列に接続して光伝送路を形成し、光伝送路全体

での波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値をほぼ零 ($-1 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km} \sim +1 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$) と成したことである。第1の光ファイバ8は波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値が $6 \sim 14 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。第2の光ファイバ9は波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値が $-14 \sim -6 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ である。

また、第1の光ファイバ8の分散スロープは正、第2の光ファイバ9の分散スロープは負で、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9の分散スロープは互いに逆符号である。光伝送路全体での波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散スロープはほぼ零と成している。

本実施形態例では、光送信器11から送信される信号光波長は波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の波長であり、この波長帯の互いに異なる複数の波長の光が光増幅器6によって増幅されながら光伝送路を伝送するようになっている。また、光増幅器6は、エルビウムドープ光ファイバ型光増幅器であり、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の光を効率よく増幅する。

一般に、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散が正分散である正分散光ファイバと同波長帯における分散が負分散である負分散光ファイバとを比較すると、同波長帯の光を入射させたときに正分散光ファイバの方が負分散光ファイバよりも低非線形となる。そして、本実施形態例では、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散特性から、第1の光ファイバ8は正分散光ファイバであり、第2の光ファイバ9は負分散光ファイバである。そのため、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の光を入射したときの特性は、第1の光ファイバ8の方が第2の光ファイバ9よりも低非線形となる。

そこで、本実施形態例では、光増幅器6の出射側に第1の光ファイバ

8を接続している。すなわち、本実施形態例の光伝送路は、強い光信号が入力される側に近い光ファイバほど低非線形の光ファイバとなるように、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9とを配設している。

また、本実施形態例の光伝送路は、波長 $1.55\mu\text{m}$ における伝送損失が $0.25\text{dB}/\text{km}$ 以下、波長 $1.55\mu\text{m}$ における偏波モード分散値が $0.15\text{ps}/\text{km}^{1/2}$ 以下である。また、本実施形態例の光伝送路は、波長 $1.55\mu\text{m}$ における曲げ直径 20mm での曲げ損失が $10\text{dB}/\text{m}$ 以下、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $5.5\mu\text{m}$ 以上と成している。

次に、本実施形態例の光伝送路を構成する第1の光ファイバ8について詳細に説明する。第1の光ファイバ8は、第2図の(a)～(c)に示すいずれかの屈折率プロファイルを有している。同図の(a)に示す屈折率プロファイルの光ファイバは、デプレストセンタコア型の光ファイバである。この光ファイバは、センタコア1の周りをセンタコア1よりも屈折率の大きいサイドコア2で覆い、サイドコア2の周りをサイドコア2よりも屈折率の小さくセンタコア1よりも屈折率の大きいクラッド5で覆って形成されている。

また、同図の(b)、(c)に示す屈折率プロファイルの光ファイバは、以下の屈折率プロファイルを有する。すなわち、これらの光ファイバは、センタコア1の周りを第1サイドコア3で覆い、第1サイドコア3の周りを第2サイドコア4で覆い、第2サイドコア4の周りをクラッド5で覆って形成されている。そして、これらの光ファイバは、センタコア1のクラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、第1サイドコア3のクラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、第2サイドコア4のクラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成している。

本発明者は、まず、第1の光ファイバ8の屈折率プロファイルを、第2図の(a)に示すような屈折率プロファイルと仮定した。この第1の光ファイバ8の屈折率プロファイルを最適にするために、センタコア1のクラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 1$ と、サイドコア2のクラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 2$ 、コア径を様々に変化させた。そして、波長1.55 μm における分散値、分散スロープ、有効コア断面積 (A_{eff})、曲げ損失が適切な値となり、かつ、カットオフ波長 (λ_c) も適切な値となるような、前記比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、センタコア1の直径 a / サイドコア2の直径 b の値 (R_a)、コア径 (サイドコア2の直径) の値を求めた。なお、上記値はシミュレーションにより求めたものであり、その結果が表1に示してある。

(表1)

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	R_a	コア径	分散値	スロープ	A_{eff}	λ_c	曲げ損失
単位	%	%		μm	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m
具体例1	-0.5	0.75	0.50	6.20	6.64	0.067	81.5	1228	8.5
具体例2	-0.4	0.70	0.45	6.10	9.41	0.069	82.3	1346	6.0

各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ は、真空の屈折率を1としたときの、センタコアの比屈折率を n_1 、サイドコア2の比屈折率 n_2 、クラッド5の比屈折率を n_c としたときに、次式(3)、(4)により定義されるものであり、その単位は、%である。

$$\Delta 1 = [\{ (n_1)^2 - (n_c)^2 \} / 2 (n_1)^2] \times 100 \dots \dots \dots$$

(3)

$$\Delta 2 = [\{ (n_2)^2 - (n_c)^2 \} / 2 (n_2)^2] \times 100 \dots \dots$$

(4)

表1から明らかのように、具体例1、2のいずれの光ファイバも、有効コア断面積が $80 \mu\text{m}^2$ 以上となった。すなわち、具体例1、2の光ファイバは、従来のシングルモード光ファイバの有効コア断面積と同等以上の有効コア断面積を得られることを確認できた。なお、表1におけるスロープは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープであり、具体例1、2の光ファイバは波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散スロープの絶対値も非常に小さい。

また、第2図の(a)に示したようなデプレストセンタコア型の屈折率プロファイルを有する光ファイバは、センタコア1にゲルマニウムを含まない。そのため、この種の光ファイバは、非線形屈折率が小さく、自己位相変調や相互位相変調などによる波形歪みの抑制も可能となる。なお、第2図の(b)、(c)に示した屈折率プロファイルの光ファイバも、上記デプレストセンタコア型の光ファイバと同様に、センタコア1にゲルマニウムを含まない、そのため、これらの光ファイバも非線形屈折率が小さく、自己位相変調や相互位相変調などによる波形歪みの抑制が可能であると考えられる。

さらに、具体例1、2の光ファイバは、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値が $6 \sim 14 \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ の範囲内である。この値は、局所分散による波形歪みを抑制できる範囲内で、四光波混合を抑制可能なだけ十分に大きい値である。そのため、具体例1、2の光ファイバは、局所分散による波形歪みと四光波混合による波形歪みを抑制可能となる。

そこで、実際に、表1の具体例1、2に近い屈折率プロファイルの光

ファイバを2種類試作し、試作例1、2とした。また、同時に、第2図の(b)、(c)に示した屈折率プロファイルの光ファイバにおいて、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ が、表1の具体例1、2に近い光ファイバを4種類試作し、試作例3～6とした。そして、これら試作例1～6の光ファイバの特性を求めた。試作例1～6の特性は表2に示されている。

(表2)

	伝送損失	1550nmの分散値	1550nmの分散スロープ	MFD	Aeff	曲げ損失 20 ϕ	λc
単位	dB/km	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm	μm^2	dB/m	nm
試作例1	0.230	7.1	0.025	9.83	81.3	8.9	947
試作例2	0.225	12.1	0.035	9.84	83.2	9.7	894
試作例3	0.250	6.1	0.028	9.71	79.6	6.2	1295
試作例4	0.245	9.8	0.032	9.77	80.2	9.9	1236
試作例5	0.235	7.4	0.029	9.85	82.0	7.5	1065
試作例6	0.240	10.2	0.035	9.79	80.6	5.3	1429

なお、試作例3～6において(第2図の(b)、(c)に示した屈折率プロファイルの光ファイバにおいて)、比屈折率差 $\Delta 1$ は前記式(3)により定義されるものである。また、試作例3～6において、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ は、真空の屈折率を1としたときの、第1サイドコア3の屈折率を n_2 、第2サイドコア4の屈折率を n_3 としたときに、前記式(4)および、次式(5)によりそれぞれ定義されるものである。これらの比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 3$ の単位は、%である。

$$\Delta 3 = [\{ (n_3)^2 - (n_c)^2 \} / 2 (n_3)^2] \times 100 \dots \dots$$

(5)

また、表 2 の試作例 3、4 の屈折率プロファイルは、第 2 図の (b) に示す屈折率プロファイルを有する。第 2 サイドコア 4 は、ゲルマニウムドーピング石英により形成されており、第 2 サイドコア 4 の屈折率がクラッド 5 の屈折率よりも大きくなっている。また、表 2 の試作例 5、6 の屈折率プロファイルは、第 2 図の (c) に示す屈折率プロファイルを有する。第 2 サイドコア 4 は、フッ素ドーピング石英により形成されおり、第 2 サイドコア 4 の屈折率がクラッド 5 の屈折率よりも小さくなっている。

表 2 から明らかなように、試作例 1～6 のいずれの光ファイバも、表 1 に示したシミュレーション結果とほぼ同様の優れた特性を有することが分かった。すなわち、これら試作例 1～6 の光ファイバは、有効コア断面積が約 $80 \mu\text{m}^2$ 程度であり、自己位相変調や相互位相変調などによる波形歪みの抑制が可能である。また、試作例 1～6 の光ファイバは、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値も、 $6 \sim 14 \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ の範囲内である。この値は、局所分散による波形歪みを抑制できる範囲内で、四光波混合を抑制可能なだけ十分に大きい値であり、試作例 1～6 の光ファイバは、局所分散による波形歪みと四光波混合による波形歪みを抑制できることが確認された。

また、表 1、2 から明らかなように、具体例 1、2 および試作例 1～6 の光ファイバは、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における伝送損失も抑制できることが確認された。さらに、これらの光ファイバは、いずれも、偏波モード分散の値が $0.1 \text{ps} / \text{km}^{1/2}$ 程度で、低い値にできることが確認された。

次に、本実施形態例の光伝送路を構成する第 2 の光ファイバ 9 について詳細に説明する。第 2 の光ファイバ 9 は、第 3 図の (a)、(b) に示すいずれかの屈折率プロファイルを有している。同図の (a) に示す屈

折率プロファイルの光ファイバは、W型の光ファイバである。この光ファイバは、センタコア1の周りをセンタコア1よりも屈折率が小さいサイドコア2で覆い、サイドコア2の周りをサイドコア2よりも屈折率が大きくセンタコア1よりも屈折率が小さいクラッド5で覆って形成されている。

また、同図の(b)に示す屈折率プロファイルの光ファイバは、センタコア1の周りを第1サイドコア3で覆い、第1サイドコア3の周りを第2サイドコア4で覆い、第2サイドコア4の周りをクラッド5で覆って形成されている。そして、この光ファイバは、センタコア1のクラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、第1サイドコア3のクラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、第2サイドコア4のクラッド5に対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成している。

本発明者は、まず、第2の光ファイバ9の屈折率プロファイルを図3(a)に示したような屈折率プロファイルと仮定した。この第2の光ファイバ9の屈折率プロファイルを最適にするために、センタコア1のクラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 1$ と、サイドコア2のクラッド5に対する比屈折率差 $\Delta 2$ 、コア径を様々に変化させた。そして、第1の光ファイバ8の屈折率プロファイル決定時と同様に、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における分散値、分散スロープ、有効コア断面積(A_{eff})、曲げ損失が適切な値となり、かつ、カットオフ波長も適切な値となる比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 R_a 、コア径の値を求めた。これらの値はシミュレーションにより求めたものであり、その結果が表3に示されている。

(表3)

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	Ra	コア径	分散値	スロープ	Aeff	λc	曲げ損失
単位	%	%		μm	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm^2	nm	dB/m
具体例3	0.85	-0.3	0.45	12.20	-8.54	-0.047	32.1	848	6.5
具体例4	1.15	-0.4	0.40	9.10	-11.44	-0.066	23.3	876	4.0

なお、各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ は、表 1 における各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ と同様にして求めたものである。

表 3 から明らかなように、具体例 3、4 のいずれの光ファイバも、波長 1.55 μm 帯中の設定波長帯における分散値が、 $-14 \sim -6 \text{ ps/nm/km}$ の範囲内となった。すなわち、具体例 3、4 の光ファイバは、上記設定波長帯における分散値の絶対値が、局所分散を抑制できる範囲内で四光波混合を抑制可能なだけ十分に大きく、四光波混合による波形歪みの抑制も可能となることが確認された。

また、前記の如く、第 1 の光ファイバ 8 は、波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値が、 $6 \sim 14 \text{ ps/nm/km}$ の範囲内である。そのため、この第 1 の光ファイバ 8 に、この第 2 の光ファイバ 9 を接続することにより、第 1 の光ファイバ 8 と第 2 の光ファイバの波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散が相殺される。したがって、第 1 の光ファイバ 8 と第 2 の光ファイバ 9 とを直列に接続して成る本実施形態例の光伝送路は、広い波長範囲での低分散が実現されると考えられる。

そこで、実際に、表 3 の具体例 3、4 に近い屈折率プロファイルの光ファイバを 2 種類試作し、試作例 7、8 とした。また、第 3 図の (b) に示した屈折率プロファイルの光ファイバについて、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ が表 3 の具体例 3、4 に近い光ファイバを 2 種類試作し、試作例 9、10 とした。そして、これらの試作例 7～10 の光ファイバの特性を求めた。試

作例 7 ~ 10 の特性が表 4 に示されている。

(表 4)

	伝送損失	1550nmの 分散値	1550nmの 分散スロープ	MFD	Aeff	曲げ損失 20φ	λ _c
単位	dB/km	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm	μm ²	dB/m	nm
試作例7	0.230	-7.1	-0.015	5.83	25.4	8.9	904
試作例8	0.225	-12.1	-0.020	5.84	25.6	9.8	894
試作例9	0.250	-8.1	-0.038	6.01	27.2	4.2	1429
試作例10	0.245	-10.8	-0.042	6.07	27.8	3.9	1436

なお、試作例 9、10 の光ファイバにおいて（第 3 図の（b）に示した屈折率プロファイルの光ファイバにおいて）、比屈折率差 $\Delta 1$ は前記式（3）により定義されるものである。また、試作例 9、10 の光ファイバにおいて、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ は、真空の屈折率を 1 としたときの、第 1 サイドコア 3 の屈折率を n_2 、第 2 サイドコア 4 の屈折率 n_3 としたときに、前記式（4）、（5）により定義されるものである。これら比屈折率差 $\Delta 1 \sim \Delta 3$ の単位は、% である。

また、表 4 の試作例 9、10 の光ファイバにおいて、第 2 サイドコア 4 は、ゲルマニウムドープ石英により形成されている。

表 4 から明らかなように、試作例 7 ~ 10 のいずれの光ファイバも、表 3 に示したシミュレーション結果と同様の優れた特性を有する。すなわち、試作例 7 ~ 10 の光ファイバは、波長 1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値が、 $-14 \sim -6$ ps/nm/km の範囲内である。この値は、上記設定波長の分散値の絶対値が局所分散による波形歪みを抑制できる範囲内で、かつ、四光波混合を抑制可能なだけ十分に大きい値である。そのため、試作例 7 ~ 10 の光ファイバは、局所分散による

波形歪みと四光波混合による波形歪みの両方を抑制可能であることが確認された。また、前記第1の光ファイバ8に、試作例7～10の第2の光ファイバ9を接続することにより、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9の波長1.5 μ m帯中の設定波長帯における分散が相殺される。そのため、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9とを直列に接続して成る光伝送路は、広い波長範囲での低分散が実現される。

また、表3、4から明らかのように、具体例3、4および試作例7～10の光ファイバは、波長1.55 μ mにおける伝送損失も抑制することができることが確認された。さらに、これらの光ファイバは、いずれも、偏波モード分散の値が0.1ps/km^{1/2}程度で、低い値にできることが確認された。

本発明者は、上記のように、第1、第2の光ファイバ8、9をそれぞれ試作した後、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9とを融着接続により直列に接続して光伝送路を試作した。そして、この光伝送路の融着接続損失を測定したところ、平均の接続損失は0.6dB程度であった。また、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9との間に、波長1.55 μ mにおけるモードフィールド径が約8 μ mの分散シフト光ファイバを介設し、この時の接続損失を測定したところ、0.5dB程度となった。

なお、第4図の特性線aには、第1の光ファイバ8の波長1.5 μ m帯中の設定波長帯における分散特性例が、同図の特性線bには、第2の光ファイバ9の波長1.5 μ m帯中の設定波長帯における分散特性例がそれぞれ示されている。また、同図の特性線cには、20kmの第1の光ファイバ8と20kmの第2の光ファイバ9との間に、2kmの前記分散シフト光ファイバを介設して第1の光ファイバ8と第2の光ファイバとを接続した時の、分散特性例が示されている。

同図に示されるように、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9の波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散が相殺される。したがって、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9とを直列に接続することに形成される光伝送路は、広い波長範囲での低分散が実現されることが確認された。

本実施形態例によれば、上記検討結果に基づき、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9の屈折率プロファイルをそれぞれ決定した。そして、これらの屈折率プロファイルにより、第1の光ファイバ8の波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値は6 ~ 14 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ とし、第2の光ファイバ9の波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値は-14 ~ -6 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ とした。

そして、本実施形態例は、本実施形態例の光伝送路は、これらの光ファイバを直列に接続することによって形成したものである。したがって、本実施形態例は、波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値（トータル分散値）をほぼ零とし、光伝送路全体においては、残留分散を殆ど零として残留分散による信号波形の歪みを抑制することができる。

また、上記第1と第2の光ファイバ8, 9は、いずれも波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が6 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以上である。すなわち、第1、第2の光ファイバ8, 9は、波長1.5 μm における分散値が零からずれているので、非線形現象により波形歪みに深刻な影響を与えるとされている、四光波混合の発生を抑制することが可能となり、非線形現象による波形歪みを抑制できる。

なお、波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値が大きすぎると、波長分散による波形歪みが大きくなる。それに対し、本実施形態例では、前記第1、第2の光ファイバは、いずれも波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が14 $\text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ 以下であり

、シングルモード光ファイバなどに比べて波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値の絶対値が小さい。そのため、本実施形態例の光伝送路は、光伝送路を構成する各光ファイバにおける局所分散を抑制でき、分散による波形歪みが抑制可能となる。

さらに、前記非線形現象は、光ファイバに入力される入力光の強度が大きいほど発生しやすい。そこで、本実施形態例では、強い光信号が入力される側に近い光ファイバほど低非線形の光ファイバとなるように、第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9とを配設している（光増幅器6の出射側に第1の光ファイバ8を接続し、第1の光ファイバ8の出射側に第2の光ファイバ9を接続している）。そのため、本実施形態例の光伝送路は、非線形現象による波形歪みの抑制をより一層確実に行なうことができる。

さらに、本実施形態例では、第1の光ファイバ8の波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径を $9.5 \mu\text{m}$ 以上として有効コア断面積を約 $80 \mu\text{m}^2$ と大きく構成している。また、第2の光ファイバ9の波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径を $5.5 \mu\text{m}$ 以上として従来の負分散光ファイバより大きく構成している。そのため、本実施形態例の光伝送路は、非線形現象の内の自己位相変調や相互位相変調などによる影響も抑制できるために、非線形現象による波形歪みの抑制をより一層確実に行なうことができる。

さらに、本実施形態例によれば、第1の光ファイバ8の波長 $1.55 \mu\text{m}$ における伝送損失を 0.25 dB/km 以下、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下としている。また、第2の光ファイバ9の波長 $1.55 \mu\text{m}$ における伝送損失を 0.30 dB/km 以下、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における偏波モード分散

値を $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下、波長 $1.55 \mu\text{m}$ における曲げ直径 20mm での曲げ損失を $10 \text{dB} / \text{m}$ 以下としている。そのため、本実施形態例の光伝送路は、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における伝送損失も小さく、偏波モード分散による波形歪みを抑制でき、曲げによる損失も小さくでき、非常に良好な信号光伝送を行なうことができる。

なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を採り得る。例えば、第1の光ファイバ8は、第2図の(d)に示すように、コア10の周りをクラッド5で覆って形成され、屈折率分布形状が α 乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバとしてもよい。また、第1の光ファイバ8は、同図の(e)に示すように、センタコア1の周りを該センタコア1よりも屈折率が小さいサイドコア2で覆い、該サイドコア2の周りを該サイドコア2よりも屈折率が小さいクラッド5で覆って形成された階段型の光ファイバとしてもよい。なお、この階段型の光ファイバにおいて、センタコア1は屈折率分布形状が α 乗プロファイルと成している。

表5は、上記単峰型の光ファイバの具体例5、6の特性を示し、表6は、上記階段型の光ファイバの具体例7、8の特性を示している。なお、表5、6には、コア10、センタコア1の屈折分布形状を示す α の値も示されている。

(表5)

	$\Delta 1$	α	コア径	1550nmの分散値	1550nmの分散スロープ	A_{eff}	λ_c	曲げ損失 (20ϕ)
単位	%		μm	$\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$	$\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$	μm^2	nm	dB/m
具体例5	0.40	3.0	10.5	13.1	0.062	77.4	1359	7.0
具体例6	0.45	2.0	9.4	13.4	0.061	72.5	1166	9.5

(表 6)

	$\Delta 1$	α	$\Delta 2$	R a	コア径	1550nm の 分散値	1550nm の 分散スロープ	Aeff	λc	曲げ損失 (20φ)
単位	%				μm	ps/nm/km	ps/nm ² /km	μm ²	nm	dB/m
具体例 7	0.40	4.0	0.15	0.55	14.0	13.6	0.067	97.4	1519	6.0
具体例 8	0.45	2.0	0.20	0.45	11.4	13.0	0.064	79.5	1466	8.5

なお、表 5 において、比屈折率差 $\Delta 1$ は、真空の屈折率を 1 とした時のコア 10 の比屈折率を n_1 とし、クラッド 5 の比屈折率を n_c としたときに、前記式 (3) により定義されるものであり、その単位は、% で

ある。また、表5において、各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ は、真空の屈折率を1としたときの、センタコアの比屈折率を $n 1$ 、サイドコア2の比屈折率 $n 2$ 、クラッド5の比屈折率を $n c$ としたときに、前記式(3)、(4)により定義されるものであり、その単位は、%である。

表5、6に示したように、上記単峰型や階段型の屈折率プロファイルにより第1の光ファイバ8を形成した場合も、屈折率プロファイルの詳細な値(比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ や α 等)を適宜設定することにより、上記実施形態例と同様の効果を得ることができる。

また、第1、第2の光ファイバ8、9の屈折率プロファイルにおける各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ の各値は、上記具体例および試作例に限定されるものではない。すなわち、各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ の各値は、上記実施形態例の第1の光ファイバ8や第2の光ファイバ9のような分散特性有するように、適宜設定されるものである。各比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ の各値は、望ましくは、波長 $1.5 \mu m$ 帯中の設定波長帯における伝送損失や、偏波モード分散や、曲げ損失等も考慮して設定される。

さらに、本発明の光伝送路を構成する第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9の本数や、配設順序は特に限定されるものではなく、適宜設定されるものである。例えば、光伝送路を、光増幅器を設けずに第1の光ファイバ8と第2の光ファイバ9を接続して形成する場合、光信号の入力側に近い光ファイバほど低非線形の光ファイバとすることにより、非線形現象を発生しにくくすることができる。

また、第5図に示すように、2本の第1の光ファイバ8の間に第2の光ファイバ9を接続し、光送受信器13を用いて光の送受信を行なう双方向通信可能な光伝送路を形成することもできる。

産業上の利用可能性

以上のように、本発明の光伝送路は、第1、第2の光ファイバにおける局所分散を抑制でき、局所分散による波形歪みを抑制できるし、光伝送路全体での波長1.5 μm 帯中の設定波長帯における分散値（トータル分散値）がほぼ零と成している。そのため、本発明の光伝送路は、光伝送路全体においては、残留分散が殆どなく、残留分散による信号波形の歪みも抑制でき、波長1.5 μm 帯等の波長多重伝送用の光伝送路として適している。

請 求 の 範 囲

1. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値を $6 \sim 14 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ とした第1の光ファイバと、波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値を $-14 \sim -6 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ とした第2の光ファイバを直列に接続して形成されており、光伝送路全体での波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散値がほぼ零と成していることを特徴とする光伝送路。

2. 光ファイバの配設位置が光信号の入力側に近い光ファイバほど低非線形の光ファイバとしたことを特徴とする請求の範囲第1項記載の光伝送路。

3. 第1の光ファイバの分散スロープは第2の光ファイバの分散スロープと逆符号であり、光伝送路全体での波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における分散スロープがほぼ零と成していることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

4. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第1の光ファイバの諸特性は、伝送損失を $0.25 \text{ dB} / \text{km}$ 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を $10 \text{ dB} / \text{m}$ 以下とし、モードフィールド径を $9.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

5. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第1の光ファイバの諸特性は、伝送損失を $0.25 \text{ dB} / \text{km}$ 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を $10 \text{ dB} / \text{m}$ 以下とし、モードフィールド径を $9.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第3項記載の光伝送路。

6. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における第1の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.25 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $9.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第4項記載の光伝送路。

7. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における第1の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.25 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $9.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第5項記載の光伝送路。

8. 第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状が α 乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

9. 第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状が α 乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第3項記載の光伝送路。

10. 第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状が α 乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第4項記載の光伝送路。

11. 第1の光ファイバはコアの周りをクラッドで覆って形成され、屈折率分布形状が α 乗プロファイルと成している単峰型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第5項記載の光伝送路。

12. 第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

13. 第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第3項記載の光伝送路。

14. 第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第4項記載の光伝送路。

15. 第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された階段型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第5項記載の光伝送路。

16. 第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく前記センタコアよりも屈折率が大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

17. 第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく前記センタコアよりも屈折率が大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第3項記載の光伝送路。

18. 第1の光ファイバはセンタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく前記センタコアよりも屈折率が大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴と

する請求の範囲第4項記載の光伝送路。

19. 第1の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率の大きいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が小さく前記センタコアよりも屈折率の大きいクラッドで覆って形成されたデプレストセンタコア型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第5項記載の光伝送路。

20. 第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

21. 第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第3項記載の光伝送路。

22. 第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対す

る比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第4項記載の光伝送路。

23. 第1の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 2 > \Delta 3 > \Delta 1$ と成した光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第5項記載の光伝送路。

24. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第2の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

25. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯の中心付近の波長における第2の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第3項記載の光伝送路。

26. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における第2の光ファイバの諸特性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第24項記載の光伝送路。

27. 波長 $1.5 \mu\text{m}$ 帯中の設定波長帯における第2の光ファイバの諸

特性は、伝送損失を 0.30 dB/km 以下とし、偏波モード分散値を $0.15 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下とし、曲げ直径 20 mm での曲げ損失を 10 dB/m 以下とし、モードフィールド径を $5.5 \mu\text{m}$ 以上としたことを特徴とする請求の範囲第 25 項記載の光伝送路。

28. 第 2 の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された W 型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第 1 項又は第 2 項記載の光伝送路。

29. 第 2 の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された W 型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第 3 項記載の光伝送路。

30. 第 2 の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された W 型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第 24 項記載の光伝送路。

31. 第 2 の光ファイバは、センタコアの周りを該センタコアよりも屈折率が小さいサイドコアで覆い、該サイドコアの周りを該サイドコアよりも屈折率が大きく前記センタコアよりも屈折率が小さいクラッドで覆って形成された W 型の光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第 25 項記載の光伝送路。

32. 第 2 の光ファイバは、センタコアの周りを第 1 サイドコアで覆い、該第 1 サイドコアの周りを第 2 サイドコアで覆い、該第 2 サイドコア

の周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載の光伝送路。

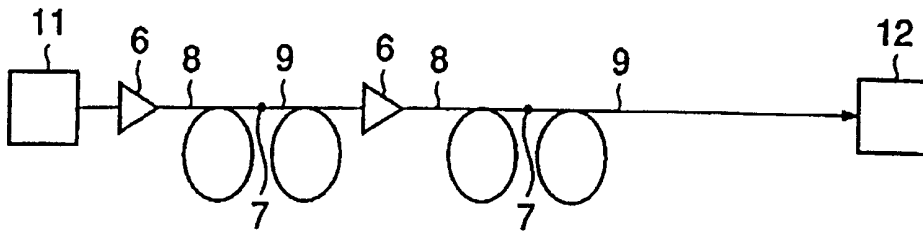
33. 第2の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第3項記載の光伝送路。

34. 第2の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイバであることを特徴とする請求の範囲第24項記載の光伝送路。

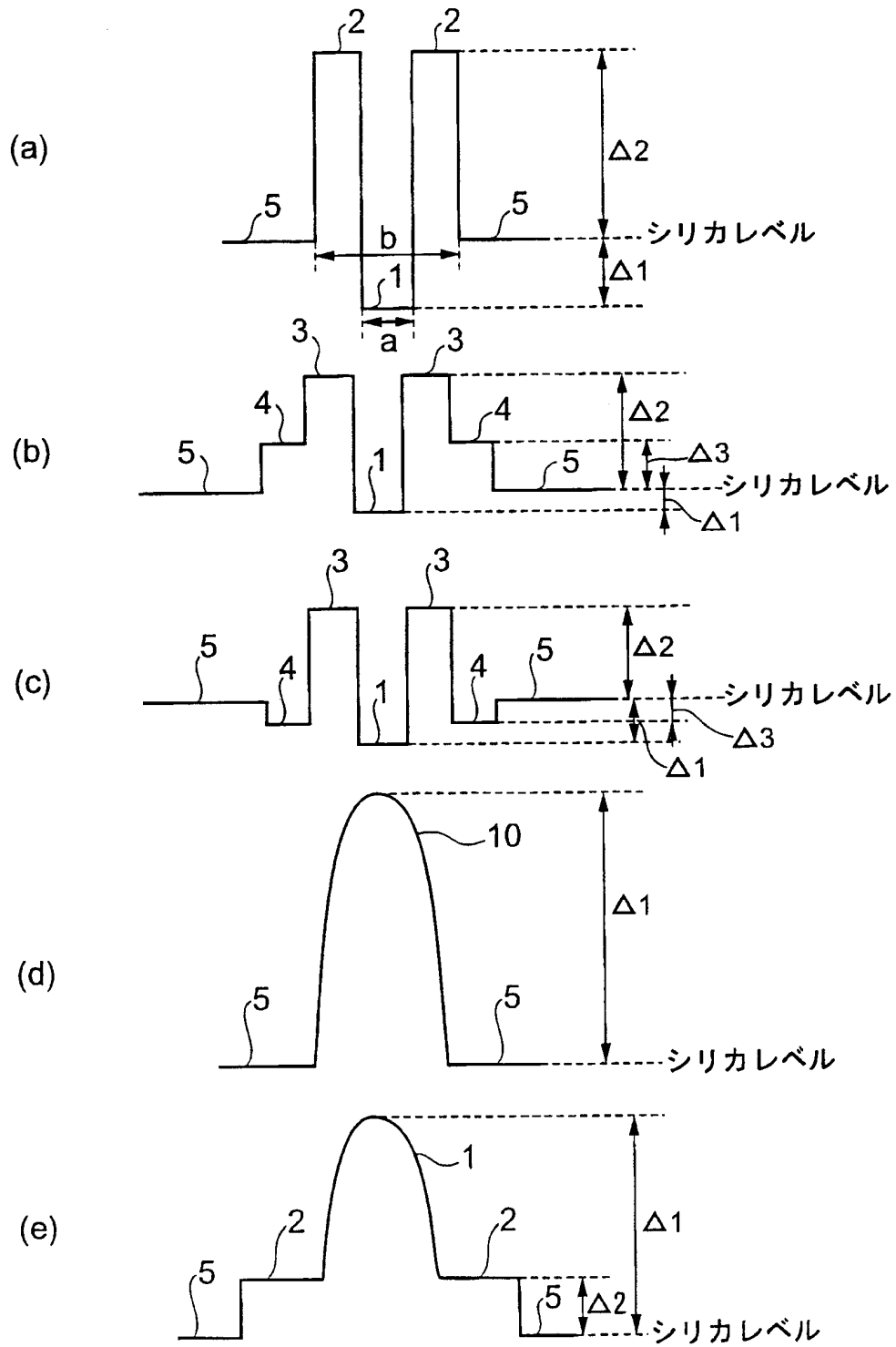
35. 第2の光ファイバは、センタコアの周りを第1サイドコアで覆い、該第1サイドコアの周りを第2サイドコアで覆い、該第2サイドコアの周りをクラッドで覆って形成され、前記センタコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 1$ とし、前記第1サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 2$ とし、前記第2サイドコアの前記クラッドに対する比屈折率差を $\Delta 3$ としたときに、 $\Delta 1 > \Delta 3 > \Delta 2$ と成した光ファイ

バであることを特徴とする請求の範囲第 2 5 項記載の光伝送路。

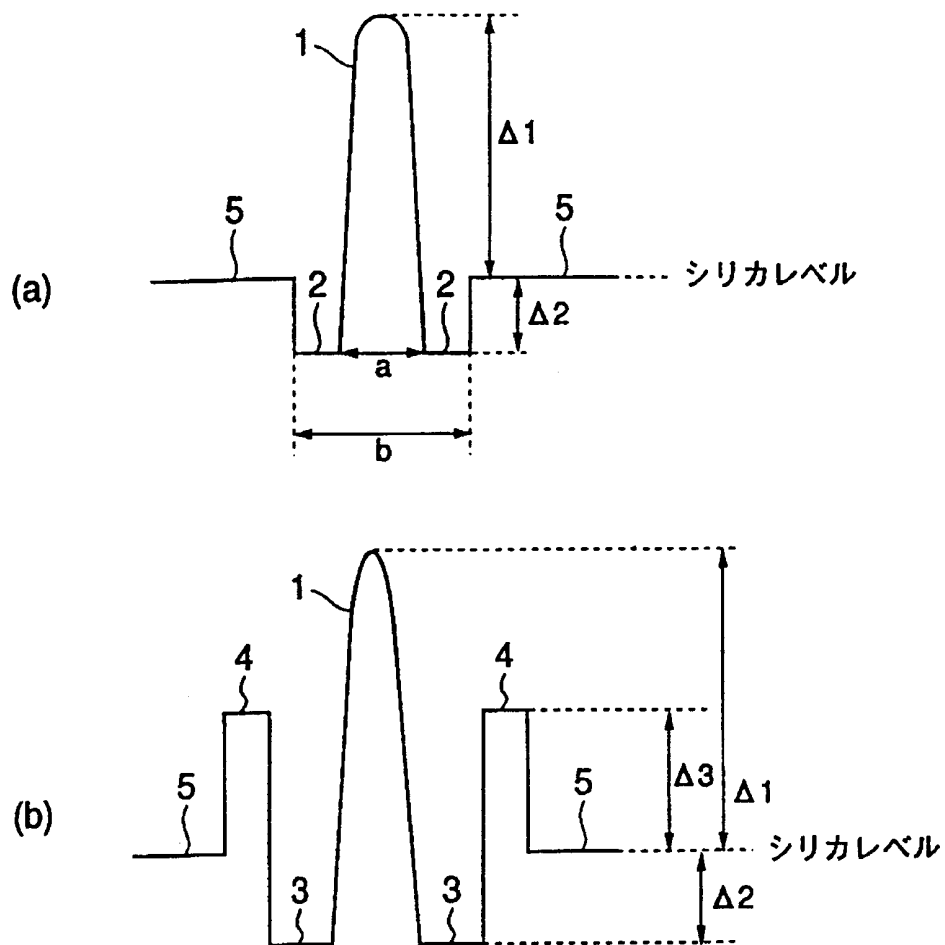
第1図



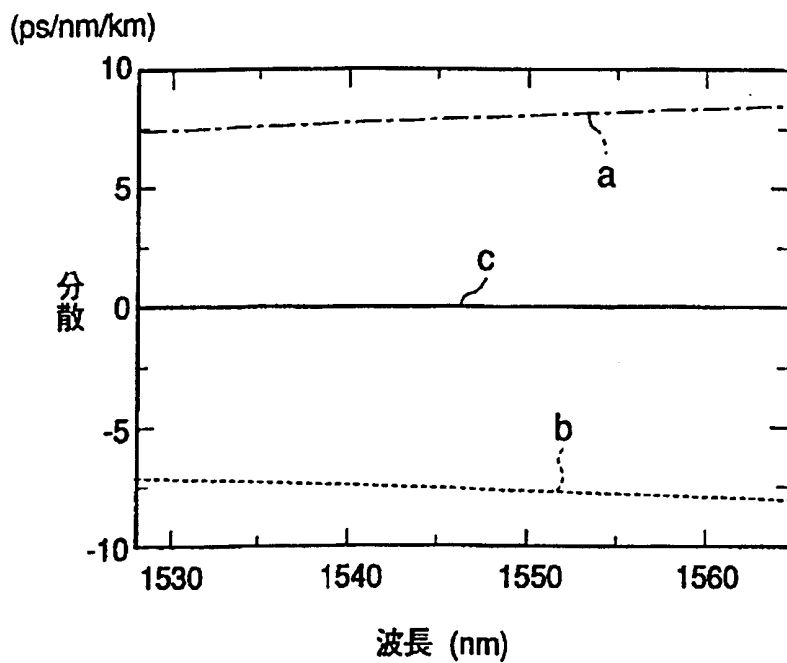
第2図



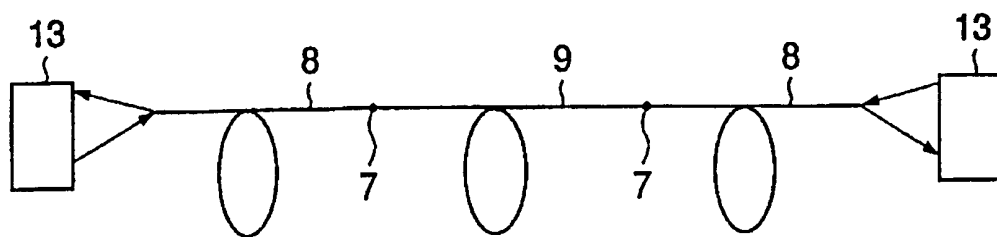
第3図



第4図



第5図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP00/04206

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ G02B 6/16, 6/22

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ G02B 6/00-6/54

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP, 862069, A2 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.), 02 September, 1998 (02.09.98), especially, see Figs. 1,14 & JP, 10-300966, A & US, 5963700, A	1-35
Y	US, 5838867, A (ONISHI M.), 17 November, 1998 (17.11.98), especially, see Fig.10, No.3 & CA, 2202586, A & JP, 10-39155, A	1-35
A	MUKASA K ET AL.: NOVEL NETWORK FIBER TO MANAGE DISPERSION AT 1.55µm WITH COMBINATION OF 1.3µm ZERO DISPERSION SINGLE MODE FIBER; 23rd European Conference on Optical Communications, Vol.1, 22-25 September 1997, Conference Publication No.448, pp.127-130	1-35
A	JP, 62-15503, A (Fujikura Ltd.), 23 January, 1987 (23.01.87) (Family: none)	8-11
A	JP, 3-18161, B2 (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 11 March, 1991 (11.03.91) (Family: none)	12-15

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 19 September, 2000 (19.09.00)	Date of mailing of the international search report 03 October, 2000 (03.10.00)
--	---

Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
--	--------------------

Facsimile No.	Telephone No.
---------------	---------------

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/04206

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 62-291605, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 18 December, 1987 (18.12.87) (Family: none)	12-15
A	JP, 62-297808, A (Fujikura Ltd.), 25 December, 1987 (25.12.87) (Family: none)	16-19
A	JP, 11-167038, A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 June, 1999 (22.06.99) (Family: none)	16-19
P,A	WO, 00/31573, A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 June, 2000 (02.06.00) & JP, 2000-221352, A	1-35

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 6/16, 6/22

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ G02B 6/00-6/54

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2000年
日本国登録実用新案公報	1994-2000年
日本国実用新案登録公報	1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	EP, 862069, A2 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE COR P.), 2. 9月. 1998 (02. 09. 98) 特に、FIG. 1, 14参照 & JP, 10-300966, A&US, 5963700, A	1-35
Y	US, 5838867, A (ONISHI M.), 17. 11月. 1998 (17. 11. 98) 特に、Fig. 10, No. 3参照 & CA, 2202586, A&JP, 10-39155, A	1-35

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願


の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 19. 09. 00

国際調査報告の発送日 03.10.00

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
高田 耳彦 
電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	MUKASA K ET AL. : NOVEL NETWORK FIBER TO MANAGE DISPERSION AT 1.55 μm WITH COMBINATION OF 1.3 μm ZERO DISPERSION SINGLE MODE FIBER; 23rd European Conference on Optical Communications, Vol.1, 22-25 September 1997, Conference Publication No.448, pp.127-130	1-35
A	JP, 62-15503, A (藤倉電線株式会社), 23. 1月. 1987 (23. 01. 87) (ファミリーなし)	8-11
A	JP, 3-18161, B2 (日本電信電話株式会社), 11. 3月. 1991 (11. 03. 91) (ファミリーなし)	12-15
A	JP, 62-291605, A (住友電気工業株式会社), 18. 12月. 1987 (18. 12. 87) (ファミリーなし)	12-15
A	JP, 62-297808, A (藤倉電線株式会社), 25. 12月. 1987 (25. 12. 87) (ファミリーなし)	16-19
A	JP, 11-167038, A (住友電気工業株式会社), 22. 6月. 1999 (22. 06. 99) (ファミリーなし)	16-19
P, A	WO, 00/31573, A1 (住友電気工業株式会社), 2. 6月. 2000 (02. 06. 00) & JP, 2000-221352, A	1-35