

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004年10月28日 (28.10.2004)

PCT

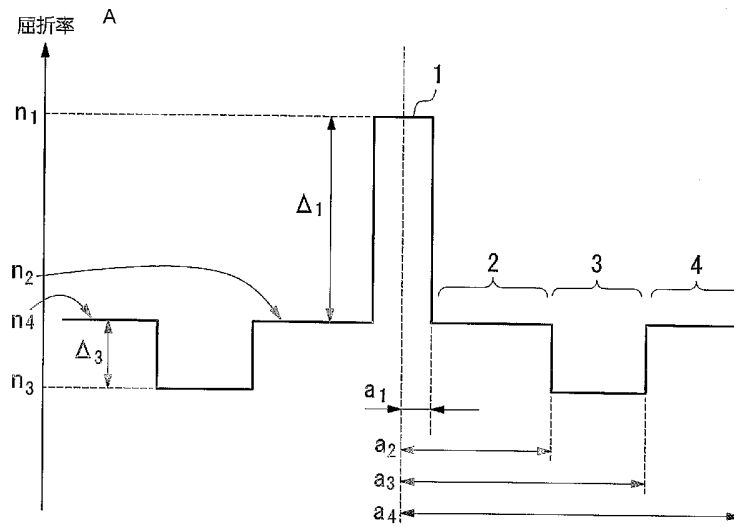
(10) 国際公開番号  
WO 2004/092794 A1

- |                             |   |  |
|-----------------------------|---|--|
| (51) 国際特許分類:                | G02B 6/22   | (72) 発明者; および  |
| (21) 国際出願番号:                | PCT/JP2004/005195   | (75) 発明者/出願人 (米国についてののみ): 松尾 昌一郎 (MATSUO, Shoichiro) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 姫野 邦治 (HIMENO, Kuniharu) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 原田 光一 (HARADA, Koichi) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). 池田 真拳 (IKEDA, Masataka) [JP/JP]; 〒285-8550 千葉県 佐倉市 六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内 Chiba (JP). |
| (22) 国際出願日:                 | 2004年4月12日 (12.04.2004)   | (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA, Masatake et al.); 〒104-8453 東京都 中央区 八重洲 2 丁目 3 番 1 号 Tokyo (JP).  |
| (25) 国際出願の言語:               | 日本語   |  |
| (26) 国際公開の言語:               | 日本語   |  |
| (30) 優先権データ:                |   |  |
| 特願2003-107760               | 2003年4月11日 (11.04.2003) JP  |  |
| 特願2003-199270               | 2003年7月18日 (18.07.2003) JP  |  |
| 特願2004-018514               | 2004年1月27日 (27.01.2004) JP  |  |
| (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): | 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.) [JP/JP]; 〒135-8512 東京都 江東区 木場 1 丁目 5 番 1 号 Tokyo (JP). |  |

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光ファイバ



A...REFRACTIVE INDEX

(57) Abstract: An optical fiber has a core provided in the center, a first clad layer (2) on the periphery of the core (1), a second clad layer (3) on the periphery of the first clad layer (2), and a third clad layer (4) on the periphery of the second clad layer (3). The maximum refractive index of the core is greater than any of those of the first clad layer, the second clad layer, and the third clad layer. The maximum refractive index of the second clad layer is smaller than any of those of the first clad layer and the third clad layer. The value of  $a_2/a_1$  is between 2.5 and 4.5, both inclusive, with  $a_1$  being the radius of the core and  $a_2$  being the radius of the outer edge of the first clad layer. Further, a relative refractive index difference of the core, with the refractive index of the third clad as the standard, is between 0.20 and 0.70%, both inclusive.

(57) 要約: 中心に配置されたコア(1)と、前記コア(1)の周上に配置された第1クラッド層(2)と、前記第1クラッド層(2)の周上に配置された第2クラッド層(3)と、前記第2クラッド層(3)の周上に配置された第3クラッド層(4)と、を備えた光ファイバであって、前記コアの最大屈折率は、前記

[続葉有]



WO 2004/092794 A1



(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL,

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。

第1クラッド層、第2クラッド層、および第3クラッド層の各最大屈折率のいずれよりも大きく、前記第2クラッド層の最大屈折率は、前記第1クラッド層および第3クラッド層の各最大屈折率のいずれよりも小さく、かつ前記コアの半径を $a_1$ 、前記第1クラッド層の外縁の半径を $a_2$ とすると、 $a_2/a_1$ の値が2.5以上4.5以下であり、前記第3クラッドの屈折率を基準としたときの前記コアの比屈折率差が0.20以上0.70%以下である。

## 1

## 明 細 書

## 光ファイバ

## 技術分野

本発明は、曲げ特性に優れた光ファイバに関する。

本願は、2003年4月11日に出願された特願2003-107760号、2003年7月18日に出願された特願2003-199270号、及び2004年1月27日に出願された特願2004-18514号に対し優先権を主張し、それらの内容をここに援用する。

## 背景技術

日本国特許公報2618400号には、中心コアの周上にクラッド層が設けられており、該クラッド層には屈折率が低い屈折率溝が設けられた光ファイバが記載されている。また、かかる構成の光ファイバは、分散スロープの低減、曲げ損失の減少等の効果が期待できることが示唆されているが、このような効果をもたらすには、コアの半径を $a_1$ 、屈折率溝の内縁の半径を $a_2$ とすると、 $a_2/a_1$ の値を1.5～3.5の範囲とすることが望ましいとされている。

従来より、幹線、長距離系の伝送容量拡大を目的としてWDM (Wave Length Division Multiplexing) を用いた伝送システムおよび光ファイバの開発が活発に進められてきた。WDM伝送用の光ファイバには、非線形効果の抑制や分散制御といった特性が要求されてきた。近年では、メトロと呼ばれる数百km程度のスパンのシステム向けに分散スロープを低減した光ファイバやOHによるロス増がほとんどない光ファイバなどが提案されている。

ところで、オフィスや家庭への光ファイバ導入 (F T T H ; Fiber To The Home) を考えた場合には、それらの伝送用光ファイバとは異なった特性が要求される。すなわち、ビルや住宅内に光ファイバを引き回す際には、曲げ直径が30mmφや20mmφといった非常に小さな曲げが入る可能性がある。また余長を収納する際には、小さな曲げ径で巻いてもロス増が生じないことが非常に重要になる

。つまり、小さな曲げに耐え得ることが、F T T H向けの光ファイバとして非常に重要な特性となる。また、基地局からビルや住宅までの間に布設される光ファイバ（多くは、通常の $1.3\mu\text{m}$ 帯用シングルモードファイバ）との接続性が良いことも重要である。さらに、このような用途においては、低コストであることが要求される。

オフィスや家庭内に配線される光ファイバとしては、従来、通常の $1.3\mu\text{m}$ 帯用のシングルモードファイバやマルチモードファイバが一般的に用いられていた。

しかしながら、これらの光ファイバは一般的に曲げ径の下限が $60\text{mm}\phi$ 程度しか許容されておらず、引き回しの際には許容範囲を超えた曲げが入らないように細心の注意が必要であった。

最近では、 $1.3\mu\text{m}$ 帯用シングルモードファイバ（以下、SMFと略記することもある）の国際規格であるITU-T（International Telecommunication Union - Telecom Standardization）のG.652に準拠する範囲で、MFD（モードフィールド径）を小さくすることによって、許容曲げ径を $30\text{mm}\phi$ にまで小さくできるようにした光ファイバが開発されている。

しかしながら、ビル内や住宅内における配線用の光ファイバは、さらに小さな曲げ径に対応できることが望ましい。これまでにも、小さな曲げ径に対応した光ファイバは報告されているが、従来の光ファイバとの接続損失が大きいことや、製造コストが高くなる等の問題を抱えていた。

また、電子情報通信学会技術研究報告OFT2002-81では、宅内、ビル内配線にフォトニック結晶ファイバを用いる検討が報告されている。フォトニック結晶ファイバは、光ファイバの中心付近に空孔が設けられた構造の光ファイバであり、従来構造の光ファイバにない特性が期待できるが、製造性の点でまだ従来型に対して劣るのが現状である。

また、従来のケーブル用光ファイバについても、曲げに対して耐性が強いことが望ましい。例えば、ケーブル同士を接続するクロージャ内での引き回しにおいては、より小さい曲げに対して耐性を持った光ファイバが用いられていれば、接続、収納作業の効率を上げることが出来ると共に、クロージャの小型化を実現す

ることが出来る。また、配線作業においては、被作業ファイバ以外において通信が行われている状態で作業が行われることもある。このような場合においても、小さな曲げ損失をもつ光ファイバを用いれば、不意の接触などにより、通信が行われている線路（活線）に影響を与えることなく作業を行うことが可能である。

### 発明の開示

本発明は前記事情に鑑みてなされたもので、曲げによる損失が少なく、一般的な伝送用光ファイバとの接続性が良好であり、低コストで製造できる光ファイバを提供することを目的とする。

前記課題を解決するために、本発明は、中心に配置されたコアと、前記コアの周上に配置された第1クラッド層と、前記第1クラッド層の周上に配置された第2クラッド層と、前記第2クラッド層の周上に配置された第3クラッド層と、を備えた光ファイバであって、前記コアの最大屈折率は、前記第1～第3クラッド層の各最大屈折率のいずれよりも大きく、前記第2クラッド層の最大屈折率は、前記第1および第3クラッド層の各最大屈折率のいずれよりも小さく、かつ前記コアの半径を  $a_1$ 、前記第1クラッド層の外縁の半径を  $a_2$  とするとき、 $a_2/a_1$  の値が2.5以上4.5以下であり、第3クラッドの屈折率を基準としたときのコアの比屈折率差が0.20以上0.70%以下である光ファイバを提供する。

本発明の光ファイバは、カットオフ波長が1260nm以下であることが好ましい。

また、下記数式(1)で表される第2クラッド層の屈折率体積  $V$  が  $25\% \cdot \mu\text{m}^2$  以上であることが好ましい。

該第2クラッド層の屈折率体積  $V$  が  $50\% \cdot \mu\text{m}^2$  以上であることがより好ましい。

$$V = \int_{a_2}^{a_3} |\Delta n(r)| \cdot r dr \quad \dots(1)$$

上記数式(1)において

$r$  : 半径、

$\Delta_n(r)$  : 半径  $r$  における比屈折率差 (基準は第3クラッド層の最大屈折率)、  
 $a_2$  : 第1クラッド層の外縁の半径、  
 $a_3$  : 第2クラッド層の外縁の半径である。

本発明の光ファイバは、第3クラッド層の最大屈折率を基準としたときの第1クラッド層の比屈折率差が $-0.10\%$ 以上 $0.05\%$ 以下であることが好ましい。

本発明によれば、第2クラッド層を設けない単峰型の屈折率分布を有しかつカットオフ波長が共通する単峰型光ファイバを直径 $20\text{ mm}$ のマンダレルに $10$ 回巻回させたときに生じる波長 $1550\text{ nm}$ での曲げ損失増加の値を $1$ とするとき、同様にして測定される曲げ損失増加の値の比で表される曲げ損比が $0.4$ 以下である光ファイバが得られる。

本発明によれば、第2クラッド層を設けない単峰型の屈折率分布を有しかつカットオフ波長が共通する単峰型光ファイバを直径 $15\text{ mm}$ のマンダレルに $10$ 回巻回させたときに生じる波長 $1550\text{ nm}$ での曲げ損失増加の値を $1$ とするとき、同様にして測定される曲げ損失増加の値の比で表される曲げ損比が $0.55$ 以下である光ファイバを実現できる。

本発明によれば、曲げ直径 $20\text{ mm}$ で巻回したときの波長 $1550\text{ nm}$ における曲げ損失の値が、 $1$ ターン当たり $0.05\text{ dB}$ 以下である光ファイバを実現できる。

本発明によれば、曲げ直径 $20\text{ mm}$ で巻回したときの波長 $1650\text{ nm}$ における曲げ損失の値が、 $1$ ターン当たり $0.05\text{ dB}$ 以下である光ファイバを実現できる。

さらに、波長 $1550\text{ nm}$ におけるモードフィールド径が $8.3\text{ }\mu\text{ m}$ 以上である光ファイバを得ることが可能である。

本発明によれば、曲げ直径 $15\text{ mm}$ で巻回したときの波長 $1550\text{ nm}$ における曲げ損失の値が、 $1$ ターン当たり $0.05\text{ dB}$ 以下である光ファイバを実現できる。

本発明によれば、曲げ直径 $15\text{ mm}$ で巻回したときの波長 $1650\text{ nm}$ における曲げ損失の値が、 $1$ ターン当たり $0.05\text{ dB}$ 以下である光ファイバを実現で

きる。

さらに、波長1550nmにおけるモードフィールド径が7.8 $\mu$ m以上である光ファイバを得ることができる。

本発明によれば、第2クラッド層を設けない単峰型の屈折率分布を有しかつカットオフ波長が共通する単峰型光ファイバの1550nmにおけるモードフィールド径(MFD)の値を1とするとき、同様にして測定したMFDの値の比が0.98以上である光ファイバを実現できる。

本発明によれば、波長1310nmにおけるモードフィールド径が7.3 $\mu$ m以上である光ファイバを実現できる。

本発明によれば、波長1310nmにおけるモードフィールド径が6.8 $\mu$ m以上である光ファイバを実現できる。

さらに、曲げ直径10mmで巻回したときの波長1550nmにおける曲げ損失の値が、1ターン当たり0.05dB以下である光ファイバを得ることができる。

本発明によれば、曲げ直径10mmで巻回したときの波長1650nmにおける曲げ損失の値が、1ターン当たり0.05dB以下である光ファイバを実現できる。

本発明によれば、波長1550nmにおけるモードフィールド径が7.3 $\mu$ m以上である光ファイバを実現できる。

さらに、波長1310nmにおけるモードフィールド径が6.3 $\mu$ m以上である光ファイバを得ることができる。

本発明によれば、波長1310nmにおけるモードフィールド径が7.9 $\mu$ m以上であり、曲げ直径20mmで巻いたときと波長1550nmにおける曲げ損失の値が、1ターンあたり1dB以下である光ファイバを実現できる。

本発明によれば、曲げ直径20mmで巻いたときの波長1550nmにおける曲げ損失の値が、1ターンあたり0.5dB以下である光ファイバを実現できる。

さらに、零分散波長が1300nm以上1324nm以下である光ファイバを得ることができる。

## 6

本発明によれば、曲げによる損失が少なく、一般的な伝送用光ファイバとの接続性が良好な光ファイバを、低コストで得ることができる。

## 図面の簡単な説明

図1は、本発明の光ファイバの一実施形態における屈折率分布を示すグラフである。

図2は、試験例1における第2クラッド層の位置とMFDとの関係を示すグラフである。

図3は、試験例1における第2クラッド層の位置と曲げ損失との関係を示すグラフである。

図4は、本発明に係る実施例における屈折率分布を示すグラフである。

図5は、本発明に係る実施例における屈折率分布を示すグラフである。

図6は、本発明に係る実施例における屈折率分布を示すグラフである。

図7は、本発明に係る実施例における屈折率分布を示すグラフである。

## 発明を実施するための最良の形態

以下、図面を参照しつつ、本発明の好適な実施例について説明する。ただし、本発明は以下の各実施例に限定されるものではなく、例えばこれら実施例の構成要素同士を適宜組み合わせてもよい。

以下、本発明を詳しく説明する。図1は、本発明の光ファイバの一実施形態における屈折率分布を示したものである。

本実施形態の光ファイバの中心には、半径  $a_1$ 、最大屈折率  $n_1$  のコア1が設けられている。コア1の周上には、外縁の半径  $a_2$ 、最大屈折率  $n_2$  の第1クラッド層2が設けられており、該第1クラッド層2の周上には、外縁の半径  $a_3$ 、最大屈折率  $n_3$  の第2クラッド層3が設けられている。そして、該第2クラッド層3の周上には、光ファイバの最外層をなす、外縁の半径  $a_4$ 、最大屈折率  $n_4$  の第3クラッド層4が設けられている。

本明細書において、最大屈折率とは、ある層の外縁の半径を  $a_n$ 、その層の一つ内側の層の外縁の半径を  $a_{n-1}$  としたとき、 $a_{n-1}$ 、 $a_n$  間での最も大きな屈折

率をさす。ここで、 $n$ は1以上の整数であり、 $a_0 = 0$  ( $\mu\text{m}$ )である。図1に示したようなステップ状の屈折率分布では、 $a_{n-1}$ から $a_n$ 間で屈折率が一定であり、その屈折率が最大屈折率となる。しかしながら、後述の図4～7に示されるように、各層内で屈折率分布を取る場合は、上記の方法で定義される最大屈折率を用いる。

本発明の光ファイバにあつては、コア1の最大屈折率 $n_1$ は、第1～第3クラッド層2, 3, 4の各最大屈折率 $n_2, n_3, n_4$ のいずれよりも大きく、前記第2クラッド層3の最大屈折率 $n_3$ は、第1および第3クラッド層2, 4の各最大屈折率 $n_2, n_4$ のいずれよりも小さく設計される。

光ファイバの屈折率分布は、ゲルマニウムやフッ素等のドーパントを添加することにより形成される。光ファイバの製造に用いられているVAD (Vapor-phase Axial Deposition) やCVD (Chemical Vapor Deposition) といったプロセスにおいては、ドーパントの拡散などの影響により各層の境界が曖昧な屈折率分布をとることもある。

図1に示す光ファイバにおいては、第1クラッド層2における屈折率が径方向にほぼ一定であり、屈折率分布はほぼ完全なステップ形状になっている。本発明の光ファイバの屈折率分布は、必ずしも完全なステップ状になっている必要はなく、屈折率がステップ状になっていない場合は、以下の式で定義される各層の径を用いることにより、ステップ状の場合と同様に本発明の効果を得ることができる。まず、コア1の半径 $a_1$ は、比屈折率差が、コア1内における比屈折率差の最大値 $\Delta_1$ の $1/10$ まで減少する位置から中心までの距離と定義する。また、第1クラッド層2、第2クラッド層3の各外縁の半径 $a_2, a_3$ は、比屈折率差の径分布 $\Delta(r)$ の微分値、 $d\Delta(r)/dr$  ( $r$ は半径を表す。)が極値を取る位置から中心までの距離として定義する。

このような方法で定義した半径を用いて、等価な特性をもつステップ状の屈折率分布を算出すること(以下、ステップ換算ということもある。)が可能である。本発明では、実際の屈折率分布がステップ状になっていなくても、このようなステップ換算により算出された屈折率分布が、本発明にかかる所定の屈折率の関係を満たせば、本発明の所期の効果を得ることができる。本明細書中の実施例の中

では、上記の手順を踏まえてステップ換算した等価ステッププロファイルの比屈折率差をあわせて示す。

本明細書において、各層の比屈折率差 $\Delta_i$ （単位：％）は第3クラッド層4の最大屈折率 $n_4$ を基準としており、下記数式（2）で表される。

$$\Delta_i = \frac{n_i - n_4}{n_4} \times 100 \quad \dots(2)$$

（式中、 $i$ は1～3の整数であり、 $n_i$ は前記各層の最大屈折率である。）

図1に示したようにコアが1層からなる場合、コア1の比屈折率差 $\Delta_1$ を大きくすると、曲げ損失をより小さくできる反面、MFDが小さくなる傾向がある。また、 $\Delta_1$ が小さくなると、より大きなMFDが得られる反面、曲げ損失は悪化する。本発明の特徴は、第2クラッド層3を設けることにより単峰型と同程度のMFDにおいても曲げ特性の優れた光ファイバを得ることにある。本発明において $\Delta_1$ の値は特に限定されるものではないが、 $\Delta_1$ を0.20～0.70％の範囲、より好ましくは、0.25～0.65％の範囲にすることにより、通常のSMFとの接続特性および曲げ特性に優れた光ファイバを得ることができる。

また、第1クラッド層2の比屈折率差 $\Delta_2$ は、0.05％以下、より好ましくは0.00％以下であることが好ましい。また、-0.10％以上であることが好ましい。

$\Delta_2$ が大きくなると、カットオフ波長が長くなり、1260nm以下のカットオフ波長を実現することが不可能になる。一方、第1クラッド層2の比屈折率差 $\Delta_2$ が小さくなりすぎると、第1クラッド層2によるフィールドの閉じ込めが強くなり、曲げ損失低減の点では好ましいが、MFDを拡大して接続性を良くするという点では障害となる。このため所望のカットオフ波長、良好な曲げ損失、および所望のMFDを同時に達成できる範囲で $\Delta_2$ を設計するのが好ましい。一般的には、 $\Delta_2$ を-0.10％以上にすると所望の効果をj得ることができる。

また、第2クラッド層3の比屈折率差 $\Delta_3$ は、後述のように屈折率体積 $V$ によりその設計範囲が規定される。

第3クラッド層4の外縁の外径（ $a_4$ の2倍）、すなわち光ファイバの外径は一

一般的に  $125\ \mu\text{m}$  である。近年では、小型の光部品用として  $80\ \mu\text{m}$  程度の外径のものも商品化されている。本発明においても一般的な光ファイバと同様な範囲の外径を取りうるが、上記範囲に制限されるものではない。

また、コア 1 の半径  $a_1$  によってカットオフ波長を制御することが可能であるが、そのようにしてカットオフ波長をより短くすると、曲げ損失が大きくなる傾向がある。したがってコア 1 の半径  $a_1$  はコア 1 の比屈折率差  $\Delta_1$  と合わせて、要求される MFD、カットオフ波長、曲げ損に依じて適切に選択される。

コア 1 の半径に対する第 1 クラッド層 2 の外縁の半径の比 ( $a_2/a_1$ ) は、第 2 クラッド層 3 の位置を表す。本発明では、この値が 2.5 以上、好ましくは 3.0 以上とされる。 $a_2/a_1$  の値が上記範囲となる位置に第 2 クラッド層 3 を設けることにより、後記で詳述する図 2～3 に示されるように、モードフィールド径 (Mode Field Diameter、本明細書では MFD ということもある。) の変動を小さく抑えつつ、曲げ損失特性を改善することができる。

$a_2/a_1$  は、かなり大きくしても曲げ損の低減効果が期待される。しかしながら、 $a_2/a_1$  が大きくなると  $\Delta_2$  の変化による光学特性、特にカットオフ波長の変化が顕著となり製造性が悪化する。また、 $a_2/a_1$  が大きくなると、第 2 クラッド層 3 を設けたことによる効果が低減し、シングルモード伝送が困難になる。このため、 $a_2/a_1$  は 4.5 以下である。

第 2 クラッド層 3 の外縁の半径  $a_3$  についても、比屈折率差  $\Delta$  と同様に後述の屈折率体積  $V$  により規定される。

光ファイバは、 $1300\ \text{nm}$  帯から  $1600\ \text{nm}$  帯にわたる広い波長帯が通信に利用可能である。 $1300\ \text{nm}$  帯用の光ファイバとしては、ITU-T において G.652 として規定されている。 $1300\ \text{nm}$  帯の下限波長としては、 $1260\ \text{nm}$  が一般的に想定されており、G.652 でも  $1260\ \text{nm}$  以下のカットオフ波長が規定されている。本発明の光ファイバでも、 $1300\ \text{nm}$  帯から  $1600\ \text{nm}$  帯にわたる広い領域におけるシングルモード伝送を実現するために、 $1260\ \text{nm}$  以下のカットオフ波長を持つことが望ましい。カットオフ波長は、MFD や曲げ損失といった光学特性とトレードオフの関係にあり、所望の特性に応じて、屈折率分布が設定される。

また、曲げ損比は、 $a_2/a_1$ の値および前記Vの値と相関関係にあることがわかった。具体的には、Vが大きくなると曲げ損比が小さくなる傾向があり、Vと曲げ損失との関係は $a_2/a_1$ の値、つまり低屈折率層の位置により決まる。本発明において、より優れた曲げ損失特性を達成するには、上記数式(1)で表される第2クラッド層の屈折率体積(V)が $25\% \cdot \mu m^2$ 以上であることが好ましく、 $50\% \cdot \mu m^2$ 以上であることがより好ましい。また、 $1260\text{ nm}$ 以上のシングルモード伝送を考慮に入れた場合、前記Vの値が $110\% \cdot \mu m^2$ 以下であることが好ましい。

本発明によれば、第2クラッド層を設けたことにより曲げによる損失を効果的に低減させることができる。

例えば、後記に詳述する表1~4に示されているように、光ファイバを直径 $20\text{ mm}$  ( $20\text{ mm } \phi$ 、以下 $20\phi$ と略記することもある。)のマンドレルに10回巻回させたときに生じる曲げ損失増加の値(測定波長 $1550\text{ nm}$ 、以下同様。)については、第2クラッド層3を設けない単峰型の屈折率分布で、同じカットオフ波長が得られるように構成された単峰型光ファイバにおける上記曲げ損失増加の値を1とするとき、本発明にかかる光ファイバの曲げ損失増加の比(本明細書において、曲げ損比という。)を波長 $1550\text{ nm}$ において0.4以下、好ましくは0.15以下に低減させることができる。

また、本発明によれば、曲げによる損失がより小さい光ファイバを得ることができる。具体的には、直径 $15\text{ mm}$  ( $15\text{ mm } \phi$ 、以下 $15\phi$ と略記することもある。)のマンドレルに10回巻いたときに生じる前記曲げ損比を、波長 $1550\text{ nm}$ において0.55以下、好ましくは0.25以下に低減させることができる。

また、本発明の光ファイバによれば、曲げ直径 $20\text{ mm}$ で巻回したときの波長 $1550\text{ nm}$ における曲げ損失の値を、1ターン当たり0.05 dB以下に低減させることができる。ここで、該1ターン当たりの曲げ損失の値は、例えば、所定直径のマンドレルに10回巻いたときに生じる曲げ損失の値を10で除して算出することができる。

さらには、曲げ直径 $20\text{ mm}$ で巻回したときの波長 $1650\text{ nm}$ における曲げ

損失の値を、1ターン当たり0.05 dB以下に低減させることも可能である。

また、本発明によれば、曲げによる損失をこのように低く抑えつつ、モードフィールド径が大きい光ファイバを実現することができる。具体的には、波長1550 nmにおけるモードフィールド径が8.3  $\mu$ m以上である光ファイバを得ることが可能である。

また、本発明の光ファイバによれば、曲げ直径15 mmで巻回したときの波長1550 nmにおける曲げ損失の値を、1ターン当たり0.05 dB以下に低減させることができる。

さらには、曲げ直径15 mmで巻回したときの波長1650 nmにおける曲げ損失の値を、1ターン当たり0.05 dB以下に低減させることも可能である。

また、本発明によれば、曲げによる損失をこのように低く抑えつつ、モードフィールド径が大きい光ファイバを実現することができる。具体的には、波長1550 nmにおけるモードフィールド径が7.8  $\mu$ m以上である光ファイバを得ることが可能である。

また、本発明によれば、曲げによる損失をこのように低く抑えつつ、モードフィールド径が大きい光ファイバを実現することができる。具体的には、波長1310 nmにおけるモードフィールド径が7.3  $\mu$ m以上である光ファイバを得ることが可能である。

また、具体的には、波長1310 nmにおけるモードフィールド径が6.8  $\mu$ m以上である光ファイバを得ることが可能である。

さらには、曲げ直径10 mmで巻回したときの波長1550 nmにおける曲げ損失の値を、1ターン当たり0.05 dB以下に低減させることも可能である。

また、本発明の光ファイバによれば、曲げ直径10 mmで巻回したときの波長1650 nmにおける曲げ損失の値を、1ターン当たり0.05 dB以下に低減させることができる。

また、本発明によれば、曲げによる損失をこのように低く抑えつつ、モードフィールド径が大きい光ファイバを実現することができる。具体的には、波長1550 nmにおけるモードフィールド径が7.3  $\mu$ m以上である光ファイバを得ることが可能である。

さらに、具体的には、波長1310nmにおけるモードフィールド径が6.3 $\mu$ m以上である光ファイバを得ることが可能である。

また、本発明によれば、波長1310nmにおけるモードフィールド径が7.9 $\mu$ m以上であり、曲げ直径20mmで巻いたときの波長1550nmにおける曲げ損失の値を、1ターンあたり1dB以下に低減させることができる。

また、本発明によれば、零分散波長が1300nm以上1324nm以下である光ファイバを得ることが可能である。

ここで、波長1550nm帯は、波長1310nm帯とともに広く通信に用いられている波長帯であり、これらの波長帯においては、伝送損失とともにその曲げ損失が小さいという特性が重要である。特に宅内配線などの用途においては、壁際の引き回しや壁際でのコネクタへのファイバ収納において、小さい径で曲げられたり巻回されたりするなどして微小な曲げが入る可能性がある。このため、曲げ直径20mmや曲げ直径15mmといった小さな曲げ径での曲げ特性は重要である。また、線路監視としては1650nmまでの波長帯が想定されており、1650nmにおいても小さな曲げ損失を持つことは重要な特性となる。

また、第2クラッド層3を設けた本発明の光ファイバは、MFDの低減を抑えたいうで単峰型に較べて曲げ損失が大きく低減されるという特徴をもつ。具体的には、本発明の光ファイバの波長1550nmにおけるMFDをM1とし、第2クラッド層3を設けない単峰型の屈折率分布で同じカットオフ波長が得られるように構成された単峰型光ファイバの1550nmにおけるMFDをM2とするととき、M1/M2の値が0.98以上を達成することができる。

さらに、本発明の光ファイバは、第2クラッド層3を設けることにより、上述の種々の特徴を実現している。例えばWDM通信用に開発されたノンゼロ分散シフトファイバ(NZ-DSF: Non-Zero Dispersion Shifted Fiber)が複雑なコアの屈折率分布が必要であったのに対し、本発明の光ファイバでは、コアの屈折率分布を変更することなく、特性の改善が可能であるので、比較的低コストでの製造が可能であるという利点を有する。

#### (実施例)

以下、具体的な実施例を示して本発明の効果を明らかにする。

なお、以下の試験例および実施例における「カットオフ波長」の値は、ITU-T G. 650. Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cable に準拠する方法で測定される。以下の試験例および実施例において、カットオフ波長とは、特に明記しない限り 2 m ファイバカットオフをさす。

(試験例 1)

コア 1 の比屈折率差  $\Delta_1$  : 0.52%、

第 1 クラッド層 2 の比屈折率差  $\Delta_2$  : 0%、

第 2 クラッド層 3 の比屈折率差  $\Delta_3$  : -0.20%、

第 2 クラッド層 3 の厚さとコアの半径との比  $(a_3 - a_2) / a_1 = 3.0$ 、

光ファイバ外径 : 125  $\mu\text{m}$

カットオフ波長 : 1250 nm となるように設計して光ファイバを作製した。

$a_2 / a_1$  の値を変化させたときの MFD の変化および曲げ損失の変化を調べた。MFD および曲げ損失の測定波長は 1550 nm とした。

曲げ損失の測定は、所定の長さの光ファイバを直径 20 mm のマンドレルに 10 回巻いたときのロス増により評価した。すなわち、マンドレルに巻く前の光ファイバから出射される光のパワーを  $P_1$  (単位 : dBm) とし、巻いた時の出射光のパワーを  $P_2$  (単位 : dBm) としたとき、 $P_1 - P_2$  (dB) を曲げ損失とした。その結果を図 2 および図 3 に示す。

図中の破線は、第 2 クラッド層 3 を設けない単峰型の屈折率分布で同じカットオフ波長が得られるように構成された単峰型光ファイバの MFD および曲げ損失の値をそれぞれ示している。

図 3 の結果より、第 2 クラッド層 3 を設けたことにより、単峰型光ファイバに比べて曲げ特性が大幅に改善されていることがわかる。また、 $a_2 / a_1$  の値が増加するにしたがって曲げ損失は徐々に増大する傾向があることがわかる。

また図 2 の結果より、 $a_2 / a_1$  の値が 3.0 より小さい領域では MFD が単峰型に比べて急激に小さくなることがわかる。ITU-T G.652 のような MFD が大きな光ファイバとの接続損失を小さく維持するためには、MFD の減少を抑えることが必要となる。 $a_2 / a_1$  を 2.5 以上にすれば、単峰型に対して 98

%以上のMFDを確保することができ、問題のない接続特性を維持することが可能である。

これらの結果により、 $a_2/a_1$ の値を2.5倍以上、好ましくは3.0倍以上にすることにより、大きなMFDと小さな曲げ損失を実現することが可能であると認められる。

(試験例2)

下記表1に示すように各パラメータを設定して光ファイバを作製し、カットオフ波長、有効コア断面積 ( $A_{eff}$ )、MFD、波長分散、分散スロープ、および零分散波長をそれぞれ周知の手法で測定した。

なお、カットオフ波長の測定については、ITU-T G.650.1 Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cable, 5.3.1 記載の Transmitted Power Technique を用いて行った。通常は、Transmitted Power Technique の中でも、ファイバに小径の曲げを与えたときのパワー損失からカットオフ波長を測定する方法(曲げ法)が用いられる事が多い。しかしながら、今回試作した光ファイバについては、高次モードの曲げ損失も強く、上記曲げ法では正確なカットオフの測定が困難であった。このため、マルチモードファイバを透過したときのパワーを基準として評価する方法(マルチモードリファレンス法)を用いて測定した。

また、曲げ損失特性として、上記試験例1と同様の方法で曲げ損失を測定した。測定波長は、1550nmおよび1650nmとした。マンドレルの直径は20mm、15mm、10mmの3通りとした。測定される曲げ損失が小さい場合は、適時曲げ回数(巻回数)を増やし、測定精度が確保できる曲げ損失を得た上で、巻回数10回あたりの曲げ損失に換算した。なお、表には単位長さあたりのロス増(曲げ損失増加量、単位: dB/m)も併せて記載している。例えば、20mmφマンドレルに10回巻回した時の曲げ損失(前記P1-P2(dB))をPxとすると、単位長さあたりのロス増Pyは以下の式で与えられる。

$$P_x \text{ (単位: dB/m)} = P_y / (\pi \times 0.02 \times 10)$$

また、屈折率体積(V)は、前記数式(1)により算出した。

サンプルNo. 1, 5, 9, 12, 21, 28, 35, 38は、第2クラッド

層3を有しない単峰型光ファイバである。

サンプルNo. 2～4の曲げ損比はサンプルNo. 1の10回巻回時の曲げ損失を1としたときの、サンプルNo. 2～4の10回巻回時の曲げ損失の値の比である。同様に、サンプルNo. 6～8の曲げ損比は、サンプルNo. 5を基準とした値であり、サンプルNo. 10, 11の曲げ損比は、サンプルNo. 9を基準とした値であり、サンプルNo. 13～20の曲げ損比はサンプルNo. 12を基準にした値であり、サンプルNo. 22～27の曲げ損比は、サンプルNo. 21を基準にした値であり、サンプルNo. 29～34の曲げ損比は、サンプルNo. 28を基準とした値であり、サンプルNo. 36, 37の曲げ損比は、サンプルNo. 35を基準とした値であり、サンプルNo. 39, 40の曲げ損比は、サンプルNo. 38を基準とした値である。

なお、サンプルNo. 16, 18, 24～27, 32は、Vの値が大きく、カットオフ波長を基準のサンプルと同程度に小さくすることができなかった。従って、これらのサンプルについては、曲げ損比を記載していない場合がある。また、サンプルNo. 35, 38の一部の測定条件では、曲げ損があまりにも大きく評価が不能であった。このため、サンプルNo. 36, 37, 39, 40の一部には、曲げ損比が記載されていない事がある。測定結果を表2～4に示す。

表 1

サンプル No.	$\Delta_1$ [%]	$\Delta_2$ [%]	$\Delta_3$ [%]	$a_1$ [ $\mu\text{m}$ ]	$a_2$ [ $\mu\text{m}$ ]	$a_3$ [ $\mu\text{m}$ ]	$a_2/a_1$	$a_3/a_1$	V [% $\mu\text{m}^2$ ]	$2a_2/\text{MFD}$ at 1550nm
1	0.65	0.00	—	3.04	9.12	—	3.0	—	—	—
2	0.65	0.00	-0.30	3.01	7.83	12.05	2.6	4.0	25	2.1
3	0.65	0.00	-0.30	2.99	8.97	13.46	3.0	4.5	30	2.4
4	0.65	0.00	-0.40	2.99	8.98	13.48	3.0	4.5	40	2.4
5	0.60	0.00	—	3.18	9.53	—	3.0	—	—	—
6	0.60	0.00	-0.30	3.13	8.14	13.16	2.6	4.2	32	2.1
7	0.60	0.00	-0.30	3.12	9.35	14.03	3.0	4.5	33	2.4
8	0.60	0.00	-0.40	3.12	9.35	14.03	3.0	4.5	44	2.4
9	0.58	0.00	—	4.85	14.55	—	3.0	—	—	—
10	0.58	-0.05	-0.30	3.32	9.97	14.95	3.0	4.5	37	2.6
11	0.58	-0.10	-0.30	3.44	10.31	15.47	3.0	4.5	40	2.7
12	0.52	0.00	—	3.43	10.30	—	3.0	—	—	—
13	0.52	0.00	-0.20	3.35	10.04	15.40	3.0	4.6	27	2.4
14	0.52	0.00	-0.20	3.31	13.23	18.53	4.0	5.6	34	3.2
15	0.52	0.00	-0.40	3.36	10.08	15.45	3.0	4.6	55	2.4
16	0.52	0.00	-0.40	3.35	10.06	20.13	3.0	6.0	122	2.4
17	0.52	0.00	-0.40	3.31	13.25	18.55	4.0	5.6	67	3.2
18	0.52	0.00	-0.40	3.31	13.26	23.20	4.0	7.0	145	3.2
19	0.52	0.00	-0.60	3.36	10.08	13.78	3.0	4.1	53	2.4
20	0.52	0.00	-0.60	3.32	13.27	16.93	4.0	5.1	66	3.2
21	0.45	0.00	—	3.72	11.15	—	3.0	—	—	—
22	0.45	0.00	-0.25	3.61	10.82	16.23	3.0	4.5	37	2.4
23	0.45	0.00	-0.35	3.61	10.83	16.25	3.0	4.5	51	2.4
24	0.45	0.00	-0.40	3.61	10.84	21.68	3.0	6.0	141	2.4
25	0.45	0.00	-0.40	3.57	14.27	24.98	4.0	7.0	168	3.2
26	0.45	0.00	-0.60	3.62	10.85	19.90	3.0	5.5	167	2.4
27	0.45	0.00	-0.60	3.57	14.28	23.20	4.0	6.5	201	3.2
28	0.35	0.00	—	4.28	12.84	—	3.0	—	—	—
29	0.35	0.00	-0.40	4.10	12.31	16.42	3.0	4.0	47	2.4
30	0.35	0.00	-0.40	4.15	10.79	14.94	2.6	3.6	64	2.2
31	0.35	0.00	-0.20	4.05	16.19	28.33	4.0	7.0	108	3.2
32	0.35	0.00	-0.40	4.10	12.31	24.63	3.0	6.0	182	2.4
33	0.35	0.00	-0.25	4.14	10.35	14.49	2.50	3.50	25.71	2.06
34	0.35	0.00	-0.25	4.10	12.29	16.38	3.00	4.00	29.35	2.44
35	0.32	0.00	—	4.51	13.54	—	3.00	—	—	—
36	0.32	0.00	-0.25	4.29	12.86	17.15	3.00	4.00	32.17	2.44
37	0.32	0.00	-0.25	4.29	12.86	19.30	3.00	4.50	51.71	2.44
38	0.25	0.00	—	5.21	15.63	—	3.00	—	—	—
39	0.25	0.00	-0.25	4.86	14.57	19.43	3.00	4.00	41.27	2.44
40	0.25	0.00	-0.25	4.92	12.29	17.21	2.50	3.50	36.27	2.07

表 2

サンプル No.	カット オフ波長 [ $\mu\text{m}$ ]	$A_{\text{eff}}$ at1310nm [ $\mu\text{m}^2$ ]	MFD at1310nm [ $\mu\text{m}$ ]	$A_{\text{eff}}$ at1550nm [ $\mu\text{m}^2$ ]	MFD at1550nm [ $\mu\text{m}$ ]	零分散 波長 [nm]	波長分散 at1550nm [ps/nm/km]	分散 スロープ at1550nm [ps/nm <sup>2</sup> /km]
1	1.25	34.2	6.58	42.4	7.44	1359.4	11.9	0.054
2	1.25	33.8	6.55	41.6	7.37	1353.7	13.2	0.059
3	1.25	33.7	6.54	41.8	7.39	1361.3	12.3	0.058
4	1.25	33.7	6.54	41.8	7.39	1360.0	12.5	0.059
5	1.25	37.2	6.86	46.1	7.75	1350.6	12.8	0.055
6	1.25	36.7	6.82	45.2	7.68	1348.3	13.7	0.060
7	1.25	36.6	6.81	45.4	7.70	1353.0	13.1	0.059
8	1.25	36.6	6.81	45.3	7.69	1352.2	13.2	0.059
9	1.25	38.5	6.98	47.7	7.89	1347.2	13.1	0.055
10	1.25	37.8	6.87	45.7	7.67	1332.0	14.5	0.057
11	1.25	32.8	6.82	44.8	7.55	1318.6	15.6	0.056
12	1.25	43.2	7.39	53.4	8.34	1337.5	14.1	0.056
13	1.25	42.3	7.32	52.4	8.28	1341.5	14.1	0.059
14	1.25	41.9	7.30	52.4	8.29	1347.0	13.3	0.057
15	1.25	42.4	7.33	52.4	8.27	1339.4	14.5	0.060
16	1.45	42.3	7.33	52.3	8.27	1339.7	14.4	0.060
17	1.25	41.9	7.30	52.4	8.29	1346.6	13.4	0.057
18	1.55	41.9	7.31	52.5	8.29	1346.5	13.4	0.057
19	1.25	42.4	7.33	52.3	8.26	1338.5	14.7	0.061
20	1.25	42.0	7.31	52.5	8.29	1345.9	13.5	0.058
21	1.25	50.3	7.97	62.0	8.98	1326.5	15.2	0.058
22	1.25	48.9	7.88	60.6	8.90	1330.8	15.3	0.060
23	1.25	49.0	7.88	60.5	8.89	1329.9	15.4	0.061
24	1.51	49.0	7.88	60.6	8.89	1329.5	15.5	0.061
25	1.60	48.6	7.86	60.7	8.92	1335.2	14.5	0.058
26	1.58	49.1	7.88	60.5	8.88	1328.6	15.7	0.062
27	1.62	48.6	7.86	60.7	8.92	1335.1	14.6	0.059
28	1.25	65.7	9.09	80.5	10.22	1311.9	16.9	0.059
29	1.25	63.2	8.95	78.0	10.08	1316.1	16.9	0.062
30	1.26	63.5	8.95	77.2	10.00	1310.2	17.9	0.064
31	1.25	62.5	8.92	78.2	10.12	1320.7	16.1	0.060
32	1.46	63.2	8.95	78.0	10.08	1316.0	16.9	0.063
33	1.25	63.43	8.95	77.43	10.03	1311.7	17.5	0.063
34	1.25	63.07	8.94	78.04	10.09	1317.0	16.7	0.061
35	1.25	72.39	9.53	88.50	10.71	1307.6	17.4	0.060
36	1.25	69.07	9.36	85.41	10.56	1312.9	17.2	0.062
37	1.25	69.09	9.36	85.41	10.56	1312.8	17.2	0.062
38	1.25	94.52	10.87	114.82	12.18	1298.4	18.5	0.061
39	1.25	88.57	10.60	109.38	11.94	1303.9	18.2	0.063
40	1.25	89.07	10.60	108.38	11.85	1300.0	18.9	0.063

表 3

サンプル No.	曲げ損失at1550nm								
	20φ			15φ			10φ		
	[dB/m]	×10t [dB]	曲げ損比	[dB/m]	×10t [dB]	曲げ損比	[dB/m]	×10t [dB]	曲げ損比
1	0.002	0.001	—	0.015	0.007	—	1.063	0.334	—
2	0.000	<0.001	—	0.003	0.002	0.00	0.142	0.045	0.13
3	0.001	<0.001	—	0.003	0.002	0.00	0.136	0.043	0.13
4	0.000	<0.001	—	0.002	0.001	0.00	0.067	0.021	0.06
5	0.009	0.006	—	0.067	0.042	—	3.517	2.210	—
6	0.002	0.001	0.00	0.011	0.005	0.12	0.302	0.142	0.06
7	0.002	0.002	0.00	0.012	0.006	0.14	0.349	0.164	0.07
8	0.001	<0.001	0.00	0.007	0.003	0.08	0.167	0.079	0.04
9	0.017	0.011	—	0.115	0.054	1.30	5.257	2.477	1.12
10	0.002	0.001	0.00	0.007	0.003	0.08	0.172	0.081	0.04
11	0.001	<0.001	0.00	0.004	0.002	0.04	0.083	0.039	0.02
12	0.133	0.084	—	0.731	0.344	—	25.75	8.090	—
13	0.043	0.027	0.32	0.159	0.075	0.22	3.020	0.949	0.12
14	0.051	0.032	0.39	0.179	0.084	0.24	3.111	0.977	0.12
15	0.012	0.007	0.09	0.035	0.016	0.05	0.485	0.152	0.02
16	0.001	<0.001	—	0.002	0.001	—	0.013	0.004	—
17	0.014	0.009	0.11	0.040	0.019	0.06	0.504	0.158	0.02
18	0.001	<0.001	—	0.002	0.001	—	0.016	0.005	—
19	0.012	0.008	0.09	0.037	0.017	0.05	0.522	0.164	0.02
20	0.015	0.009	0.11	0.043	0.020	0.06	0.556	0.175	0.02
21	0.845	0.531	—	3.280	1.546	—	71.12	22.34	—
22	0.214	0.134	0.25	0.553	0.260	0.17	6.454	2.028	0.25
23	0.109	0.068	0.13	0.253	0.119	0.08	2.493	0.783	0.10
24	0.004	0.003	0.00	0.006	0.003	0.00	0.023	0.007	—
25	0.005	0.003	0.01	0.006	0.003	0.00	0.023	0.007	—
26	0.002	0.001	0.00	0.002	0.001	0.00	0.007	0.002	—
27	0.002	0.001	0.00	0.002	0.001	0.00	0.007	0.002	—
28	14.00	8.796	—	37.98	17.90	—	516	162	—
29	1.854	1.165	0.13	3.036	1.431	0.08	19.12	6.007	0.04
30	0.637	0.400	0.05	0.911	0.429	0.02	4.592	1.443	0.01
31	0.367	0.231	0.03	0.426	0.201	0.01	1.546	0.486	0.06
32	0.015	0.010	0.00	0.011	0.005	0.01	0.019	0.006	—
33	4.150	2.608	0.30	8.028	3.783	0.21	66.11	20.77	0.13
34	4.180	2.626	0.30	7.764	3.659	0.20	59.93	18.83	0.12
35	30.20	18.98	—	76.23	35.92	—	測定不能	測定不能	—
36	7.290	4.580	0.24	11.84	5.579	0.16	75.97	23.87	—
37	3.220	2.023	0.11	4.548	2.143	0.06	23.33	7.330	—
38	160.0	100.5	—	321.3	151.4	—	測定不能	測定不能	—
39	22.50	14.14	0.14	26.81	12.63	0.08	111.9	35.16	—
40	21.60	13.57	0.14	26.37	12.43	0.08	114.0	35.80	—

表 4

サンプル No.	曲げ損失at1650nm								
	20φ			15φ			10φ		
	[dB/m]	×10t [dB]	曲げ損比	[dB/m]	×10t [dB]	曲げ損比	[dB/m]	×10t [dB]	曲げ損比
1	0.024	0.015	—	0.152	0.071	—	6.327	1.988	—
2	0.008	0.005	0.00	0.035	0.017	0.23	0.892	0.280	0.14
3	0.008	0.005	0.33	0.035	0.017	0.23	0.829	0.260	0.13
4	0.005	0.003	0.00	0.020	0.009	0.13	0.421	0.132	0.07
5	0.095	0.060	—	0.502	0.316	—	16.60	5.215	—
6	0.023	0.011	0.18	0.084	0.040	0.13	1.522	0.478	0.09
7	0.027	0.013	0.21	0.095	0.045	0.14	1.709	0.537	0.10
8	0.016	0.008	0.13	0.054	0.025	0.08	0.839	0.264	0.05
9	0.159	0.075	1.26	0.772	0.364	1.15	22.47	7.059	1.35
10	0.018	0.008	0.14	0.057	0.027	0.09	0.871	0.274	0.05
11	0.010	0.005	0.08	0.031	0.015	0.05	0.450	0.141	0.03
12	0.863	0.542	—	3.522	1.660	—	83.83	26.34	—
13	0.281	0.176	0.33	0.781	0.368	0.22	10.23	3.214	0.12
14	0.325	0.204	0.38	0.854	0.403	0.24	10.31	3.238	0.12
15	0.080	0.050	0.09	0.183	0.086	0.05	1.762	0.553	0.02
16	0.007	0.004	—	0.011	0.005	—	0.052	0.016	—
17	0.094	0.059	0.11	0.203	0.096	0.06	1.781	0.560	0.02
18	0.009	0.006	—	0.013	0.006	—	0.063	0.020	—
19	0.083	0.052	0.10	0.194	0.091	0.06	1.915	0.602	0.02
20	0.098	0.061	0.11	0.216	0.102	0.06	1.972	0.619	0.02
21	3.724	2.340	—	11.26	5.305	—	176	55.16	—
22	0.958	0.602	0.26	1.956	0.922	0.17	16.78	5.272	0.10
23	0.500	0.314	0.13	0.923	0.435	0.08	6.726	2.113	0.04
24	0.022	0.014	—	0.024	0.011	—	0.073	0.023	—
25	0.024	0.015	—	0.025	0.012	—	0.073	0.023	—
26	0.010	0.006	—	0.009	0.004	—	0.024	0.007	—
27	0.011	0.007	—	0.010	0.005	—	0.024	0.008	—
28	36.35	22.84	—	81.39	38.36	—	860	270	—
29	5.060	3.179	0.14	7.001	3.299	0.09	35.28	11.08	0.04
30	1.873	1.777	0.05	2.269	1.069	0.03	9.220	2.897	0.01
31	1.026	0.645	0.03	1.019	0.480	0.01	3.016	0.948	0.00
32	0.050	0.031	—	0.032	0.015	—	0.046	0.014	—
33	11.20	7.037	0.31	18.19	8.571	0.22	118.4	37.21	0.14
34	11.05	6.943	0.30	17.29	8.146	0.21	106.2	33.35	0.12
35	68.87	43.27	—	146.9	69.20	—	測定不能	測定不能	—
36	16.82	10.57	0.24	23.44	11.04	0.16	122.5	38.48	—
37	7.585	4.766	0.11	9.229	4.349	0.06	38.767	12.18	—
38	265.4	166.8	—	466.4	219.8	—	測定不能	測定不能	—
39	38.48	24.18	0.14	40.92	19.28	0.09	146.3	45.95	—
40	37.85	23.78	0.14	41.10	19.37	0.09	151.9	47.71	—

表1～4の結果より、低屈折率層を設けた場合は、曲げ損失を低減することが可能になることが分かる。曲げ損失低減の効果としては、低屈折率層の有無で曲げ損失を比較した曲げ損比パラメータを見るとわかりやすい。例えば、1550 nm、20 mm  $\phi$ の曲げ損失で見ると、低屈折率層を持たないサンプルNo. 21, 28, 35, 38では、10回巻き当たり0.5 dBを越える曲げ損失となっている。特にサンプルNo. 35, 38では、10 dBを超える曲げ損失が発生している。しかしながら、サンプルNo. 22, 23, 29～34, 36, 37, 39, 40はいずれも0.4以下の曲げ損比が得られている。サンプルNo. 22, 23, 30, 31では、10回巻き当たり0.5 dBを下回る曲げ損失となっている。サンプルNo. 1, 5, 9, 12で示したように、低屈折率層を設けない構造でも20 mm  $\phi$ 、10回巻きにおいて0.5 dB以下の設計を行うことは可能である。しかしながら、これらの低屈折率層を持たない構造では、1310 nmにおいて7.5  $\mu$ mを下回るMFDとなり、SMFとの接続損失は、本発明の低屈折率層を用いた設計に比べて悪化するという点が好ましくない。また、No. 29, 33, 34, 36, 37は、20 mm  $\phi$ 、10回巻きにおける曲げ損失が1 dBを超える値となっているが、基準となるNo. 28, 35に対しては、5 dB以上の損失低減を実現し、数dB程度の曲げ損失となっている。これらのサンプルは、ITU-T G. 652に規定されているシングルモード光ファイバに準拠するMFD、カットオフ波長、零分散波長を有した上で、曲げによるロス増を大きく抑制するという効果を有しており、通常の線路用ケーブル敷設時に生じる曲げによるロス増を抑制するという効果を有している。

一方、屈折率体積Vが110%  $\cdot \mu$ m<sup>2</sup>以上となるサンプルNo. 16, 18, 24～27, 32は、非常に小さな曲げ損失を示すが、カットオフ波長が非常に長くなり、本発明で目的としている1260 nm以下のシングルモード伝送を実現できないことが分かる。

このような低屈折率層を付加した光ファイバでは、さらに細径の15 mm  $\phi$ においてもMFDを維持した上で、ほとんどロス増をしない設計をすることが可能である。たとえば、サンプルNo. 13～15, 17, 19, 20は、1550 nmにおいて15 mm  $\phi$ 、10回巻き時の曲げ損失は、0.1 dB以下となって

おり、1310 nmにおけるMFDも7.3  $\mu\text{m}$ 程度である。低屈折率層を設けない単峰型でも、No. 1, 5, 9の構造を用いることにより15 mm  $\phi$ 、10回巻き時の曲げ損失を1550 nmにおいて0.1 dB以下にすることが可能である。しかしながら、1310 nmにおけるMFDは6.9  $\mu\text{m}$ を下回る値となり、同等な曲げ特性をもつ本発明の構造のファイバに比べて、SMFとの接続特性が悪化する事が分かる。

15 mm  $\phi$ において非常に小さな曲げ損失が得られているサンプルNo. 1, 5, 9においても、10 mm  $\phi$  (10  $\phi$ と略記することもある。)になると曲げ損失が発生する。10 mm  $\phi$ という非常に小さな曲げ径においても、低屈折率層を付加した構造を用いることにより、曲げ損失を低減することが可能である。例えば、サンプルNo. 2~4, 6~8は、それぞれサンプルNo. 1, 5とほぼ同程度のMFDを示しながら、1550 nm、10 mm  $\phi$ において0.13以下の曲げ損比が得られている。また、サンプルNo. 10, 11では、1310 nmにおけるMFDが同程度のサンプルNo. 6~8にくらべて更に小さな曲げ損失が得られている。これは、 $\Delta_2$ の比屈折率差を若干負に設定した効果によるものと考えられる。

#### (実施例1)

図4に本実施例における光ファイバの屈折率分布を示す。

本実施例の光ファイバは、図中(a)で示す領域をVAD法により生成した。その後、VAD法により得られたコア材を延伸した後、外付けを行い領域(b)を生成した。さらにこの母材を延伸後、再度外付けを行い領域(c)を生成した。領域(b)の生成の際には、ガラス化の過程でSiF<sub>4</sub>ガスを導入し、F添加を行うことによりシリカレベルより低い屈折率を得た。図4は、上記の工程により得られた母材の屈折率分布をプリフォームアナライザ(商品名: MODEL 2600, Photon Kinetics / York Technology 社製)で測定した結果である。この図から分かるように本実施例の光ファイバの屈折率分布は完全なステップ型にはなっていないが、本発明の効果を得ることができる。

本実施例の光ファイバの各パラメータは次の通りであった。

コア1の半径  $a_1$ : 3.09  $\mu\text{m}$

第1クラッド層2の半径  $a_2$  : 11.83  $\mu\text{m}$

第2クラッド層3の半径  $a_3$  : 16.95  $\mu\text{m}$

第1クラッド層2の半径とコア1の半径との比  $a_2/a_1$  : 3.83

光ファイバ外径 : 125  $\mu\text{m}$

第2クラッド層3の屈折率体積 (V) : 36.8%  $\cdot \mu\text{m}^2$

なお、コア1の比屈折率差 $\Delta_1$ を上記コア径 $a_1$ をもってステップ換算すると、0.50%、第1クラッドの比屈折率差 $\Delta_2$ は、-0.03%、第2クラッドの比屈折率差 $\Delta_3$ は、-0.25%となった。

本実施例の光ファイバについて、波長1550nmにおける伝送損失、カットオフ波長、MFD、波長分散、分散スロープ、零分散波長、および曲げ損失を測定した。その結果を表5に示す。また、ITU-TにおいてG.652として規定されている通常の1.3 $\mu\text{m}$ 帯用のシングルモード光ファイバと融着接続した時の接続損失を測定したところ1550nmにおいて、0.18dBであり問題のないレベルであった。

なおカットオフ波長の測定は、2mの光ファイバについて、ITU-T G.650.1 Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cableに準拠する測定方法で行った。

(比較例1)

上記実施例1において、光ファイバの屈折率分布を、第2クラッド層3を設けない単峰型に変更した光ファイバを作製した。

すなわち、上記実施例1に用いた領域(a)までのコア母材に対して、領域(b)の外付けを行わずに領域(c)のみの外付けを行い、光ファイバ母材を製造した。この際、カットオフ波長が実施例1と同程度になるように領域(c)の厚さを調整した。

得られた光ファイバについて、上記実施例1と同様にして各光学特性を測定した。その結果を表5に合わせて示す。

表 5

項目	単位	測定波長	実施例1	比較例1	
伝送損失	[dB/km]	1550 nm	0.208	0.205	
カットオフ波長	[ $\mu\text{m}$ ]	—	1.20	1.20	
MFD	[ $\mu\text{m}$ ]	1310 nm	7.37	7.35	
		1550 nm	8.54	8.51	
波長分散	[ps/nm/km]	1550 nm	11.43	14.50	
分散スロープ	[ps/nm <sup>2</sup> /km]	1550 nm	0.060	0.060	
零分散波長	[nm]	—	1381	1342	
曲げ損失	20 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.08	0.15
			1650 nm	0.38	2.33
	15 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.34	0.64
			1650 nm	1.11	6.22
	10 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	1.40	10.2
			1650 nm	3.90	62.0

## (実施例 2)

図 5 に本実施例における光ファイバの屈折率分布を示す。本実施例の光ファイバは上記実施例 1 と同じ手順で製造した。図 5 は、母材の屈折率分布をプリフォームアナライザで測定した結果である。この図から分かるように本実施例の光ファイバの屈折率分布は完全なステップ型にはなっていないが、本発明の効果を得ることができる。

本実施例の光ファイバの各パラメータは次の通りであった。

コア 1 の半径  $a_1$  : 3.40  $\mu\text{m}$

第 1 クラッド層 2 の半径  $a_2$  : 11.48  $\mu\text{m}$

第 2 クラッド層 3 の半径  $a_3$  : 16.45  $\mu\text{m}$

第 1 クラッド層 2 の半径とコア 1 の半径との比  $a_2/a_1$  : 3.37

光ファイバ外径 : 125  $\mu\text{m}$

第 2 クラッド層 3 の屈折率体積 (V) : 55.8%  $\cdot \mu\text{m}^2$

なお、コア 1 の比屈折率差  $\Delta_1$  を上記コア径  $a_1$  をもってステップ換算すると、0.40%、第 1 クラッドの比屈折率差  $\Delta_2$  は、-0.02%、第 2 クラッドの比屈折率差  $\Delta_3$  は、-0.4% となった。

本実施例の光ファイバについて、上記実施例 1 と同様に波長 1550 nm における伝送損失、カットオフ波長、MFD、波長分散、分散スロープ、零分散波長

、および曲げ損失を測定した。その結果を表6に示す。また、実施例1と同様に接続損失を測定したところ1550nmにおいて、0.05dBであり問題のないレベルであった。

(比較例2)

上記実施例2において、光ファイバの屈折率分布を、第2クラッド層3を設けない単峰型に変更した光ファイバを作製した。

すなわち、上記実施例1に用いた領域(a)までのコア母材に対して、領域(b)の外付けを行わずに領域(c)のみの外付けを行い、光ファイバ母材を製造した。この際、カットオフ波長が実施例2と同程度になるように領域(c)の厚さを調整した。

得られた光ファイバについて、上記実施例2と同様にして各光学特性を測定した。その結果を表6に合わせて示す。

表6

項目	単位	測定波長	実施例2	比較例2	
伝送損失	[dB/km]	1550 nm	0.215	0.212	
カットオフ波長	[ $\mu$ m]	—	1.22	1.22	
MFD	[ $\mu$ m]	1310 nm	8.27	8.42	
		1550 nm	9.49	9.50	
波長分散	[ps/nm/km]	1550 nm	14.03	15.92	
分散スロープ	[ps/nm <sup>2</sup> /km]	1550 nm	0.064	0.060	
零分散波長	[nm]	—	1351	1326	
曲げ損失	20 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.69	2.09
		[dB]	1650 nm	1.67	17.29
	15 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	1.02	5.43
		[dB]	1650 nm	3.21	31.19
	10 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	2.20	41.8
		[dB]	1650 nm	4.80	122

(実施例3)

図6に本実施例における光ファイバの屈折率分布を示す。

本実施例の光ファイバは、図中(a)で示す領域をMCVD法により生成した。図中(b)は、CVD法における出発石英管である。MCVD法により得られたコア材に対して外付けを行い、領域(c)を生成した。図6は、母材の屈折率

分布をプリフォームアナライザで測定した結果である。この図から分かるように本実施例においても光ファイバの屈折率分布は完全なステップ型にはなっていないが、本発明の効果を得ることができる。

本実施例の光ファイバの各パラメータは次の通りであった。

コア1の半径  $a_1$  : 3.12  $\mu\text{m}$ 、

第1クラッド層2の半径  $a_2$  : 10.30  $\mu\text{m}$ 、

第2クラッド層3の半径  $a_3$  : 16.62  $\mu\text{m}$ 、

第1クラッド層2の半径とコア1の半径との比  $a_2/a_1 = 3.30$ 、

光ファイバ外径 : 125  $\mu\text{m}$ 、

第2クラッド層3の屈折率体積 (V) : 42.0%  $\cdot \mu\text{m}^2$

なお、コア1の比屈折率差 $\Delta_1$ を上記コア径  $a_1$  をもってステップ換算すると、0.52%、第1クラッド層の比屈折率差 $\Delta_2$ は、-0.07%、第2クラッドの比屈折率差 $\Delta_3$ は、-0.25%となった。

本実施例の光ファイバについて、上記実施例1と同様にして波長1550nmにおける伝送損失、カットオフ波長、MFD、波長分散、分散スロープ、零分散波長、および曲げ損失を測定した。その結果を下記表7に示す。

また、実施例1と同様にして接続損失を測定したところ、1550nmにおいて0.29dBであった。

#### (比較例3)

上記実施例3において、光ファイバの屈折率分布を、第2クラッド層3を設けない単峰型に変更した光ファイバを作製した。

すなわち、上記実施例3においては、領域(a)を合成するMCVD法のプロセスにおいて、第2クラッドに相当する屈折率が低い層を合成するためにフッ素系のガスを用いたが、本比較例ではこのフッ素系ガスを用いずにシリカとほぼ同程度の屈折率の層を合成してコア母材を準備した。次いで、このコア母材に対して領域(c)の外付けを行って光ファイバ母材を製造した。この際、カットオフ波長が実施例3と同程度となるように領域(c)の厚さを調整した。

得られた光ファイバについて、上記実施例3と同様にして各光学特性を測定した。その結果を表7に合わせて示す。

表 7

項目	単位	測定波長	実施例3	比較例3	
伝送損失	[dB/km]	1550 nm	0.216	0.215	
カットオフ波長	[ $\mu\text{m}$ ]	—	1.23	1.23	
MFD	[ $\mu\text{m}$ ]	1310 nm	7.12	7.20	
		1550 nm	8.03	8.05	
波長分散	[ps/nm/km]	1550 nm	13.03	15.35	
分散スロープ	[ps/nm <sup>2</sup> /km]	1550 nm	0.057	0.057	
零分散波長	[nm]	—	1352	1325	
曲げ損失	20 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.02	0.05
			1650 nm	0.15	0.33
	15 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.08	0.66
			1650 nm	0.34	2.79
	10 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.30	8.80
			1650 nm	0.96	21.5

(実施例 4)

図 7 に本実施例における光ファイバの屈折率分布を示す。

本実施例の光ファイバは、図中 (a) で示す領域を VAD 法により生成した。その後、VAD 法により得られたコア材を延伸した後、外付けを行い領域 (b) を生成した。さらにこの母材を延伸後、再度外付けを行い領域 (c) を生成した。領域 (a) の生成時には、内側クラッド合成用のバーナに対して、 $\text{CF}_4$  ガスを加えることにより、石英レベルよりも低い屈折率を得た。また、領域 (b) 生成の際には、ガラス化の過程で  $\text{SiF}_4$  ガスを導入し、F 添加を行うことによりシリカレベルよりも低い屈折率を得た。図 7 は、母材の屈折率分布をプリフォームアナライザにより測定した結果である。この図から分かるように、本実施例においても、光ファイバの分布は完全なステップ型にはなっていないが、本発明の効果を得ることが出来る。

本実施例の光ファイバの各パラメータは以下の通りであった。

コア 1 の半径  $a_1$  : 3.15  $\mu\text{m}$

第 1 クラッド層 2 の半径  $a_2$  : 10.37  $\mu\text{m}$

第 2 クラッド層 3 の半径  $a_3$  : 16.62  $\mu\text{m}$

第 1 クラッド層 2 の半径とコア 1 の半径の比  $a_2/a_1$  : 3.30

光ファイバ外径 : 80  $\mu\text{m}$

第2クラッド層3の屈折率体積(V):  $42.2\% \cdot \mu\text{m}^2$

なお、コア1の比屈折率差 $\Delta_1$ を上記コア径 $a_1$ をもってステップ換算すると、 $0.56\%$ 、第1クラッド層の比屈折率差 $\Delta_2$ は、 $-0.09\%$ 、第2クラッド層の比屈折率差 $\Delta_3$ は、 $-0.25\%$ となった。

本実施例の光ファイバについて、前記実施例1と同様にしてカットオフ波長、伝送損失、MFD、波長分散、分散スロープ、零分散波長および曲げ損失を測定した。その結果を表8に示す。それぞれの特性の測定波長は、表中に記した。

本実施例において、2mのファイバカットオフ波長は $1.30\mu\text{m}$ であり、 $1.26\mu\text{m}$ よりもやや長めであった。ITU-T G.650.1 Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fiber and cable, 5.3.4 Alternative test method for the cut-off wavelength ( $\lambda_{cc}$ ) of the cabled fiberに基づいて、22mのファイバを用いてケーブルカットオフ波長の評価を行ったところ、本実施例のファイバは $1.23\mu\text{m}$ であり、使用上問題のないことが確認された。

また、本実施例1と同様にして接続損失を測定したところ、 $1550\text{nm}$ において、 $0.4\text{dB}$ であった。

(比較例4)

上記実施例4において、光ファイバの屈折率分布を、第2クラッド層3を設けない構造に変更した光ファイバを作製した。

すなわち、上記実施例4に用いた領域(a)までのコア母材に対して、領域(b)の外付けを行わずに領域(c)のみの外付けを行い、光ファイバ母材の製造をした。つまり、第1クラッド層は、シリカレベルよりも低い値のままである。この際、カットオフ波長が上記実施例4と同程度になるように領域(c)の厚さを調整した。

得られた光ファイバについて、上記実施例4と同様にして各光学特性を測定した。その結果を表8に合わせて示す。

表 8

項目	単位	測定波長	実施例4	比較例4	
伝送損失	[dB/km]	1550 nm	0.205	0.204	
カットオフ波長	[ $\mu$ m]	—	1.30	1.30	
ケーブルカットオフ波長		—	1.23	1.24	
MFD	[ $\mu$ m]	1310 nm	6.90	7.02	
		1550 nm	7.77	7.82	
波長分散	[ps/nm/km]	1550 nm	13.07	15.27	
分散スロープ	[ps/nm <sup>2</sup> /km]	1550 nm	0.057	0.058	
零分散波長	[nm]	—	1353	1327	
曲げ損失	20 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	<0.01	<0.01
			1650 nm	<0.01	0.05
	15 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.06	0.07
			1650 nm	0.16	0.51
	10 $\phi$ × 10t	[dB]	1550 nm	0.10	1.30
			1650 nm	0.74	5.9

## 産業上の利用の可能性

本発明は、曲げ特性に優れた光ファイバに関する。本発明によれば、曲げによる損失が少なく、一般的な伝送用光ファイバとの接続性が良好な光ファイバを、低コストで得ることができる。

## 請求の範囲

1. 中心に配置されたコアと、前記コアの周上に配置された第1クラッド層と、前記第1クラッド層の周上に配置された第2クラッド層と、前記第2クラッド層の周上に配置された第3クラッド層と、を備えた光ファイバであって、

前記コアの最大屈折率は、前記第1クラッド層、第2クラッド層、および第3クラッド層の各最大屈折率のいずれよりも大きく、前記第2クラッド層の最大屈折率は、前記第1クラッド層および第3クラッド層の各最大屈折率のいずれよりも小さく、かつ

前記コアの半径を  $a_1$ 、前記第1クラッド層の外縁の半径を  $a_2$  とするとき、 $a_2/a_1$  の値が 2.5 以上 4.5 以下であり、

前記第3クラッドの屈折率を基準としたときの前記コアの比屈折率差が 0.20 以上 0.70% 以下である。

2. 請求項1記載の光ファイバであって、カットオフ波長が 1260 nm 以下である。

3. 請求項1記載の光ファイバであって、下記数式(1)で表される前記第2クラッド層の屈折率体積  $V$  が  $25\% \cdot \mu\text{m}^2$  以上である：

$$V = \int_{a_2}^{a_3} |\Delta n(r)| \cdot r dr \quad \dots(1)$$

上記数式(1)において

$r$  : 半径、

$\Delta_n(r)$  : 半径  $r$  における比屈折率差 (基準は第3クラッド層の最大屈折率)、

$a_2$  : 第1クラッド層の外縁の半径、

$a_3$  : 第2クラッド層の外縁の半径である。

4. 請求項3記載の光ファイバであって、前記第2クラッド層の屈折率体積  $V$

が  $50\% \cdot \mu\text{m}^2$  以上である。

5. 請求項1記載の光ファイバであって、前記第3クラッド層の最大屈折率を基準としたときの、前記第1クラッド層の比屈折率差が $-0.10\%$ 以上 $0.05\%$ 以下である。

6. 請求項1記載の光ファイバであって、第2クラッド層を有さない単峰型の屈折率分布を有しかつカットオフ波長が共通する単峰型光ファイバを直径 $20\text{mm}$ のマンドレルに10回巻回させたときに生じる波長 $1550\text{nm}$ での曲げ損失増加の値を1とするとき、同様に測定される曲げ損失増加の値の比で表される曲げ損比が $0.4$ 以下である。

7. 請求項1記載の光ファイバであって、第2クラッド層を有さない単峰型の屈折率分布を有しかつカットオフ波長が共通する単峰型光ファイバを直径 $15\text{mm}$ のマンドレルに10回巻回させたときに生じる波長 $1550\text{nm}$ での曲げ損失増加の値を1とするとき、同様に測定される曲げ損失増加の値の比で表される曲げ損比が $0.55$ 以下である。

8. 請求項1記載の光ファイバであって、曲げ直径 $20\text{mm}$ で巻回したときの波長 $1550\text{nm}$ における曲げ損失の値が、1ターン当たり $0.05\text{dB}$ 以下である。

9. 請求項8記載の光ファイバであって、曲げ直径 $20\text{mm}$ で巻回したときの波長 $1650\text{nm}$ における曲げ損失の値が、1ターン当たり $0.05\text{dB}$ 以下である。

10. 請求項8記載の光ファイバであって、波長 $1550\text{nm}$ におけるモードフィールド径が $8.3\mu\text{m}$ 以上である。

- 1 1. 請求項 8 記載の光ファイバであって、曲げ直径 15 mm で巻回したときの波長 1550 nm における曲げ損失の値が、1 ターン当たり 0.05 dB 以下である。
- 1 2. 請求項 11 記載の光ファイバであって、曲げ直径 15 mm で巻回したときの波長 1650 nm における曲げ損失の値が、1 ターン当たり 0.05 dB 以下である。
- 1 3. 請求項 11 記載の光ファイバであって、波長 1550 nm におけるモードフィールド径が 7.8  $\mu$ m 以上である。
- 1 4. 請求項 1 記載の光ファイバであって、第 2 クラッド層を有さない単峰型の屈折率分布を有しかつカットオフ波長が共通する単峰型光ファイバの 1550 nm におけるモードフィールド径 (MFD) の値を 1 とするとき、同様にして測定した MFD の値の比が 0.98 以上である。
- 1 5. 請求項 8 記載の光ファイバであって、波長 1310 nm におけるモードフィールド径が 7.3  $\mu$ m 以上である。
- 1 6. 請求項 11 記載の光ファイバであって、波長 1310 nm におけるモードフィールド径が 6.8  $\mu$ m 以上である。
- 1 7. 請求項 11 記載の光ファイバであって、曲げ直径 10 mm で巻回したときの波長 1550 nm における曲げ損失の値が、1 ターン当たり 0.05 dB 以下である。
- 1 8. 請求項 16 記載の光ファイバであって、曲げ直径 10 mm で巻回したときの波長 1650 nm における曲げ損失の値が、1 ターン当たり 0.05 dB 以下である。

19. 請求項16記載の光ファイバであって、波長1550nmにおけるモードフィールド径が7.3 $\mu$ m以上である。
20. 請求項8記載の光ファイバであって、波長1310nmにおけるモードフィールド径が6.3 $\mu$ m以上である。
21. 請求項1記載の光ファイバであって、波長1310nmにおけるモードフィールド径が7.9 $\mu$ m以上であり、曲げ直径20mmで巻いたときの波長1550nmにおける曲げ損失の値が、1ターンあたり1dB以下である。
22. 請求項1記載の光ファイバであって、曲げ直径20mmで巻いたときと波長1550nmにおける曲げ損失の値が、1ターンあたり0.5dB以下である。
23. 請求項21記載の光ファイバであって、零分散波長が1300nm以上1324nm以下である。

FIG. 1

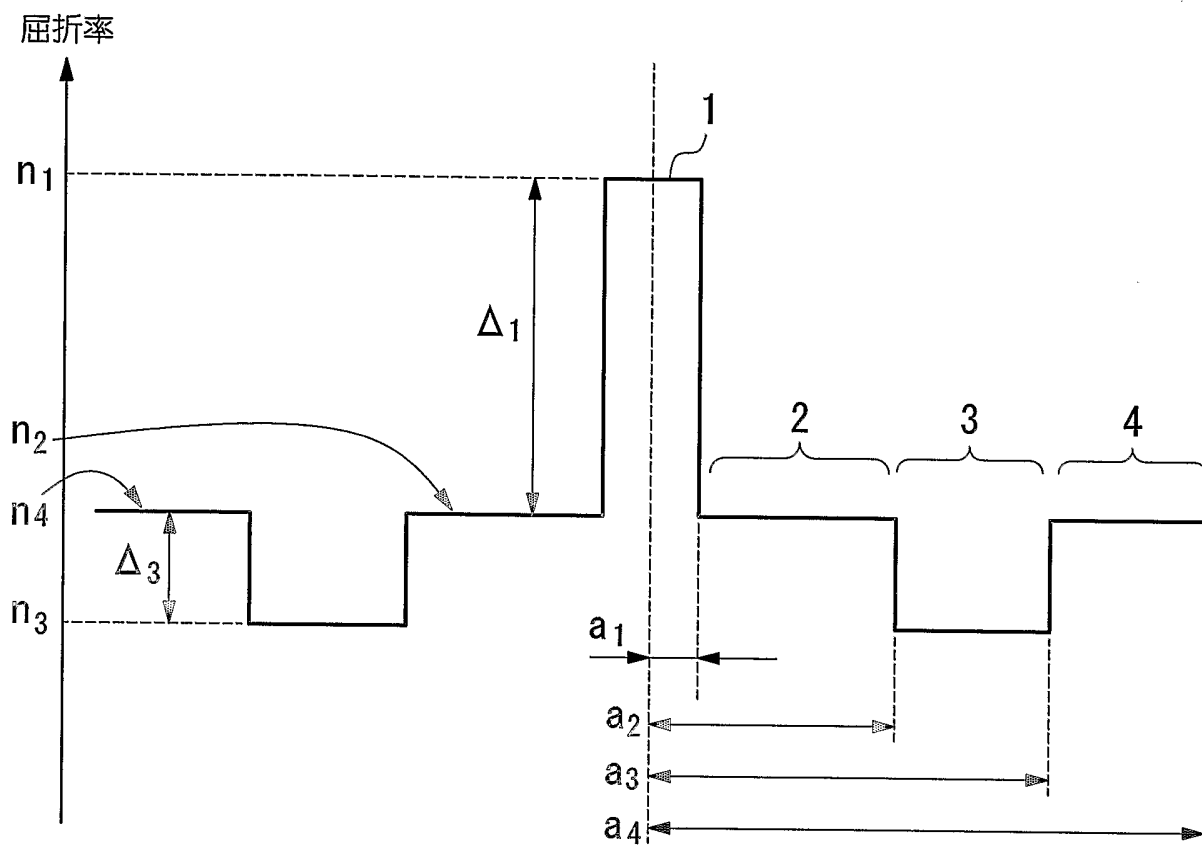


FIG. 2

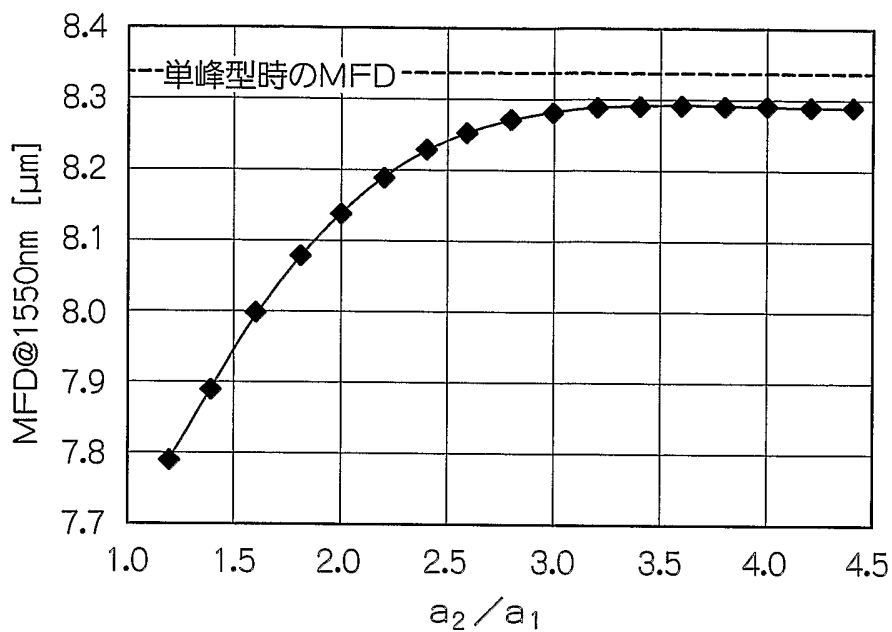


FIG. 3

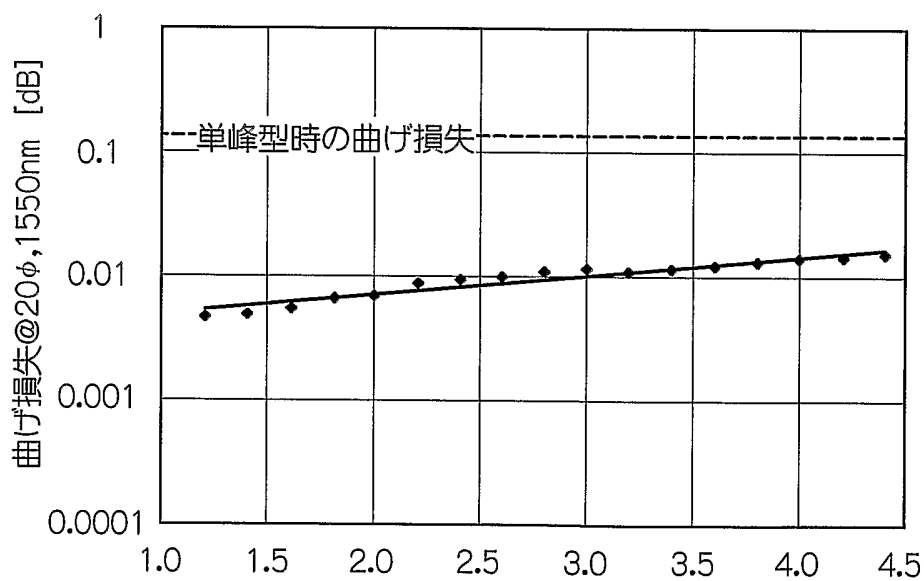


FIG. 4

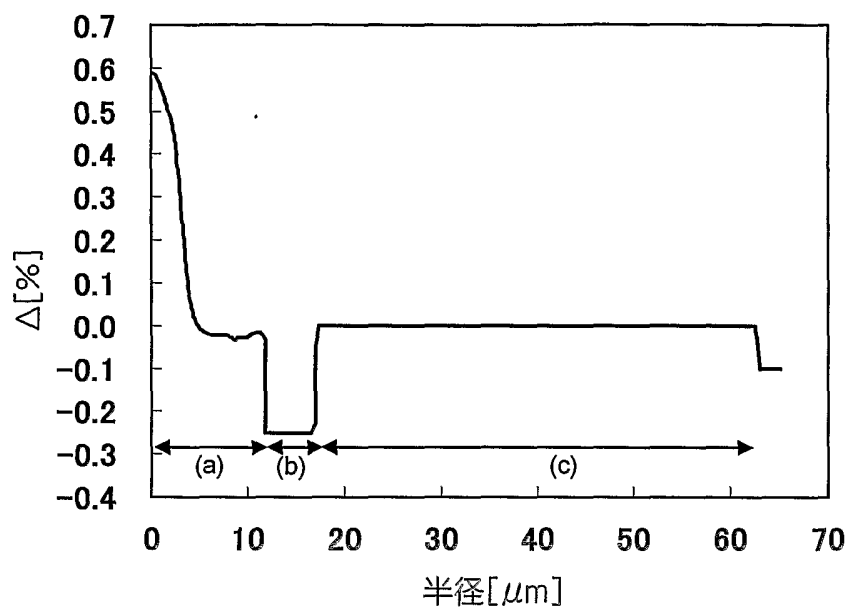


FIG. 5

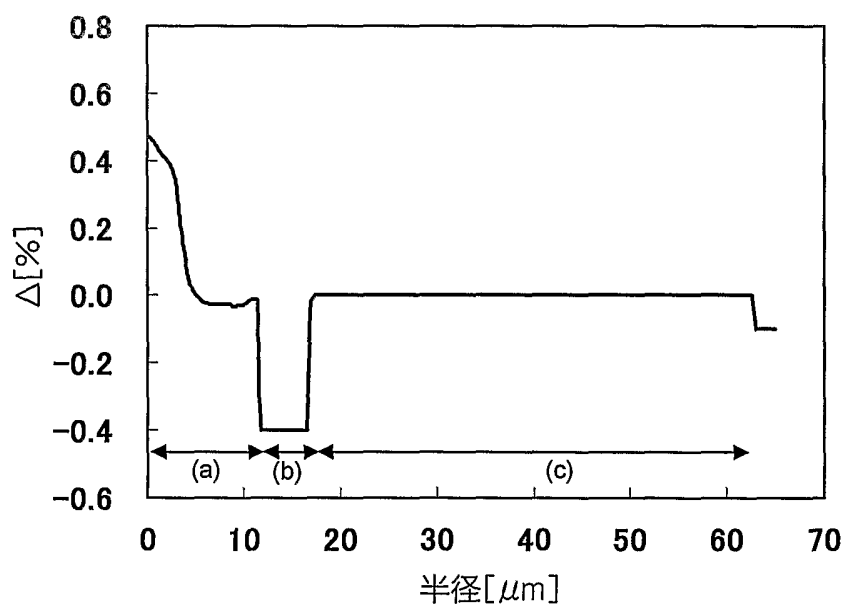


FIG. 6

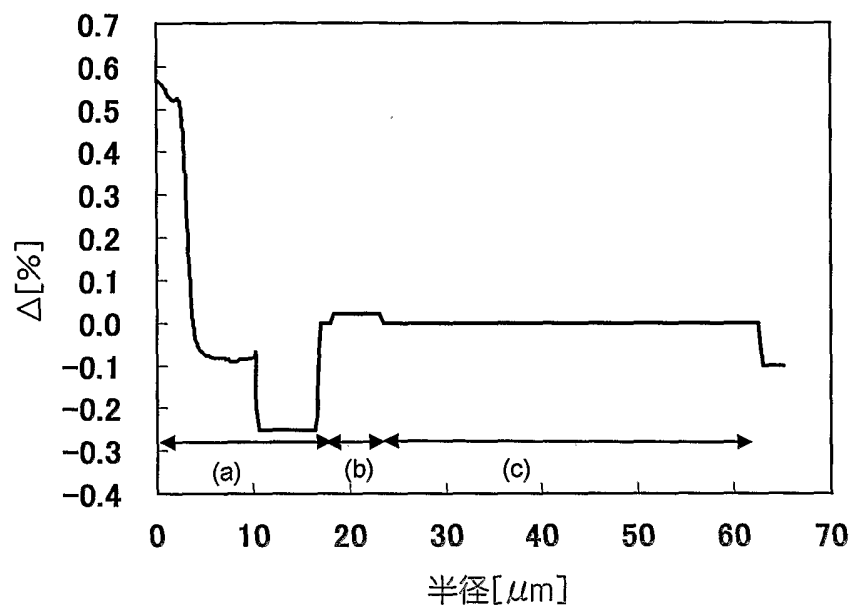
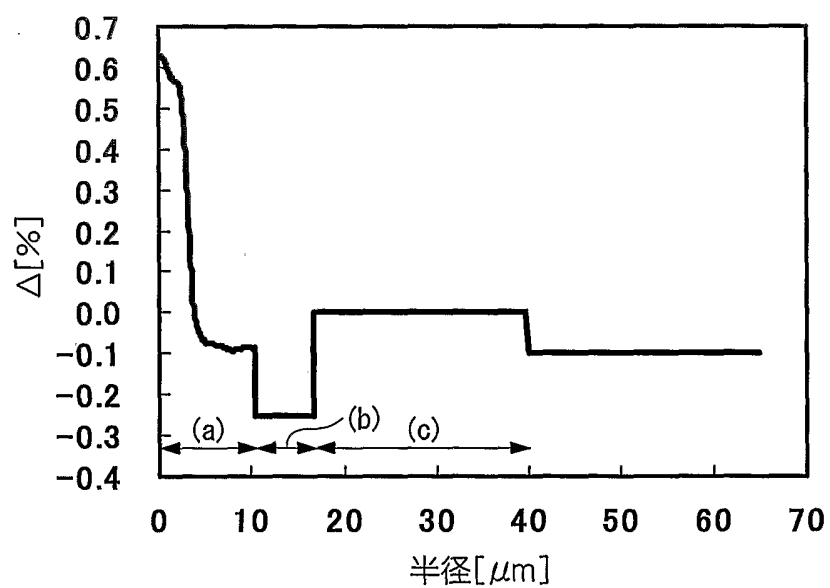


FIG. 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005195

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02B6/22

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.Cl<sup>7</sup> G02B6/22

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 1994-2004  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

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.
X	WO 2000/031573 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 02 June, 2000 (02.06.00), Example 4; Fig. 5 & EP 1146358 A1 & US 6266467 B1 & CN 1332856 T	1, 2, 6-23
A	JP 2001-100056 A (Fujikura Ltd.), 13 April, 2001 (13.04.01), Table 3; Fig. 1(b) & EP 1116972 A1 & CN 1319192 T	1, 2, 6-23
A	JP 2002-258092 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 11 September, 2002 (11.09.02), Tables 2, 3; Figs. 6, 10 (Family: none)	1, 2, 6-23

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"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)

"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

"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

"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

"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

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
25 June, 2004 (25.06.04)

Date of mailing of the international search report  
20 July, 2004 (20.07.04)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005195

## 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 9-159856 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 20 June, 1997 (20.06.97), Par. No. [0108]; Fig. 18 (Family: none)	1, 2, 6-23

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP2004/005195

**Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)**

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

- 1.  Claims Nos.:  
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:
  
- 2.  Claims Nos.:  
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:
  
- 3.  Claims Nos.:  
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

**Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)**

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

This international application includes three inventions as described below, which does not satisfy the requirement of unity of invention.  
Main invention: "Claims 1, 2, and 6 to 23"  
Second invention: "Claims 3 and 4"  
Third invention: "Claim 5"  
(continued to extra sheet)

- 1.  As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
- 2.  As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
- 3.  As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:
  
- 4.  No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1, 2, and 6 to 23

**Remark on Protest**       The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.  
                                  No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/005195

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

The search has revealed that the optical fiber of Claim 1 is not novel because it is disclosed in document WO 2000/031573 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 2 June 2000 (2.6.00).

Further, the cutoff wavelength of the optical fiber in the document above is 1.15  $\mu\text{m}$  that is within the range of the numerical values defined in Claim 2.

The numerical values defined in Claims 6 to 22 are only target values based on the object of reducing bending loss and that of enlarging a mode field diameter. These objects are, as described in the document above, objects publicly known in the technical field of optical fibers, and therefore defining the numerical values is a design matter that was able to be accordingly achieved by the person skilled in the art based on the publicly known objects.

The definition of the numerical values relating to a zero dispersion wavelength in Claim 23 does not produce any particular effect and is a design matter that was able to be accordingly achieved by the person skilled in the art.

The technical feature of Claims 3 and 4 is that a refractive index volume of a second clad layer is  $25\% \cdot \mu\text{m}^2$  or more.

The technical feature of Claim 5 is that the relative refractive index difference of a first clad layer is between  $-0.10\%$  and  $0.05\%$ , both inclusive.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl<sup>7</sup> G02B6/22

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. Cl<sup>7</sup> G02B6/22

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 1971-2004年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2004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
X	WO 2000/031573 A1 (住友電気工業株式会社) 2000.06.02 第4実施例, 図5 & EP 1146358 A1 & US 6266467 B1 & CN 1332856 T	1, 2, 6-23
A	JP 2001-100056 A (株式会社フジクラ) 2001.04.13 表3, 図1 (b) & EP 1116972 A1 & CN 1319192 T	1, 2, 6-23

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 25.06.04

国際調査報告の発送日 20.7.2004

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) 2K 3103  
 高 芳徳  
 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	JP 2002-258092 A (古河電気工業株式会社) 2002.09.11 表2, 表3, 図6, 図10 (ファミリーなし)	1, 2, 6-23
A	JP 9-159856 A (住友電気工業株式会社) 1997.06.20 段落108, 図18 (ファミリーなし)	1, 2, 6-23

## 第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見 (第1ページの2の続き)

法第8条第3項 (PCT17条(2)(a)) の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
  
2.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
  
3.  請求の範囲 \_\_\_\_\_ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

## 第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見 (第1ページの3の続き)

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

以下の理由によりこの国際出願は発明の単一性を満たさない3つの発明を含む。

主発明 : 「クレーム1, 2, 6-23」

第2発明 : 「クレーム3, 4」

第3発明 : 「クレーム5」

調査の結果、請求の範囲1に記載の光ファイバは、文献WO 2000/031573 A1 (住友電気工業株式会社), 2000.06.02に開示されているから新規でないことが明らかとなった。

特別ページに続く。

1.  出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2.  追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3.  出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4.  出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲1, 2, 6-23

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

また、上記文献に記載の光ファイバのカットオフ波長は $1.15\mu\text{m}$ であるから、請求の範囲2における数値限定の範囲内である。

請求の範囲6-22における数値限定は、曲げ損失を減少するという課題、および、モードフィールド径を大きくするという課題に基づいて、目標値を設定したに過ぎない。そして、これらの課題は上記文献にも記載されているように光ファイバの技術分野において周知の課題であるから、上記数値限定は前記周知の課題に基づいて当業者が適宜なし得た設計的事項である。

請求の範囲23における零分散波長に関する数値限定は、格別の効果を見出すことができず、当業者が適宜なし得た設計的事項である。

請求の範囲3, 4は、第2クラッド層の屈折率体積が $25\% \cdot \mu\text{m}^2$ 以上であるという技術的特徴を有する。

請求の範囲5は、第1クラッド層の比屈折率差が $-0.10\%$ 以上 $0.05\%$ 以下であるという技術的特徴を有する。