

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2009-198945  
(P2009-198945A)

(43) 公開日 平成21年9月3日(2009.9.3)

(51) Int.Cl.  
G02B 6/036 (2006.01)

F I  
G02B 6/22

テーマコード (参考)  
2H150

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2008-42568 (P2008-42568)  
(22) 出願日 平成20年2月25日 (2008.2.25)

(71) 出願人 000005186  
株式会社フジクラ  
東京都江東区木場1丁目5番1号  
(74) 代理人 100064908  
弁理士 志賀 正武  
(74) 代理人 100108578  
弁理士 高橋 詔男  
(74) 代理人 100089037  
弁理士 渡邊 隆  
(72) 発明者 松尾 昌一郎  
千葉県佐倉市六崎1-4-4番地 株式会社  
フジクラ佐倉事業所内

最終頁に続く

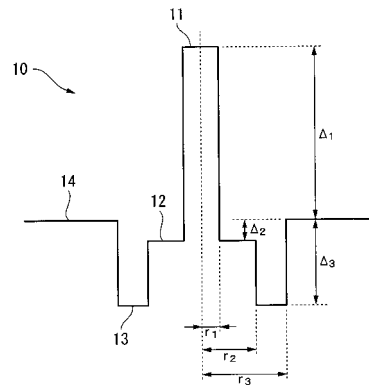
(54) 【発明の名称】 シングルモード光ファイバ

(57) 【要約】

【課題】 通常のシングルモード光ファイバと同等の波長分散特性を有しつつ、実効コア断面積拡大、曲げ損失低減を実現可能なシングルモード光ファイバの提供。

【解決手段】 波長1260nm以下のケーブルカットオフ波長、波長1550nmにおける実効コア断面積が $100\mu\text{m}^2$ 以上、曲げ径20mmで10回曲げた時の曲げ損失が30dB以下、零分散波長が1300nm~1324nmの範囲であることを特徴とするシングルモード光ファイバ。

【選択図】 図5



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

波長 1 2 6 0 n m 以下のケーブルカットオフ波長、波長 1 5 5 0 n m における実効コア断面積が  $1 0 0 \mu m^2$  以上、曲げ径 2 0 m m で 1 0 回曲げた時の曲げ損失が 3 0 d B 以下、零分散波長が 1 3 0 0 n m ~ 1 3 2 4 n m の範囲であることを特徴とするシングルモード光ファイバ。

## 【請求項 2】

半径  $r_1$  の中心コアと、該中心コアの外周に設けられた半径  $r_2$  の第 1 クラッドと、該第 1 クラッドの外周に設けられた半径  $r_3$  の第 2 クラッドと、該第 2 クラッドの外周に設けられた半径  $r_4$  の第 3 クラッドとからなり、中心コア、第 1 クラッド及び第 2 クラッドは、それぞれ最大屈折率  $n_{1max}$ 、 $n_{2max}$ 、 $n_{3max}$ 、最小屈折率  $n_{1min}$ 、 $n_{2min}$ 、 $n_{3min}$  となる屈折率分布を有し、第 3 クラッドは一定屈折率  $n_c$  を有し、 $n_{1max} > n_c$ 、 $n_{1max} > n_{2max}$ 、 $n_{2max} > n_{3max}$ 、 $n_{1min} > n_{2min}$ 、 $n_{2min} > n_{3min}$ 、 $n_{3min} < n_c$  なる関係を満たすことを特徴とする請求項 1 に記載のシングルモード光ファイバ。

10

## 【請求項 3】

中心コアの中心部に最大屈折率を有することを特徴とする請求項 2 に記載のシングルモード光ファイバ。

## 【請求項 4】

第 3 クラッドの屈折率を基準とした最大比屈折率  $c_1$  を有する中央層と、該中央層の外周に設けられた最低屈折率  $c_2$  を有する第 1 の環状領域と、該第 1 の環状領域の外周に設けられた最大屈折率  $c_3$  を有する第 2 の環状領域からなるコアを有することを特徴とする請求項 2 に記載のシングルモード光ファイバ。

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、波長 1 . 3  $\mu m$  帯に零分散波長を有する実効コア断面積（以下、 $A_{eff}$  と記す）を拡大したシングルモード光ファイバに関する。本発明のシングルモード光ファイバは、誘導ラマン散乱や誘導ブリリュアン散乱を抑制することが必要となる伝送システム、例えば三波多重伝送システムなどの伝送用光ファイバとして好適である。

30

## 【背景技術】

## 【0002】

光ファイバを用いた伝送システムは、大都市間を結ぶ幹線系や大陸間を結ぶ海底システムなどの長距離、超長距離伝送システムから、F T T H (Fiber To The Home) に向けた展開が進みつつある。F T T H 向けの伝送システムとして、普及が期待されているのが三波多重によるデータ通信と映像配信システムである。

## 【0003】

図 1 は、この三波多重伝送システムの一例を示す構成図であり、この伝送システムは、センター側 1 からの信号を光ファイバ 2 に導いて伝送し、光カプラ 4 によって光ファイバ 2 から多数の個別光ファイバを分岐し、それらを多数の加入者側 3 に導いて、加入者側 3 にデータ通信と映像配信を可能にしている。この伝送システムでは、波長 1 . 3 1  $\mu m$  及び波長 1 . 4 9  $\mu m$  の光信号をデータ通信の上り / 下りに用い、波長 1 . 5 5  $\mu m$  の光信号を用いて映像信号を配信する構成になっている。

40

## 【0004】

このようなシステムの伝送線路としては、I T U - T (International Telecommunication Union Telecommunication Standardization sector) G . 6 5 2 において規定されているシングルモード光ファイバが用いられている。映像信号の配信方法としては、データ通信と同様に I P (Internet Protocol) による方式とアナログ強度変調により配信する方法がある。アナログ強度変調による配信は、受信部において復調を行えば、従来の受信部がそのまま使用できるため、広く用いられている。

50

本発明の  $A_{eff}$  を拡大したシングルモード光ファイバに関する従来技術としては、例えば、特許文献 1, 2 及び非特許文献 1 が挙げられる。

【特許文献 1】米国特許第 6 3 3 7 9 4 2 号明細書

【特許文献 2】米国特許第 6 3 8 5 3 7 9 号明細書

【非特許文献 1】Aikawa, et al., "Single-mode optical fiber with effective core area larger than  $160 \mu m^2$ ," ECOC 1999, Proceeding of ECOC 1999, P1.15

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

前記三波多重システムでは、誘導ブリリュアン散乱 (Stimulated Brillouin Scattering: 以下、SBS と記す) および誘導ラマン散乱 (Stimulated Raman Scattering: 以下、SRS と記す) による信号劣化の問題が指摘されている。 10

図 2 に SBS の測定例を示す。図 2 に示すように、比較的入射パワーが低い領域では、入射パワーに比較して出射パワーが増加しているのに対して、ある程度以上のパワーになると出射パワーがほとんど増加しなくなる。この現象は、光ファイバ中の SBS により反射されるパワーが増大するために発生する。SBS は、アナログ変調により映像信号を伝送するシステムにおいて顕著な問題になると言われている。SBS を抑圧する方法としては、伝送システム側で光源の波長を変動させる方法や、ファイバ自体で SBS の発生を抑圧する方法が知られている。SBS を抑圧することにより、光ファイバに入射させるパワーを増加させることが可能になる。このことは、三波多重システムの伝送可能距離を伸ばす効果の他、PON (Passive Optical Network) を用いたシステムにおいては、信号の分岐数を増加できる等のメリットがある。 20

【0006】

SRS は、ある波長の高強度の光 (ポンプ光) を光ファイバに入射すると、その波長から  $100 \text{ nm}$  程度長波長側にピークを持つような増幅特性を生じさせる。信号光に対して適切な波長にポンプ光を入射すれば、光ファイバを増幅媒体として利用可能である。一方で、三波多重システムにおいては、SBS がノイズの原因となることが知られている。図 1 に示したように、三波多重システムでは、下りのデータ信号は  $1.49 \mu m$  帯に、映像信号は波長  $1.55 \mu m$  帯に、それぞれ配置されている。このため、波長  $1.49 \mu m$  のデータ信号がポンプ光として作用し、映像信号の波長帯にラマン利得が発生し、映像信号にノイズが発生する。この SBS の発生量は、ポンプ光のパワー増加に伴い大きくなる。 30

【0007】

前述した SBS を抑圧するシステム、光ファイバを用いることにより、SBS の観点からは光ファイバに入射するパワーを増大することが可能となるが、その一方で SRS の点では、入射パワーの制約が発生する。SRS の抑圧には、光ファイバの  $A_{eff}$  を拡大することが有効であることが知られている (Nonlinear Fiber Optics, G. P. Agrawal 著, Academic Press)。通常のシングルモード光ファイバは、波長  $1550 \text{ nm}$  で  $80 \mu m^2$  程度の  $A_{eff}$  を有している。これに対して、 $110 \sim 160 \mu m^2$  程度まで  $A_{eff}$  を拡大した光ファイバが知られている (例えば、特許文献 1, 2、非特許文献 1 参照)。 40

【0008】

これらの従来型の  $A_{eff}$  拡大光ファイバは、海底ケーブルに代表されるような超長距離 DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) システム用に設計されている。DWDM システムは、C バンド ( $1530 \sim 1565 \text{ nm}$ ) 以上の波長を用いることが一般的であり、従来型  $A_{eff}$  拡大光ファイバのカットオフ波長は  $1530 \text{ nm}$  以下に設定されている。このため、三波多重システムのように波長  $1310 \text{ nm}$  を伝送に用いるシステムへの適用は不可能である。

【0009】

通常のシングルモード光ファイバや従来型  $A_{eff}$  拡大光ファイバは、図 3 に示すような屈折率分布構造が用いられることが多い。図 3 の屈折率分布は、いわゆるステップインデックス型であり、ファイバ径方向中心に高屈折率のコア 5 の領域があり、その外周に低 50

屈折率のクラッド6の領域があり、コア6の領域の屈折率分布、クラッド6の領域の屈折率分布ともに平坦になっている。図3中、符号 $r_1$ はコア5の半径、 $n_1$ はクラッドに対するコアの比屈折率差である。通常のシングルモード光ファイバと同程度のカットオフ波長（ケーブルカットオフ波長で1260nm）という条件で、 $A_{eff}$ を拡大する設計を行った場合の特性を図4に示す。図4(a)は波長1310nmにおけるモードフィールド径（以下、MFDと記す）と曲げ損失との関係を表すグラフ、図4(b)は波長1550nmにおける $A_{eff}$ と曲げ損失との関係を示すグラフである。

通常のシングルモード光ファイバ、例えば、波長1310nmにおけるMFDが9.2 $\mu$ m程度、波長1550nmにおける $A_{eff}$ が80 $\mu$ m<sup>2</sup>程度のシングルモード光ファイバでは、20mm、1550nmにおける曲げ損失が10dB/m程度であるのに対して、 $A_{eff}$ を110 $\mu$ m<sup>2</sup>程度まで拡大すると、曲げ損失が100dB/m程度まで増加し、実用に耐えなくなる。また、零分散波長も1300nmを切るようになり、通常のシングルモード光ファイバとのコンパチビリティを確保できなくなる。

#### 【0010】

本発明は、前記事情に鑑みてなされ、通常のシングルモード光ファイバと同等の波長分散特性を有しつつ、 $A_{eff}$ 拡大、曲げ損失低減を実現可能なシングルモード光ファイバの提供を目的とする。

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0011】

前記目的を達成するため、本発明は、波長1260nm以下のケーブルカットオフ波長、波長1550nmにおける $A_{eff}$ が100 $\mu$ m<sup>2</sup>以上、曲げ径20mmで10回曲げた時の曲げ損失が30dB以下、零分散波長が1300nm~1324nmの範囲であることを特徴とするシングルモード光ファイバを提供する。

#### 【0012】

本発明のシングルモード光ファイバにおいて、半径 $r_1$ の中心コアと、該中心コアの外周に設けられた半径 $r_2$ の第1クラッドと、該第1クラッドの外周に設けられた半径 $r_3$ の第2クラッドと、該第2クラッドの外周に設けられた半径 $r_4$ の第3クラッドとからなり、中心コア、第1クラッド及び第2クラッドは、それぞれ最大屈折率 $n_{1max}$ 、 $n_{2max}$ 、 $n_{3max}$ 、最小屈折率 $n_{1min}$ 、 $n_{2min}$ 、 $n_{3min}$ となる屈折率分布を有し、第3クラッドは一定屈折率 $n_c$ を有し、 $n_{1max} > n_c$ 、 $n_{1max} > n_{2max}$ 、 $n_{2max} > n_{3max}$ 、 $n_{1min} > n_{2min}$ 、 $n_{2min} > n_{3min}$ 、 $n_{3min} < n_c$ なる関係を満たすことが好ましい。

#### 【0013】

本発明のシングルモード光ファイバにおいて、中心コアの中心部に最大屈折率を有することが好ましい。

#### 【0014】

本発明のシングルモード光ファイバにおいて、第3クラッドの屈折率を基準とした最大比屈折率 $c_1$ を有する中央層と、該中央層の外周に設けられた最低屈折率 $c_2$ を有する第1の環状領域と、該第1の環状領域の外周に設けられた最大屈折率 $c_3$ を有する第2の環状領域からなるコアを有することが好ましい。

#### 【発明の効果】

#### 【0015】

本発明のシングルモード光ファイバは、 $A_{eff}$ を拡大したことにより、SBS、SR Sの発生を抑圧することができる。

本発明のシングルモード光ファイバは、通常のシングルモード光ファイバと同等の波長分散特性を有しつつ、拡大された $A_{eff}$ を有するものなので、通常のシングルモード光ファイバとのコンパチビリティを確保することができる。

本発明のシングルモード光ファイバは、拡大された $A_{eff}$ を有し、しかも曲げ損失が小さいものなので、三波多重伝送システムなどの伝送用ファイバとして用いた場合に信号の劣化が少なく、高品質の伝送システムを構築できる。

10

20

30

40

50

## 【発明を実施するための最良の形態】

## 【0016】

以下、図面を参照して本発明の実施形態を説明する。

図5は、本発明に係るシングルモード光ファイバの第1実施形態の屈折率分布を示す図である。本実施形態のシングルモード光ファイバ10は、半径 $r_1$ の中心コア11と、該中心コア11の外周に設けられた半径 $r_2$ の第1クラッド12と、該第1クラッド12の外周に設けられた半径 $r_3$ の第2クラッド13と、該第2クラッド13の外周に設けられた半径 $r_4$ の第3クラッド14とからなっている。各部の屈折率は、中心コア>第3クラッド>第1クラッド>第2クラッドの順である。また、本実施形態において、シングルモード光ファイバ10の中心コア11、第1クラッド12、第2クラッド13及び第3クラッド14の各部の屈折率は均一になっている。

10

## 【0017】

本実施形態のシングルモード光ファイバは、波長1260nm以下のケーブルカットオフ波長、波長1550nmにおける $A_{eff}$ が $100\mu\text{m}^2$ 以上、曲げ径20mmで10回曲げた時の曲げ損失が30dB以下、零分散波長が1300nm~1324nmの範囲である。

## 【0018】

本実施形態のシングルモード光ファイバ10は、 $A_{eff}$ を拡大したことにより、SBS、SRSの発生を抑圧することができる。

本実施形態のシングルモード光ファイバ10は、通常シングルモード光ファイバと同等の波長分散特性を有しつつ、拡大された $A_{eff}$ を有するものなので、通常シングルモード光ファイバとのコンパチビリティを確保することができる。

20

本実施形態のシングルモード光ファイバ10は、拡大された $A_{eff}$ を有し、しかも曲げ損失が小さいものなので、三波多重伝送システムなどの伝送用ファイバとして用いた場合に信号の劣化が少なく、高品質の伝送システムを構築できる。

## 【0019】

なお、本発明において、シングルモード光ファイバ10の中心コア11、第1クラッド12、第2クラッド13の各部の屈折率は必ずしも均一でなくても良く、いずれかの部分の屈折率分布が階段状に、又は曲線状に変化していても良い。中心コア11、第1クラッド12及び第2クラッド13が、それぞれ最大屈折率 $n_{1max}$ 、 $n_{2max}$ 、 $n_{3max}$ 、最小屈折率 $n_{1min}$ 、 $n_{2min}$ 、 $n_{3min}$ となる屈折率分布を有し、第3クラッド14は一定屈折率 $n_c$ を有している場合、それぞれの屈折率は、 $n_{1max} > n_c$ 、 $n_{1max} > n_{2max}$ 、 $n_{2max} > n_{3max}$ 、 $n_{1min} > n_{2min}$ 、 $n_{2min} > n_{3min}$ 、 $n_{3min} < n_c$ なる関係を満たすことが望ましい。

30

## 【0020】

図6は、本発明に係るシングルモード光ファイバの第2実施形態の屈折率分布を示す図である。本実施形態のシングルモード光ファイバ20は、中心部に最大屈折率を有し、外側に向けて漸次屈折率が低下する屈折率分布を有する中心コア21と、該中心コア21の外周に設けられた第1クラッド22と、該第1クラッド22の外周に設けられた第2クラッド23と、該第2クラッド23の外側に設けられた第3クラッド24とからなっている。各部の屈折率は、中心コア>第1、第3クラッド>第2クラッドの順になっている。

40

## 【0021】

本実施形態のシングルモード光ファイバ20は、図6に示す屈折率分布構造とすることで、前記第1実施形態と同じく、波長1260nm以下のケーブルカットオフ波長、波長1550nmにおける $A_{eff}$ が $100\mu\text{m}^2$ 以上、曲げ径20mmで10回曲げた時の曲げ損失が30dB以下、零分散波長が1300nm~1324nmの範囲の伝送特性を達成することができ、前記第1実施形態と同様の効果を得ることができる。

## 【0022】

図7は、本発明に係るシングルモード光ファイバの第3実施形態の屈折率分布を示す図である。本実施形態のシングルモード光ファイバ30は、屈折率が異なる複数の層を有す

50

る中心コア 3 1 と、該中心コア 3 1 の外周に設けられた第 1 クラッド 3 2 と、該第 1 クラッド 3 2 の外周に設けられた第 2 クラッド 3 3 と、該第 2 クラッド 3 3 の外側に設けられた第 3 クラッド 3 4 とからなっている。各部の屈折率は、中心コア > 第 1、第 3 クラッド > 第 2 クラッドの順になっている。また、中心コア 3 1 は、第 3 クラッド 3 4 の屈折率を基準とした最大比屈折率  $c_1$  を有する中央層 3 5 と、該中央層 3 5 の外周に設けられた最低屈折率  $c_2$  を有する第 1 の環状領域 3 6 と、該第 1 の環状領域 3 6 の外周に設けられた最大屈折率  $c_3$  を有する第 2 の環状領域 3 7 とからなっている。

【 0 0 2 3 】

本実施形態のシングルモード光ファイバ 3 0 は、図 7 に示す屈折率分布構造とすることで、前記第 1 実施形態と同じく、波長 1 2 6 0 nm 以下のケーブルカットオフ波長、波長 1 5 5 0 nm における  $A_{eff}$  が  $100 \mu m^2$  以上、曲げ径 2 0 mm で 1 0 回曲げた時の曲げ損失が 3 0 dB 以下、零分散波長が 1 3 0 0 nm ~ 1 3 2 4 nm の範囲の伝送特性を達成することができ、前記第 1 実施形態と同様の効果を得ることができる。

10

以下、実施例により本発明の効果を実証する。

【 実施例 】

【 0 0 2 4 】

[ 実施例 1 ]

図 5 に示す屈折率分布構造を有し、表 1 に示すように、各部の半径、比屈折率差が異なる実施例 1 - 1 ~ 1 - 4 の 4 種類のシングルモード光ファイバを製造し、それぞれの  $A_{eff}$ 、MFD、波長分散値、分散スロープ、零分散波長、曲げ損失を測定した。結果を表 1 にまとめて記す。

20

【 0 0 2 5 】

【表 1】

		実施例1-1	実施例1-2	実施例1-3	実施例1-4
$r_1$	[ $\mu\text{m}$ ]	4.87	5.08	4.69	4.66
$r_2$	[ $\mu\text{m}$ ]	16.08	16.77	15.46	17.71
$r_3$	[ $\mu\text{m}$ ]	21.93	22.87	21.09	22.84
$\Delta_1$	[%]	0.25	0.23	0.27	0.27
$\Delta_2$	[%]	0.00	0.00	0.00	0.00
$\Delta_3$	[%]	-0.25	-0.25	-0.25	-0.25
ファイバカットオフ波長[nm]		1260	1260	1260	1260
ケーブルカットオフ波長[nm]		1170	1170	1170	1170
$A_{\text{eff}}$ [ $\mu\text{m}^2$ ]	at1310nm	88.91	96.68	82.24	81.91
	at1550nm	110.08	119.68	101.87	101.93
	at1650nm	120.73	131.23	111.76	112.21
MFD [ $\mu\text{m}$ ]	at1310nm	10.61	11.07	10.21	10.20
	at1550nm	11.99	12.50	11.53	11.54
	at1650nm	12.61	13.15	12.13	12.17
波長分散値 [ps/nm/km]	at1310nm	0.51	0.73	0.28	0.18
	at1550nm	18.06	18.35	17.76	17.52
	at1650nm	24.01	24.33	23.69	23.37
分散スロープ [ps/nm <sup>2</sup> /km]	at1310nm	0.089	0.089	0.089	0.089
	at1550nm	0.062	0.062	0.062	0.061
	at1650nm	0.057	0.058	0.057	0.056
零分散波長[nm]		1304.31	1301.85	1306.88	1308.01
曲げ損失 at30 $\phi$ ×10ターン [dB]	at1310nm	0.08	0.19	0.04	0.05
	at1550nm	1.72	2.81	1.17	1.46
	at1650nm	4.24	6.15	3.23	3.96
曲げ損失 at20 $\phi$ ×10ターン [dB]	at1310nm	1.16	1.99	0.78	0.98
	at1550nm	8.24	10.78	7.07	8.58
	at1650nm	14.39	17.32	13.23	15.83
曲げ損失 at15 $\phi$ ×10ターン [dB]	at1310nm	4.22	6.05	3.44	4.23
	at1550nm	16.76	19.54	16.16	19.30
	at1650nm	24.58	26.94	24.88	29.36

## 【0026】

表 1 に示す通り、実施例 1 - 1 ~ 1 - 4 の 4 種類のシングルモード光ファイバは、波長 1260 nm 以下のケーブルカットオフ波長、波長 1550 nm における  $A_{\text{eff}}$  が  $100 \mu\text{m}^2$  以上、曲げ径 20 mm で 10 回曲げた時の曲げ損失が 30 dB 以下、零分散波長が 1300 nm ~ 1324 nm の範囲内の性能を満たしていた。

## 【0027】

図 8 は、図 4 に示した従来型光ファイバ（通常のシングルモード光ファイバにおいて  $A_{\text{eff}}$  を拡大する設計をした場合）の MFD と曲げ損失の関係（図 4 (a)）及び  $A_{\text{eff}}$

10

20

30

40

50

$f$  と曲げ損失との関係 (図 4 (b)) を示すグラフ上に、表 1 に示した実施例 1 - 1 ~ 1 - 4 の曲げ損失測定結果をプロットした図である。図 8 (a), (b) から、本発明に係る実施例 1 - 1 ~ 1 - 4 の 4 種類のシングルモード光ファイバは、従来型光ファイバと比べ、曲げ損失を格段に低減できることがわかる。

【0028】

[実施例 2]

図 6 に示す屈折率分布構造を有し、表 2 に示すように、各部の半径、比屈折率差が異なる実施例 2 のシングルモード光ファイバを製造し、それぞれの  $A_{eff}$ 、MFD、波長分散値、分散スロープ、零分散波長、曲げ損失を測定した。結果を表 2 にまとめて記す。

【0029】

[実施例 3]

図 7 に示す屈折率分布構造を有し、表 2 に示すように、各部の半径、比屈折率差が異なる実施例 3 のシングルモード光ファイバを製造し、それぞれの  $A_{eff}$ 、MFD、波長分散値、分散スロープ、零分散波長、曲げ損失を測定した。結果を表 2 にまとめて記す。

【0030】

【表 2】

		実施例2	実施例3
ファイバカットオフ波長[nm]		1260	1260
ケーブルカットオフ波長[nm]		1170	1170
$A_{eff}$ [ $\mu\text{m}^2$ ]	at1310nm	83.85	84.18
	at1550nm	105.77	106.38
	at1650nm	116.57	117.23
MFD [ $\mu\text{m}$ ]	at1310nm	10.45	10.42
	at1550nm	11.85	11.83
	at1650nm	12.48	12.47
波長分散値 [ps/nm/km]	at1310nm	0.08	-0.10
	at1550nm	17.80	17.73
	at1650nm	23.80	23.75
分散スロープ [ps/nm <sup>2</sup> /km]	at1310nm	0.090	0.091
	at1550nm	0.063	0.063
	at1650nm	0.058	0.058
零分散波長[nm]		1309.17	1311.06
曲げ損失 at30 $\phi$ × 10ターン [dB]	at1310nm	0.05	0.05
	at1550nm	1.29	1.41
	at1650nm	3.36	3.62
曲げ損失 at20 $\phi$ × 10ターン [dB]	at1310nm	0.87	0.94
	at1550nm	7.03	7.43
	at1650nm	12.72	13.32
曲げ損失 at15 $\phi$ × 10ターン [dB]	at1310nm	3.49	3.70
	at1550nm	15.23	15.84
	at1650nm	22.96	23.70

10

20

30

40

50



## 【0031】

表2に示す通り、実施例2、実施例3のシングルモード光ファイバは、波長1260nm以下のケーブルカットオフ波長、波長1550nmにおける $A_{eff}$ が $100\mu m^2$ 以上、曲げ径20mmで10回曲げた時の曲げ損失が30dB以下、零分散波長が1300nm~1324nmの範囲内の性能を満たしていた。

## 【0032】

図9は、図4に示した従来型光ファイバ(通常のシングルモード光ファイバにおいて $A_{eff}$ を拡大する設計をした場合)のMFDと曲げ損失との関係(図4(a))及び $A_{eff}$ と曲げ損失との関係(図4(b))を示すグラフ上に、表2に示した実施例2と実施例3の曲げ損失測定結果をプロットした図である。図9(a),(b)から、本発明に係る実施例2、実施例3のシングルモード光ファイバは、従来型光ファイバと比べ、曲げ損失を格段に低減できることがわかる。

10

## 【図面の簡単な説明】

## 【0033】

【図1】三波多重伝送システムの一例を示す構成図である。

【図2】SBSの測定波形を例示するグラフである。

【図3】従来型シングルモード光ファイバの屈折率分布の一例を示す図である。

【図4】通常のシングルモード光ファイバにおいて $A_{eff}$ を拡大する設計をした従来型光ファイバについて、(a)MFDと曲げ損失の関係、(b) $A_{eff}$ と曲げ損失との関係を示すグラフである。

20

【図5】本発明のシングルモード光ファイバの第1実施形態を示す屈折率分布図である。

【図6】本発明のシングルモード光ファイバの第2実施形態を示す屈折率分布図である。

【図7】本発明のシングルモード光ファイバの第3実施形態を示す屈折率分布図である。

【図8】本発明に係る実施例1のシングルモード光ファイバの曲げ損失測定結果を示すグラフである。

【図9】本発明に係る実施例2、3のシングルモード光ファイバの曲げ損失測定結果を示すグラフである。

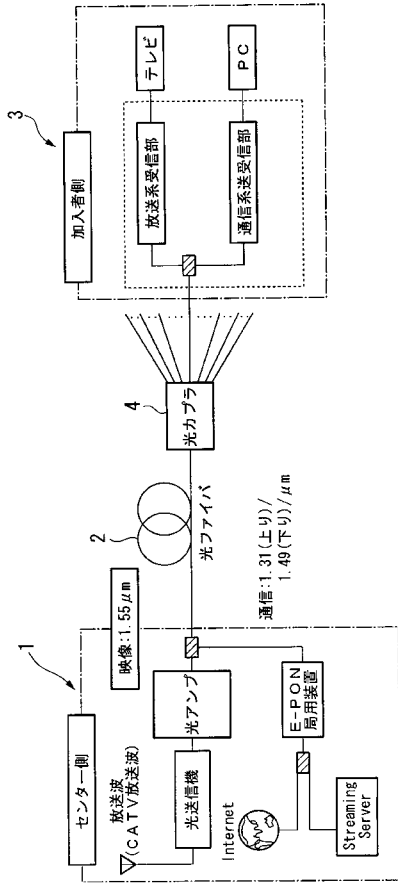
## 【符号の説明】

## 【0034】

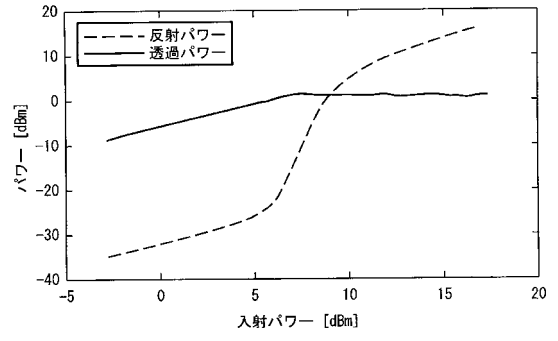
10, 20, 30...シングルモード光ファイバ、11, 21, 31...第1クラッド、12, 22, 32...第2クラッド、13, 23, 33...第3クラッド、14, 24, 34...第4クラッド、35...中央層、36...第1の環状領域、37...第2の環状領域。

30

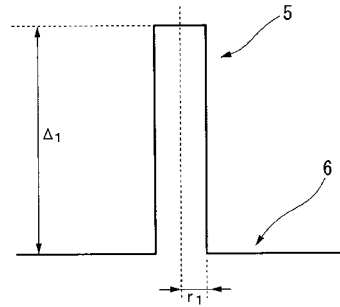
【図1】



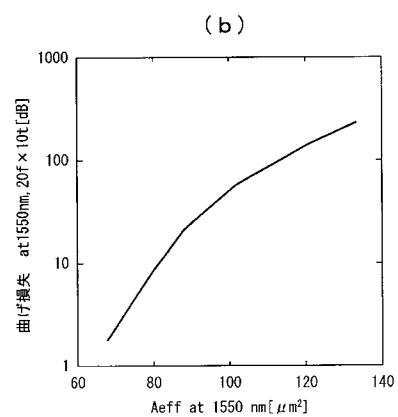
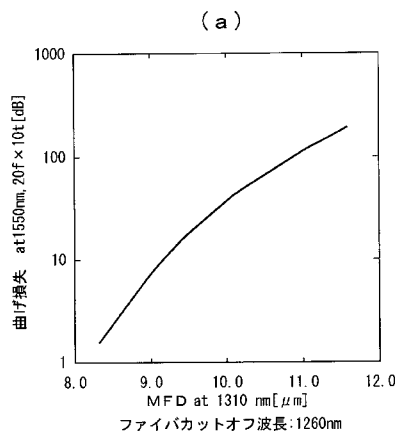
【図2】



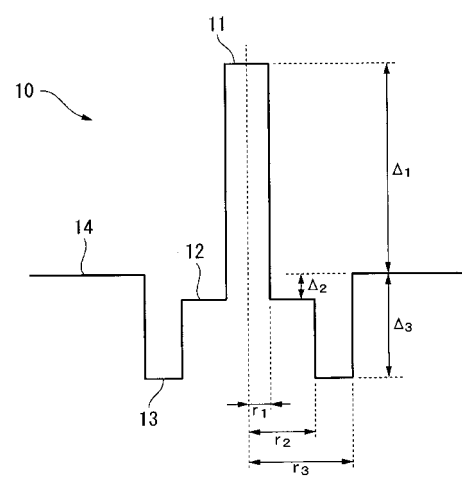
【図3】



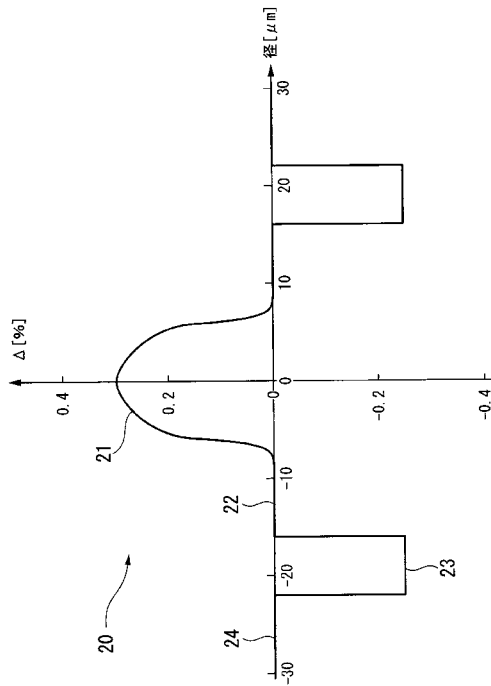
【図4】



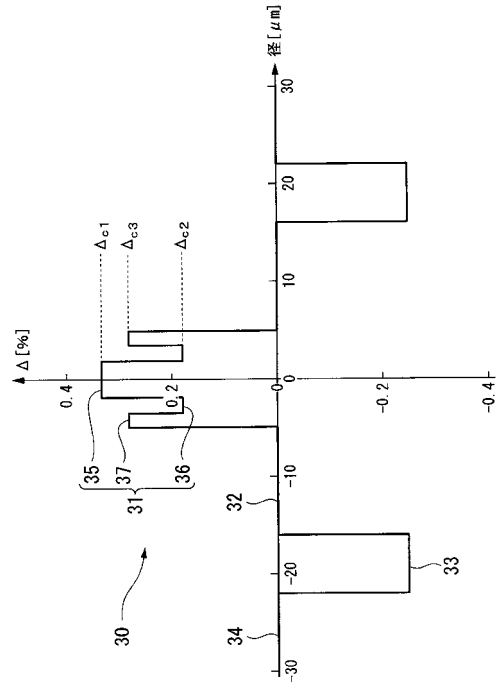
【図5】



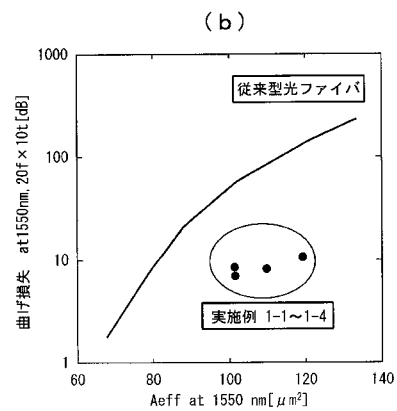
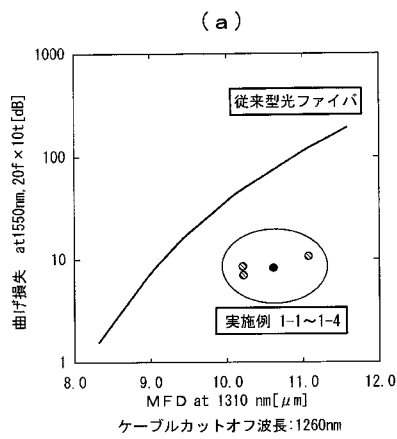
【 図 6 】



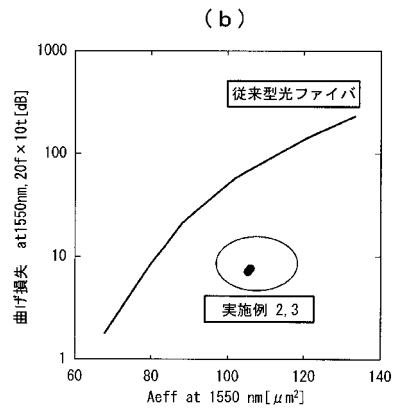
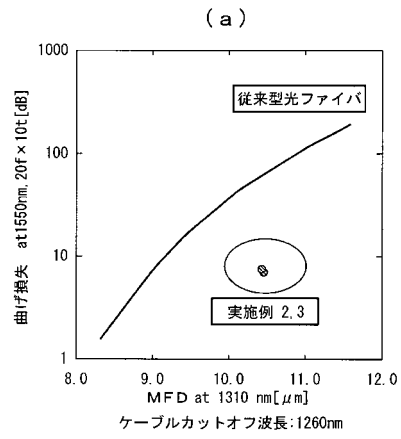
【 図 7 】



【 図 8 】



【 図 9 】



---

フロントページの続き

Fターム(参考) 2H150 AD04 AD06 AD12 AD15 AD16 AD17 AD18 AD20 AD22 AD32  
AE12 AE15 AE17 AE26 AE28 AE39 AE47 AE54 AH12 AH22  
AH50