

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4568485号  
(P4568485)

(45) 発行日 平成22年10月27日 (2010.10.27)

(24) 登録日 平成22年8月13日 (2010.8.13)

(51) Int.Cl. F 1  
G 0 2 B 6 / 0 3 6 ( 2 0 0 6 . 0 1 ) G 0 2 B 6 / 2 2

請求項の数 7 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2003-162395 (P2003-162395)	(73) 特許権者	503447483
(22) 出願日	平成15年6月6日 (2003.6.6)		ドゥラカ ファイバー テクノロジー ベー ヴェー
(65) 公開番号	特開2004-13163 (P2004-13163A)		オランダ国 5651 セーアー アイन्दーフエン ズワーンストラート 1 ベドレイフェンテライン “デ ベク”
(43) 公開日	平成16年1月15日 (2004.1.15)		
審査請求日	平成18年6月5日 (2006.6.5)	(74) 代理人	100147485
(31) 優先権主張番号	1020780		弁理士 杉村 憲司
(32) 優先日	平成14年6月6日 (2002.6.6)	(74) 代理人	100143568
(33) 優先権主張国	オランダ (NL)		弁理士 英 貢
		(74) 代理人	100072051
			弁理士 杉村 興作
		(72) 発明者	マルク ベテル マリエ イェッテン
			オランダ国 6001 セーゲー ヴェールト ブールマンズストラート 7
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シングルモード光ファイバ並びに光通信システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

半径  $r_1 \mu\text{m}$ 、最大屈折率  $n_1$  を有する一重目の中心領域、及び少なくとも1つの、前記一重目の中心領域を包囲する二重目のリングを具えたシングルモード光ファイバであって、前記二重目のリングが半径  $r_2 \mu\text{m}$  及び最小屈折率  $n_2$  を有し、ここに  $n_2 < n_1$  であるシングルモード光ファイバにおいて、

半径  $r_1 \mu\text{m}$  を有する前記一重目の中心領域内では、前記屈折率  $n_1$  がほぼ一定であり、半径  $r_2 \mu\text{m}$  を有する前記二重目のリング内では、半径方向の距離が  $r_1 \mu\text{m}$  から  $r_2 \mu\text{m}$  まで増加すると共に、屈折率が  $n_1$  から  $n_2$  まで減少し、この減少がほぼ直線的であり、次式：

勾配 =  $(D_1 - D_2) / (r_2 - r_1)$  [ $1/\mu\text{m}$ ]、ここに、

$0.11[1/\mu\text{m}] < \text{勾配} < 0.22[1/\mu\text{m}]$ 、そして、

$D_i = \{ (n_i^2 - n_{c1}^2) / (2 \cdot n_i^2) \} \cdot 100\%$ 、かつ  $n_i > n_{c1}$ 、ここに、

$D_i$  = 位置  $i$  の屈折率コントラスト、

$n_i$  = 位置  $i$  の屈折率、

$n_{c1}$  = 外環のファイバ・クラッドの屈折率

に従い、

$r_1 < 0.25 \mu\text{m}$  であり、

波長1550nmにおいて分散値が8ps/nm/km以上であり、波長1300nmにおいて分散値が-8ps/nm/km以下であり、波長1550nmにおいて分散勾配が0.07ps/nm<sup>2</sup>/kmから0.095ps/nm<sup>2</sup>/kmまでの範囲にあり、

2mの長さを有するファイバについて測定したカットオフ波長が1200nm未満であり、  
波長1625nm、及び屈曲の直径60mmを有する100回巻きで測定したマクロバンド損失が0.0  
5dB未満であり、

波長1550nmにおいて有効面積が $60 \mu\text{m}^2$ 以上であり、

前記シングルモード光ファイバは、1440nm～1625nmの波長範囲内のチャンネル及び1250  
nm～1360nmの波長範囲内のチャンネル用の伝送媒体として使用される

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 $r_1 \mu\text{m}$ 、最大屈折率 $n_1$ を有する一重目の中心領域、及び少なくとも1つの、前記  
一重目の中心領域を包囲する二重目のリングを具えたシングルモード光ファイバであって 10  
、前記二重目のリングが半径 $r_2 \mu\text{m}$ 及び最小屈折率 $n_2$ を有し、ここに $n_2 < n_1$ であるシ  
ングルモード光ファイバにおいて、

前記二重目のリング内では屈折率がほぼ一定であり、前記一重目の中心領域内では、半  
径方向の距離が前記中心領域の対称の中心軸から距離 $r_1 \mu\text{m}$ まで増加すると共に、屈折率  
が $n_1$ から $n_2$ まで減少し、この減少はほぼ直線的であり、次式：

勾配 =  $(D_1 - D_2)/(r_1)$  [ $1/\mu\text{m}$ ]、ここに、

$0.11[1/\mu\text{m}] < \text{勾配} < 0.22[1/\mu\text{m}]$ 、そして、

$D_i = \{(n_i^2 - n_{c1}^2)/(2 \cdot n_i^2)\} \cdot 100\%$ 、かつ $n_i > n_{c1}$ 、ここに、

$D_i$  = 位置 $i$ の屈折率コントラスト、

$n_i$  = 位置 $i$ の屈折率、 20

$n_{c1}$  = 外環のファイバ・クラッドの屈折率

に従い、

波長1550nmにおいて分散値が $8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であり、波長1300nmにおいて分散値が $-8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$   
以下であり、波長1550nmにおいて分散勾配が $0.07\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ から $0.095\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ まで  
の範囲にあり、

2mの長さを有するファイバについて測定したカットオフ波長が1200nm未満であり、

波長1625nm、及び屈曲の直径60mmを有する100回巻きで測定したマクロバンド損失が0.0  
5dB未満であり、

波長1550nmにおいて有効面積が $60 \mu\text{m}^2$ 以上であり、

前記シングルモード光ファイバは、1440nm～1625nmの波長範囲内のチャンネル及び1250  
nm～1360nmの波長範囲内のチャンネル用の伝送媒体として使用される 30

ことを特徴とするシングルモード光ファイバ。

【請求項3】

半径 $r_1 \mu\text{m}$ 、最大屈折率 $n_1$ を有する一重目の中心領域、及び少なくとも1つの、前記  
一重目の中心領域を包囲する二重目のリングを具えたシングルモード光ファイバであって  
、前記二重目のリングが半径 $r_2 \mu\text{m}$ 及び最小屈折率 $n_2$ を有し、ここに $n_2 < n_1$ であるシ  
ングルモード光ファイバにおいて、

前記二重目のリング内では屈折率がほぼ一定であり、前記一重目の中心領域内では、半  
径方向の距離が前記中心領域の対称の中心軸から距離 $r_1 \mu\text{m}$ まで増加すると共に、屈折率  
が $n_1$ から $n_1''$ まで減少し、この減少はほぼ直線的であり、次式： 40

勾配 =  $(D_1 - D_1'')/(r_1)$  [ $1/\mu\text{m}$ ]、ここに、

$0.11[1/\mu\text{m}] < \text{勾配} < 0.22[1/\mu\text{m}]$ 、そして、

$D_i = \{(n_i^2 - n_{c1}^2)/(2 \cdot n_i^2)\} \cdot 100\%$ 、かつ $n_i > n_{c1}$ 、ここに、

$D_i$  = 位置 $i$ の屈折率コントラスト、

$n_i$  = 位置 $i$ の屈折率、

$n_{c1}$  = 外環のファイバ・クラッドの屈折率、そして、

$n_1 > n_1'' > n_2$ 、

に従い、

波長1550nmにおいて分散値が $8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 以上であり、波長1300nmにおいて分散値が $-8\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$   
以下であり、波長1550nmにおいて分散勾配が $0.07\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ から $0.095\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ まで 50

の範囲にあり、

2mの長さを有するファイバについて測定したカットオフ波長が1200nm未満であり、  
波長1625nm、及び屈曲の直径60mmを有する100回巻きで測定したマクロバンド損失が0.0  
5dB未満であり、

波長1550nmにおいて有効面積が $60 \mu\text{m}^2$ 以上であり、

前記シングルモード光ファイバは、1440nm～1625nmの波長範囲内のチャンネル及び1250  
nm～1360nmの波長範囲内のチャンネル用の伝送媒体として使用される

ことを特徴とするシングルモード光ファイバ。

【請求項4】

半径 $r_2 \mu\text{m}$ を有する前記二重目のリングを、半径 $r_3 \mu\text{m}$ 及び屈折率 $n_3$ を有する三重目  
のリングによって包囲し、ここに $n_3 < n_2$ かつ $r_3 > r_2$ であることを特徴とする請求項1  
～3のいずれかに記載のシングルモード光ファイバ。

10

【請求項5】

半径 $r_3 \mu\text{m}$ を有する前記三重目のリングを、半径 $r_4 \mu\text{m}$ 及び屈折率 $n_4$ を有する四重目  
のリングによって包囲し、ここに $n_4 < n_3$ 、かつ $r_4 > r_3$ であることを特徴とする請求項  
4に記載のシングルモード光ファイバ。

【請求項6】

次式：

$$0.13[1/\mu\text{m}] < \text{勾配} < 0.19[1/\mu\text{m}]$$

が成り立つことを特徴とする請求項1～5のいずれかに記載のシングルモード光ファイ  
バ。

20

【請求項7】

請求項1～6のいずれかに記載のファイバを、1440nm～1625nmの波長範囲内及び1250nm  
～1360nmの波長範囲内に存在する複数のチャンネル用の伝送媒体として使用することを特  
徴とするマルチチャンネル信号伝送用の光通信システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半径 $r_1 \mu\text{m}$ 、最大屈折率 $n_1$ を有する一重目の中心領域、及び少なくとも1  
つの、この一重目の中心領域を包囲する二重目のリング（環）を具えたシングルモード光  
ファイバに関するものであり、この二重目リングは半径 $r_2 \mu\text{m}$ 及び最小屈折率 $n_2$ を有し  
、ここに $n_2 < n_1$ である。

30

【0002】

【従来の技術】

こうしたシングルモード光ファイバ自体は、米国特許第5,905,838号より既知であり、特  
にこの特許の図4には、4領域のファイバについて、正規化した屈折率差を半径上の位置  
の関数として示してある。従って、ゲルマニウムでドーピングしたシリカのコアを、屈折  
率を低減した環状領域によって包囲し、この例では、この環状領域がフッ素でドーピング  
したシリカで構成される。この環状領域をさらに、ゲルマノ-シリカのリングによって包  
囲し、このリングはさらに、例えば非ドーピングのシリカの外環クラッド領域内にある。  
前記コア領域は、MCVDで生産したファイバの、屈折率が低下した窪み（ディップ）の特性  
を示す。こうしたファイバは、いわゆる「二重窓WDM（Wavelength Division Multiplexed  
：波長分割多重）ファイバ」としても規定され、このファイバはいわゆるメトロ・ネット  
ワークあるいは長距離ネットワークに使用される。こうしたネットワークは、二、三百キ  
ロメートルまでの中距離伝送、及び非常に多数のノードによって特徴付けられ、ここ  
ではブランチ（支線）及び/または他のネットワーク（の一部）への接続が存在する。こ  
うしたネットワークにおける信号伝送を行う光ファイバは、非常に多数の波長による高  
い伝送レート（速度）に適している。

40

【0003】

"Maximum effective area for non-zero dispersion-shifted fiber"という文献は、この

50

種のファイバが、1550nmの波長で $0.08\text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ の分散勾配を有するという屈折率特性を開示している。波長1550nmにおける有効面積は $45 \sim 110 \mu\text{m}^2$ の範囲にある。特に分散勾配、マクロバンド、及び有効面積についての特性を満足に平衡させるための、勾配に関するさらなる詳細は、この文献から知ることはできない。

【0004】

米国特許第6,396,987号は、WDM伝送システムに使用する光ファイバに関するものであり、ここでは有効面積が $60 \mu\text{m}^2$ に等しいかそれより大きく、分散値が $6 \sim 10\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ の範囲にある。

【0005】

欧州特許出願第0 249 230は、プリフォーム（母材）の製造方法に関するものである。前記文献はプリフォームに関するものに過ぎないので、こうしたプリフォームから引き出した光ファイバに関する詳細、例えば分散勾配の値、有効面積の分散値は、特に提供していない。

10

【0006】

欧州特許第0 775 924は、3セグメントの屈折率特性を有するシングルモード光ファイバに関するものである。ゼロ分散の波長は1520～1600nmの範囲であるが、全分散勾配は $0.09 \text{ps}/\mu\text{m}^2 \cdot \text{km}$ 以下にすることができる。分散勾配、マクロバンド、及び有効面積についての特性を満足に平衡させるために必要な勾配についての詳細は提供していない。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

非常に長距離（1000km以上の距離）の場合には、高伝送レート用の光ファイバを1550nm付近の波長範囲で使用するために最適化しており、この波長範囲では、光減衰は小さい（約 $0.2\text{dB}/\text{km}$ ）ものと考えることができる。NZDF（Non-zero Dispersion Fibers：非ゼロ分散のファイバ）も、分散がシフト（移動）しており、その結果として、波長1550nmにおける分散は標準的なシングルモード光ファイバの分散よりも小さい。しかし、分散値はゼロから十分偏在し、非線形特性の効果を最小にして、このことは、最大許容伝送容量に対する重大な逆効果を有し得る。

20

【0008】

前述したネットワークの距離が比較的小さいので、光減衰について課せられる要求は比較的軽く、その結果、約 $0.3\text{dB}/\text{km}$ の減衰特性を有する1300nm付近の波長範囲も原則的に、こうした応用に適している。上記の、光ファイバを1550nmの波長範囲で最適化した結果として、長距離伝送に使用するファイバは、1300nm付近の波長範囲での使用にはより適さなくなっている。

30

【0009】

本発明の目的は、1550nm付近の波長範囲、即ち1440nm～1625nm、及び1300nm付近の波長範囲、即ち1250nm～1360nmにおけるマルチチャンネル（多チャンネル）伝送に適した、高い伝送レートを使用するシングルモード光ファイバを提供することにある。

【0010】

本発明の他の目的は、応力変化を防止するような特性に設計したシングルモード光ファイバを提供することであり、応力変化によって光ファイバの特性が不所望なものになり得る。

40

【0011】

【課題を解決するための手段】

本発明による光ファイバの基本的なものは、半径 $r_1 \mu\text{m}$ を有する前記一重目の中心領域内では屈折率 $n_1$ がほぼ一定であり、半径 $r_2 \mu\text{m}$ を有する前記二重目のリング内では、半径方向の距離が $r_1 \mu\text{m}$ から $r_2 \mu\text{m}$ まで増加すると共に、屈折率が $n_1$ から $n_2$ まで減少し、この減少はほぼ直線的であり、次式に従う。

勾配 =  $(D_1 - D_2) / (r_2 - r_1) [1/\mu\text{m}]$ 、ここに、

$0.11 [1/\mu\text{m}] < \text{勾配} < 0.22 [1/\mu\text{m}]$ 、そして、

$D_i = \{(n_i^2 - n_{c_i}^2) / (2 \cdot n_i^2)\} \cdot 100\%$ 、かつ $n_i > n_{c_i}$ 、ここに、

50

$D_i$  = 位置  $i$  の屈折率コントラスト (対比)、  
 $n_i$  = 位置  $i$  の屈折率、  
 $n_{c1}$  = 外環のファイバ・クラッドの屈折率

## 【0012】

ほぼ一定の屈折率を有する前記中心領域の特に好適な例は、前記半径  $r_1$  が  $0.25 \mu\text{m}$  の最大値を有する。半径  $r_1$  が前記の値よりも大きい場合には、十分大きい有効面積及び十分小さい分散勾配を有するファイバを得ることができない。

## 【0013】

本発明はさらに、半径  $r_1 \mu\text{m}$  及び最大屈折率  $n_1$  を有する一重目の中心領域、及び少なくとも1つの、この一重目の中心領域を包囲する二重目のリングを具えたシングルモード光ファイバに関するものであり、この二重目のリングは半径  $r_2 \mu\text{m}$  及び最小屈折率  $n_2$  を有し、ここに  $n_2 < n_1$  であり、このファイバは、前記二重目のリング内では屈折率がほぼ一定であり、前記一重目の中心領域内では、半径方向の距離が前記中心領域の対称の中心軸から距離  $r_1 \mu\text{m}$  まで増加すると共に、屈折率が  $n_1$  から  $n_2$  まで減少し、この減少はほぼ直線的であり、次式に従う。

勾配 =  $(D_1 - D_2)/(r_1)$  [ $1/\mu\text{m}$ ]、ここに、

$0.11[1/\mu\text{m}] < \text{勾配} < 0.22[1/\mu\text{m}]$ 、そして、

$D_i = \{(n_i^2 - n_{c1}^2)/(2 \cdot n_i^2)\} \cdot 100\%$ 、かつ  $n_i > n_{c1}$ 、

$D_i$ 、 $n_i$ 、及び  $n_{c1}$  は前の式と同様である。

## 【0014】

本発明はさらに、半径  $r_1 \mu\text{m}$  及び最大屈折率  $n_1$  を有する一重目の中心領域、及び少なくとも1つの、この一重目の中心領域を包囲する二重目のリングを具えたシングルモード光ファイバに関するものであり、この二重目のリングは半径  $r_2 \mu\text{m}$  及び最小屈折率  $n_2$  を有し、ここに  $n_2 < n_1$  であり、このシングルモードファイバは、前記二重目のリング内では屈折率がほぼ一定であり、前記二重目の中心領域内では、半径方向の距離が前記中心領域の対称の中心軸から距離  $r_1 \mu\text{m}$  まで増加すると共に、屈折率が  $n_1$  から  $n_1''$  まで減少し、この減少はほぼ直線的であり、次式に従う。

勾配 =  $(D_1 - D_1'')/(r_1)$  [ $1/\mu\text{m}$ ]、ここに、

$0.11[1/\mu\text{m}] < \text{勾配} < 0.22[1/\mu\text{m}]$ 、そして、

$D_i = \{(n_i^2 - n_{c1}^2)/(2 \cdot n_i^2)\} \cdot 100\%$ 、かつ  $n_i > n_{c1}$ 、そして、

$n_1 > n_1'' > n_2$ 、

$D_i$ 、 $n_i$ 、及び  $n_{c1}$  は前の式と同様である。

## 【0015】

本願の発明者は、光ファイバの特性を、不所望な応力変化を防止するように設計するという知見にもとづいて、本発明を達成している。これにより、PMD (あるいは水素誘導の減衰損失に対する感応性) の増加のような不所望な特性を最小に低減している。

## 【0016】

特定の好適例では、半径  $r_2 \mu\text{m}$  を有する前記二重目のリングを、半径  $r_3 \mu\text{m}$  及び屈折率  $n_3$  を有する三重目のリングによって包囲することが好ましく、ここに  $n_3 < n_2$ 、及び  $r_3 > r_2$  である。これに加えて、半径  $r_3 \mu\text{m}$  を有する前記三重目のリングを、半径  $r_4 \mu\text{m}$  及び屈折率  $n_4$  を有する四重目のリングによって包囲し、ここに  $n_4 < n_3$  及び  $r_4 > r_3$  である。

## 【0017】

本発明の光ファイバの分散値は、波長  $1550\text{nm}$  では  $8\text{ps}/\text{nm} \cdot \text{km}$  以上であり、これに対し波長  $1300\text{nm}$  では  $-8\text{ps}/\text{nm} \cdot \text{km}$  以下でなければならない。こうした分散値を用いれば、いくつかのチャンネル、即ち異なる波長を有する信号を、前述した2つの波長範囲で同時に、 $10\text{Gbit/s}$  以上の高い伝送レートで使用することが可能になり、そして関係する効果を制限する非線形特性をなくすことができる。

## 【0018】

本願の発明者はさらに、屈折率特性における勾配が、最終的な光ファイバの特性の適正な

10

20

30

40

50

組合わせを達成するための重要な設計パラメータである、ということを見出している。結果的に、この勾配は、0.11から0.22までの範囲、特に0.13から0.19までの範囲であることが好ましい。上記の範囲の値よりも大きい値を有する勾配を用いると、マクロバンド損失及び分散勾配が過大になり、このことは実際上不所望である。他方では、上記の範囲の値よりも小さい値を有する勾配を用いると、有効面積が過小になり、このことも実際上不所望である。

【0019】

波長が異なる非常に多数の信号を、パワー（電力）密度を大幅に制限することなしに同時に伝送することを可能にするために、本発明の光ファイバは、1550nmの波長範囲において、 $60 \mu\text{m}^2$ 以上の有効範囲を有することが好ましい。

10

【0020】

さらに、本発明の光ファイバについての分散勾配は、波長1550nmにおいて、 $0.07$ から $0.095 \text{ps}/\text{nm}^2 \cdot \text{km}$ の範囲にあることが好ましい。

【0021】

本発明の光ファイバが、最大の波長範囲にわたってシングルモード光ファイバであると考えられることができる、ということを保証するためには、2mの長さを持つ光ファイバについて測定したカットオフ波長が1200nm未満であることが好ましい。

【0022】

本発明の光ファイバは、前述した好適例の特徴を有することに加えて、光ファイバの屈曲（バンド）によって生じる損失が低い、という特徴を示すべきである。光ファイバで構成される前述したネットワーク内では多数の接続を行い、これらの接続については、ファイバ内のこれらの接続の位置に通常ループを設ける、ということがある。従って、こうしたループによって生じる減衰損失を可能な限り制限することが望ましく、このことは、波長1625nm、及び屈曲の直径60mmを有する100回巻きで測定したマクロバンド損失が0.05dB未満であることが好ましい、ということ暗に意味する。

20

【0023】

本発明はさらに、マルチチャンネル（多チャンネル）の信号伝送用の光通信システムに関するものであり、このシステムは、本発明の光ファイバを、1550nmまたは1300nmのいずれの波長範囲内にもあり得るいくつかのチャンネル用の伝送媒体として使用することを特徴とする。

30

【0024】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施例について、図面を参照して詳細に説明する。なお、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【0025】

図1に、本発明による光ファイバにありうる屈折率特性を示す。この特性上の参照番号1で示す位置は、ほぼ対称軸上の最大屈折率の位置であり、この位置は、屈折率 $n_1$ 及び屈折率差 $D_1$ を有する。参照番号2で示す位置は、対称軸から距離 $r_1$ だけ離れた位置であり、参照番号1で示す位置よりも明らかに低い屈折率 $n_2$ 及び屈折率差 $D_2$ を有する。この屈折率は実際には、位置1から位置2までの間で直線的に単調減少し、その勾配 $h$ は次式に従う。

40

$$h = (D_1 - D_2) / (r_1)$$

3で示す位置は、対称軸から距離 $r_2$ だけ離れている。最後に、参照番号4は、位置3とほぼ同じ距離だけ対称軸から離れた位置を示し、位置4はクラッドの屈折率を示し、このクラッドは、対称軸からの距離 $r_2$ から始まり、位置3よりも低い屈折率を有する。

【0026】

図2に、本発明によるファイバの屈折率特性を示す。距離 $r_1$ を有する回転対称の特性が対称軸の回りに形成されて、この特性の参照番号1で示す位置は、一定の屈折率 $n_1$ を有することが要求される。参照番号2で示す位置は、対称軸から距離 $r_2$ だけ離れて、参照番号1で示す位置よりも明らかに低い屈折率 $n_2$ 、及び屈折率差 $D_2$ を有する。この屈折

50

率は実際には、位置 1 から位置 2 までの間で直線的に単調減少し、その勾配は  $h = (D1 - D2)/(r1)$  である。参照番号 4 で示す位置はクラッドの屈折率を示し、このクラッドは、対称軸からの距離  $r2$  から始まる。図 2 では、 $n1 > n2 > n_{c\perp}$  である。

【0027】

図 3 に、本発明による光ファイバの屈折率特性を示す。この特性上に参照番号 1 で示す位置は、ほぼ対称軸上の最大屈折率の位置であり、この位置は屈折率  $n1$  及び屈折率差  $D1$  を有する。1" で示す位置は対称軸から距離  $r1$  だけ離れて、1 で示す位置よりも明らかに低い屈折率  $n1''$  を有する。この屈折率は実際には、位置 1 から位置 1" までの間で直線的に単調減少する。2 で示す位置も、対称軸から  $r2$  だけ離れて、屈折率  $n2$  及び屈折率差  $D2$  を有する。最後に、参照番号 4 は、位置 3 とほぼ同じ距離だけ対称軸から離れた位置を示し、クラッドは位置 4 から始まり、このクラッドは位置 3 の屈折率よりも低い屈折率を有する。

10

【0028】

既に前に説明したように、勾配  $h$  は、光ファイバの特性の適正な組み合わせを得るために重要な設計パラメータである。例えば位置 2 の屈折率差を適応させることによって、この勾配  $h$  に影響を与えることができる。特に図 1 および図 2 では、位置 2 の屈折率を減少させることによって、この勾配を増加させることができる。このことに加えて、位置 1" (図 3 参照) 及び位置 2 (図 1 及び図 2 参照) を半径方向に変化させることによって、勾配の適応を行うことができる。既に前述したように、本願の発明者は、前記勾配が  $0.11[1/\mu m]$  から  $0.22[1/\mu m]$  までの範囲、特に  $0.13[1/\mu m]$  から  $0.19[1/\mu m]$  までの範囲にあることが好ましい、ということを見出している。上記の範囲の値よりも大きい値を有する勾配の場合には、マクロバンド損失が不所望に増加し、上記の範囲の値よりも小さい値を有する勾配では、期待される有効面積が小さ過ぎるという結果になる。

20

【0029】

本明細書に示す屈折率特性における勾配の、種々のパラメータに対する影響を、2m の長さを有する光ファイバで測定した値についての下記の要求に適合する光ファイバについて調査した。これらの要求は、分散の要求が、波長 1550nm で  $8ps/nm \cdot km$  以上、波長 1300nm で  $-8ps/nm \cdot km$  以下であり、カットオフ波長の要求が 1200nm 未満である。そして上記パラメータは、分散勾配、マクロバンド損失、及び有効面積であり、分散勾配は  $0.095ps/nm^2 \cdot km$  未満であることが好ましく、マクロバンド損失は、(波長 1625nm、60mm の直径の屈曲(バンド)を有する巻きについて測定した値が)  $0.05dB$  未満であることが好ましく、有効面積は  $60 \mu m^2$  であることが好ましい。調査の結果を下表に示す。

30

【図面の簡単な説明】

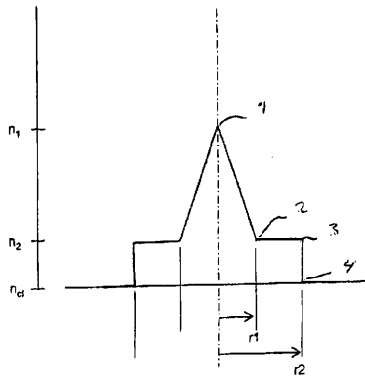
【図 1】 本発明の特定の実施例による多数の光ファイバの屈折率特性を半径の関数として図式的に示す図である。

【図 2】 本発明の特定の実施例による多数の光ファイバの屈折率特性を半径の関数として図式的に示す図である。

【図 3】 本発明の特定の実施例による多数の光ファイバの屈折率特性を半径の関数として図式的に示す図である。

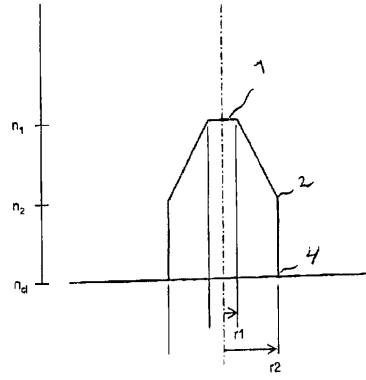
【 図 1 】

FIG. 1



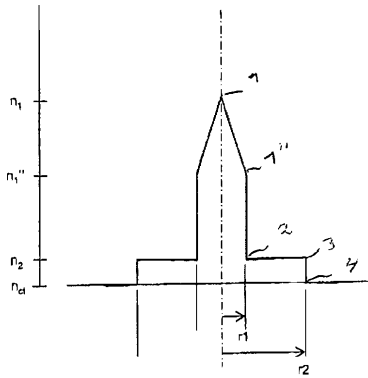
【 図 2 】

FIG. 2



【 図 3 】

FIG. 3





---

フロントページの続き

(72)発明者 ピーター マチス  
オランダ国 5 2 2 7 アーアー ハベルト デ クイル 3 5

審査官 高 芳徳

(56)参考文献 特表2002-503824(JP,A)  
特表2002-533744(JP,A)  
国際公開第00/031573(WO,A1)  
国際公開第00/037977(WO,A1)  
特開平02-184540(JP,A)  
特開2000-292638(JP,A)  
特表2002-522812(JP,A)  
特表2002-524765(JP,A)  
特表2003-515755(JP,A)  
国際公開第00/010042(WO,A1)  
国際公開第00/014580(WO,A1)  
国際公開第01/038911(WO,A1)  
P.Nouchi, Optical Fiber Communication Conference and Exhibit, OFC'98, Technical Digest  
, Conference Edition, 1998年 2月27日, Vol.2, p.303-304 (paper ThK3)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G02B 6/02 - 6/036  
JSTPlus(JDreamII)  
JST7580(JDreamII)