

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2005-517989

(P2005-517989A)

(43) 公表日 平成17年6月16日(2005.6.16)

(51) Int.Cl.⁷

G02B 6/22

F I

G02B 6/22

テーマコード (参考)

2H050

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 39 頁)

(21) 出願番号 特願2003-570164 (P2003-570164)
 (86) (22) 出願日 平成15年2月7日(2003.2.7)
 (85) 翻訳文提出日 平成16年9月3日(2004.9.3)
 (86) 国際出願番号 PCT/US2003/003843
 (87) 国際公開番号 W02003/071325
 (87) 国際公開日 平成15年8月28日(2003.8.28)
 (31) 優先権主張番号 60/357,539
 (32) 優先日 平成14年2月15日(2002.2.15)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

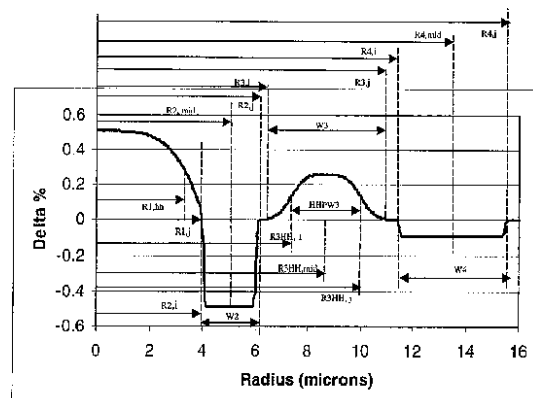
(71) 出願人 501246857
 コーニング・インコーポレーテッド
 アメリカ合衆国ニューヨーク州14831
 , コーニング, リバーフロント・プラザ
 1
 (74) 代理人 100079119
 弁理士 藤村 元彦
 (72) 発明者 ビッカム スコット アール.
 アメリカ合衆国 14830 ニューヨー
 ク州 コーニング イーストフォーススト
 リート 69
 (72) 発明者 ディエップ フォン
 アメリカ合衆国 14845 ニューヨー
 ク州 ホースヘッズ スティルウォーター
 ドライブ 281

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 低スロープ分散シフト光ファイバ

(57) 【要約】

中央領域及び2つ又は3つの環状領域を該中央領域とクラッド領域との間に含む低スロープ分散シフト光導波路ファイバである当該ファイバは、約1550nmの波長で約60 μm^2 よりも小の実効面積と、約1430nmよりも小のゼロ分散波長と、約1550nmの波長で約4ps/nm/kmから約10ps/nm/kmの間の分散と、約1550nmの波長で0.045ps/nm²/kmよりも小の分散スロープと、約1260nmよりも小のケーブルカットオフ波長とを有する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

約 1 5 5 0 n m の波長で約 $60 \mu\text{m}^2$ よりも小の実効面積と、約 1 4 3 0 n m よりも小のゼロ分散波長と、約 1 5 5 0 n m の波長で約 $4 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ から約 $10 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$ の間の分散と、約 1 5 5 0 n m の波長で $0.045 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ よりも小の分散スロープと、約 1 2 6 0 n m よりも小のケーブルカットオフ波長とを有することを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 2】

前記実効面積が約 1 5 5 0 n m の波長で約 $58 \mu\text{m}^2$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

10

【請求項 3】

ピン配列曲げ損失が約 1 6 0 0 n m の波長で約 $25 \text{ dB} / \text{km}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 4】

前記実効面積が約 1 5 5 0 n m の波長で約 $50 \mu\text{m}^2$ と約 $55 \mu\text{m}^2$ との間であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 5】

前記分散スロープが約 1 5 5 0 n m の波長で約 $0.042 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 6】

前記分散スロープが約 1 5 5 0 n m の波長で約 $0.038 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

20

【請求項 7】

前記分散スロープが約 1 5 5 0 n m の波長で約 $0.045 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ よりも小で、かつ、約 $0.020 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ よりも大であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 8】

前記ケーブルカットオフ波長が約 1 2 2 0 n m よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 9】

減衰が約 1 3 8 3 n m の波長で約 $0.6 \text{ dB} / \text{km}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

30

【請求項 10】

減衰が約 1 3 8 3 n m の波長で約 $0.5 \text{ dB} / \text{km}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 11】

減衰が約 1 3 8 3 n m の波長で約 $0.4 \text{ dB} / \text{km}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 12】

偏波モード分散が約 1 5 5 0 n m の波長で $0.06 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

40

【請求項 13】

偏波モード分散が約 1 5 5 0 n m の波長で $0.04 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 14】

偏波モード分散が約 1 5 5 0 n m の波長で $0.03 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$ よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 15】

中央線から放射状に外側へ伸長し、最大相対屈折率パーセント ($r_{1, \text{MAX}}$) を持つ正の相対屈折率パーセント ($r_1(\%)$) を有する中央領域と、

50

前記中央領域に隣接し且つこれを包囲し、負の相対屈折率パーセント ($\alpha_{2, \text{MIN}}$) を持つ最小相対屈折率パーセント ($\alpha_2\%$) を有する第1環状領域と、

前記第1環状領域に隣接し且つこれを包囲し、最大相対屈折率パーセント ($\alpha_{3, \text{MAX}}$) を持つ正の相対屈折率パーセント ($\alpha_3\%$) を有する第2環状領域と、

前記第2環状領域に隣接し且つこれを包囲し、相対屈折率パーセント ($\alpha_c\%$) を有する外側環状クラッド領域と、

を更に含むことを特徴とする請求項1記載の光導波路ファイバ。

【請求項16】

前記外側環状クラッド領域が前記第2環状領域に隣接し且つこれを包囲することを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項17】

$\alpha_{1, \text{MAX}}$ が約0.4%と約0.7%との間にあることを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項18】

前記中央領域が約3 μm と約6 μm との間の半径を有することを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項19】

$\alpha_{2, \text{MIN}}$ が約-0.05%と-0.35%との間にあることを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項20】

前記第1環状領域が約1.5 μm から約4.5 μm の間の幅と、約4 μm から約6.5 μm の間の中間点と、を有することを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項21】

$\alpha_{3, \text{MAX}}$ が約0.1%と0.3%との間にあることを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項22】

前記第2環状領域が約3 μm と約9 μm との間の半値幅を有し、前記半値幅の前記中間点が約7.5 μm と約10.5 μm との間にあることを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項23】

前記第2環状領域に隣接し且つこれを包囲し、前記第2環状領域と前記外側環状クラッド領域との間に配置され、最小相対屈折率パーセント ($\alpha_{4, \text{MIN}}$) を持つ負の相対屈折率パーセント ($\alpha_4\%$) を有する第3環状領域を更に含むことを特徴とする請求項15記載の光導波路ファイバ。

【請求項24】

前記第3環状領域が約1.5 μm から約7 μm の間の幅と、約11 μm から約18 μm の間にある中間点と、を有することを特徴とする請求項23記載の光導波路ファイバ。

【請求項25】

前記中央線から放射状に外側へ伸長し、最大相対屈折率 ($\alpha_{1, \text{MAX}}$) を持つ正の相対屈折率パーセント ($\alpha_1\%$) を有する中央領域と、

前記中央領域に隣接し且つこれを包囲し、最小相対屈折率パーセント ($\alpha_{2, \text{MIN}}$) を持つ負の相対屈折率パーセント ($\alpha_2\%$) を有する第1環状領域と、

前記第1環状領域に隣接し且つこれを包囲し、最大相対屈折率 ($\alpha_{3, \text{MAX}}$) を有する正の相対屈折率パーセント ($\alpha_3\%$) を有する第2環状領域と、

前記第2環状領域を包囲し、相対屈折率パーセント ($\alpha_c\%$) を有する外側環状クラッド領域と、を含む光導波路ファイバであって、

前記第1環状領域が約-1.5%・ μm^2 よりも小の分布体積を有し、前記全分布体積が-2%・ μm^2 よりも大であることを特徴とする光導波路ファイバ。

【請求項26】

$\alpha_{1, \text{MAX}}$ が約0.4%と0.7%との間にあることを特徴とする請求項25記載の光導

10

20

30

40

50

波路ファイバ。

【請求項 27】

前記中央領域が約 $3\ \mu\text{m}$ と約 $6\ \mu\text{m}$ との間の半径を有することを特徴とする請求項 25 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 28】

前記中央領域が約 $3.50\ \mu\text{m}$ と約 $4.5\ \mu\text{m}$ との間の半径を有することを特徴とする請求項 25 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 29】

2_{MIN} が約 -0.05% と -0.35% との間にあることを特徴とする請求項 25 記載の光導波路ファイバ。

10

【請求項 30】

前記第 1 環状領域が約 $1.5\ \mu\text{m}$ から約 $4.5\ \mu\text{m}$ の間の幅と、約 $4\ \mu\text{m}$ から約 $6.5\ \mu\text{m}$ の間の中間点と、を有することを特徴とする請求項 25 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 31】

3_{MAX} が約 0.1% と 0.3% との間にあることを特徴とする請求項 25 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 32】

前記第 2 環状領域が約 $3\ \mu\text{m}$ から約 $9\ \mu\text{m}$ の間の半値幅と、約 $7.5\ \mu\text{m}$ から約 $10.5\ \mu\text{m}$ の間の前記半値幅の中間点と、を有することを特徴とする請求項 25 記載の光導波路ファイバ。

20

【請求項 33】

前記第 2 環状領域に隣接し且つこれを包囲し、前記第 2 環状領域と前記外側環状クラッド領域との間に配置され、最小相対屈折率パーセント (4_{MIN}) を持つ負の相対屈折率パーセント ($4\%(r)$) を有する第 3 環状領域を更に含むことを特徴とする請求項 25 記載の分散光ファイバ。

【請求項 34】

前記第 3 環状領域が約 $1.5\ \mu\text{m}$ から約 $7\ \mu\text{m}$ の間の幅と、約 $11\ \mu\text{m}$ から約 $18\ \mu\text{m}$ の間の中間点と、を有することを特徴とする請求項 33 記載の光導波路ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本出願は、2002年2月15日に出願された米国特許仮出願第 60/357,539 号の米国特許法第 119 条 (e) に基づく優先権の利益を請求する。

【0002】

本発明は、低スロープを有する非ゼロ分散シフト光ファイバ (NZDSF) に関する。より好ましくは、本発明は、低スロープ及び低ゼロ分散波長を有する NZDSF ファイバに関する。

【背景技術】

【0003】

1550nm の波長付近 (本明細書中では、約 1525nm から約 1565nm の間の波長を含む C バンド及び約 1565nm から約 1625nm の間の波長を含む L バンドを含むものとして定義される) で動作する波長分割多重 (WDM) システムがある。特定の既知のファイバが、動作窓の外側に位置するゼロ分散波長を有することで、4 波混合 (FWM) 及び相互位相変調 (XPM) の如き非線形ペナルティが防止され得る。しかしながら、既知の NZDSF ファイバのかかるゼロ分散波長は、典型的には、 1550nm で 100nm 以内である。そこで、 1550nm 動作窓内で伝送信号の分散の大きさを低減させることで、より長いスパン長及びより少ない回数の分散補償を許容するのである。

40

【0004】

好ましくは、低密度波長分割多重 (CWDM) システムやそのアプリケーションは、WDM の 1550nm 窓、即ち、C バンド及び L バンド内、S バンド (約 1450nm から

50

約 1 5 2 5 nm の間) 内、及び、1 3 1 0 nm 窓 (約 1 2 8 0 nm から約 1 3 3 0 nm の間) 内で動作する。

【0005】

既知のファイバは、特定の窓内の動作に適した光学特性を有する。例えば、コーニング社によって製造される S M F - 2 8 TM 光ファイバの如き、標準単一モード伝送ファイバは、1 3 1 0 nm、または、その付近のゼロ分散波長を有する。かかるファイバは、1 3 1 0 nm 窓内で好適に機能し得る。1 5 5 0 nm でかかる光ファイバが呈する分散は、約 1 7 p s / n m / k m であり、これは典型的な N Z D S F ファイバの 1 5 5 0 nm での分散よりも大であって、常分散補償を必要とし得る。N Z D S F 光ファイバは、1 5 5 0 nm 窓内で好適に機能し得る。N Z D S F の例は、1 5 0 0 nm 付近で平均ゼロ分散波長及び約 1 5 5 0 nm で約 0 . 0 8 p s / n m ² / k m の分散スロープを有するコーニング社による L E A F (登録商標) ファイバや、1 5 9 0 nm 付近で平均ゼロ分散波長及び約 1 5 5 0 nm で約 0 . 1 p s / n m ² / k m の分散スロープを有するコーニング社によるサブマリン L E A F (登録商標) ファイバや、1 6 5 0 nm 付近で平均ゼロ分散波長を有するコーニング社による M e t r o C o r TM ファイバや、及び、約 1 4 5 0 nm のゼロ分散波長を有するルーセント社による T r u e w a v e R S TM を含む。しかしながら、これらの N Z D S F 光ファイバの 1 3 1 0 nm 窓での分散の大きさは小さくなく、多数の N Z D S F 光ファイバは 1 2 6 0 nm よりも大のケーブルカットオフ波長を示す。

【発明の開示】

【0006】

本発明の 1 つの特徴は、約 1 5 5 0 nm の波長で約 6 0 μ m ² よりも小なる実効面積、約 1 4 3 0 nm よりも小なるゼロ分散波長、約 1 5 5 0 nm の波長で約 4 p s / n m / k m から 1 0 p s / n m / k m の間にある分散、約 1 5 5 0 nm の波長で 0 . 0 4 5 p s / n m ² / k m よりも小なる分散スロープ、及び、約 1 2 6 0 nm よりも小なるケーブルカットオフ波長を有する光導波路ファイバに関する。

【0007】

好ましくは、約 1 5 5 0 nm の波長で実効面積が約 5 8 μ m ² よりも小であって、より好ましくは、約 5 5 μ m ² よりも小である。

【0008】

好ましくは、ゼロ分散波長は約 1 3 5 0 nm から約 1 4 3 0 nm の間にあり、より好ましくは、約 1 3 7 0 nm から約 1 4 1 0 nm の間にある。

【0009】

好ましくは、約 1 5 5 0 nm の波長で光ファイバの分散は約 5 p s / n m / k m から約 9 p s / n m / k m の間にあり、より好ましくは、約 6 p s / n m / k m から約 8 p s / n m / k m の間にある。

【0010】

好ましくは、光ファイバの分散は約 1 5 3 0 nm の波長で約 3 p s / n m / k m から約 7 p s / n m / k m の間にあって、より好ましくは、約 1 5 3 0 nm の波長で約 4 p s / n m / k m から 6 p s / n m / k m の間にある。

【0011】

約 1 5 5 0 nm の波長で光ファイバの分散スロープは、好ましくは、0 . 0 4 2 p s / n m ² / k m よりも小であり、より好ましくは、約 0 . 0 4 0 p s / n m ² / k m よりも小であり、更により好ましくは、約 0 . 0 3 8 p s / n m ² / k m よりも小である。また分散スロープは、好ましくは、約 1 5 5 0 nm の波長で約 0 . 0 2 0 p s / n m ² / k m よりも大であり、より好ましくは、約 1 5 5 0 nm の波長で 0 . 0 3 0 p s / n m ² / k m よりも大である。

【0012】

好ましくは、光ファイバのケーブルカットオフ波長は約 1 2 4 0 nm よりも小であり、より好ましくは、約 1 2 2 0 nm よりも小であり、更により好ましくは 1 2 0 0 nm よりも小である。理論的なカットオフ波長は、好ましくは、約 1 6 5 0 nm よりも小で、より

好ましくは、 1630 nm よりも小で、更により好ましくは、 1610 nm よりも小である。 2 m 測定ファイバカットオフ波長は、好ましくは、 1500 nm よりも小である。好ましくは、基本モードカットオフ波長 ($LPO1$) は、約 3500 nm よりも大であり、より好ましくは、約 4000 nm よりも大である。

【0013】

約 1310 nm の波長での光導波路ファイバの分散は、好ましくは、ゼロよりも小であり、より好ましくは、 0 ps/nm/km から約 -7.5 ps/nm/km の間にあり、更により好ましくは、約 0 ps/nm/km から約 -6 ps/nm/km の間にある。ある好ましき実施例において、約 1310 nm の波長での分散は約 0 ps/nm/km よりも小で、約 -5 ps/nm/km よりも大である。他の好ましき実施例において、約 1310 nm の波長での分散は -4 ps/nm/km よりも小であり、かつ、約 -7.5 ps/nm/km よりも大である。

【0014】

好ましくは、約 1550 nm の波長での光導波路ファイバの減衰は 0.23 dB/km よりも小であり、より好ましくは、 0.22 dB/km よりも小であり、更により好ましくは、 0.21 dB/km よりも小であり、より更により好ましくは、 0.20 dB/km よりも小である。

【0015】

約 1383 nm の波長での光導波路ファイバの減衰は、好ましくは、 0.6 dB/km よりも小であり、より好ましくは、約 0.5 dB/km よりも小であり、更により好ましくは、約 0.4 dB/km である。ある好ましき実施例において、約 1383 nm の波長での減衰は、約 1310 nm の波長での減衰よりも約 0.1 dB/km 程度大である。他の好ましき実施例において、約 1383 nm の波長での減衰は、約 1310 nm の波長での減衰よりも 0.05 dB/km 程度大である。更に他の好ましき実施例において、約 1383 nm の波長での減衰は、約 1310 nm の波長での減衰程度である。その上他の更に好ましき実施例において、約 1383 nm の波長での減衰は、約 1310 nm の波長での減衰よりも小である。

【0016】

好ましくは、約 1550 nm の波長での光ファイバの偏波モード分散は約 $0.1\text{ ps/km}^{1/2}$ よりも小であり、より好ましくは、約 $0.06\text{ ps/km}^{1/2}$ よりも小であり、更により好ましくは、約 $0.04\text{ ps/km}^{1/2}$ よりも小であり、その上更に好ましくは、約 $0.03\text{ ps/km}^{1/2}$ よりも小である。

【0017】

光導波路ファイバは、好ましくは、約 1600 nm の波長で約 25 dB/km よりも小であり、より好ましくは、約 15 dB/km よりも小であり、更により好ましくは、 10 dB/km よりも小であるピン配列曲げ損失を呈する。また、光導波路ファイバは、好ましくは、約 1550 nm の波長で約 20 dB/km よりも小であり、より好ましくは、約 15 dB/km よりも小であり、更により好ましくは、 10 dB/km よりも小であるピン配列曲げ損失を呈する。

【0018】

好ましくは、本明細書に開示された光ファイバは、約 1550 nm の波長で、 1.5 dB/m よりも小であり、より好ましくは、 1 dB/m よりも小である側面荷重微小曲げ試験によって誘導される減衰を呈する。

【0019】

好ましくは、光導波路ファイバが、中央線から外側へ放射状に延在し最大相対屈折率パーセント ($r_{1,MAX}$) を持つ正の相対屈折率パーセント ($r_1\%$) を有する中央領域と、該中央領域を包囲し最小相対屈折率パーセント ($r_{2,MIN}$) を持つ負の相対屈折率パーセント ($r_2\%$) を有する第1環状領域と、該第1環状領域を包囲し最大相対屈折率パーセント ($r_{3,MAX}$) を持つ正の相対屈折率パーセント ($r_3\%$) を有する第2環状領域と、該第2環状領域を包囲し相対屈折率パーセント ($r_c\%$) を有する

10

20

30

40

50

外側環状クラッド領域とを含む。

【0020】

好ましくは、該第1環状領域は、該中央領域に隣接する。好ましくは、該第2環状領域は、該第1環状領域に隣接する。

【0021】

好ましくは、 $\alpha_{1,MAX}$ は約0.4%から0.7%の間であって、より好ましくは、 $\alpha_{1,MAX}$ は約0.45%から0.65%の間にある。好ましき実施例において、 $\alpha_{1,MAX}$ は約0.5%から0.65%の間にある。

【0022】

該中央領域は、好ましくは、約3 μm から約6 μm の間の半径まで延在し、より好ましくは、約3 μm から約5 μm の間の半径まで延在する。 10

【0023】

好ましくは、該中央領域は、約1から約6の間のアルファ、より好ましくは、約2から約4の間のアルファを有する。

【0024】

好ましくは、 $\alpha_{2,MIN}$ は、約-0.05%から-0.35%の間であって、より好ましくは、約-0.1%から約-0.30%の間であって、最も好ましくは、約-0.14%から約-0.25%の間にある。好ましくは、 $\alpha_{1,MAX}$ から $\alpha_{2,MIN}$ の間の差の絶対値は、約0.45%から約1.05%の間であって、より好ましくは、約0.55%から約0.95%の間にある。 20

【0025】

該第1環状領域は、好ましくは、該中央領域を包囲し、5 μm から約9 μm の間の半径まで延在し、より好ましくは、6 μm から約8 μm の間の半径まで延在し、最も好ましくは、約3.5 μm から約7.5 μm の間の半径まで延在する。好ましくは、該第1環状領域の少なくとも一部分が4 μm の半径から約8 μm の半径の間に配置される。

【0026】

該第1環状領域は好ましくは約1.5 μm から約4.5 μm の間の幅、より好ましくは、約2 μm から4 μm の間の幅を有する。

【0027】

好ましくは該第1環状領域は約4 μm から約6.5 μm の間の中間点、より好ましくは、約4.5 μm から約6 μm の間の中間点を有する。 30

【0028】

好ましくは、 $\alpha_{3,MAX}$ は、約0.1%から0.3%の間であって、より好ましくは、約0.15%から0.3%の間にある。好ましくは、 $\alpha_{1,MAX}$ から $\alpha_{3,MAX}$ の間の差は、約0.1%から約0.6%の間であって、より好ましくは、約0.15%から約0.5%の間にある。好ましくは、 $\alpha_{1,MAX}$ は $\alpha_{3,MAX}$ よりも大である。

【0029】

該第2環状領域は、好ましくは、該第1環状領域を包囲し、約9 μm から約15 μm の間の半径まで延在し、より好ましくは、約10 μm から約14 μm の間の半径まで延在する。 40

【0030】

該第2環状領域は、約2 μm から約8 μm の間の幅、より好ましくは、約3 μm から約7 μm の間の幅を有する。該第2環状領域は、好ましくは、約3 μm から約9 μm の間の半値幅、より好ましくは、約3.5 μm から約8.5 μm の間の半値幅、更により好ましくは、約4 μm から約8 μm の間の半値幅を有する。該半値幅の中間点は、約7.5 μm から約10.5 μm の間であって、より好ましくは、約8 μm から約10 μm の間にある。

【0031】

いくつかの好ましき実施例において、該光導波路ファイバは第2環状領域を包囲し該第2環状領域と外側環状クラッド領域との間に配置され、最小相対屈折率パーセント(Δ) 40

n_{MIN})を持つ負の相対屈折率パーセント(Δn_{MIN} %)を有する第3環状領域を含む。好ましくは、該第3環状領域は該第2環状領域に隣接する。好ましくは、該光ファイバは第3環状領域を有し、 $\Delta n_{2,MIN}$ は、好ましくは、約-0.05%から-0.3%の間にあって、より好ましくは、約-0.1から-0.25%の間にある。

【0032】

いくつかの好ましき実施例において、 $\Delta n_{2,MIN}$ は $\Delta n_{4,MIN}$ よりも大である。他の好ましき実施例において、 $\Delta n_{2,MIN}$ は $\Delta n_{4,MIN}$ よりも小である。更に他の好ましき実施例において、 $\Delta n_{2,MIN}$ は $\Delta n_{4,MIN}$ とほぼ等しい。

【0033】

該第3環状領域は、好ましくは、約9 μ mから約15 μ mの間の半径から12 μ mから約20 μ mの間の半径まで延在する。より好ましくは、該第3環状領域は、約10 μ mから約14 μ mの間の半径から13 μ mから約18 μ mの間の半径まで延在する。

【0034】

好ましくは、該第3環状領域は、約1.5 μ mから約7 μ mの間の幅、より好ましくは、約2 μ mから約6 μ mの間の幅を有する。

【0035】

好ましくは、該第3環状領域は、約11 μ mから約18 μ mの間の幅、より好ましくは、約12 μ mから約16 μ mの間の中間点を有する。

【0036】

好ましくは、該中央領域はダウンドーパントを含まない。

【0037】

本発明の他の特徴は、中央領域と、該中央領域を包囲する第1環状領域と、該第1環状領域を包囲する第2環状領域と、及び、該第2環状領域を包囲する外側環状クラッド領域とを含む光導波路プリフォームに関する。該外側環状クラッド領域は、最小半径($r_{c,min}$)を有する。該中央領域は、好ましくは、約0.2から約0.45の間の規格化された最大半径($r_1/r_{c,min}$)を有し、該第1環状領域は、好ましくは、約0.3から約0.65の間の規格化された最大半径($r_2/r_{c,min}$)を有する。

【0038】

該光導波路プリフォームは、更に、該第2環状領域と該外側環状クラッドとの間に配置される第3環状領域を有し得る。好ましくは、該外側環状クラッド領域は該第3環状領域に隣接する。

【0039】

該中央領域、第1、第2、及び、第3環状領域の相対屈折率分布は、本明細書に開示された該光ファイバの分布に対応する。好ましくは、該中央領域は約0.2から約0.3の間の規格化された最大半径($r_1/r_{c,min}$)を有し、該第1環状領域は約0.35から約0.55の間の規格化された最大半径($r_2/r_{c,min}$)を有し、該第2環状領域は約0.7から約0.85の間の規格化された最大半径($r_3/r_{c,min}$)を有する。

【0040】

好ましくは、本明細書に記載され開示された該光ファイバは、約1260nmから約1650nmの間の複数の動作波長窓で、好適な性能を与える。より好ましくは、本明細書に記載され開示された該光ファイバは、約1260nmから約1650nmまでの複数の波長で好適な性能を与える。好ましき実施例において、本明細書に記載され開示された該光ファイバは、少なくとも1310nm窓及び1550nm窓で動作を適応させ得る2つの窓ファイバである。

【0041】

参照は、現在、本発明の現在の好ましき実施例、添付図面に説明される例によって、詳細にされるであろう。本発明によるセグメントコア相対屈折率分布の典型的な実施例はそれぞれの図面に示されている。

【発明を実施するための最良の形態】

【0042】

本発明の更なる特徴及び効果は、この後に続く発明の詳細な説明に記載され、当業者であればこの発明の詳細な説明の記載から明らかであろうが、特許請求の範囲及び添付図面とともに後に続く記述に記載された発明を実施することによっても認識されるであろう。

【0043】

「屈折率分布」は、屈折率又は相対屈折率と導波路ファイバ半径との関係である。

【0044】

「相対屈折率パーセント」は、

【0045】

【数1】

$$\Delta\% = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2n_i^2$$

10

【0046】

と定義され、ここで、 n_i は特に断りがない限り領域*i*における最大屈折率であり、 n_c はクラッド領域の平均屈折率である。環状領域又はセグメントの屈折率がクラッド領域の平均屈折率よりも小である場合において、相対屈折率パーセントが負であり、低下した領域又は低下した屈折率を有することを示し、特に断りがない限り屈折率が最も負である点で計算される。環状領域又はセグメントの屈折率がクラッド領域の平均屈折率よりも大である場合において、相対屈折率パーセントが正であり、かかる領域が高い又は正の屈折率を有していると言える。「ダウンドーパント」が、本明細書では、ドーピングされていない純SiO₂と比較して屈折率を低くする傾向を有するドーパントとして考えられる。ダウンドーパントが、ダウンドーパントではない1つ又は複数の他のドーパントとともに、正の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在し得る。同様に、ダウンドーパントでない1つ又は複数の他のドーパントが負の相対屈折率を有する光ファイバの領域に存在し得る。

20

【0047】

本明細書では特に断りがない限り「分散」として示される導波路ファイバの「色分散」は、材料分散、導波路分散、及び、内部モード（インターモーダル）分散の和である。単一モード導波路ファイバの場合は、内部モード分散は、ゼロである。

【0048】

実効面積は、

【0049】

【数2】

$$A_{\text{eff}} = 2\pi (\int E^2 r dr) / (\int E^4 r dr)$$

30

【0050】

と定義され、ここで、積分範囲は0からであり、 E は導波路内の光伝搬に関連した電場である。

【0051】

「分布」という用語は、屈折率分布を示し、 $(r)\%$ で表現され（ここで r は半径である）、次の式で表される。

40

【0052】

【数3】

$$\Delta(r)\% = \Delta(r_0)(1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha)$$

【0053】

ここで、 r_0 は $(r)\%$ が最大である点であり、 r_1 は $(r)\%$ がゼロの点であり、 r は $r_i - r_f$ であり、 r_i は上記の如く定義され、 r_i は分布の最初の点であり、 r_f は分布の最後の点であり、 α は実数の指数である。

50

【 0 0 5 4 】

モードフィールド径 (M F D) はピータマン I I 法を使用して測定される。かかる方法は、次の式で示される。

【 0 0 5 5 】

【 数 4 】

$$2w = MFD$$

【 0 0 5 6 】

【 数 5 】

$$w^2 = (2[E^2 r dr]/[dE/dr]^2 r dr)$$

10

【 0 0 5 7 】

ここで、積分範囲は 0 から までである。

【 0 0 5 8 】

導波路ファイバの曲げ抵抗が規定された試験条件の下に誘導される減衰によって評価され得る。

【 0 0 5 9 】

曲げ試験の 1 つのタイプは、側面荷重微小曲げ試験である。このいわゆる「側面荷重」試験において、規定された長さの導波路ファイバが 2 つの平面プレートの間に置かれる。70 番のワイヤーメッシュがかかるプレートの 1 つに取り付けられる。既知の長さの導波路ファイバがかかるプレートの間に挟まれ、プレートが互いに 30 N の力で押される間に基準減衰が測定される。70 N の力がプレートに与えられ、減衰の増加が d B / m で測定される。減衰の増加は、導波路の側面荷重減衰である。

20

【 0 0 6 0 】

「ピン配列」曲げ試験は、曲げによる導波路ファイバの相対抵抗を比較するために使用される。この試験を行うために、減衰損失が本質的に誘導曲げ損失のない導波路ファイバに対して測定される。その後、導波路ファイバがピン配列を通して組み入れられ、減衰が再び測定される。曲げによって誘導される損失は、この 2 つの測定された減衰の差である。ピン配列は、1 列に並べられた 10 本の円筒状のピンのセットであり、平らな表面上に鉛直に固定されている。ピン間隔は中心と中心との間で 5 mm である。ピンの直径は 0 . 67 mm である。試験の間、十分な張力が印加され、導波路ファイバがピン表面の一部分に適合する。

30

【 0 0 6 1 】

定められたモードに対する、理論的なファイバカットオフ波長もしくは「理論的なファイバカットオフ」もしくは「理論的なカットオフ」は、それより上では誘導された光がかかるモードで伝搬できない波長である。1990 年ニューヨークの J e u n h o m m e 社から刊行された「S i n g l e M o d e F i b e r O p t i c s」の第 39 乃至 44 頁の M e r c e l D e k k e r 氏の記載において、数学的な定義では、理論的なファイバカットオフは、モード伝搬定数が外側クラッドにおける平面波伝搬定数と等しくなる波長として記載されている。この理論的な波長は、直径が変化しない、無限に長い、完全に真っ直ぐなファイバに対して当てはまる。

40

【 0 0 6 2 】

実効ファイバカットオフは、曲げ及び / 又は機械的圧力に誘導される損失のため、理論的なカットオフより低い。この状況では、かかるカットオフがより高い L P 1 1 及び L P 0 2 モードを示す。L P 1 1 及び L P 0 2 は、一般に、測定では区別されず、スペクトル測定のステップとして明らかになる。即ち、測定されたカットオフより長い波長のモードは観測されない。実際のファイバカットオフは、「2 m ファイバカットオフ」もしくは「測定されたカットオフ」としても知られる「ファイバカットオフ波長」をもたらす標準 2

50

mファイバカットオフ試験 (FOTP - 80 (EIA - TIA - 455 - 80)) によって測定され得る。FOTP - 80 標準試験は、制御された量の曲げを使用する高次モードを無視するか、かかるファイバのスペクトル応答をマルチモードファイバのスペクトル応答に規格化するかして行われる。

【0063】

ケーブルカットオフ波長 (もしくは「ケーブルカットオフ」) は、ケーブル環境におけるより高いレベルの曲げ及び機械的圧力のため、測定されたファイバカットオフよりも更に低い。実際のケーブル状態は、EIA - 445 ファイバ光学試験手順に記載されるケーブルカットオフ試験によって近似され得る。該手順は、EIA - TIA ファイバ光学標準 (電子工業連合 - 遠距離通信工業協会ファイバ光学標準、一般には FOTP 's として知られる) の一部である。ケーブルカットオフ測定は、送信出力による単一モードファイバの EIA - 455 - 170 ケーブルカットオフ波長 (又は「FOTP - 170」) に記載されている。

10

【0064】

導波路ファイバ遠距離通信リンク、もしくは、単にリンクは、光信号の送信機、光信号の受信機、及び、相互に光信号を伝搬する送信機及び受信機に光学的に結合された各端部を有する一定長の単数もしくは複数のファイバから組み立てられる。かかる一定長の導波路ファイバは、直列に並べられて、端部と端部を互いに結合又は連結された複数のより短い長さのファイバから作られ得る。リンクは、光学増幅器、光学減衰器、光学アイソレータ、光学スイッチ、光学フィルタ、又は、多重化又は逆多重化デバイスの如き更なる光学コンポーネントを含み得る。内部連結リンクのグループは、遠距離通信システムを意味する。

20

【0065】

本明細書に使用される光ファイバのスパンは、光デバイスの間 (例えば2つの光増幅器の間、又は、多重化デバイスと光増幅器の間) に延在する、一定長の光ファイバ、又は、連続的に結合した複数の光ファイバを含む。スパンは、本明細書に開示された1つ又は複数の部分の光ファイバを含み得て、更に、例えばスパンの端部での残余分散の如き所望のシステム性能又はパラメータを達成すべく選択される1つ又は複数の他の光ファイバを含み得る。

【0066】

一般に、光ファイバの「物理的」コアは、ドーブされ得る1つ又は複数のセグメントを含む。かかるセグメントは、コアの物理的に同定できる部分である。同時に、光学的に言う「光学的」コアは、本明細書において、約99%の伝搬光が光ファイバ内を伝搬し、一部の伝搬光が物理コアセグメントの外側を伝搬することを考慮されていることを理解されるべきである。

30

【0067】

好ましくは、本明細書に開示されたファイバが気相蒸着法によって製造される。更により好ましくは、本明細書に開示されたファイバが外付け気相蒸着法 (OVD) によって製造される。このように、例えば、既知のOVDレイダウン、圧密化、及び、線引き技術が本明細書に開示された光導波路ファイバを製造するために好適に使用され得る。内付け化学気相蒸着法 (MCVD) 又は気相軸付け法 (VAD) の如き他の処理が使用され得る。このように、本明細書に開示された光導波ファイバの屈折率及び断面分布はこれらに限定されないが、OVD、VAD、及び、MCVD処理を含む当業者に既知の製造技術を使用して、達成され得る。

40

【0068】

図1は、中央領域 (もしくは、第1コアセグメント) 4、該中央領域4に隣接し且つこれを包囲する第1環状領域 (もしくは第2コアセグメント) 6、該第1環状領域6に隣接し且つこれを包囲する第2環状領域 (もしくは第3コアセグメント) 8、及び、該第2環状領域8に隣接し且つこれを包囲する外側環状クラッド領域もしくはクラッドもしくはクラッド層14を有する本発明による光導波路ファイバ2の概略図 (スケール通りではない

50

）である。

【 0 0 6 9 】

図 2 は、中央領域（もしくは第 1 コアセグメント）4、該中央領域 4 に隣接し且つこれを包囲する第 1 環状領域（もしくは第 2 コアセグメント）6、該第 1 環状領域 6 に隣接し且つこれを包囲する第 2 環状領域（もしくは第 3 コアセグメント）8、該第 2 環状領域 8 に隣接し且つこれを包囲する第 3 環状領域（もしくは第 4 コアセグメント）10、及び、該第 3 環状領域 10 に隣接し且つこれを包囲する外側環状クラッド領域又はクラッド又はクラッド層 14 を有する本発明による第 2 光導波路ファイバ 3 の概略図（スケール通りではない）である。

【 0 0 7 0 】

好ましくは、本明細書に開示された光ファイバのクラッド 14 は、純粋又は実質的に純粋なシリカである。より好ましくは、該クラッドはその中にゲルマニア又はフッ素ドーパントを含まない。該外側環状クラッド領域 14 は、例えばレイダウン工程の間、堆積された、又は、チューブ・イン・ロッド光プリフォーム配列におけるチューブ又は堆積された材料と被覆との組み合わせの如き、被覆の形成において提供されるクラッド材料からなり得る。該外側環状クラッド領域 14 は、1 つ又は複数のドーパントを含み得る。該クラッド 14 は第 1 コーティング及び第 2 コーティング 5 によって包囲される。該クラッド 14 の屈折率が本明細書内の他の場所で議論される場合と同様に相対屈折率パーセントを計算するために使用される。

【 0 0 7 1 】

図面を参照すると、該クラッド層 14 は、 $\% (r) = 0$ を有して定義されるコアを包囲する屈折率 n_c を有し、光ファイバ又は光ファイバプリフォームの複数の部分又は領域の屈折率パーセントを計算するために使用される。

【 0 0 7 2 】

中央コア領域又はコア領域の如き領域の分布の記載において、最大点の半分は、 $1, MAX$ の如きピーク屈折率（もしくは最大屈折率）を決定することによって定義され得る。また、 $1, MAX$ の如きピーク屈折率（もしくは最大屈折率）の値の半分と等しい相対屈折率に対応する半径を決定することによって定義され得る。即ち、半径に対する相対屈折率が描く曲線から垂下された垂線が $\% (r) = 0$ （即ち、クラッド層の相対屈折率）を横切る位置を決定することによって定義される。

【 0 0 7 3 】

図 3 に示されるように、本明細書に開示された光ファイバ 32 が光ファイバ通信システム 30 で利用され得る。システム 30 は送信機 34 及び受信機 36 を含み、光ファイバ 32 は送信機 34 と受信機 36 との間の光信号の送信を可能にする。システム 30 は、好ましくは、2 方向通信を可能にする。なお、送信機 34 及び受信機 36 は説明の目的で示されている。かかるシステム 30 は、好ましくは、本明細書に開示された光ファイバのセクションまたはスパンを有するリンクを含む。また、かかるシステム 30 は、本明細書に開示された光ファイバの 1 つ以上のセクション又はスパンに光学的に接続された 1 つ以上の光デバイス、例えば、1 つ以上の再生機、増幅器、又は、分散補償モジュールを含み得る。少なくとも 1 つの好ましき実施例において、本発明による光ファイバ通信システムは間に再生機の存在なしに光ファイバによって接続された送信機及び受信機を含む。他の好ましき実施例において、本発明による光ファイバ通信システムは間に増幅器の存在なしに光ファイバによって接続される送信機及び受信機を含む。更に他の好ましき実施例において、本発明による光ファイバ通信システムは、間に増幅器、再生機、及び、中継器を有しない光ファイバによって接続された送信機及び受信機を含む。

【 0 0 7 4 】

好ましくは、本明細書に開示された光ファイバは水の含有量が低く、好ましくは、低水ピーク光ファイバ、即ち、特定の波長領域（特に、1383 nm 窓）において、相対的に低い、又は、ゼロの水ピークを呈する減衰カーブを有する。

【 0 0 7 5 】

10

20

30

40

50

低水ピーク光ファイバを製造する方法は、2001年11月27日に出願された米国特許出願第09/722,804号、2000年4月11日に出願された米国特許出願第09/547,598号、2000年12月22日に出願された米国特許仮出願第60/258,179号、及び、2001年2月28日に出願された米国特許仮出願第60/275,015号に開示され、これらの内容は引用によってここに組み入れられる。

【0076】

図4に典型的に説明されるように、スートプリフォーム又はスート体21は、流動体混合物の少なくともいくつかの成分を化学的に反応させて形成される。流動体混合物は、好ましくは、シリカベースの反応生成物を形成する酸化物からなる、少なくとも1つのガラス形成プリカーサ化合物を含む。この反応生成物の少なくとも一部は、基体の方へ導かれて、少なくともこの一部が酸素と結びついた水素を典型的に含むポラスシリカ体を形成する。かかるスート体は、例えば、OVD工程を経たベイトロッド上にスート層を堆積することによって形成される。かかるOVD工程は、図4に説明される。

10

【0077】

図4に示されるように、基体もしくはベイトロッドもしくはマンドレル31が中空又は環状のハンドル33の如きガラス体を介して挿入されて旋盤（図示せず）に取り付けられる。かかる旋盤は、スート生成バーナー35の近くでマンドレル31を回転し並進するように設計されている。マンドレル31が回転、及び、並進するとき、一般にスートとして公知のシリカベース反応生成物37がマンドレル31の方向へ導かれる。シリカベース反応生成物37の少なくとも一部がマンドレル31上、及び、スート体21を形成するハンドル33の一部の上に堆積する。

20

【0078】

所望の量のスートがマンドレル31に堆積すると、スート堆積は終了して、マンドレル31がスート体21から取り除かれる。

【0079】

マンドレル31の除去後の図5及び図6に図示されるように、スート体21が軸方向に通る中央線穴40を画定する。好ましくは、スート体21は、ダウンフィールドデバイス42のハンドル33によって吊され、圧密化炉44内に配置される。ハンドル33から離れた方の中央線穴40の端部は、好ましくは、圧密化炉44内にスート体21が位置する前に、下部栓46と位置合わせされる。好ましくは、下部栓46が位置決めされて摩擦ばめによってスート体21の場所に保持される。栓46が更に好ましくはテーパ付けされて、スート体21内へ進入を容易にして、少なくとも一時的に添付し少なくとも緩いことを可能にする。

30

【0080】

スート体21は、好ましくは、例えば、スート体21を圧密化炉44内で上昇した温度で塩素含有雰囲気にさらすことによって、化学的に乾燥される。塩素含有雰囲気48は、スート体21から製造される光導波路ファイバの特性における望まない効果を有する水及び他の不純物を効果的に取り除く。スート体21を形成するOVDにおいて、塩素がスートを通して十分に流れ、中央線穴40を囲む中央線領域を含む空間全体を効果的に乾燥する。

40

【0081】

化学的乾燥ステップに続いて、炉の温度は、スート空間が焼結したガラスプリフォームに圧密化するのに十分な温度（好ましくは、1500）に上昇せしめられる。中央線穴40が、圧密化ステップの間、閉じられて、中央線穴は中央線穴が閉じる前に水素化合物によって再び濡らされる機会を有しない。好ましくは、中央線領域が1ppbよりも小の重量平均OH量を有する。

【0082】

中央線穴を水素化合物を含む雰囲気にさらすことが、圧密化の間に中央線穴を閉じることによって、有意に取り除かれ又は妨げられ得る。

【0083】

50

図 6 に説明される好ましき実施例において、下部栓 46 の如きガラス体が中央線穴 40 内のハンドル 33 から遠いスート体 21 の端部に位置する。また、図 5 に示されるように、開放端 64 を有する空洞管ガラス栓もしくは上部栓 60 の如きガラス体が、スート体 21 の中央線穴 40 内に栓 46 の反対側に位置する。上部栓 60 が管ハンドル 33 の中空内に配置される。塩素乾燥に続いて、スート体 21 が圧密化炉 44 の高温領域に導入され、焼結したガラスプリフォーム又は圧密化したガラスプリフォームの中に中央線穴 40 を封止し、且つスート体 21 を圧密化する。乾燥と圧密化が任意に同時に起こりうる。圧密化の間、スート体 21 はいくらか縮小し、下部栓 46 と上部栓 60 の下端部に係合し、それによって、生じた焼結したガラスプリフォームを栓 46 と栓 60 に溶解し、中央線穴 40 を封止する。中央線穴 40 の上部と下部の両方を封止することが、高温領域を通して 1 過程のスート体 21 で達成され得る。好ましくは、圧密化したガラスプリフォーム又は焼結したガラスプリフォームが上昇した温度で、好ましくは、保持するオープン内で、保持され、中央線穴 40 から拡散する不活性ガスを封止された中央線穴 40 内で不活性真空にすることを可能にする。好ましくは、上部栓 60 は、不活性ガスの拡散がより適切に起こり得る相対的に薄い壁を有する。図 6 に図示されるように、上部栓 60 は、好ましくは、ハンドル 33 内で栓 60 を支持する拡大した部分 62、及び、スート体 21 の中央線穴 40 内に伸長する細い部分 64 を有する。また、好ましくは、栓 60 は、好ましくはハンドル 33 の丈夫な部分を占め得る延伸中空部分 66 を含む。中空部分 66 が中央線穴 40 に更なる体積を有し、それによって、不活性ガスの拡散に続く中央線穴 40 内のよりよい真空を有する。

【0084】

栓 60 の延伸部分 66 による体積が封止された中央線穴 40 に更なる体積を与える。その有利な点の詳細が、下記に記載される。

【0085】

本明細書に記載されるように、下部栓 46 及び上部栓 60 は、好ましくは、溶融石英栓の如く重量比で約 31 ppm よりも小の含水率、好ましくは、化学的に乾燥したシリカ栓の如く重量比で 5 ppm よりも小の含水率を有する。一般的に、かかる栓は塩素含有雰囲気において乾燥されるが、他の化学乾燥物質を含む雰囲気が等価的に適用できる。理想的には、ガラス栓が重量比で 1 ppm よりも小の含水率を有する。更に、ガラス栓は好ましくは約 200 μ m から約 2 mm までの厚さの範囲に亘る薄い壁栓である。更により好ましくは、栓 60 の少なくとも一部は約 0.2 から約 0.5 mm の壁の厚さを有する。より更に好ましくは、伸ばされた部分 66 が約 0.3 mm から約 0.4 mm の壁の厚さを有する。より薄い壁が拡散を促進するが、取扱いの際により破損し易い。

【0086】

このように、中央線穴が封止されて中央線穴内に不活性真空が作られた後、不活性ガスが好ましくは中央線穴から拡散され、薄い壁のガラス栓が中央線穴から不活性ガスの早急な拡散を促進する。栓がより薄くなると、拡散の速度がより速くなる。圧密化ガラスプリフォームが好ましくはガラスプリフォームを十分伸ばす高い温度（好ましくは、約 1950 から約 2100）に熱せられ、それによって、プリフォームの直径を減少し、コア茎又は光ファイバの如き円筒状のガラス体を形成する。続いて、中央線穴が圧壊し固体中央線領域を形成する。圧密化の間に不活性に封止された中央線穴内に維持された減少した圧力は、全体として、線引き（又は再線引き）処理の間、完全な中央線穴閉鎖を促進するのに、十分である。図 7 は、中央線軸 28、オーバークラッド部分 82 に包囲される半径 R_j を有する内部クラッド部分 84 によって包囲される半径 R_i を有するコア部分 86 を有する光ファイバ 80 の典型的な等角投影断面図を示す。

【0087】

従って、全体として、低 OH オーバートーン光減衰が達成され得る。例えば、950 nm 又は 1240 nm の如き、他の OH が誘導する水ピークと同様に、1383 nm での水ピークが低くなり得て、ほぼ消滅する。

【0088】

低水ピークは、特に約 1340 nm から約 1470 nm の間の伝送信号に対して、全体として、より低い減衰損失を有する。さらに、低水ピークは 1 つ又は複数の励起波長で動作し得るラマン励起又はラマン増幅器の如き、光ファイバに光学的に結合した励起光送信デバイスの改良された励起性能を提供する。好ましくは、ラマン増幅器が所望の動作波長又は波長領域より約 100 nm 低い 1 つ又は複数の波長で励起する。例えば、約 1550 nm の波長で動作信号を搬送する光ファイバが 1450 nm 辺りの励起波長でラマン増幅器で励起され得る。このように、約 1400 nm から約 1500 nm までの波長領域内でより低いファイバ減衰が励起減衰を減少し、励起性能（例えば、特に 1400 nm 辺りの励起波長に対する励起出力の 1 mW 当たりの利得）を向上する傾向がある。一般的に、ファイバにおける OH 不純物の増加に対して、水ピークが高さと同様に幅も大きくなる。それ故、より小さい水ピークによって、動作信号波長に対しても励起波長での増幅に対しても、より効果的な動作のより幅広い選択ができる。このように、OH 不純物を低減することが、例えば、約 1260 nm から約 1650 nm の間の波長で損失を低減し得て、特に低減された損失が 1383 nm 水ピーク領域で得られて、これによって、より有効なシステム動作を得る。

【0089】

本明細書に開示されたファイバが OVD 処理によって製造されたとき、低 PMD 値を呈する。光ファイバ又はファイバ部分の低偏光モード分散 (PMD) を達成するための方法と装置が 2001 年 7 月 31 日に出版された米国特許仮出願第 60/309,160 号、及び、2000 年 4 月 17 日に出版された PCT/US/10303 に開示されている。プリフォームの中央線穴領域に関する更なる方法及び装置が、「光ファイバ及び低偏光モード分散及び低減衰光ファイバを製造する方法」として、2000 年 4 月 26 日に出版された米国特許出願第 09/558,770 号、及び、「低水ピーク光導波路ファイバ及びその製造方法」として、1999 年 4 月 26 日に出版された米国特許仮出願第 60/131,033 号に開示されている。これら全ては引用によってここに組み入れられる。光ファイバの巻き取りは、本明細書に開示されたファイバのより低い PMD 値を与え得る。

【0090】

図 8 を参照すると、本明細書に開示された光導波路ファイバは、好ましくは、中央線から中央領域外径 (R_{1j}) まで放射状に外側に延在する、最大相対屈折率パーセント ($\alpha_{1,MAX}$) を持つ正の相対屈折率パーセント ($\alpha_1\%$ (r)) を有する中央領域 4 と、中央領域 4 を包囲しモート中間点 (R_{2mid}) に配置されるモート幅 (W_2) を有し且つ最小屈折率パーセント ($\alpha_{2,MIN}$) を持つ負の相対屈折率パーセント ($\alpha_2\%$ (r)) を有する第 1 環状領域 (もしくは、「モート」) 6 と、第 1 環状領域 6 を包囲しリング中間点 (R_{3mid}) に配置されるリング幅 (W_3) を有する最大相対屈折率パーセント ($\alpha_{3,MAX}$) を持つ正の相対屈折率パーセント ($\alpha_3\%$ (r)) を有する第 2 環状領域 (もしくはリング) 8 と、第 2 環状領域 8 を包囲し相対屈折率パーセント ($\alpha_c\%$ (r)) を有する外側環状クラッド領域 14 とを有する。好ましくは、 $\alpha_{1,MAX} > \alpha_{3,MAX} > \alpha_{2,MIN}$ であり、 $\alpha_2\%$ (r) が負である。

【0091】

中央領域 4 が、ファイバの中央線 ($R_{1i} = 0$) から中央領域外径 (R_{1j}) ($\alpha_1\%$ (r) が 0% に達する位置) まで延在する。 R_{1hh} が、 $\alpha_{1,MAX}$ の半値高さ、もしくは、半値ピーク高さの半径を示す。

【0092】

モート 6 がモート内部半径 (R_{2i}) ($\alpha_2\%$ (r) が負になる位置) からモート外径 (R_{2j}) ($\alpha_2\%$ (r) が 0% に達する位置) まで延在する。モート幅 (W_2) が R_{2i} と R_{2j} の間の放射方向の距離として定義される。モート中間点 (R_{2mid}) が R_{2i} と R_{2j} の中間である。

【0093】

好ましくは、第 1 環状領域 6 が中央領域 4 に隣接し、即ち、好ましくは、 $R_{1j} = R_{2i}$ である。

【0094】

リング8は、リング内径(R_{3i})($\%(r)$ が正になる位置)からリング外径(R_{3j})($\%(r)$ が0%に達する位置)まで延在する。リング幅(W_3)は、 R_{3i} と R_{3j} の間の放射方向の距離として定義される。リング8は、「ピーク」を持つ正の相対屈折率又は最大屈折率パーセント($_{3,MAX}$)を有する。 R_{3hhi} は、 $_{3,MAX}$ の半値高さの最初の放射方向に内側の位置である。 R_{3hhj} は、 $_{3,MAX}$ の半値高さの最初の放射方向に外側の位置である。リング半値幅HHPW₃は、内側半径(R_{3hhi})と外側半径(R_{3hhj})とによって境界とされる。リング半値幅(HHPW₃)の中間点は、 R_{3hhi} と R_{3hhj} の間の放射方向の距離の半分である半径(R_{3hhmid})である。好ましくは、 $_{3,MAX}$ は R_{3hhmid} である。好ましくは、 R_{3hhmid} はリング8の中間点と一致する。

10

【0095】

いくつかの好ましき実施例において、第2環状領域8は第1環状領域6に隣接する。即ち、 $R_{2j} = R_{3i}$ である。

【0096】

いくつかの好ましき実施例において、光導波路ファイバは、第2環状領域8を包囲し第2環状領域8と外側環状領域14との間に配置される第3環状領域(もしくはガター)10を含む。第3環状領域10は、最小屈折率パーセント($_{4,MIN}$)を持つ負の相対屈折率パーセント($_{4}\%(r)$)を有する。

【0097】

ガター10が、ガター内側半径(R_{4i})($\%(r)$ が負になる位置)からガター外側半径(R_{4j})($\%(r)$ が0%に達する位置)まで延在する。ガター幅(W_4)は、 R_{4i} と R_{4j} の間の放射方向の距離として定義される。ガター幅(W_4)は、 R_{4i} と R_{4j} の間の放射方向の距離として定義される。ガターの中間点(R_{4mid})は、 R_{4i} と R_{4j} の間である。 $r > R_{4j}$ に対して相対屈折率パーセント($_{4}\%(r)$)は、好ましくは0%である。

20

【0098】

いくつかの実施例において、第3環状領域10は第2環状領域8に隣接する。即ち、 $R_{3j} = R_{4i}$ である。

【0099】

光ファイバ、又は、そのある部分の分布体積は、次のように定義される。

30

【0100】

【数6】

$$\int_{r_0}^{r_f} \Delta(r) r dr$$

【0101】

ここで、 r_0 及び r_f は、分布体積が計算されるファイバの部分の半径のそれぞれ始点と終点である。

【0102】

上記した定義の物理パラメータが、適切なところで残りの図面に適用される。

40

【0103】

光導波路ファイバの製造の間、ドーパントの拡散が本明細書に開示された分布の角の丸めの原因となり得り、約0.5 μm までの領域を占め得る中央線屈折率低下部の原因となり得る。例えば、ドーピングステップにおけるかかる拡散のいくらかを補償することは可能であるが、多くの場合それは必要ではない。

【0104】

中央領域分布体積(もしくは「中央領域体積」)は、 R_{1i} から R_{1j} まで計算される。モート分布体積(もしくは「モート体積」)は、 R_{2i} から R_{2j} まで計算される。リング分布体積(もしくは「リング体積」)は、 R_{3i} から R_{3j} まで計算される。ガター分布体積(も

50

しくは「ガター体積」)は、 R_{4i} から R_{4j} まで計算される。全分布体積は、 R_{1i} からファイバの最も外側の直径まで計算される。ファイバの最も外側の位置は、定義によって相対屈折率 $\%(r) = 0$ を有し分布体積に全く寄与しない。本明細書に開示されたファイバの物理特性が記載される下記の表に、その全分布体積と同様に、中央コア領域、モート、リング、もしあればガターに対応する部分の計算された分布体積 (単位 $\% \cdot \mu m^2$) が含まれる。分散スロープ (もしくは「スロープ」) は、 $p_s / nm^2 / km$ の単位で与えられる。

[実施例 1 乃至 5]

【 0 1 0 5 】

表 1 に、本明細書に開示されたファイバの第 1 乃至第 5 の実施例 (実施例 1 - 5) の物理パラメータが記載される。実施例 1 乃至 4 の相対屈折率分布は、表 1 に見られる特定の分布の物理パラメータに対応した項目を有している図 8 に示される実施例 3 の分布で一般的に表される。実施例 5 は、表 1 の対応する項目に関連して図 9 に示される。表 2 に、実施例 1 乃至 5 の光学特性が記載される。

【 0 1 0 6 】

【 表 1 】

実施例	1	2	3	4	5
$\Delta_{1,MAX}$	0.505	0.504	0.508	0.512	0.519
R_{1j}	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96
$R_{1,HH}$	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
$\Delta_{2,MIN}$	-0.45	-0.467	-0.49	-0.595	-0.713
R_{2i}	3.96	3.96	3.96	3.96	3.96
R_{2j}	6	6.05	6.15	5.8	5.6
W2	2.04	2.09	2.19	1.84	1.64
R2mid	5.0	5.0	5.1	4.9	4.8
$\Delta_{3,MAX}$	0.154	0.19	0.255	0.25	0.262
R_{3i}	6.5	6.5	6.65	6.4	6.65
R_{3j}	13.1	11.85	10.75	9.45	9
$R_{3,HH}$	7.6	7.4	7.4	7.05	6.7
$R_{3,HHJ}$	12	11	10	9.35	8.5
$R_{3,HHMID}$	9.8	9.2	8.7	8.2	7.6
R_{4i}	14	12.9	11.3	10.4	9
HHPW ₃	8	6.9	5.15	4.6	3.4
$\Delta_{4,MIN}$	-0.22	-0.15	-0.09	-0.05	0
R_{4j}	18.3	17.1	15.6	13.7	
W4	4.3	4.2	4.3	3.3	
R4mid	16.2	15	13.5	12.1	
中央領域体積	2.75	2.75	2.77	2.8	2.84
モート体積	-4.1	-4.4	-4.91	-4.75	-4.81
リング体積	6.74	6.22	5.92	4.74	3.54
ガター体積	-14.2	-8.97	-4.84	-1.81	0
全分布体積	-8.8	-4.4	-1.1	1.0	1.6

【 0 1 0 7 】

【表 2】

実施例	1	2	3	4	5
1310nm における分散	-1.2	-1.4	-1.1	-1.2	-1.3
1400nm における分散	3.4	3.1	3.3	3.2	3.4
1530nm における分散	6.5	6	6.2	6.1	6.45
1550nm における分散	6.7	6.2	6.4	6.3	6.4
1625nm における分散	6.9	6.4	6.7	6.5	6.8
1550nm におけるスロープ	0.0067	0.0067	0.0071	0.0069	0.0073
1400nm におけるスロープ	0.039	0.037	0.037	0.037	0.038
λ_0	1313	1316	1310	1314	1308
1550nm における Aeff	47.1	47.4	47.3	45.9	44.2
1550nm における MFD	7.7	7.7	7.65	7.6	7.5
1310nm における MFD	6.7	6.7	6.7	6.6	6.5
1550nm におけるピン配列	9.6	11.2	11.4	11.2	11.1
1550nm における側面荷重	0.76	0.83	0.85	0.71	0.54
1550nm における減衰	0.206	0.207	0.207	0.210	0.212
LP02 カットオフ	1603	1584	1605	1596	1601
ケーブルカットオフ	1203	1184	1205	1196	1201
LP01 カットオフ	2767	2913	3500	4881	5000
1550nm におけるカップ	1000	925	901	913	877

10

[実施例 6 乃至 10]

【 0 1 0 8 】

表 3 に、本明細書に開示されたファイバの第 6 乃至第 10 の実施例（実施例 6 - 10）の物理パラメータが記載される。実施例 6 乃至 9 の相対屈折率分布は、表 3 に見られる特定の分布の物理パラメータに対応する項目を有している図 10 に示される実施例 8 の分布で一般的に表される。実施例 10 は、表 3 の対応する項目に関連して図 11 に示される。

20

【 0 1 0 9 】

【表 3】

実施例	6	7	8	9	10
$\Delta_{1,MAX}$	0.501	0.502	0.502	0.506	0.513
R_{1J}	3.95	3.95	3.95	3.95	3.95
$R_{1,HH}$	3.4	3.4	3.4	3.4	3.4
$\Delta_{2,MIN}$	-0.35	-0.35	-0.36	-0.42	-0.56
R_{2I}	3.95	3.95	3.95	3.95	3.95
R_{2J}	6	6.25	6.05	5.95	5.5
W2	2.1	2.3	2.1	2	1.6
R2mid	5.0	5.1	5.0	5.0	4.7
$\Delta_{3,MAX}$	0.15	0.2	0.2	0.2	0.2
R_{3I}	6.55	6.65	6.65	6.4	6.3
R_{3J}	13.05	12.15	11.75	11	9.5
R_{3HHI}	7.6	7.6	7.5	7.2	6.9
R_{3HHJ}	12	11.2	10.9	10.2	8.9
R_{3HHMID}	9.8	9.4	9.2	8.7	7.9
R_{4I}	14.3	12.7	12.3	11.7	9.5
HHPW ₃	8.3	6.45	6.25	5.75	4
$\Delta_{4,MIN}$	-0.22	-0.18	-0.12	-0.12	0
R_{4J}	18.5	16.9	16.5	13.9	
W4	4.2	4.2	4.2	2.2	
R4mid	16.4	14.8	14.4	12.8	
中央領域体積	2.73	2.73	2.73	2.76	2.8
モート体積	-3.19	-3.72	-3.61	-3.71	-3.55
リング体積	6.65	6.85	6.25	5.26	3.3
ガター体積	-14.4	-10.62	-6.89	-3.07	0
全分布体積	-8.21	-4.76	-1.52	1.24	2.55

30

40

【 0 1 1 0 】

【表 4】

実施例	6	7	8	9	10
1310nm における分散	-2.4	-2.37	-2.33	-2.26	-2.34
1400nm における分散	2.3	2.42	2.27	2.33	2.25
1530nm における分散	6	6	5.8	6	6
1550nm における分散	6.3	6.28	6.23	6.39	6.38
1625nm における分散	7.4	7.5	7.4	7.6	7.5
1550nm におけるスロープ	0.016	0.016	0.017	0.017	0.017
1400nm におけるスロープ	0.041	0.040	0.040	0.040	0.041
λ_0	1344	1340	1343	1342	1345
1550nm における A_{eff}	49.9	49.7	49.8	48.7	47.3
1550nm における MFD	8	7.95	7.95	7.86	7.74
1310nm における MFD	6.9	6.85	6.85	6.8	6.7
1550nm におけるピン配列	7.9	8.5	9.1	9.6	9.6
1550nm における側面荷重	0.71	0.75	0.77	0.67	0.5
1550nm における減衰	0.204	0.204	0.205	0.206	0.209
LP02 カットオフ	1607	1606	1604	1593	1602
ケーブルカットオフ	1207	1206	1204	1193	1202
LP01 カットオフ	3050	3123	3744	5000	5000
1550nm におけるカップ	394	393	366	376	375

10

[実施例 11 乃至 15]

【 0111 】

表 5 に、本明細書に開示されたファイバの第 11 乃至第 15 の実施例（実施例 11 - 15）の物理パラメータに記載される。実施例 11 乃至 14 の相対屈折率分布は、表 5 に見られる特定の分布の物理パラメータに対応した項目を有している図 12 に示される実施例 13 の分布で一般的に表される。実施例 15 に、表 5 の対応する項目に関連して図 13 に示される。表 6 に、実施例 11 乃至 15 の光学特性が記載される。

20

【 0112 】

【表 5】

実施例	11	12	13	14	15
$\Delta_{1,MAX}$	0.51	0.51	0.51	0.513	0.519
R_{1J}	3.8	3.83	3.83	3.83	3.8
$R_{1,HH}$	3.25	3.25	3.27	3.27	3.27
$\Delta_{2,MIN}$	-0.212	-0.23	-0.243	-0.263	-0.34
R_{2I}	3.8	3.83	3.83	3.83	3.8
R_{2J}	6.2	6.6	6.75	6.83	6.78
W_2	2.4	2.8	2.9	3	3.0
R_{2mid}	5	5.2	5.3	5.3	5.3
$\Delta_{3,MAX}$	0.135	0.18	0.18	0.18	0.17
R_{3i}	6.8	6.9	6.8	6.65	6.3
R_{3j}	13.15	12.25	11.95	11.55	10
R_{3HHI}	7.1	7.6	7.4	7.3	6.9
R_{3HHJ}	12.8	11.6	11.2	10.8	9.3
R_{3HHMO}	9.9	9.6	9.3	9	8.1
R_{4i}	13.2	12.4	12	11.7	10.2
$HHPW_3$	7	5.8	5.25	4.9	3.4
$\Delta_{4,MIN}$	-0.22	-0.21	-0.16	-0.16	0
R_{4J}	16.6	15.6	15.2	14.1	
W_4	3.4	3.2	3.2	2.4	
R_{4mid}	14.9	14	13.6	12.9	
中央領域体積	2.49	2.53	2.54	2.55	2.57
モート体積	-2.81	-3	-3.06	-3.03	-2.89
リング体積	7.1	6.75	6.23	5.54	3.29
ガター体積	-7.83	-6.9	-4.87	-2.48	0
全分布体積	-1.05	-0.62	0.84	2.58	2.97

30

40

【 0113 】

【表 6】

実施例	11	12	13	14	15
1310nm における分散	-3.7	-3.5	-3.4	-3.5	-3.5
1400nm における分散	1.25	1.44	1.4	1.43	1.41
1530nm における分散	5.7	5.8	5.8	5.8	5.9
1550nm における分散	6.2	6.3	6.3	6.3	6.4
1625nm における分散	7.9	8.1	8	8.1	8.1
1550nm におけるスロープ	0.0243	0.0243	0.0244	0.0244	0.0247
1400nm におけるスロープ	0.045	0.044	0.044	0.044	0.045
λ_0	1372	1367	1368	1368	1369
1550nm における Aeff	51.1	51	50.8	50.2	48.8
1550nm における MFD	8.15	8.1	8.1	8.05	7.95
1310nm における MFD	7	6.95	6.95	6.9	6.8
1550nm におけるピン配列	10.2	9.7	10	9.9	10
1550nm における側面荷重	0.83	0.81	0.79	0.71	0.51
1550nm における減衰	0.201	0.202	0.202	0.202	0.204
LP02 カットオフ	1596	1602	1596	1601	1598
ケーブルカットオフ	1196	1202	1196	1201	1198
LP01 カットオフ	4116	4217	4960	5000	5000
1550nm におけるカップ	255	259	258	258	259

10

[実施例 16 乃至 20]

【 0 1 1 4 】

表 7 に、本明細書に開示されたファイバの第 16 乃至第 20 の実施例（実施例 16 - 20）の物理パラメータが記載される。実施例 16 乃至 19 の相対屈折率分布は、表 7 に見られる特定の分布の物理パラメータに対応した項目を有している図 14 に示される実施例 18 の分布で一般的に表される。実施例 20 は、表 7 の対応する項目に関連して図 15 に示される。表 8 に、実施例 16 乃至 20 の光学特性が記載される。

20

【 0 1 1 5 】

【表 7】

実施例	16	17	18	19	20
$\Delta_{1,MAX}$	0.518	0.518	0.52	0.522	0.526
R_{1J}	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
$R_{1,HH}$	3.18	3.18	3.18	3.18	3.18
$\Delta_{2,MIN}$	-0.18	-0.185	-0.199	-0.22	-0.26
R_{2J}	3.88	3.88	3.88	3.88	3.88
R_{2J}	7.26	7.14	6.98	6.73	6.43
W2	3.38	3.26	3.1	2.85	2.55
R2mid	5.57	5.51	5.43	5.305	5.155
$\Delta_{3,MAX}$	0.22	0.213	0.22	0.21	0.203
R_{3J}	7.3	7.15	7.05	6.85	6.5
R_{3J}	11.8	11.7	11.4	10.75	9.75
R_{3HHI}	7.76	7.75	7.73	7.61	7.08
R_{3HHJ}	11.42	11.03	10.66	10.03	9.11
R_{3HHMID}	9.6	9.4	9.2	8.8	8.1
R_{4J}	11.8	11.7	11.4	10.85	10.1
HPW ₃	4.5	4.6	4.4	4.1	3.7
$\Delta_{4,MIN}$	-0.22	-0.16	-0.22	-0.1	0
R_{4J}	15	15	13.7	12.9	
W4	3.2	3.3	2.3	2.1	
R4mid	13.4	13.4	12.6	11.9	
中央領域体積	2.48	2.47	2.48	2.49	2.51
モート体積	-2.92	-2.78	-2.7	-2.51	-2.54
リング体積	7.27	6.41	5.86	4.57	3.35
ガター体積	-7.37	-5.43	-3.79	-1.64	0
全分布体積	-0.54	0.67	1.85	2.91	3.32

30

40

【 0 1 1 6 】

【表 8】

実施例	16	17	18	19	20
1310nm における分散	-4.2	-4.2	-4.24	-4.27	-4.33
1400nm における分散	0.83	0.83	0.81	0.81	0.72
1530nm における分散	5.7	5.7	5.7	5.8	5.7
1550nm における分散	6.3	6.3	6.3	6.4	6.3
1625nm における分散	8.6	8.5	8.6	8.6	8.4
1550nm におけるスロープ	0.030	0.030	0.030	0.030	0.030
1400nm におけるスロープ	0.047	0.047	0.047	0.047	0.047
λ_0	1382	1382	1383	1383	1385
1550nm における Aeff	52.9	52.7	52.3	51.6	50.8
1550nm における MFD	8.3	8.3	8.25	8.2	8.14
1310nm における MFD	7.1	7.05	7	7	6.9
1550nm におけるピン配列	10.1	10.4	10.5	10.3	10.2
1550nm における側面荷重	0.93	0.89	0.84	0.7	0.6
1550nm における減衰	0.2003	0.2003	0.2007	0.201	0.202
LP02 カットオフ	1609	1602	1605	1604	1598
ケーブルカットオフ	1209	1202	1205	1204	1198
LP01 カットオフ	4308	5000	5000	5000	5000
1550nm におけるカッパ	210	210	210	213	210

10

[実施例 2 1 乃至 2 5]

【 0 1 1 7 】

表 9 に、本明細書に開示されたファイバの第 2 1 乃至第 2 5 の実施例（実施例 2 1 - 2 5）の物理パラメータが記載される。実施例 2 1 乃至 2 5 の相対屈折率分布は、表 9 に見られる特定の分布の物理パラメータに対応した記載事項を有している図 1 6 に示される実施例 2 4 の分布で一般的に表される。表 1 0 に、実施例 2 1 乃至 2 5 の光学特性が記載される。

20

【 0 1 1 8 】

【表 9】

実施例	21	22	23	24	25
$\Delta_{1,MAX}$	0.53	0.53	0.53	0.51	0.53
R_{1J}	4	4	4	3.9	3.65
$R_{1,HH}$	3.1	3.1	3.1	3.15	3.1
$\Delta_{2,MIN}$	-0.17	-0.16	-0.155	-0.16	-0.2
R_{2I}	4	4	4	3.9	3.65
R_{2J}	7.2	7.2	7.2	7.4	6.6
W_2	3.2	3.2	3.2	3.5	3.0
R_{2mid}	5.6	5.6	5.6	5.7	5.1
$\Delta_{3,MAX}$	0.215	0.2	0.19	0.2	0.25
R_{3i}	7.25	7.25	7.25	7.4	6.6
R_{3j}	11.8	11.85	11.9	11.9	10.6
R_{3HHI}	7.65	7.65	7.65	7.7	7.05
R_{3HHJ}	11.35	11.35	11.35	11.3	10
R_{3HHMD}	9.5	9.5	9.5	8.8	8.5
R_{4i}	11.8	11.9	11.9	12	10.7
HPW_3	4.6	4.7	4.7	4.6	4.1
$\Delta_{4,MIN}$	-0.21	-0.12	-0.085	-0.17	-0.2
R_{4J}	15.3	16.4	17.7	16.5	14.55
W_4	3.5	4.5	5.8	4.5	
R_{4mid}	13.6	14.2	14.8	14.3	
中央領域体積	2.49	2.49	2.49	2.41	2.56
モート体積	-2.67	-2.51	-2.43	-2.48	-2.24
リング体積	7.13	6.66	6.34	6.53	5.96
ガター体積	-7.05	-6.36	-6.3	-6.07	-8.59
全分布体積	-0.1	0.3	0.1	0.4	-2.3

30

40

【 0 1 1 9 】

【表 10】

実施例	21	22	23	24	25
1310nm における分散	-4.7	-4.7	-4.7	-4.7	-5.6
1400nm における分散	0.4	0.5	0.6	0.5	0.1
1530nm における分散	5.6	5.7	5.9	5.7	4.2
1550nm における分散	6.3	6.4	6.6	6.4	4.9
1625nm における分散	8.9	8.9	9.1	9	7.8
1550nm におけるスロープ	0.034	0.034	0.034	0.034	0.037
1400nm におけるスロープ	0.048	0.049	0.050	0.049	0.045
λ_0	1391	1390	1388	1390	1399
1550nm における Aeff	53.7	53.8	53.7	53.8	51.2
1550nm における MFD	8.4	8.4	8.4	8.4	8.2
1310nm における MFD	7.1	7.1	7.1	7.1	6.9
1550nm におけるピン配列	9.2	8.8	8.6	9.2	2.9
1550nm における側面荷重	0.87	0.85	0.81	0.83	0.28
1550nm における減衰	0.199	0.199	0.199	0.199	0.204
LP02 カットオフ	1605	1609	1602	1595	1496
ケーブルカットオフ	1205	1209	1202	1195	1096
LP01 カットオフ	4660	4991	4917	5000	3574
1550nm におけるカッパ	185	188	194	188	132

10

[実施例 26 乃至 31]

【0120】

表 11 に、本明細書に開示されたファイバの第 26 乃至第 31 の実施例（実施例 26 - 31）の物理パラメータが記載される。実施例 26 乃至 31 の相対屈折率分布は、表 11 に見られる特定の分布の物理パラメータに対応した項目を有している図 17 に示される実施例 30 の分布で一般的に表される。表 12 に、実施例 26 乃至 31 の光学特性が記載される。

20

【0121】

【表 11】

実施例	26	27	28	29	30	31
$\Delta_{1,MAX}$	0.53	0.54	0.55	0.53	0.53	0.53
R_{1j}	4	3.9	3.9	4	4	4
$R_{1,HH}$	3.3	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1
$\Delta_{2,MIN}$	-0.17	-0.16	-0.157	-0.174	-0.185	-0.2
R_{2j}	4	3.9	3.9	4	4	4
R_{2j}	7	7.1	7	7.1	7	6.8
W2	3	3.2	3.1	3.1	3	2.8
R_{2mid}	5.5	5.5	5.45	5.55	5.5	5.4
$\Delta_{3,MAX}$	0.21	0.215	0.205	0.212	0.213	0.206
R_{3i}	7.15	7.2	7.15	7.15	7	6.85
R_{3j}	11.7	11.2	10.75	11.75	11.35	10.95
R_{3HHH}	7.9	7.8	7.8	7.8	7.55	7.45
R_{3HHJ}	11.05	10.6	10.2	11.2	10.7	10.35
R_{3HHMID}	9.5	9.2	9	9.5	9.1	8.9
R_{4j}	11.8	11.25	10.85	11.8	11.4	11
$HHPW_3$	4.8	4.2	3.85	4.7	4.4	4.2
$\Delta_{4,MIN}$	-0.145	-0.095	-0.05	-0.21	-0.21	-0.21
R_{4j}	15.1	14.6	14	14.6	13.7	12.9
W4	3.3	3.4	3.2	2.8	2.3	1.9
R_{4mid}	13.5	12.9	12.4	13.2	12.6	12.0
中央領域体積	2.48	2.45	2.41	2.48	2.49	2.49
モート体積	-2.3	-2.34	-2.18	-2.45	-2.47	-2.43
リング体積	6.1	5.36	4.37	6.59	5.91	5.25
ガター体積	-4.92	-3.1	-1.55	-5.61	-3.84	-2.4
全分布体積	1.4	2.4	3.1	1.0	2.1	2.9

30

40

【0122】

【表 1 2】

実施例	26	27	28	29	30	31
1310nm における分散	-4.7	-4.9	-5.1	-4.8	-4.8	-4.8
1400nm における分散	0.52	0.39	0.39	0.42	0.4	0.42
1530nm における分散	5.8	5.7	5.9	5.6	5.7	5.7
1550nm における分散	6.5	6.4	6.4	6.3	6.4	6.4
1625nm における分散	9	8.9	9.1	8.9	8.9	8.9
1550nm におけるスロープ	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034	0.034
1400nm におけるスロープ	0.049	0.05	0.051	0.049	0.049	0.049
λ_0	1389	1392	1392	1391	1392	1391
1550nm における Aeff	53.5	52.4	51.3	53.6	53.3	52.8
1550nm における MFD	8.4	8.3	8.2	8.4	8.4	8.3
1310nm における MFD	7.1	7.05	7	7.1	7.1	7.1
1550nm におけるピン配列	9.3	9.1	9.3	9.4	9.3	9.5
1550nm における側面荷重	0.82	0.72	0.56	0.85	0.78	0.73
1550nm における減衰	0.199	0.199	0.199	0.199	0.199	0.2
LP02 カットオフ	1604	1602	1578	1606	1599	1605
ケーブルカットオフ	1204	1202	1178	1206	1199	1205
LP01 カットオフ	5000	5000	5000	5000	5000	5000
1550nm におけるカップ	191	188	188	185	188	188

10

[実施例 3 2 乃至 3 6]

【 0 1 2 3 】

表 1 3 に、本明細書に開示されたファイバの第 3 2 乃至第 3 6 の実施例（実施例 3 2 - 3 6）の物理パラメータが記載される。実施例 3 2 又は 3 3 の相対屈折率分布は、表 1 3 の対応する項目に関連して、図 1 8 に示される実施例 3 3 の分布で一般的に表される。実施例 3 4 又は 3 5 の相対屈折率分布は、表 1 3 の対応する項目に関連して、図 1 9 に示される実施例 3 5 の分布で一般的に表される。実施例 3 6 の相対屈折率分布は、表 1 3 に見られる特定の分布の物理パラメータに対応した項目を有して、図 2 0 に示される分布によって表される。表 1 4 に、実施例 3 2 乃至 3 6 の光学特性が記載される。

20

【 0 1 2 4 】

【表 1 3】

実施例	32	33	34	35	36
$\Delta_{1,MAX}$	0.535	0.55	0.53	0.53	0.535
R_{1J}	4	4	3.95	3.95	4
$R_{1,HH}$	3.1	3.05	3.1	3.1	3.1
$\Delta_{2,MIN}$	-0.26	-0.203	-0.167	-0.19	-0.176
R_{2J}	4	4	3.95	3.95	4
R_{2J}	6.4	6.6	7	6.8	6.95
W2	2.4	2.6	3.1	2.9	3.0
R_{2mid}	5.2	5.3	5.5	5.4	5.5
$\Delta_{3,MAX}$	0.222	0.2	0.234	0.294	0.214
R_{3i}	6.55	6.7	7.75	8.55	7.05
R_{3j}	9.65	9.85	11.85	11.8	11.2
R_{3HHi}	7.2	7.25	8.6	9.2	7.8
R_{3HHJ}	9	9.25	11.2	11.2	10.4
R_{3HHMID}	8.1	8.25	9.9	10.2	9.1
R_{4i}	10	10.2	11.9	11.9	12.5
HPW ₃	3.6	3.6	4.9	5.1	5.55
$\Delta_{4,MIN}$	0	0	-0.19	-0.19	-0.19
R_{4J}			15	15	15
W4			3.1	3.1	2.5
R_{4mid}			13.5	13.5	13.8
中央領域体積	2.52	2.47	2.46	2.47	2.49
モート体積	-2.23	-2.29	-1.95	-1.65	-2.25
リング体積	3.35	3.3	6.13	5.87	5.18
ガター体積	0	0	-5.77	-5.79	-3.41
全分布体積	3.6	3.5	0.9	0.9	2.0

30

40

【 0 1 2 5 】

50

【表 1 4】

実施例	32	33	34	35	36
1310nm における分散	-4.8	-4.9	-4.9	-4.9	-4.9
1400nm における分散	0.34	0.27	0.37	0.41	0.36
1530nm における分散	5.6	5.6	5.6	5.7	5.6
1550nm における分散	6.3	6.4	6.3	6.4	6.3
1625nm における分散	8.8	8.8	8.8	9	8.8
1550nm におけるスロープ	0.034	0.033	0.034	0.034	0.034
1400nm におけるスロープ	0.049	0.05	0.049	0.05	0.049
λ_0	1393	1395	1392	1392	1393
1550nm における Aeff	52.3	51	53.3	52.7	53.5
1550nm における MFD	8.3	8.2	8.4	8.3	8.4
1310nm における MFD	7	7	7.1	7.1	7.1
1550nm におけるピン配列	9.7	9.6	10	9.6	8.9
1550nm における側面荷重	0.62	0.55	0.87	0.81	0.79
1550nm における減衰	0.201	0.2	0.199	0.199	0.199
LP02 カットオフ	1600	1600	1601	1600	1604
ケーブルカットオフ	1200	1200	1201	1200	1204
LP01 カットオフ	5000	5000	5000	5000	5000
1550nm におけるカップ	185	194	185	188	185

10

[実施例 3 7]

【 0 1 2 6 】

表 1 5 に、本明細書に開示された光ファイバの第 3 7 の実施例（実施例 3 7）の物理パラメータが記載される。実施例 3 7 の相対屈折率分布が表 1 5 に対応する項目に関連して、図 2 1 に示される分布によって表される。光ファイバプリフォームが、気相蒸着処理を経て図 2 1 に示される屈折率分布によって準備され、光ファイバプリフォームが光導波路ファイバに線引きされ、ファイバの測定された特性が表 1 6 に記載される。図 2 2 は、図 2 1 のファイバの様々な波長で測定された分散及び分散スロープを示す。

20

[実施例 3 8]

【 0 1 2 7 】

また、表 1 5 に、本明細書に開示された光ファイバの第 3 8 の実施例（実施例 3 8）の物理パラメータが記載される。実施例 3 8 の相対屈折率分布が表 1 5 に対応する項目に関連して、図 2 3 に示される分布によって表される。

30

【 0 1 2 8 】

光ファイバは、図 2 3 の屈折率分布による OVD 処理を経て組み立てられる。図 2 3 の光ファイバの測定された特性が表 1 6 に記載される。図 2 4 は、図 2 3 のファイバに対する様々な波長で測定された分散及び分散スロープを示す。図 2 5 は、様々な波長で測定された図 2 3 のファイバに対するファイバ損失もしくは減衰を示す。

【 0 1 2 9 】

本明細書に開示された多くの実施例の光ファイバが、OVD、PCVD、IVD、VAD、又は、MCVD 法、又は、当業者によって知られた他の適切な方法を経て、作られ得る。

[実施例 3 9]

【 0 1 3 0 】

表 1 5 に、本明細書に開示された光ファイバの第 3 9 の実施例（実施例 3 9）による物理パラメータが記載される。実施例 3 9 の相対屈折率は、表 1 5 の対応する項目に関連して、図 2 6 に示される。

40

【 0 1 3 1 】

【表 1 5】

実施例	37	38	39
$\Delta_{1,MAX}$	0.52	0.61	0.54
R_{1J}	3.9	4.25	4
$R_{1,HH}$	3.2	2.8	3.1
$\Delta_{2,MIN}$	-0.2	-0.2	-0.13
R_{2I}	3.9	4.25	4
R_{2J}	6	6.5	6.85
W_2	2.1	2.3	2.9
R_{2mid}	5.0	5.4	5.4
$\Delta_{3,MAX}$	0.18	0.15	0.175
R_{3I}			
R_{3J}			
R_{3HHI}	7.5	7.5	8.25
R_{3HHJ}	9.7	9.5	11.75
R_{3HHMID}	8.6	8.5	10
R_{4I}	10.3	10.1	13.85
$HHPW_3$	4.3	3.6	7
$\Delta_{4,MIN}$	0	0	-0.1
R_{4J}			18.5
W_4			4.7
R_{4mid}			16.1
中央領域体積	2.57	2.52	2.51
モート体積	-1.43	-1.79	-1.95
リング体積	3.47	2.65	6.44
ガター体積	0	0	-6.38
全分布体積	4.61	3.38	0.62

10

20

【 0 1 3 2 】

【表 16】

	37	38	39
1310nm における分散		-6.8	-5.0
1550nm における分散	6.4	6.6	6.1
1565nm における分散			6.6
1625nm における分散			8.4
1550nm におけるスロープ	0.038	0.045	0.032
1600nm におけるスロープ			0.031
λ_0	< 1420		
1550nm における Aeff			53.8
1310nm における減衰		0.369	
1380nm における減衰		0.570	
1550nm における減衰		0.228	0.199
1550nm における MFD	7.8	8.5	8.4
1310nm における MFD		7.1	
1550nm におけるピン配列	1.8		7.4
1550nm における側面荷重曲げ損失(dB/m)			0.95
1600nm における側面荷重曲げ損失(dB/m)			1.85
LP11 カットオフ	1216		
2m 測定カットオフ			1400
ケーブルカットオフ		1050	1250
1550nm におけるカッパ	170	147	190

10

20

【0133】

30

好ましくは、LP01モード（しばしば、「基本モード」として参照される）に対するカットオフ波長が、十分高く、バンドエッジの出現を妨げる。上記したように、測定されたケーブルカットオフ波長は、曲げ及び/又は機械的圧力による理論的なカットオフ波長値よりも小なのである。理論的カットオフは、それ故、ある曲げ端が、動作の最も高い所望の波長（例えば、Lバンドのどの位置であっても少なくとも1625nm）よりも上であることを確実にするほど十分高くなければならない。

【0134】

図27は、全分布体積（即ち、中央コア領域、第1環状領域、第2環状、及び、（もしあれば）第3環状領域の合計）（単位%・ μm^2 ）に対する上記した本明細書に開示されたファイバの表された実施例の、LP01カットオフ波長（単位nm）を示す。

40

【0135】

好ましくは、本明細書に開示された光ファイバのLP01カットオフ波長が、3500nmよりも大で、より好ましくは、約4000nmよりも大で、更により好ましくは約4500nmよりも大で、最も好ましくは約5000nmよりも大である。

【0136】

本明細書に開示された光ファイバの全分布体積が、好ましくは約-3%・ μm^2 よりも大で、より好ましくは約-2%・ μm^2 よりも大で、更により好ましくは約-1%・ μm^2 よりも大で、最も好ましくは約0%・ μm^2 よりも大である。

【0137】

図28は、上で議論した表されたファイバの、モート体積（単位%・ μm^2 ）に対する

50

1550 nmでの分散スロープを示す。

【0138】

一般的に、モート体積のよりも大の大きさの絶対値、もしくは、絶対値が、1550 nmの波長でより低い分散スロープをもたらす。好ましくは、モートの分布体積の絶対値が、約1%・ μm^2 よりも大で、より好ましくは、約2%・ μm^2 よりも大である。0.02から0.03 ps/nm²/kmの間の1550 nmでの分散スロープに対して、モート分布体積が、好ましくは、約-2%・ μm^2 から約-3%・ μm^2 の間にある。約0.02 ps/nm²/kmよりも小の1550 nmでの分散スロープに対して、モート分布体積が、好ましくは、約-3%・ μm^2 よりも小である。約0.01 ps/nm²/kmよりも小の1550 nmでの分散スロープに対して、モート分布体積が、好ましくは、約-4%・ μm^2 よりも小である。

10

【0139】

図29は、上で開示したファイバの中央領域体積に対するモート体積を示す図である。

【0140】

好ましくは、中央領域体積は約2%・ μm^2 よりも大であり、より好ましくは、約2%・ μm^2 から3%・ μm^2 の間にある。いくつかの好ましき実施例において、中央領域体積は、モート体積の絶対値に少なくともほぼ等しい。いくつかの好ましき実施例において、中央領域体積が約2.3%・ μm^2 から2.6%・ μm^2 の間にあって、モート体積が約-1.5%・ μm^2 から3.5%・ μm^2 の間にある。他の好ましき実施例において、約0.02 ps/nm²/km未満の1550 nmでの分散スロープを呈するので、モート体積の絶対値が約3%・ μm^2 よりも大であり、中央領域体積が、好ましくは、約2.6%・ μm^2 から約3.0%・ μm^2 の間にあって、より好ましくは、約2.7%・ μm^2 から約2.9%・ μm^2 の間にある。

20

【0141】

図30は、上記した本明細書に開示されたファイバのリング体積に対するガター体積を示した図である。

【0142】

いくつかの好ましき実施例において、ファイバの相対屈折率分布はガターを有さず、リング体積が約4%・ μm^2 よりも小であり、より好ましくは約3%・ μm^2 よりも小である。

30

【0143】

他の好ましき実施例において、リング体積は約4%・ μm^2 よりも大であり、ガター体積の絶対値は約1%・ μm^2 よりも大である。

【0144】

好ましくは、ガター体積の絶対値はほぼリング体積以下である。

【0145】

本明細書に開示された全ての光ファイバは、好ましくは、送信機と、受信機と、及び、光伝送線とを含む光信号伝送システムにおいて、使用され得る。該光伝送線は、送信機及び受信機に光学的に結合される。該光伝送線は、好ましくは、少なくとも1つの部分の光ファイバスパンを含み、好ましくはこれは少なくとも1つの光ファイバスパンのセクションである。

40

【0146】

更に、該システムは、好ましくは、光ファイバ部分に光学的に結合されたラマン増幅器の如き、少なくとも1つの増幅器を含む。

【0147】

更に、該システムは、好ましくは、光伝送線に光信号を伝搬できる複数のチャンネルを相互に連結する多重送信機を含み、少なくとも1つの光信号、より好ましくは少なくとも3つの光信号、最も好ましくは少なくとも10の光信号が約1260 nmから約1625 nmの間の波長で伝搬する。好ましくは、少なくとも1つの信号が1つ又は複数の波長領域(1310 nm窓、1383 nm窓、Sバンド、Cバンド、及び、Lバンド)を伝搬す

50

る。

【0148】

いくつかの好ましき実施例において、かかるシステムは、1310nm窓、1383nm窓、Sバンド、Cバンド、及び、Lバンドの波長領域のうちの少なくとも1つの波長領域、より好ましくは少なくとも2つの波長領域で、1つ又は複数の信号を伝送する低密度波長分割多重モードで動作し得る。

【0149】

ある好ましき実施例において、かかるシステムは、20km以下の長さを有する本明細書に開示の光ファイバのセクションを含む。他の好ましき実施例において、かかるシステムが、20kmよりも長い長さを有する本明細書に開示された光ファイバのセクションを含む。更に他の好ましき実施例において、かかるシステムは、70kmよりも長い長さを有する本明細書に開示された光ファイバの一部を含む。

10

【0150】

ある好ましき実施例において、かかるシステムは、約1Gbit/s以下で動作する。他の好ましき実施例において、かかるシステムは、約2Gbit/s以下で動作する。更に他の好ましき実施例において、かかるシステムは、約10Gbit/s以下で動作する。より更に他の好ましき実施例において、かかるシステムは、約40Gbit/s以下で動作する。更に他の好ましき実施例において、かかるシステムは、約40Gbit/s以上で動作する。

【0151】

20

上の記載は、単に本発明の典型例にすぎず、特許請求の範囲によって定義される本発明の性質及び特徴を理解するための概要の提供を意図していることを、理解されるべきである。添付図面は本発明の更なる理解を提供するために含まれており、ここに取り入れられて本明細書の一部を構成する。図面は、本発明のいくつかの特徴及び実施例を示しており、本明細書の記載とともに本発明の原理及び動作の説明を与える。当業者にとって明らかな如く、本明細書に記載される発明のより好ましき実施例のさまざまな変更が特許請求の範囲によって定義される本発明の精神又は範囲内から逸脱することなくなされ得る。

【図面の簡単な説明】

【0152】

【図1】本発明による光導波路ファイバの好ましき実施例の断面図である。

30

【図2】本発明による光導波路ファイバの他の好ましき実施例の断面図である。

【図3】本発明による光ファイバを利用したファイバ光通信システムの図である。

【図4】光導波路ファイバを形成するためのレイダウンしたストプリフォームの図である。

【図5】両端の塞がれた中央線穴を有する光導波路プリフォームの図である。

【図6】図5の光導波路プリフォームの上栓の拡大図である。

【図7】閉じられた中央線領域を有する、光導波路プリフォーム、又は、代替の光ファイバ内の断面図である。

【図8】本明細書に開示された光導波路ファイバの好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

40

【図9】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図10】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図11】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図12】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図13】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

50

【図 1 4】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 1 5】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 1 6】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 1 7】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 1 8】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

10

【図 1 9】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 2 0】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 2 1】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 2 2】図 2 1 の屈折率分布に従って準備された光ファイバプリフォームから線引きされる光ファイバの複数の波長で測定された分散及び分散スロープのグラフである。

【図 2 3】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

20

【図 2 4】図 2 3 の屈折率分布に従って準備された光ファイバプリフォームから線引きされる光ファイバの複数の波長で測定された分散及び分散スロープのグラフである。

【図 2 5】図 2 3 の屈折率分布に従って準備された光ファイバプリフォームから線引きされる光ファイバの複数の波長で測定された減衰のグラフである。

【図 2 6】本明細書に開示された光導波路ファイバの他の好ましき実施例の相対屈折率分布の図である。

【図 2 7】本明細書に開示されたファイバの好ましき実施例の全分布体積に対する LP 0 1 カットオフ波長を示す図である。

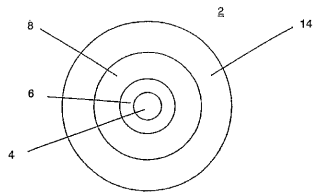
【図 2 8】本明細書に開示されたファイバの好ましき実施例のモート体積に対する 1 5 5 0 nm での分散スロープを示す図である。

30

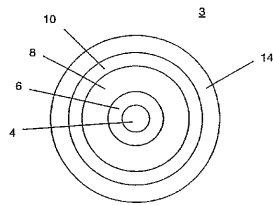
【図 2 9】本明細書に開示されたファイバの好ましき実施例の中央領域体積に対するモート体積を示す図である。

【図 3 0】本明細書に開示されたファイバの好ましき実施例のリング体積に対するガター体積を示す図である。

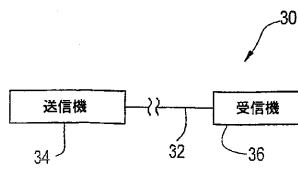
【図 1】



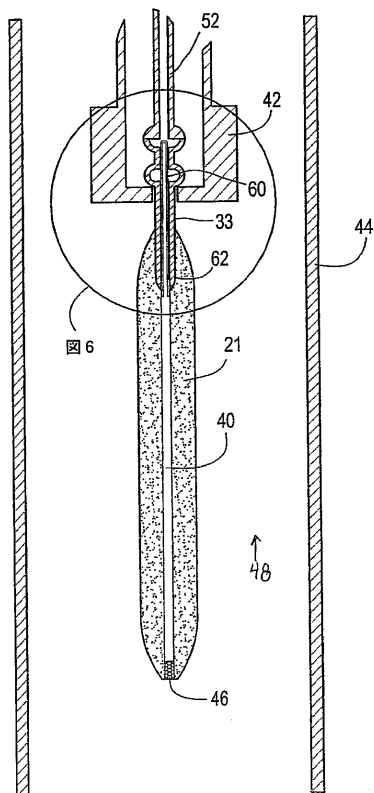
【図 2】



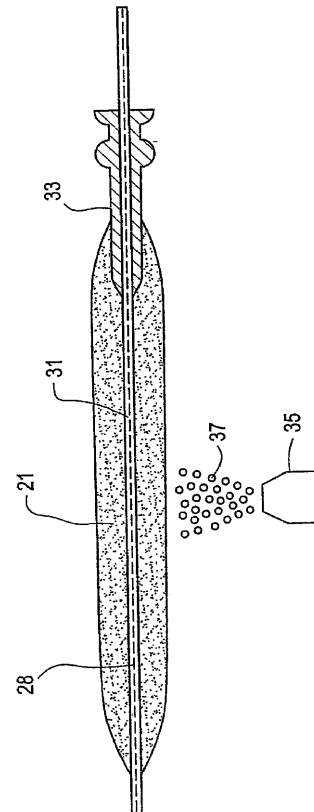
【図 3】



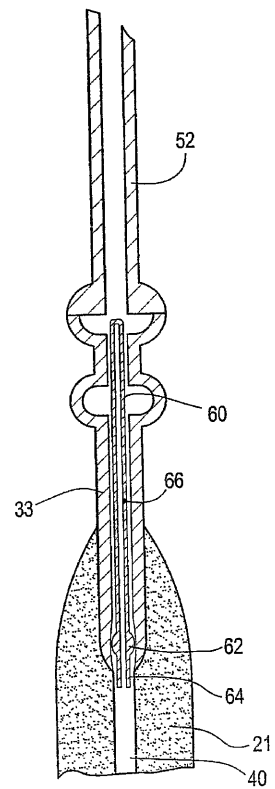
【図 5】



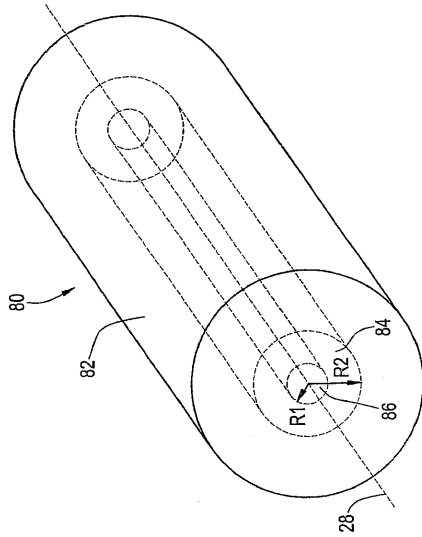
【図 4】



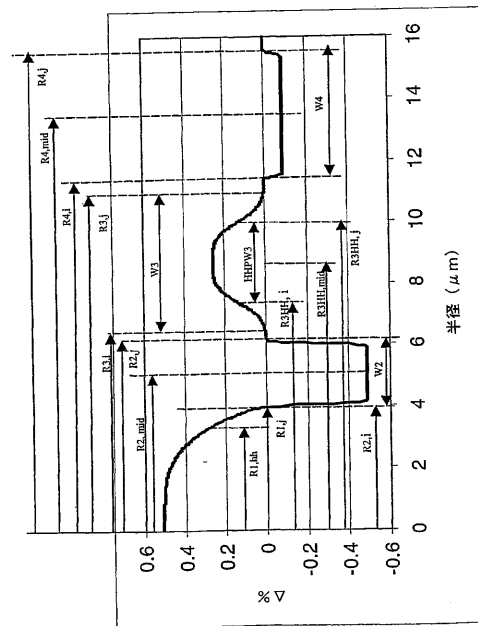
【図 6】



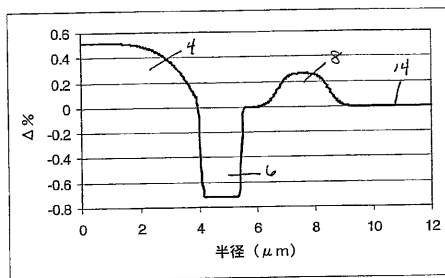
【図 7】



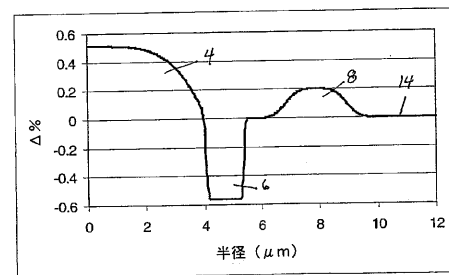
【図 8】



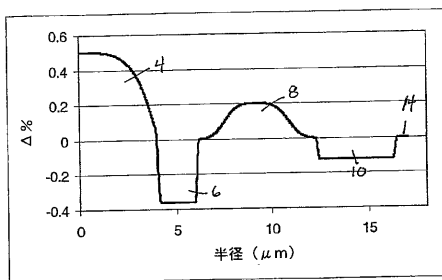
【図 9】



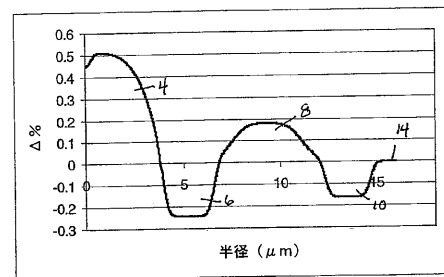
【図 11】



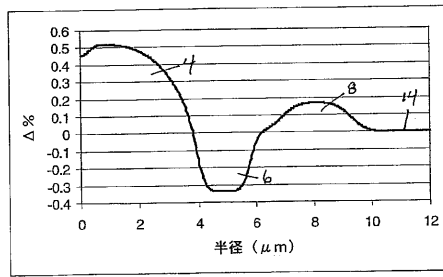
【図 10】



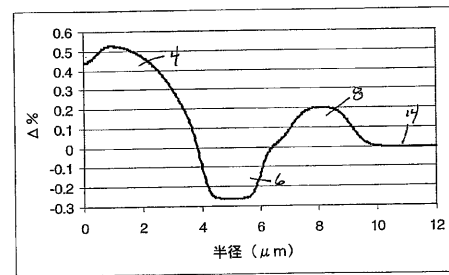
【図 12】



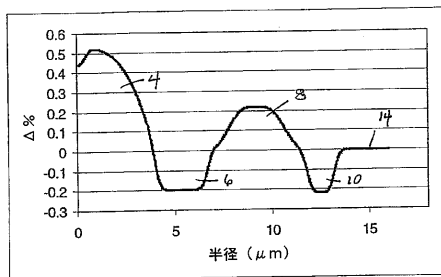
【図 13】



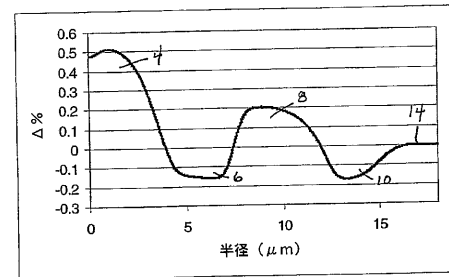
【図 15】



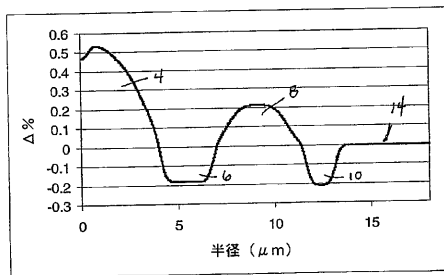
【図 14】



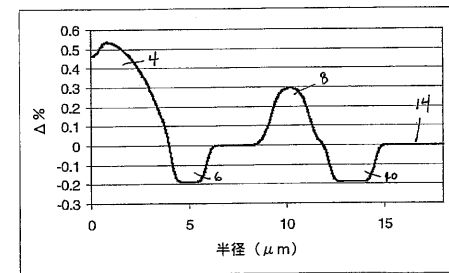
【図 16】



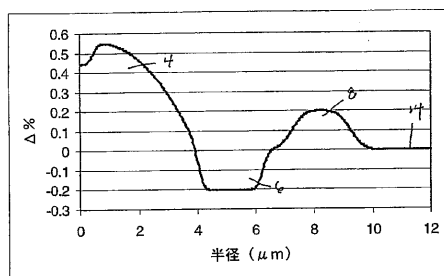
【図 17】



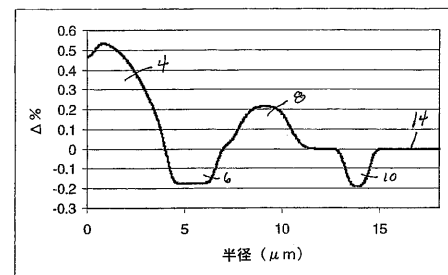
【図 19】



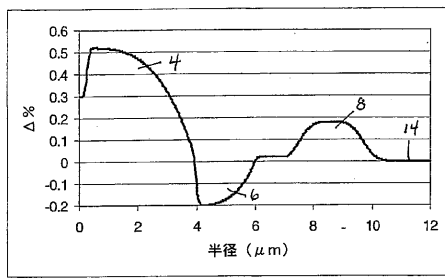
【図 18】



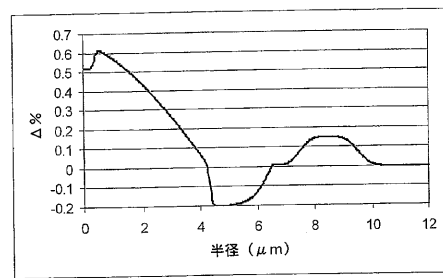
【図 20】



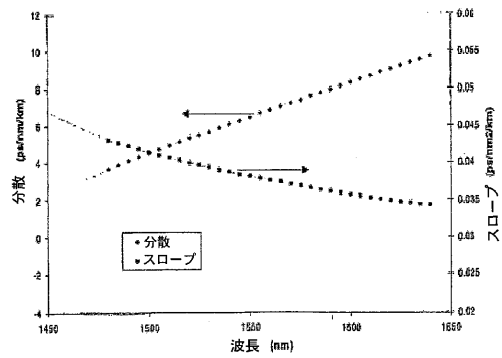
【図 2 1】



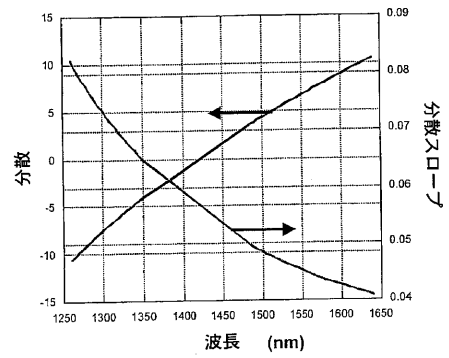
【図 2 3】



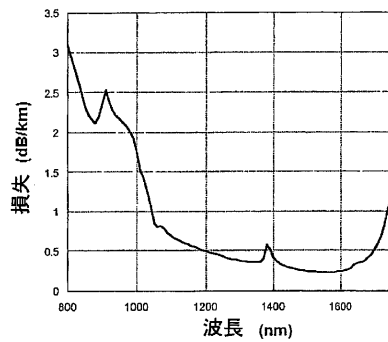
【図 2 2】



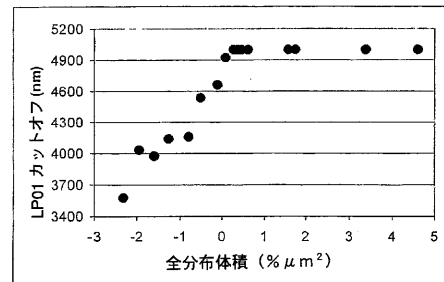
【図 2 4】



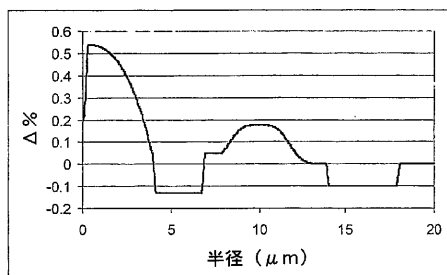
【図 2 5】



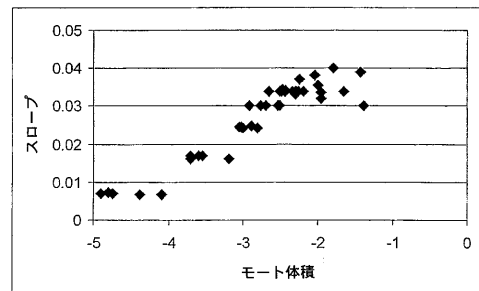
【図 2 7】



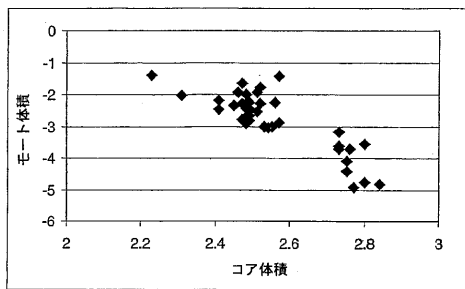
【図 2 6】



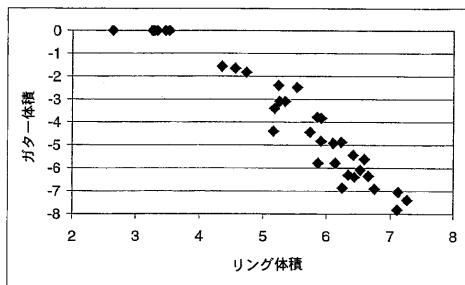
【図 2 8】



【図 29】



【図 30】



【手続補正書】

【提出日】平成16年10月6日(2004.10.6)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

中央線から放射状に外側に延在し、約0.4%から0.7%の間にある最大相対屈折率パーセント($\alpha_{1,MAX}$)を持つ正の相対屈折率パーセント($\alpha_1\%(r)$)を有し、約3 μ mから約6 μ mの間の半径を有する中央領域と、

前記中央領域に隣接し且つこれを包囲し、約-0.1%から-0.30%の間にある最小相対屈折率パーセント($\alpha_{2,MIN}$)を持つ負の相対屈折率パーセント($\alpha_2\%(r)$)を有し、1.5 μ mから4.5 μ mの間の幅及び4 μ mから6.5 μ mの間の中間点を有する第1環状領域と、

前記第1環状領域に隣接し且つこれを包囲し、約0.1%から0.3%の間にある最大相対屈折率パーセント($\alpha_{3,MAX}$)を持つ正の相対屈折率パーセント($\alpha_3\%(r)$)を有し、かかる半値幅が約3 μ mから約9 μ mの間であり、前記半値幅の中間点が7.5 μ mから10.5 μ mの間である第2環状領域と、及び、

前記第2環状領域を囲み、相対屈折率パーセント($\alpha_c\%(r)$)を有する外側環状領域と、を含む光導波路ファイバであって、

約1550nmの波長で約60 μ m²よりも小の実効面積と、約1550nmの波長で約4ps/nm/kmから約10ps/nm/kmの間の分散と、約1550nmの波長で0.045ps/nm²/kmよりも小の分散スロープと、及び、約1260nmより

も小のケーブルカットオフ波長と、を有することを特徴とする光導波路ファイバ。

【請求項 2】

約 1383 nm の波長での減衰が約 0.6 dB/km よりも小であることを特徴とする請求項 1 記載の光導波路ファイバ。

【請求項 3】

前記外側環状クラッド領域が前記第 2 環状領域に隣接し且つこれを包囲することを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の光導波路ファイバ。

【請求項 4】

前記第 2 環状領域に隣接し且つこれを包囲し、前記第 2 環状領域と前記外側環状クラッド領域との間に配置され、最小屈折率パーセント ($n_{4,\text{MIN}}$) を持つ負の相対屈折率パーセント ($n_4\%$) を有する第 3 環状領域を更に含むことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の光導波路ファイバ。

【請求項 5】

前記第 3 環状領域が約 $1.5\text{ }\mu\text{m}$ から約 $7\text{ }\mu\text{m}$ の間の幅と、約 $11\text{ }\mu\text{m}$ から約 $18\text{ }\mu\text{m}$ の間の中間点と、を有することを特徴とする請求項 4 記載の光導波路ファイバ。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US 03/03843

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER IPC 7 G02B6/16		
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) IPC 7 G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX, IBM-TDB		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 0 959 374 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 24 November 1999 (1999-11-24) column 1, line 30 -column 7, line 2 column 13, line 25 -column 16, line 12; figures 5-13 ---	1-23, 25-33 24, 34
X,P	EP 1 211 533 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD) 5 June 2002 (2002-06-05) page 7, line 5 -page 9, line 1; figure 2 ---	1, 21, 23-31, 33, 34
X	WO 00 14580 A (DEUTSCHE TELEKOM AG ;BONESS REINER (DE); DULTZ WOLFGANG (DE); VOB1) 16 March 2000 (2000-03-16) the whole document --- -/--	1-22
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C. <input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in 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 document 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. "S" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
16 May 2003		03/06/2003
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer
		Wolf, S

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1982)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US 03/03843

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 97 33188 A (CORNING INC) 12 September 1997 (1997-09-12) page 10, line 8 -page 11, line 20; claim 7; figures 2,3	1-23
X	WO 99 42869 A (CORNING INC ;LIU YANMING (US)) 26 August 1999 (1999-08-26) page 8, line 27 -page 11, line 4; figure 2	1-34

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US 03/03843

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0959374	A	24-11-1999	JP 11223741 A	17-08-1999
			AU 718167 B2	06-04-2000
			AU 8460098 A	28-06-1999
			EP 0959374 A1	24-11-1999
			JP 3320745 B2	03-09-2002
			US 6169837 B1	02-01-2001
			CN 1246181 T	01-03-2000
			WO 9930193 A1	17-06-1999
			JP 2001255433 A	21-09-2001
			TW 401519 B	11-08-2000
			AU 1351599 A	12-07-1999
			CA 2316379 A1	01-07-1999
			EP 1052528 A1	15-11-2000
			WO 9932909 A1	01-07-1999
			US 6498874 B1	24-12-2002
EP 1211533	A	05-06-2002	JP 2002162529 A	07-06-2002
			BR 0105528 A	02-07-2002
			CA 2356712 A1	28-05-2002
			CN 1356568 A	03-07-2002
			EP 1211533 A2	05-06-2002
			US 2002097971 A1	25-07-2002
WO 0014580	A	16-03-2000	DE 19839870 A1	09-03-2000
			CA 2340675 A1	16-03-2000
			WO 0014580 A1	16-03-2000
			EP 1112518 A1	04-07-2001
			JP 2002524765 T	06-08-2002
			US 6529666 B1	04-03-2003
WO 9733188	A	12-09-1997	US 5684909 A	04-11-1997
			AU 706828 B2	24-06-1999
			AU 3202197 A	22-09-1997
			BR 9707863 A	27-07-1999
			CA 2246445 A1	12-09-1997
			CN 1212057 A ,B	24-03-1999
			EP 0990182 A2	05-04-2000
			JP 3219200 B2	15-10-2001
			JP 11506228 T	02-06-1999
			WO 9733188 A2	12-09-1997
WO 9942869	A	26-08-1999	AU 750557 B2	25-07-2002
			AU 3180599 A	06-09-1999
			BR 9907943 A	24-10-2000
			CA 2318423 A1	26-08-1999
			CN 1288523 T	21-03-2001
			EP 1066540 A1	10-01-2001
			JP 2002504702 T	12-02-2002
			WO 9942869 A1	26-08-1999
			US 2002191927 A1	19-12-2002
			US 6421490 B1	16-07-2002

フロントページの続き

(81)指定国 EP(AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HU,IE,IT,LU,MC,NL,PT,SE,SI,SK,TR), A
E,AG,AL,AM,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BR,BY,BZ,CA,CH,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DK,DM,DZ,EC,EE,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,NO,NZ,OM,PH,PL,PT,RO,
RU,SC,SD,SE,SG,SK,SL,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,UZ,VC,VN,YU,ZA,ZM,ZW

Fターム(参考) 2H050 AC71 AC73 AC75 AC76 AD01