

(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.C1.<sup>7</sup>

G02B 6/22

F 1

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) 國際出願番号 PCT/US2003/003843  
 (87) 國際公開番号 WO2003/071325  
 (87) 國際公開日 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)

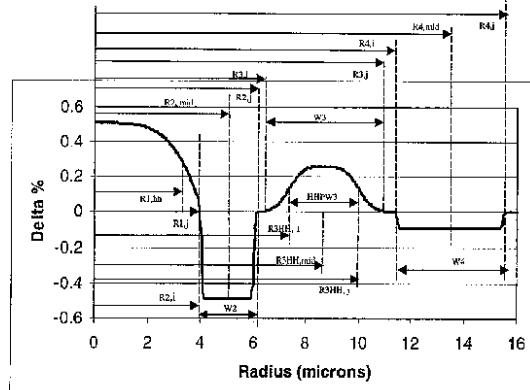
(71) 出願人 501246857  
 コーニング・インコーポレーテッド  
 アメリカ合衆国ニューヨーク州14831  
 , コーニング, リバーフロント・プラザ  
 1  
 (74) 代理人 100079119  
 弁理士 藤村 元彦  
 (72) 発明者 ピッカム スコット アール.  
 アメリカ合衆国 14830 ニューヨー  
 ク州 コーニング イーストフォースト  
 リート 69  
 (72) 発明者 ディエップ フォン  
 アメリカ合衆国 14845 ニューヨー  
 ク州 ホースヘッズ スタイルウォーター  
 ドライブ 281

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1550 nmの波長で約60  $\mu\text{m}^2$ よりも小の実効面積と、約1430 nmよりも小のゼロ分散波長と、約1550 nmの波長で約4 ps/nm/kmから約10 ps/nm/kmの間の分散と、約1550 nmの波長で0.045 ps/nm<sup>2</sup>/kmよりも小の分散スロープと、約1260 nm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 nm の波長で約  $60 \mu m^2$  よりも小の実効面積と、約 1 4 3 0 nm よりも小のゼロ分散波長と、約 1 5 5 0 nm の波長で約  $4 ps/nm/km$  から約  $10 ps/nm/km$  の間の分散と、約 1 5 5 0 nm の波長で  $0.045 ps/nm^2/km$  よりも小の分散スロープと、約 1 2 6 0 nm 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 nm の波長で約  $58 \mu m^2$  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 nm の波長で約  $25 dB/km$  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 4】

前記実効面積が約 1 5 5 0 nm の波長で約  $50 \mu m^2$  と約  $55 \mu m^2$  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 nm の波長で約  $0.042 ps/nm^2/km$  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 nm の波長で約  $0.038 ps/nm^2/km$  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 nm の波長で約  $0.045 ps/nm^2/km$  よりも小で、かつ、約  $0.020 ps/nm^2/km$  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 nm 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 nm の波長で約  $0.6 dB/km$  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。

30

## 【請求項 10】

減衰が約 1 3 8 3 nm の波長で約  $0.5 dB/km$  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 11】

減衰が約 1 3 8 3 nm の波長で約  $0.4 dB/km$  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 12】

偏波モード分散が約 1 5 5 0 nm の波長で  $0.06 ps/km^{1/2}$  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 nm の波長で  $0.04 ps/km^{1/2}$  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 nm の波長で  $0.03 ps/km^{1/2}$  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 ( $n_{1,MAX}$ ) を持つ正の相対屈折率パーセント ( $n_{1,r}$ ) 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( $\text{r}_{2,\text{MIN}}$ )を持つ最小相対屈折率パーセント( $\text{r}_{2,\text{MAX}}$ )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( $\text{r}_{3,\text{MAX}}$ )を持つ正の相対屈折率パーセント( $\text{r}_{3,\text{MIN}}$ )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( $\text{r}_{c,\text{MIN}}$ )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。  
10

【請求項17】

$\text{r}_{1,\text{MAX}}$ 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3μmと約6μm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】

$\text{r}_{2,\text{MIN}}$ 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1.5μmから約4.5μmの間の幅と、約4μmから約6.5μm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。  
20

【請求項21】

$\text{r}_{3,\text{MAX}}$ 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3μmと約9μmとの間の半幅を有し、前記半幅の前記中間点が約7.5μmと約10.5μm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( $\text{r}_{4,\text{MIN}}$ )を持つ負の相対屈折率パーセント( $\text{r}_{4,\text{MAX}}$ )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。  
30

【請求項24】

前記第3環状領域が約1.5μmから約7μmの間の幅と、約11μmから約18μm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( $\text{r}_{1,\text{MAX}}$ )を持つ正の相対屈折率パーセント( $\text{r}_{1,\text{MIN}}$ )を有する中央領域と、  
40

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( $\text{r}_{2,\text{MAX}}$ )を持つ負の相対屈折率パーセント( $\text{r}_{2,\text{MIN}}$ )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( $\text{r}_{3,\text{MAX}}$ )を有する正の相対屈折率パーセント( $\text{r}_{3,\text{MIN}}$ )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( $\text{r}_{c,\text{MAX}}$ )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<sup>2</sup>よりも小の分布体積を有し、前記全分布体積が-2%・μm<sup>2</sup>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】

$\text{r}_{1,\text{MAX}}$ 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

50

波路ファイバ。

【請求項 27】

前記中央領域が約  $3 \mu m$  と約  $6 \mu m$ 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  $3.50 \mu m$  と約  $4.5 \mu m$ 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  $1.5 \mu m$  から約  $4.5 \mu m$ の間の幅と、約  $4 \mu m$ から約  $6.5 \mu m$ 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  $3 \mu m$  から約  $9 \mu m$ の間の半値幅と、約  $7.5 \mu m$  から約  $10.5 \mu m$ 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  $1.5 \mu m$  から約  $7 \mu m$ の間の幅と、約  $11 \mu m$  から約  $18 \mu m$ 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】

1550 nm の波長付近 (本明細書中では、約 1525 nm から約 1565 nm の間の波長を含む C バンド及び約 1565 nm から約 1625 nm 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、1550 nm で 100 nm 以内である。そこで、1550 nm 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。

【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 1550 nm 窓、即ち、C バンド及び L バンド内、S バンド (約 1450 nm から

40

50

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

【 0 0 0 5 】

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 <sup>TM</sup> 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 n m 、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 n m 窓内で好適に機能し得る。 1 5 5 0 n m 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 n m 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 n m 窓内で好適に機能し得る。 N Z D S F の例は、 1 5 0 0 n m 付近で平均ゼロ分散波長及び約 1 5 5 0 n m で約 0 . 0 8 p s / n m <sup>2</sup> / 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 n m 付近で平均ゼロ分散波長及び約 1 5 5 0 n m で約 0 . 1 p s / n m <sup>2</sup> / 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 n m 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 <sup>TM</sup> ファイバや、及び、約 1 4 5 0 n m 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 <sup>TM</sup> 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 n m 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 n m よりも大のケーブルカットオフ波長を示す。

【 発明の開示 】

【 0 0 0 6 】

本発明の 1 つの特徴は、約 1 5 5 0 n m の波長で約 6 0  $\mu\text{m}^2$  よりも小なる実効面積、約 1 4 3 0 n m よりも小なるゼロ分散波長、約 1 5 5 0 n m 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 n m の波長で 0 . 0 4 5 p s / n m <sup>2</sup> / k m よりも小なる分散スロープ、及び、約 1 2 6 0 n m 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。

【 0 0 0 7 】

好ましくは、約 1 5 5 0 n m の波長で実効面積が約 5 8  $\mu\text{m}^2$  よりも小であって、より好ましくは、約 5 5  $\mu\text{m}^2$  よりも小である。

【 0 0 0 8 】

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

【 0 0 0 9 】

好ましくは、約 1 5 5 0 n m 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。

【 0 0 1 0 】

好ましくは、光ファイバの分散は約 1 5 3 0 n m 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 n m 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。

【 0 0 1 1 】

約 1 5 5 0 n m 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 <sup>2</sup> / 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 <sup>2</sup> / 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 <sup>2</sup> / 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 n m の波長で約 0 . 0 2 0 p s / n m <sup>2</sup> / k m よりも大であり、より好ましくは、約 1 5 5 0 n m の波長で 0 . 0 3 0 p s / n m <sup>2</sup> / k m よりも大である。

【 0 0 1 2 】

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 n m よりも小であり、より好ましくは、約 1 2 2 0 n m よりも小であり、更により好ましくは 1 2 0 0 n m 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 n m よりも小で、より

10

20

30

40

50

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(LP01)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。10

【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。20

【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 ps/km<sup>1/2</sup>よりも小であり、より好ましくは、約0.06 ps/km<sup>1/2</sup>よりも小であり、更により好ましくは、約0.04 ps/km<sup>1/2</sup>よりも小であり、その上更に好ましくは、約0.03 ps/km<sup>1/2</sup>よりも小である。30

【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。40

【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(<sub>1,MAX</sub>)を持つ正の相対屈折率パーセント(<sub>1%</sub>(r))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(<sub>2,MIN</sub>)を持つ負の相対屈折率パーセント(<sub>2%</sub>(r))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(<sub>3,MAX</sub>)を持つ正の相対屈折率パーセント(<sub>3%</sub>(r))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(<sub>4%</sub>(r))を有する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%の間にあって、より好ましくは、 $\alpha_{1,M}$ <sub>AX</sub>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3μmから約6μmの間の半径まで延在し、より好ましくは、約3μmから約5μmの間の半径まで延在する。

【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%の間にあって、より好ましくは、約-0.1%から約-0.30%の間にあって、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%の間にあって、より好ましくは、約0.55%から約0.95%の間にある。

【0025】

該第1環状領域は、好ましくは、該中央領域を包囲し、5μmから約9μmの間の半径まで延在し、より好ましくは、6μmから約8μmの間の半径まで延在し、最も好ましくは、約3.5μmから約7.5μm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4μmの半径から約8μm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1.5μmから約4.5μmの間の幅、より好ましくは、約2μmから4μmの間の幅を有する。

【0027】

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

【0028】

好ましくは、 $\alpha_{3,MAX}$ は、約0.1%から0.3%の間にあって、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%の間にあって、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9μmから約15μmの間の半径まで延在し、より好ましくは、約10μmから約14μmの間の半径まで延在する。

【0030】

該第2環状領域は、約2μmから約8μmの間の幅、より好ましくは、約3μmから約7μmの間の幅を有する。該第2環状領域は、好ましくは、約3μmから約9μmの間の半幅、より好ましくは、約3.5μmから約8.5μmの間の半幅、更により好ましくは、約4μmから約8μmの間の半幅を有する。該半幅の中間点は、約7.5μmから約10.5μmの間にあって、より好ましくは、約8μmから約10μm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(4, 50

$r_{4,\min}$ )を持つ負の相対屈折率パーセント( $r_4$ )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、 $r_{2,\min}$ 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、 $r_{2,\min}$ は $r_{4,\min}$ よりも大である。他の好ましき実施例において、 $r_{2,\min}$ は $r_{4,\min}$ よりも小である。更に他の好ましき実施例において、 $r_{2,\min}$ は $r_{4,\min}$ とほぼ等しい。

【0033】

該第3環状領域は、好ましくは、約9 $\mu m$ から約15 $\mu m$ の間の半径から12 $\mu m$ から約20 $\mu m$ 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 $\mu m$ から約14 $\mu m$ の間の半径から13 $\mu m$ から約18 $\mu m$ 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 $\mu m$ から約7 $\mu m$ の間の幅、より好ましくは、約2 $\mu m$ から約6 $\mu m$ の間の幅を有する。

【0035】

好ましくは、該第3環状領域は、約11 $\mu m$ から約18 $\mu m$ の間の幅、より好ましくは、約12 $\mu m$ から約16 $\mu m$ 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】

10

20

30

40

50

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、ドープされていない純  $SiO_2$  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。单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、

30

## 【0049】

## 【数2】

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

## 【0050】

と定義され、ここで、積分範囲は 0 から  $r_f$  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。

## 【0052】

## 【数3】

$$\Delta(r)\% = \Delta(r_0) \left( 1 - \left[ \frac{|r-r_0|}{(r_1-r_0)} \right]^\alpha \right)$$

## 【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  $r_i < r < r_f$  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、 $\alpha$  は実数の指数である。

40

50

## 【0054】

モードフィールド径 (MFD) はピータマンII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。

## 【0055】

## 【数4】

$$2w = MFD$$

## 【0056】

## 【数5】

10

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

## 【0057】

ここで、積分範囲は0からまでである。

## 【0058】

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。

## 【0059】

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30Nの力で押される間に基準減衰が測定される。70Nの力がプレートに与えられ、減衰の増加がdB/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。

## 【0060】

「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って組み入れられ、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5mmである。ピンの直径は0.67mm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。

## 【0061】

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Jeunhomme社から刊行された「Single Mode Fiber Optics」の第39乃至44頁のMercole Dekker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。

## 【0062】

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LP11及びLP02モードを示す。LP11及びLP02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、「2m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

40

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。

【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。

【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、ドープされ得る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。

【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。

【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

10

20

30

40

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S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、 $n_{c, \text{MAX}}$ 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、 $n_{c, \text{MAX}}$ 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、1383nm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、ストートプリフォーム又はストート体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、好みしくは、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ーラスシリカ体を形成する。かかるストート体は、例えば、OVD工程を経たベイトロッド上にスト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。

【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、ストート生成バーナー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、一般にスト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、ストート体21を形成するハンドル33の一部の上に堆積する。

【0078】

所望の量のストートがマンドレル31に堆積すると、ストート堆積は終了して、マンドレル31がストート体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、ストート体21が軸方向に通る中央線穴40を画定する。好みしくは、ストート体21は、ダウンフィードデバイス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、好みしくは、圧密化炉44内にストート体21が位置する前に、下部栓46と位置合わせされる。好みしくは、下部栓46が位置決めされて摩擦ばめによってストート体21の場所に保持される。栓46が更に好みしくはテープ付きされて、ストート体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。

【0080】

ストート体21は、好みしくは、例えば、ストート体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、ストート体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。ストート体21を形成するOVDにおいて、塩素がストートを通って十分に流れ、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。

【0081】

化学的乾燥ステップに続いて、炉の温度は、スト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(好みしくは、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。好みしくは、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】

10

20

30

40

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から遠いストート体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、ストート体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、ストート体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、且つストート体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、ストート体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過程のストート体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、ストート体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。

10

20

30

40

#### 【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31ppm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5ppb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1ppb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200μmから約2mm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0.5mm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0.3mmから約0.4mm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<sub>j</sub>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<sub>i</sub>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、950nm又は1240nmの如き、他のOHが誘導する水ピークと同様に、1383nmでの水ピークが低くなり得て、ほぼ消滅する。

#### 【0088】

50

低水ピークは、特に約1340nmから約1470nm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100nm低い1つ又は複数の波長で励起する。例えば、約1550nmの波長で動作信号を搬送する光ファイバが1450nm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1400nmから約1500nm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1400nm辺りの励起波長に対する励起出力の1mW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1260nmから約1650nmの間の波長で損失を低減し得て、特に低減された損失が1383nm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OD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日に出願された米国特許出願第60/309,160号、及び、2000年4月17日に出願された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日に出願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日に出願された米国特許出願第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（ $\eta_{1,MAX}$ ）を持つ正の相対屈折率パーセント（ $\eta_1\% (r)$ ）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（ $\eta_{2,MIN}$ ）を持つ負の相対屈折率パーセント（ $\eta_2\% (r)$ ）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（ $\eta_{3,MAX}$ ）を持つ正の相対屈折率パーセント（ $\eta_3\% (r)$ ）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（ $\eta_4\% (r)$ ）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、 $\eta_{1,MAX} > \eta_{3,MAX} > \eta_{2,MIN}$ であり、 $\eta_2\% (r)$ 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（ $R_{1j}$ ）（ $\eta\% (r)$ が0%に達する位置）まで延在する。 $R_{1hh}$ が、 $\eta_{1,MAX}$ 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（ $R_{2i}$ ）（ $\eta\% (r)$ が負になる位置）からモート外径（ $R_{2j}$ ）（ $\eta\% (r)$ 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。

10

20

30

40

50

## 【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( $\%_{MAX}$ )を有する。 $R_{3hh_i}$ は、 $\%_{MAX}$ の半値高さの最初の放射方向に内側の位置である。 $R_{3hh_j}$ は、 $\%_{MAX}$ 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 $HHPW_3$ は、内側半径( $R_{3hh_i}$ )と外側半径( $R_{3hh_j}$ )とによって境界とされる。リング半値幅( $HHPW_3$ )の中間点は、 $R_{3hh_i}$ と $R_{3hh_j}$ 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、 $\%_{MAX}$ 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( $\%_{MIN}$ )を持つ負の相対屈折率パーセント( $\%_{4} (r)$ )を有する。

20

## 【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 $R_{4j}$ の中間である。 $r > R_{4j}$ 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。

## 【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「ガターアイバ」)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 % ·  $\mu m^2$ )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】

【0105】

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。

【0106】

【表 1】

| 実施例              | 1     | 2      | 3     | 4      | 5      |
|------------------|-------|--------|-------|--------|--------|
| $\Delta_{1,MAX}$ | 0.505 | 0.504  | 0.508 | 0.512  | 0.519  |
| $R_{1i}$         | 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   |
| $R_{2,mid}$      | 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      |
| $R_{3,HHi}$      | 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    |        |
| $R_{4,mid}$      | 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   |
| ガターアイバ           | -14.2 | -8.97  | -4.84 | -1.81  | 0      |
| 全分布体積            | -8.8  | -4.4   | -1.1  | 1.0    | 1.6    |

【0107】

10

20

30

【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  |
| $\lambda_0$          | 1313   | 1316   | 1310   | 1314   | 1308   |
| 1550nmにおける $A_{eff}$ | 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におけるビン配列       | 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におけるカッパ        | 1000   | 925    | 901    | 913    | 877    |

[実施例6乃至10]

【0108】

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。

表4に、実施例6乃至10の光学特性が記載される。

【0109】

【表3】

| 実施例              | 6     | 7      | 8     | 9     | 10    |
|------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| $\Delta_{1,MAX}$ | 0.501 | 0.502  | 0.502 | 0.506 | 0.513 |
| $R_{1,J}$        | 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 |
| $R_{2,I}$        | 3.95  | 3.95   | 3.95  | 3.95  | 3.95  |
| $R_{2,J}$        | 6     | 6.25   | 6.05  | 5.95  | 5.5   |
| $W_2$            | 2.1   | 2.3    | 2.1   | 2     | 1.6   |
| $R_{2,mid}$      | 5.0   | 5.1    | 5.0   | 5.0   | 4.7   |
| $\Delta_{3,MAX}$ | 0.15  | 0.2    | 0.2   | 0.2   | 0.2   |
| $R_{3,I}$        | 6.55  | 6.65   | 6.65  | 6.4   | 6.3   |
| $R_{3,J}$        | 13.05 | 12.15  | 11.75 | 11    | 9.5   |
| $R_{3,HH}$       | 7.6   | 7.6    | 7.5   | 7.2   | 6.9   |
| $R_{3,HHJ}$      | 12    | 11.2   | 10.9  | 10.2  | 8.9   |
| $R_{3,HHMD}$     | 9.8   | 9.4    | 9.2   | 8.7   | 7.9   |
| $R_{4,i}$        | 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     |
| $R_{4,J}$        | 18.5  | 16.9   | 16.5  | 13.9  |       |
| $W_4$            | 4.2   | 4.2    | 4.2   | 2.2   |       |
| $R_{4,mid}$      | 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   |
| ガターボディ           | -14.4 | -10.62 | -6.89 | -3.07 | 0     |
| 全分布体積            | -8.21 | -4.76  | -1.52 | 1.24  | 2.55  |

【0110】

10

20

30

40

【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におけるスローブ | 0.016 | 0.016 | 0.017 | 0.017 | 0.017 |
| 1400nmにおけるスローブ | 0.041 | 0.040 | 0.040 | 0.040 | 0.041 |
| $\lambda_0$    | 1344  | 1340  | 1343  | 1342  | 1345  |
| 1550nmにおけるAeff | 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におけるカッパ  | 394   | 393   | 366   | 376   | 375   |

[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。

【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   |
| $R_{3HHMID}$     | 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  |
| ガターボディ           | -7.83  | -6.9  | -4.87  | -2.48  | 0     |
| 全分布体積            | -1.05  | -0.62 | 0.84   | 2.58   | 2.97  |

【0113】

10

20

30

40

【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  |
| $\lambda_0$           | 1372   | 1367   | 1368   | 1368   | 1369   |
| 1550nm における $A_{eff}$ | 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 におけるビン配列       | 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 におけるカッパ        | 255    | 259    | 258    | 258    | 259    |

[実施例 16 乃至 20]

【0114】

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。

【0115】

【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  |
| $R_{1HH}$        | 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  |
| $W_2$            | 3.38  | 3.26   | 3.1    | 2.85  | 2.55  |
| $R_{2mid}$       | 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  |
| $HHPW_3$         | 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  |       |
| $W_4$            | 3.2   | 3.3    | 2.3    | 2.1   |       |
| $R_{4mid}$       | 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  |
| ガタ一体積            | -7.37 | -5.43  | -3.79  | -1.64 | 0     |
| 全分布体積            | -0.54 | 0.67   | 1.85   | 2.91  | 3.32  |

【0116】

10

20

30

40

【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 |
| $\lambda_0$           | 1382   | 1382   | 1383   | 1383  | 1385  |
| 1550nm における $A_{eff}$ | 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   |

[実施例 21 乃至 25]

【0117】

表9に、本明細書に開示されたファイバの第21乃至第25の実施例(実施例21-25)の物理パラメータが記載される。実施例21乃至25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16に示される実施例24の分布で一般的に表される。表10に、実施例21乃至25の光学特性が記載される。

【0118】

【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  |
| $R_{1HH}$        | 3.1   | 3.1   | 3.1    | 3.15  | 3.1   |
| $\Delta_{2,MIN}$ | -0.17 | -0.16 | -0.155 | -0.16 | -0.2  |
| $R_{2J}$         | 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  |
| $R_{3J}$         | 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    |
| $R_{3HHMID}$     | 9.5   | 9.5   | 9.5    | 8.8   | 8.5   |
| $R_{4i}$         | 11.8  | 11.9  | 11.9   | 12    | 10.7  |
| $HHPW_3$         | 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  |
| ガタ一体積            | -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  |

【0119】

【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 |
| $\lambda_0$           | 1391  | 1390  | 1388  | 1390  | 1399  |
| 1550nm における $A_{eff}$ | 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 におけるピッチ配列      | 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   |

[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。

【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     |
| $R_{1HH}$        | 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 |
| $R_{3HHi}$       | 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   |
| $R_{4i}$         | 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  |
| ガターモード           | -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   |

【0122】

【表12】

| 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 |
| $\lambda_p$           | 1389  | 1392  | 1392  | 1391  | 1392  | 1391  |
| 1550nm における $A_{eff}$ | 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 におけるピッチ配列      | 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 におけるカッパ        | 191   | 188   | 188   | 185   | 188   | 188   |

10

20

30

40

[実施例32乃至36]

【0123】

表13に、本明細書に開示されたファイバの第32乃至第36の実施例（実施例32-36）の物理パラメータが記載される。実施例32又は33の相対屈折率分布は、表13の対応する項目に関連して、図18に示される実施例33の分布で一般的に表される。実施例34又は35の相対屈折率分布は、表13の対応する項目に関連して、図19に示される実施例35の分布で一般的に表される。実施例36の相対屈折率分布は、表13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20に示される分布によって表される。表14に、実施例32乃至36の光学特性が記載される。

【0124】

【表13】

| 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 |
| $R_{2L}$         | 4     | 4      | 3.95   | 3.95  | 4      |
| $R_{2J}$         | 6.4   | 6.6    | 7      | 6.8   | 6.95   |
| $W_2$            | 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    |
| $R_{3HHi}$       | 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     |
| $W_4$            |       |        | 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            | -2.28 | -2.29  | -1.95  | -1.65 | -2.25  |
| リング体積            | 3.35  | 3.3    | 6.13   | 5.87  | 5.18   |
| ガタ一体積            | 0     | 0      | -5.77  | -5.79 | -3.41  |
| 全分布体積            | 3.6   | 3.5    | 0.9    | 0.9   | 2.0    |

【0125】

50

【表14】

| 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  | 0.35  |
| 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 |
| $\lambda_0$    | 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におけるビン配列 | 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におけるカッパ  | 185   | 194   | 185   | 188   | 185   |

## [実施例37]

## 【0126】

表15に、本明細書に開示された光ファイバの第37の実施例（実施例37）の物理パラメータが記載される。実施例37の相対屈折率分布が表15に対応する項目に関連して、図21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21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16に記載される。図22は、図21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。

## [実施例38]

## 【0127】

また、表15に、本明細書に開示された光ファイバの第38の実施例（実施例38）の物理パラメータが記載される。実施例38の相対屈折率分布が表15に対応する項目に関連して、図23に示される分布によって表される。

## 【0128】

光ファイバは、図23の屈折率分布によるOVD処理を経て組み立てられる。図23の光ファイバの測定された特性が表16に記載される。図24は、図23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25は、様々な波長で測定された図23のファイバに対するファイバ損失もしくは減衰を示す。

## 【0129】

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、VA  
D、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39]

## 【0130】

表15に、本明細書に開示された光ファイバの第39の実施例（実施例39）による物理パラメータが記載される。実施例39の相対屈折率は、表15の対応する項目に関連して、図26に示される。

## 【0131】

10

20

30

40

40

【表15】

| 実施例                 | 37    | 38    | 39    |
|---------------------|-------|-------|-------|
| $\Delta_{1,MAX}$    | 0.52  | 0.61  | 0.54  |
| R <sub>1J</sub>     | 3.9   | 4.25  | 4     |
| R <sub>1HH</sub>    | 3.2   | 2.8   | 3.1   |
| $\Delta_{2,MIN}$    | -0.2  | -0.2  | -0.13 |
| R <sub>2I</sub>     | 3.9   | 4.25  | 4     |
| R <sub>2J</sub>     | 6     | 6.5   | 6.85  |
| W2                  | 2.1   | 2.3   | 2.9   |
| R2mid               | 5.0   | 5.4   | 5.4   |
| $\Delta_{3,MAX}$    | 0.18  | 0.15  | 0.175 |
| R3i                 |       |       |       |
| R3j                 |       |       |       |
| R <sub>3HHI</sub>   | 7.5   | 7.5   | 8.25  |
| R <sub>3HHJ</sub>   | 9.7   | 9.5   | 11.75 |
| R <sub>3HHMID</sub> | 8.6   | 8.5   | 10    |
| R <sub>4I</sub>     | 10.3  | 10.1  | 13.85 |
| HHPW <sub>3</sub>   | 4.3   | 3.6   | 7     |
| $\Delta_{4,MIN}$    | 0     | 0     | -0.1  |
| R <sub>4J</sub>     |       |       | 18.5  |
| W4                  |       |       | 4.7   |
| R4mid               |       |       | 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  |
| ガタ一体積               | 0     | 0     | -6.38 |
| 全分布体積               | 4.61  | 3.38  | 0.62  |

10

20

【0132】

【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 |
| $\lambda_0$               | < 1420 |       |       |
| 1550nm における $A_{eff}$     |        |       | 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   |

【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、ベ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】

40

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%・ $\mu m^2$ ）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。

【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%・ $\mu m^2$ よりも大で、より好ましくは約-2%・ $\mu m^2$ よりも大で、更により好ましくは約-1%・ $\mu m^2$ よりも大で、最も好ましくは約0%・ $\mu m^2$ よりも大である。

【0137】

50

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%・ $\mu m^2$ ）に対する

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%・ $\mu\text{m}^2$ よりも大で、より好ましくは、約2%・ $\mu\text{m}^2$ よりも大である。0.02から0.03 ps/nm<sup>2</sup>/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%・ $\mu\text{m}^2$ から約-3%・ $\mu\text{m}^2$ の間にある。約0.02 ps/nm<sup>2</sup>/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%・ $\mu\text{m}^2$ よりも小である。約0.01 ps/nm<sup>2</sup>/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%・ $\mu\text{m}^2$ 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%・ $\mu\text{m}^2$ よりも大であり、より好ましくは、約2%・ $\mu\text{m}^2$ から3%・ $\mu\text{m}^2$ 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%・ $\mu\text{m}^2$ から2.6%・ $\mu\text{m}^2$ の間にあって、モート体積が約-1.5%・ $\mu\text{m}^2$ から3.5%・ $\mu\text{m}^2$ の間にある。他の好ましき実施例において、約0.02 ps/nm<sup>2</sup>/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%・ $\mu\text{m}^2$ よりも大であり、中央領域体積が、好ましくは、約2.6%・ $\mu\text{m}^2$ から約3.0%・ $\mu\text{m}^2$ の間にあって、より好ましくは、約2.7%・ $\mu\text{m}^2$ から約2.9%・ $\mu\text{m}^2$ 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モードを示した図である。

【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%・ $\mu\text{m}^2$ よりも小であり、より好ましくは約3%・ $\mu\text{m}^2$ 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%・ $\mu\text{m}^2$ よりも大であり、ガターモードの絶対値は約1%・ $\mu\text{m}^2$ よりも大である。

【0144】

好ましくは、ガターモード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ペクトラムを含み、好ましくはこれは少なくとも1つの光ファイバスペクトラムである。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。

20

【0151】

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に如く、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リッ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リリフォームの図である。

【図6】図5の光導波路リ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、光導波路リリフォーム、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14】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15】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16】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17】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18】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19】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20】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21】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22】図21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23】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24】図23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25】図23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26】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27】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LPO1カットオフ波長を示す図である。

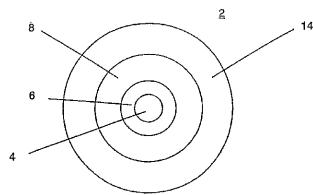
【図28】本明細書に開示されたファイバの好ましき実施例のモート体積に対する1550nmでの分散スロープを示す図である。

30

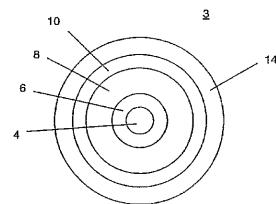
【図29】本明細書に開示されたファイバの好ましき実施例の中央領域体積に対するモート体積を示す図である。

【図30】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。

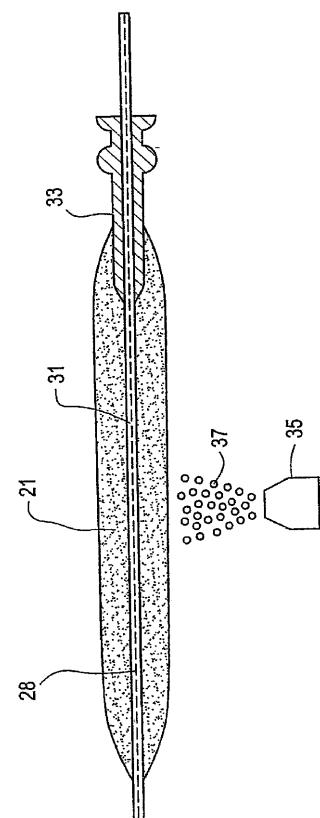
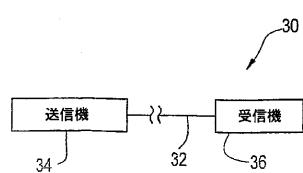
【図 1】



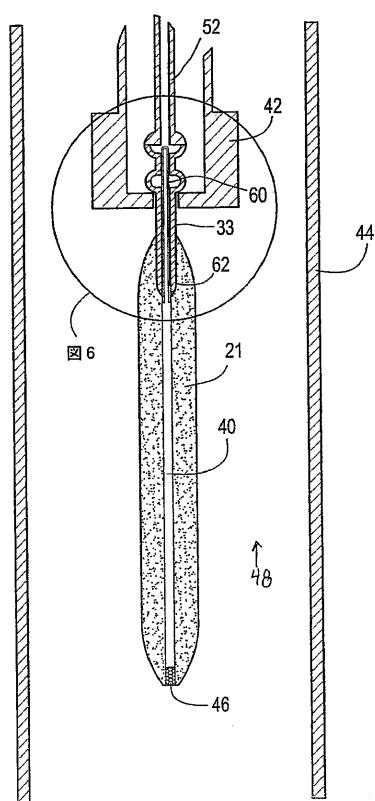
【図 2】



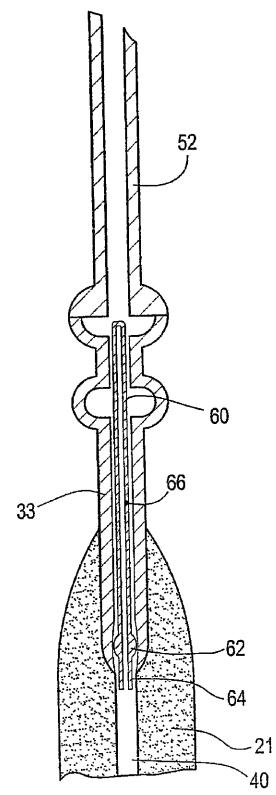
【図 3】



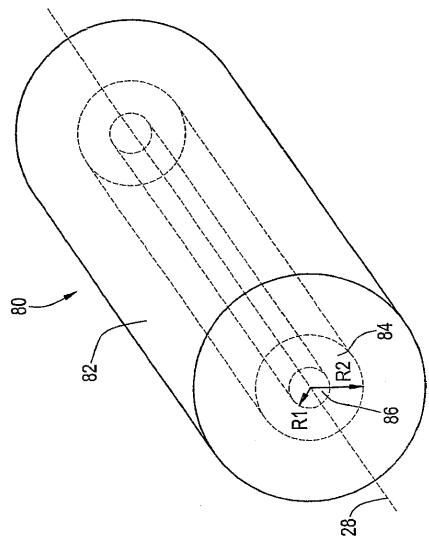
【図 5】



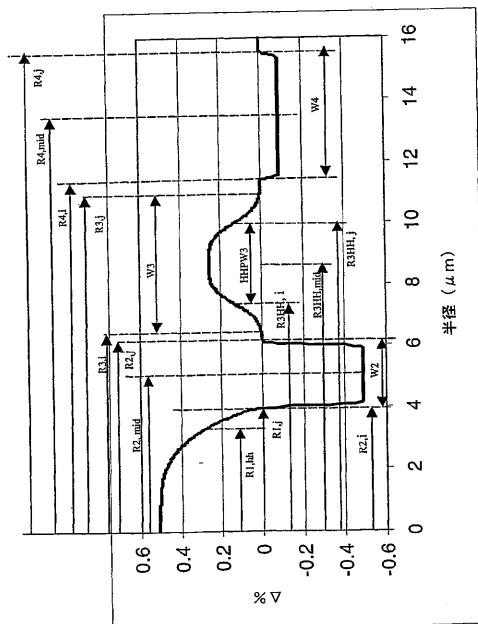
【図 6】



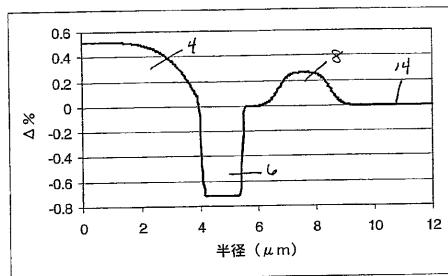
【図7】



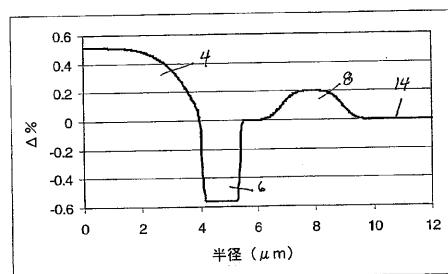
【 図 8 】



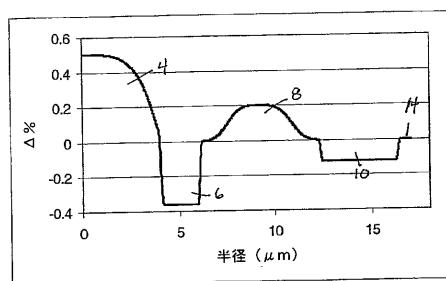
【 図 9 】



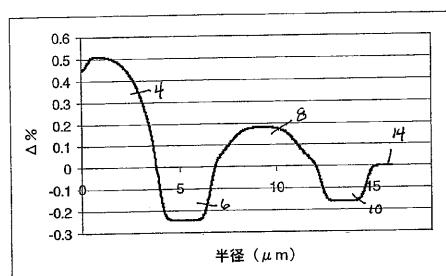
【 図 1 1 】



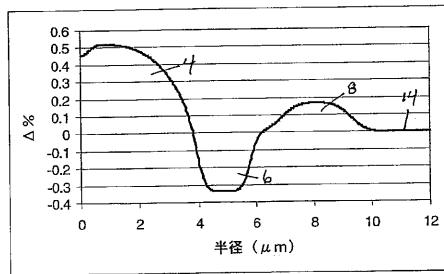
【 図 1 0 】



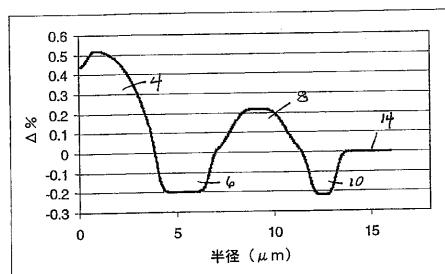
【 1 2 】



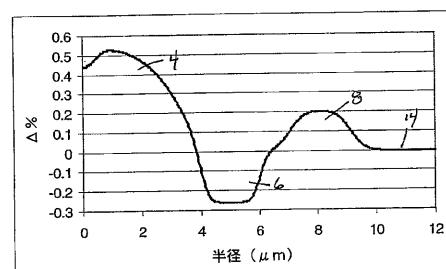
【図13】



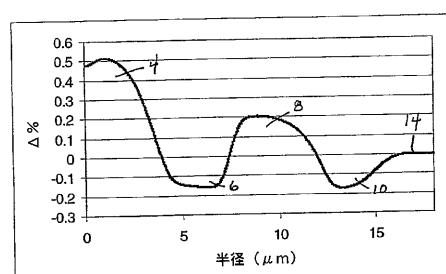
【図14】



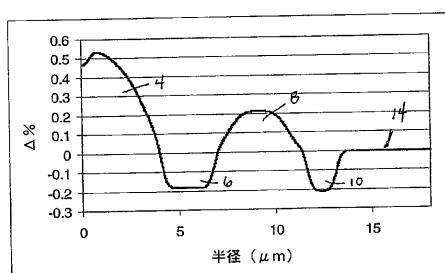
【図15】



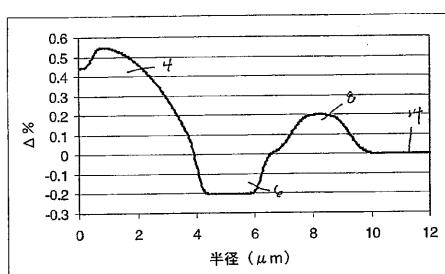
【図16】



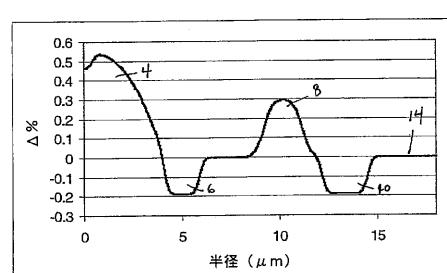
【図17】



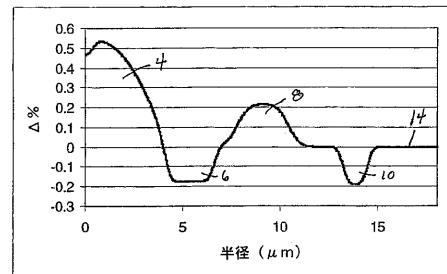
【図18】



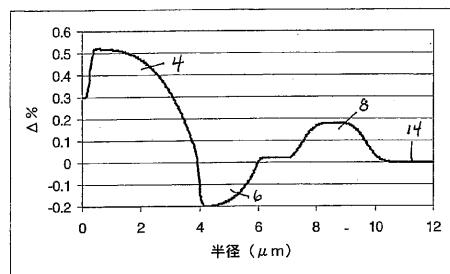
【図19】



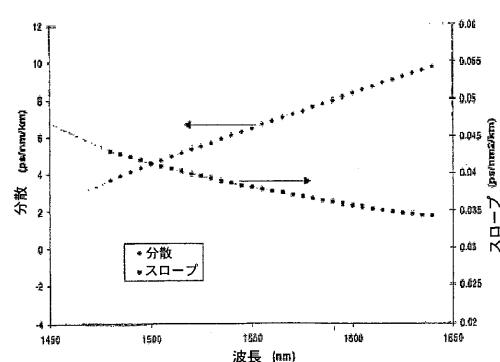
【図20】



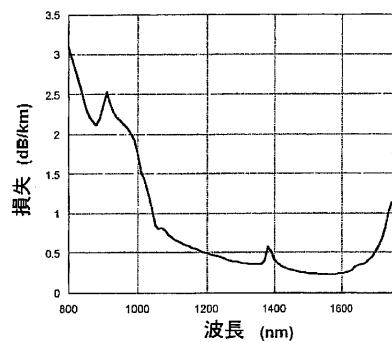
【図2-1】



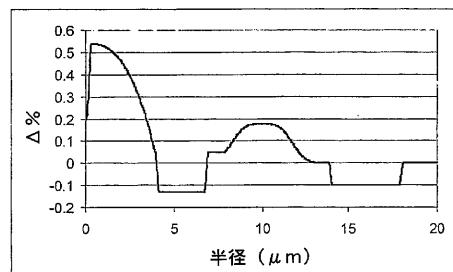
【図2-2】



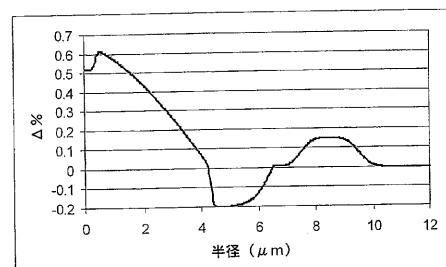
【図2-5】



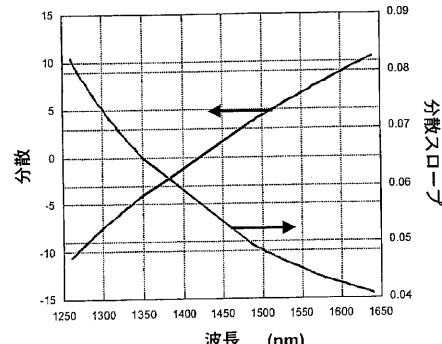
【図2-6】



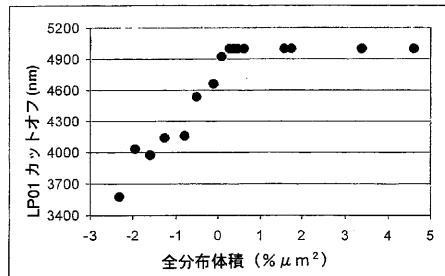
【図2-3】



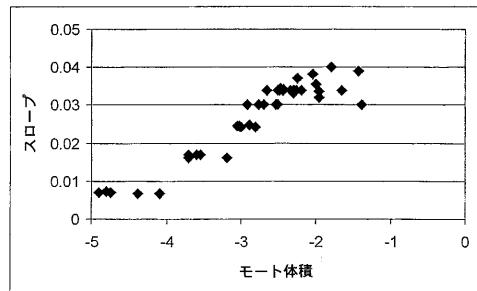
【図2-4】



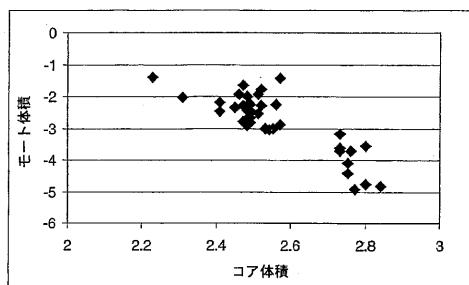
【図2-7】



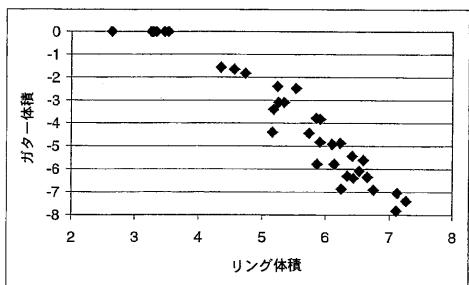
【図2-8】



【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( $\eta_{1,MAX}$ )を持つ正の相対屈折率パーセント( $\eta_1\% (r)$ )を有し、約3μmから約6μm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-0.3%の間にある最小相対屈折率パーセント( $\eta_{2,MIN}$ )を持つ負の相対屈折率パーセント( $\eta_2\% (r)$ )を有し、1.5μmから4.5μmの間の幅及び4μmから6.5μm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( $\eta_{3,MAX}$ )を持つ正の相対屈折率パーセント( $\eta_3\% (r)$ )を有し、かかる半値幅が約3μmから約9μmの間であり、前記半値幅の中間点が7.5μmから10.5μm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( $\eta_c\% (r)$ )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60μm<sup>2</sup>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/nm<sup>2</sup>/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 1 3 8 3 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 (  $n_{4,MIN}$  ) を持つ負の相対屈折率パーセント (  $-n_4\% (r)$  ) 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 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  $\mu m$  から約 7  $\mu m$  の間の幅と、約 1 1  $\mu m$  から約 1 8  $\mu m$  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 <sup>a</sup> | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No.    |
|-----------------------|---|--------------------------|
| X                     | EP 0 959 374 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 24 November 1999 (1999-11-24)<br>column 1, line 30 -column 7, line 2<br>column 13, line 25 -column 16, line 12;<br>figures 5-13 | 1-23,<br>25-33<br>24,34  |
| X,P                   | EP 1 211 533 A (FURUKAWA ELECTRIC CO LTD)<br>5 June 2002 (2002-06-05)<br>page 7, line 5 -page 9, line 1; figure 2   | 1,21,<br>23-31,<br>33,34 |
| X                     | WO 00 14580 A (DEUTSCHE TELEKOM AG ;BONESS REINER (DE); DULTZ WOLFGANG (DE); VOB1)<br>16 March 2000 (2000-03-16)<br>the whole document  | 1-22                     |
|                       |   | -/-                      |

 Further documents are listed in the continuation of box C. 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.
- \*&\* document member of the same patent family

|  |  |
|--|--|
| Date of the actual completion of the international search<br><br>16 May 2003   | Date of mailing of the international search report<br><br>03/06/2003 |
| Name and mailing address of the ISA<br>European Patent Office, P.B. 5618 Patentlaan 2<br>NL - 2280 HV Rijswijk<br>Tel: (+31-70) 340-2040, Tx: 31 651 epo nl,<br>Fax: (+31-70) 340-3016 | Authorized officer<br><br>Wolf, S                                    |

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

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

PCT/US 03/03843

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category <sup>a</sup> | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages  | Relevant to claim No. |
|-----------------------|---|-----------------------|
| X                     | WO 97 33188 A (CORNING INC)<br>12 September 1997 (1997-09-12)<br>page 10, line 8 -page 11, line 20; claim<br>7; figures 2,3<br>____ | 1-23                  |
| X                     | WO 99 42869 A (CORNING INC ;LIU YANMING<br>(US)) 26 August 1999 (1999-08-26)<br>page 8, line 27 -page 11, line 4; figure 2<br>____  | 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<br>AU 718167 B2<br>AU 8460098 A<br>EP 0959374 A1<br>JP 3320745 B2<br>US 6169837 B1<br>CN 1246181 T<br>WO 9930193 A1<br>JP 2001255433 A<br>TW 401519 B<br>AU 1351599 A<br>CA 2316379 A1<br>EP 1052528 A1<br>WO 9932909 A1<br>US 6498874 B1 |  | 17-08-1999<br>06-04-2000<br>28-06-1999<br>24-11-1999<br>03-09-2002<br>02-01-2001<br>01-03-2000<br>17-06-1999<br>21-09-2001<br>11-08-2000<br>12-07-1999<br>01-07-1999<br>15-11-2000<br>01-07-1999<br>24-12-2002 |
| EP 1211533                             | A 05-06-2002     | JP 2002162529 A<br>BR 0105528 A<br>CA 2356712 A1<br>CN 1356568 A<br>EP 1211533 A2<br>US 2002097971 A1   |  | 07-06-2002<br>02-07-2002<br>28-05-2002<br>03-07-2002<br>05-06-2002<br>25-07-2002   |
| WO 0014580                             | A 16-03-2000     | DE 19839870 A1<br>CA 2340675 A1<br>WO 0014580 A1<br>EP 1112518 A1<br>JP 2002524765 T<br>US 6529666 B1   |  | 09-03-2000<br>16-03-2000<br>16-03-2000<br>04-07-2001<br>06-08-2002<br>04-03-2003   |
| WO 9733188                             | A 12-09-1997     | US 5684909 A<br>AU 706828 B2<br>AU 3202197 A<br>BR 9707863 A<br>CA 2246445 A1<br>CN 1212057 A ,B<br>EP 0990182 A2<br>JP 3219200 B2<br>JP 11506228 T<br>WO 9733188 A2  |  | 04-11-1997<br>24-06-1999<br>22-09-1997<br>27-07-1999<br>12-09-1997<br>24-03-1999<br>05-04-2000<br>15-10-2001<br>02-06-1999<br>12-09-1997   |
| WO 9942869                             | A 26-08-1999     | AU 750557 B2<br>AU 3180599 A<br>BR 9907943 A<br>CA 2318423 A1<br>CN 1288523 T<br>EP 1066540 A1<br>JP 2002504702 T<br>WO 9942869 A1<br>US 2002191927 A1<br>US 6421490 B1   |  | 25-07-2002<br>06-09-1999<br>24-10-2000<br>26-08-1999<br>21-03-2001<br>10-01-2001<br>12-02-2002<br>26-08-1999<br>19-12-2002<br>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