

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4252894号  
(P4252894)

(45) 発行日 平成21年4月8日(2009.4.8)

(24) 登録日 平成21年1月30日(2009.1.30)

(51) Int. Cl. F I  
 G O 2 B 6/036 (2006.01) G O 2 B 6/22  
 G O 2 B 6/02 (2006.01) G O 2 B 6/10 C

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2003-512746 (P2003-512746)	(73) 特許権者	397068274 コーニング インコーポレイテッド アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 31 コーニング リヴァーフロント ブ ラザ 1
(86) (22) 出願日	平成14年7月2日(2002.7.2)	(74) 代理人	100079119 弁理士 藤村 元彦
(65) 公表番号	特表2005-520181 (P2005-520181A)	(72) 発明者	チャン ルー アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 70 ペインテッドポスト トールメド ウ 29
(43) 公表日	平成17年7月7日(2005.7.7)	審査官	大石 敏弘
(86) 国際出願番号	PCT/US2002/020845		
(87) 国際公開番号	W02003/007035		
(87) 国際公開日	平成15年1月23日(2003.1.23)		
審査請求日	平成17年6月16日(2005.6.16)		
(31) 優先権主張番号	60/304,662		
(32) 優先日	平成13年7月11日(2001.7.11)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分散及び分散スローブ補償光ファイバ及びこれを含む伝送リンク

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コア及び前記コアを囲むクラッド層を有し、前記クラッド層の屈折率を基準とする相対屈折率の正のピーク  $\epsilon_1$  を有し且つ外側半径  $r_1$  が1.5から2ミクロンの間にある中央コアセグメントと、前記クラッド層の屈折率を基準とする相対屈折率の負のピーク  $\epsilon_2$  を有し、外側半径  $r_2$  が4から5ミクロンの間にあり、且つ前記中央コアセグメントを包囲するモートセグメントと、前記クラッド層の屈折率を基準とする相対屈折率の正のピーク  $\epsilon_3$  を有し、外側半径  $r_3$  が6から7ミクロンの間にあり、且つ前記モートセグメントを包囲するリングセグメントと、を有し、 $\epsilon_1$  は1.6%よりも大且つ2%未満であり、 $\epsilon_2$  は-0.25%未満且つ-0.44%よりも大であり、並びに  $\epsilon_3$  は0.2%よりも大且つ0.5%未満であるコア屈折率分布からなる分散及び分散スローブ補償光ファイバであって、

前記コア屈折率分布は、1546nmの波長で-0.29ps/nm<sup>2</sup>/km未満且つ-0.40ps/nm<sup>2</sup>/kmよりも大の負の分散スローブと、1546nmの波長で-100ps/nm/kmから-120ps/nm/kmの間の負の分散と、250から387nmの間の1546nmでの分散を1546nmでの分散スローブで割算したカップバ値と、を与えることを特徴とする分散及び分散スローブ補償光ファイバ。

【請求項 2】

1546nmの波長で-0.36ps/nm<sup>2</sup>/km未満且つ-0.40ps/nm<sup>2</sup>/kmよりも大なる分散スローブであることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 3】

1546nmでの分散が-105ps/nm/kmから-120ps/nm/kmの間であることを特徴とする請求項 1

記載の光ファイバ。

【請求項 4】

前記中央コアセグメントの外側半径  $r_1$  が 1.6 から 1.9 ミクロンの間にあって、前記モートセグメントの外側半径  $r_2$  が 4.2 から 4.8 ミクロンの間にあって、前記リングセグメントの中央半径  $r_3$  が 6 から 6.5 ミクロンの間にあることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 5】

$r_1 / r_2$  で定義されるコア / モート比が 0.34 よりも大且つ 0.40 未満であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【請求項 6】

前記曲げ損失は、1550nm で 40mm マンドレル上で 0.01dB/m 未満であることを特徴とする請求項 1 記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分散補償・分散スロープ補償光ファイバ、及び、波長分割多重化 (WDM) システムのための伝送リンクに関し、特に、Cバンドで動作する単一モードファイバ (SMF) の分散及びスロープを補償するのに適した光ファイバ及びこのようなファイバを含む伝送リンクに関する。

【背景技術】

【0002】

より安いコストでより広い帯域幅で動作させる、との要求を満たすために通信システム設計者は、多チャンネル高密度波長分割・多重 (DWDM) 構造や、より長距離の伝達システムや、より高い伝送ビット速度に調整を行うのである。システム設計者が全チャンネルプランの分散を正確に補償する能力を要求するとき、この考え方においてクロマチック分散の管理がシステムパフォーマンス上重要になってくる。今日、分散に対する唯一の現実的なブロードバンド商用化技術は、分散補償モジュール (DCM)、すなわち、分散補償ファイバ (DCF) を適当な長さだけ巻き込んだスプールである。DWDM 設備が 16 チャンネル、32 チャンネル、40 チャンネル、更に多くのチャンネルに増加するとき、ブロードバンド分散補償製品が更に強く望まれたのである。現在の通信システムの多くは、SMF を使用しているが、それらは約 1310nm でゼロ分散になるように最適化されているにもかかわらず、1550nm 近傍の波長で信号を伝送するようにさせることで効果的に利用することができる。すなわち、これはエルビウム添加ファイバアンプでの使用を可能にするからである。この種の SMF の実施例としては、コーニング社で製造された SMF-28 がある。図 2 は、この種の SMF の屈折率分布である。概して、この種のファイバは、1550nm で約 17ps/km/nm の分散及び約 0.058ps/km<sup>2</sup>/nm の分散スロープを呈する。

【0003】

より高いビット速度システム (> 10Gbps) や長距離システム (例えば > 500km) や光ネットワークに対する関心を続ける上で、今まで同様に SMF 上でデータを伝送するには、ネットワークに DCF を使用することを回避し得ない。より高いビット速度、より長い伝送距離、及びより広い帯域幅は、分散だけでなく、分散スロープもより正確に補償されることをも必要とする。

【0004】

従って、分散及び分散スロープの双方の補償を必要とする SMF の分散特性に合致するような分散特性を有する DCF が望まれている。所与の波長での分散スロープに対する分散の比は、「カッパ ( )」値と称する。カッパは、所与の透過ファイバでの波長の関数として変化する。それゆえに、DCF のカッパ値は、動作窓における透過ファイバのカッパ値に合致することが等しく重要である。

【0005】

1550nm 近辺の広い波長バンドに亘って SMF の分散を補償可能な他の DCF の開発が特

10

20

30

40

50

に望まれたのである。

【発明の開示】

【0006】

本発明は、1546nmで負の分散及び負の分散スロープを呈し、且つ、好ましくは低い曲がり損失と低い減衰を呈するファイバに結果としてなるように選択されたコア屈折率分布からなる分散補償光ファイバである。本発明によるDCFは、特にCバンド動作窓内で動作する伝送リンクのSMFの分散及び分散スロープの双方を補償する効果がある。より詳細には、本発明は、正の相対屈折率  $n_1$  を有する中央コアセグメントと、負の相対屈折率  $n_2$  を有し且つ中央コアセグメントを包囲するモートセグメントと、及び、正の相対屈折率  $n_3$  を有し且つモートセグメントを包囲するリングセグメントと、コア屈折率分布からなるDCFである。ここで、 $n_1 > n_3 > n_2$  である。

10

【0007】

ここで、 $\Delta n$  は、

$$\Delta n = (n_1^2 - n_c^2) / 2 n_1^2 \times 100$$

である。

【0008】

本発明による第1の実施例のDCFは、1546nmの波長で-0.29ps/nm<sup>2</sup>/km未満の負の分散スロープと、1546nmの波長で-100ps/nm/kmから-120ps/nm/kmの間の負の分散と、250から387nmの間の範囲内の1546nmでの分散スロープによって分散を割算して得られるカップバ値とを結果として与えるコア屈折率分布を有する。DCFは、好ましくはリング部分を包囲し

20

【0009】

本発明の他の実施例によるDCFは、1546nmで-0.29ps/nm<sup>2</sup>/km未満且つ-0.40 ps/nm<sup>2</sup>/kmよりも大、好ましくは1546nmで-0.36ps/nm<sup>2</sup>/km未満且つ-0.40 ps/nm<sup>2</sup>/kmよりも大の負の分散スロープを結果として生じるコア屈折率分布を呈する。本発明によれば、DCFは、また、1546nmの波長で-100ps/nm/kmから-120 ps/nm/kmの間、より好ましくは1546nmで-105 ps/nm/kmから-120 ps/nm/kmの間の負の分散を呈する。本発明によるDCFは、好ましくは、250から387nmの間の範囲内の1546nmでの分散スロープによって分散を割算して得られたカップバ値を呈する。DCFは、好ましくはリングセグメントを包囲し且つ相対屈折率値  $n_c$  を有するクラッド層を有する。ここで、 $n_3 > n_c > n_2$  である。

30

【0010】

好適なことに、DCFのカットオフ波長 ( $\lambda_c$ ) は、1500nm未満、より好ましくは1350nm未満である。基本モードの光のみを伝播させるシステムを提供するためには、DCFの低いカットオフ波長が有利である。これにより、マルチパス干渉(MPI)が顕著に減少し、Cバンド波長窓でのシステムノイズを減少させる。

【0011】

本発明のDCFの他の実施例によると、中央コアセグメントのピークデルタ  $\Delta n_1$  は1.6%よりも大きく且つ2.0%未満であって、より好ましくは1.7%よりも大きく且つ1.9%未満である。モートセグメントの最も低いデルタ  $\Delta n_2$  は、-0.25%未満且つ-0.44%よりも大であって、より好ましくは、-0.30%未満且つ-0.37%よりも大である。リングセグメントのピークのデルタ  $\Delta n_3$  は、0.2%よりも大且つ0.5%未満であって、より好ましくは、0.35%よりも大且つ0.45%未満である。

40

【0012】

本発明の他の実施例によると、分散補償光ファイバは、1.5から2ミクロンの間の中央コアセグメントの外側半径  $r_1$  と、4から5ミクロンの間のモートセグメントの外側半径  $r_2$  と、5.5から7ミクロンの間のリングセグメントの中心半径  $r_3$  とを有する。より好ましくは、中央コアセグメントの外側半径  $r_1$  は、1.6から1.8ミクロンの間にあって、モートセグメントの外側半径  $r_2$  は、4.2から4.8ミクロンの間にあって、リングセグメントの中心半径  $r_3$  は、6から6.5ミクロンの間にある。

【0013】

50

本発明の他の実施例によれば、分散補償光ファイバは、0.34よりも大であって且つ0.40未満のコア/モート比 ( $r_1 / r_2$ ) と、18平方ミクロンよりも大、より好ましくは20平方ミクロンを超える1546nmでの実効面積 ( $A_{eff}$ ) と、を有する。この大なる実効面積は、非線形効果を減じることができるので望ましい。このDCFは1550nmで好ましくは0.6dB/km未満の減衰であって、これにより伝送リンクの全減衰には追加の減衰をもたらさない。その上、DCFの1550nmでの曲げ損失は、好ましくは40mmの直径のマンドレル上で0.01dB/m未満、より好ましくは0.005dB/m未満である。モジュール上のコンパクトなパッケージングを考慮に入れると、低い曲げ損失はDCFにとって非常に重要であり、全リンクでの低減衰を維持するのに役立つ。

【0014】

本発明の好適な実施例によると、DCFは、8ミクロンを超える半径、より好ましくは10ミクロンを超える半径、及び、最も好ましくは12ミクロンを超える半径でゼロデルタ%を満たす下部デルタテール部分を有するリングセグメントを含む。このテール部分40は、7から8ミクロンの間の半径で、好ましくは0.02%よりも大且つ0.2%未満のデルタ%を有する。好ましくは、このテール部分は、約8ミクロンからゼロデルタ%42まで、線形的なテーパを有する。

【0015】

本発明の他の実施例によると、光ファイバ伝送リンクは、1290nmから1320nmの波長範囲で、低分散動作するように最適化されたSMFの一定長と、1546nmで-100から-120の間の分散値を有するDCFの一定長とを含む。ここで、1520nmから1570nmの間の透過バンド内で、伝送リンクは、約0.15ps/km/nm未満の残余分散の絶対値を呈する。好ましくは、SMFの長さは、DCFの長さの6倍よりも長く、より好ましくは7倍よりも長い。

【0016】

本発明の追加の特徴及び効果は、後述する詳細な説明に記載され、当業者であれば明細書の記載から直ちに明らかになるであろうが、あとに続く詳細な説明及び添付の図面と同様に特許請求の範囲に記載された本発明を実行することによっても認識されるであろう。

【0017】

前述の一般的な説明及び以下の詳細な説明は、単に本発明の典型例にすぎず、特許請求の範囲で定められる本発明の性質及び特徴を理解するための概要若しくはフレームワークを与えることを意図していることを理解されるであろう。添付の図面は、本発明の更なる理解を提供するためにここに含まれて、本願中に取り入れられて本願明細書の一部を構成する。図面は、本発明のさまざまな実施例を示し、詳細な説明と共に本発明の原理及び動作を説明のために提供される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0018】

現時点での本発明の好適な実施例を詳細に説明する。本発明の実施例は、添付図面に示される。可能な限り、同じ参照番号は同じ若しくは類似の部分参照するために図面の全体に亘って使用されている。図面は、スケール通りであるとは解釈されてはならない。本発明によるDCFを含む伝送リンクの典型的な実施例が図1に示される。

【0019】

伝送リンク20は、1550nmで約17ps/nm/kmの正分散及び1550nmで約0.058ps/nm<sup>2</sup>/kmの正の分散スロープを有する一定長のSMF22を含む。それぞれ、図3及び4で示す形状及びコア屈折率分布を有する本発明による分散・分散スロープ補償光ファイバによると、リンク20はまた一定長のDCF24を含む。DCFは、正相対屈折率値  $n_1$  を有する中央円筒コアセグメント30と、セグメント30を包囲し且つこれに接する負の相対屈折率値  $n_2$  を有する環状モートセグメント32と、モートセグメント32を包囲し且つこれに接する正の相対屈折率値  $n_3$  を有する環状リングセグメント34とを有する。特に、屈折率分布の形は、最も良く図4に示されるように、 $n_1 > n_3 > n_2$  の如きである。

【0020】

本発明によるDCFは、1546nmの波長で-0.29ps/nm<sup>2</sup>/km未満の負の分散スロープと、15

10

20

30

40

50

46nmの波長で-100ps/nm/kmから-120ps/nm/kmの間の負の分散と、を呈するファイバに結果としてなるようなコア屈折率分布を有する。より好ましくは、1546nmでの分散スロープは、1546nmの波長で-0.29ps/nm<sup>2</sup>/km未満且つ-0.40ps/nm<sup>2</sup>/kmよりも大、更に、より好ましくは-0.36ps/nm<sup>2</sup>/km未満且つ-0.40ps/nm<sup>2</sup>/kmよりも大である。最も好ましくは、1546nmでの分散は、-105から-120ps/nm/kmの間である。このDCFの属性は、Cバンド(1520nmから1570nm)で動作する一定長のSMFを含む伝送リンク内で分散及び分散スロープを保証するのに理想的である。最も好ましくは、DCFは、1546nmで250から387nmの分散(D)を分散スロープ値(DS)によって割り算して得られたカッパ値( $\kappa$ )を呈する。図3からわかるように、ファイバは、また、リングセグメント34を包囲し且つこれに接する相対屈折率 $n_c$ を有する環状クラッド層36を含む。特に、ファイバ24の屈折率分布は、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$ である。

10

## 【0021】

図4を再度参照すると、DCF 24の屈折率分布29は、ピーク $n_1$ を有するアップドープされた中央コアセグメント30を有する。コアセグメント30は、ピークで負の $n_2$ を有するダウンドープされたモートセグメント32によって包囲されている。これは、ピーク $n_3$ を有するアップドープされた環状リングセグメント34によって順に包囲される。上述の全ては、好ましくは純シリカクラッド層36及びウレタンアクリレートの如き保護ポリマー層によって包囲されている。各コーティング38は、従来の如く、好ましくは高低モジュラスのプライマリ及びセカンダリ部分を含む。好ましくは、セグメント30及び34は、適量のゲルマニアを添加されたSiO<sub>2</sub>を使用して形成される。全体として同じ屈折率分布が達成される限り、屈折率を上昇させるためのドーパントの他の種類が本願明細書に開示のファイバを達成するために使用されてもよい。同様に、セグメント32は、フッ素を添加されたSiO<sub>2</sub>を使用して好ましくは形成され、また屈折率分布を下げる他のドーパントがフッ素の他に使用されてもよい。上記したように、クラッド層36は、純シリカで好ましくは形成される。しかしながら、図4に示した半径対相対 $n$ の関係が維持される限り、クラッド領域36の屈折率をドーパントで高めるか低めることができる。

20

## 【0022】

図4で示されるDCFの一実施例において、 $n_1$ は、1.6%よりも大且つ2.0%未満であって、1.5から2ミクロンの外側半径 $r_1$ を含む(図1において、分布がゼロデルタのX軸を横切る点までが $r_1$ である)。 $n_2$ は、-0.25%未満且つ-0.44%よりも大であって、4から5ミクロンの範囲内にある外側半径 $r_2$ を有する。本発明によれば、 $n_3$ は、0.3%よりも大且つ0.5%未満であって、5.5から7ミクロンの間の中心半径 $r_3$ (セグメントの高さの半値位置から降ろした垂線の足の中心位置から測る)を有する。本願明細書において使用されるように、半径は、光ファイバの中央線からセグメントの外側位置まで、すなわち、屈折率セグメントの最も外側領域がX軸(X軸はクラッド層38の屈折率にも等しい)を横切るところまでを計測した距離を意味する。他方、中心半径は、半値高さ位置によって定まるコアセグメントの中心で計測される。

30

## 【0023】

より好ましくは、セグメント30の $n_1$ は1.7から1.9%の間且つ1.6から1.8ミクロンの間の外側半径 $r_1$ を含み、モートセグメント32の $n_2$ は-0.3%から-0.37%の間且つ約4.2から4.8ミクロンの間の外側半径 $r_2$ を含む。環状リングセグメント34は、好ましくは0.3%よりも大且つ0.45%未満の $n_3$ 及び5.2から5.8ミクロンの中心半径、約0.5から1.5ミクロンの間、より好ましくは約1ミクロンの半値高さ幅を呈する。

40

## 【0024】

好適な実施例において、コアセグメント30の $n_1$ は1.6%よりも大且つ2.0%未満であり約1.5から2ミクロンの間の外側半径を有し、モートセグメント32の $n_2$ は、-0.25%未満且つ-0.44%よりも大であって、4から5ミクロンの間の外側半径 $r_2$ を有し、リングセグメント34の $n_3$ は、0.2%よりも大且つ0.5%未満であって、5.5から7ミクロンの間の中心半径 $r_3$ を有する。

## 【0025】

50

好適な実施例において、DCFは8ミクロンを超える、より好ましくは10ミクロンを超える、最も好ましくは12ミクロンを超える半径でゼロデルタ%42を満たす下部デルタテール部分40を有するリングセグメント34を含む。テール部分40は、7から8ミクロンの間の半径で、好ましくは0.02%よりも大且つ0.2%未満のデルタ%を有する。好ましくは、テール部分は約8ミクロンからゼロデルタ%42まで、ほぼ線形に先細りになる。テール部分40は、DCFの曲げ損失を改善する。

【0026】

本発明により製造されるDCFは、Cバンド未満(すなわち、1500nm未満、より好ましくは1350nm未満)のファイバカットオフ波長( )を呈する。従って、シリカクラッドでクラッドするとき、本願明細書において開示されるファイバは望ましく1550nmで好ましくはシングルモードである。

10

【0027】

ここに開示されるファイバは、分散補償モジュール内においてのみ使用されるわけではないことに留意されたい。このファイバは(筐体内で一般的に使用される閉モジュールよりはむしろ)分散補償ファイバケーブルにおいて使用されてもよい。

【0028】

好適な実施例において、本願明細書において開示される分散補償光ファイバは、この種の分散補償モジュールにおいて、ファイバはハブに巻きつけられて配備される。好ましくは、ハブは円筒形であって、約12インチ未満、より好ましくは約10インチ未満、最も好ましくは約6インチ未満の直径を有する。ここで、配置されるファイバの長さは約11mよりも長い。本発明の実施例によると、伝送リンクにおいて使用されるときに、DCFの長さに対するSMFの長さの比は、好ましくは6:1よりも大であって、より好ましくは7:1よりも大、図1に示したシステムでは約7.14:1であった。

20

【実施例】

【0029】

本発明は、図示することを意図された以下の実施例及び本発明の典型例によって更に図示されるだろう。

【0030】

実施例1において、図4に図示された屈折率分布を有するファイバは、ピーク $n_1 = 1.84\%$ 及び1.57ミクロンの外側半径 $r_1$ と、を有する中央コアセグメント30と、約-0.33%の最低 $n_2$ と4.55ミクロンの外側半径 $r_2$ のモートセグメント32と、約6.25ミクロンのリング中心半径 $r_3$ 及び約1ミクロンの半値高さ幅を有する約0.4%に等しいピーク $n_3$ のリングセグメントと、を有している。上昇屈折率領域30及び34は、ゲルマニア添加によって形成され、低下屈折率領域32は、フッ素添加によって形成された。外側クラッド領域36は純シリカであって、得られたファイバの外径は125ミクロンであった。得られたファイバは、1546nmで約-110ps/nm/kmの分散、約-0.39の分散スロープ及び約282nmの $n$ 値を示した。このファイバの実効面積は、1546nmで約20.2平方ミクロンであり、ファイバのカットオフ波長は、1340nmであった。1550nmでの曲げ損失は、40mmマンドレル上で0.0035dB/mであって、減衰は1550nmで0.5dB/km未満である。

30

【0031】

本発明による追加の実施例が表1に記載される。これら各々の実施例の対応する半径対デルタが以下の表1に記載される。ここで、 $r_1$ 及び $r_2$ セグメントの半径は外側半径、 $r_3$ の半径は中心半径である。また、 $n_3$ では半値高さ幅で記載される。半径及び半値高さ幅の値の全てはミクロンで記載される。また、1546nmでの分散、1546nmでの分散スロープ、1546nmでのカップ $n$ 及びカットオフ波長( )を含む対応する分散特性も記載される。

40

【0032】

【表 1】

	$\Delta 1$	外側 $r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta 2$	外側 $r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta 3$	中央 $r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	$D_{1546}$	D スロープ	$\kappa$	ファイバ カットオフ
実施例 1	1.84	1.57	-33	4.55	.40	6.25	-110	-0.39	282	1340
実施例 2	1.83	1.68	-37	4.64	.43	6.42	-101	-0.31	326	1496
実施例 3	1.85	1.64	-37	4.45	.41	6.12	-120	-0.34	353	1445

## 【0033】

10

極端に高い負の分散スロープを有する DCF を達成するために導波路分散寄与が大きくなるにつれて DCF の曲げ感受性がより高くなる。ファイバの曲げ感受性を減じる 1 つの方法は、ファイバの実効面積を減じることである。しかしながら、これは非線形効果を増加させてシステム効率に対する負のインパクトを与えてしまうのである。それゆえに、ブロードバンド WDM システムのための高い負の分散スロープを有する DCF の適当な設計では、ファイバの実効面積をできるだけ大きく維持すると共に、ファイバの曲げ感受性の微妙な最適化を要求する。

## 【0034】

本発明は、 $18 \mu\text{m}^2$  よりも大、より好ましくは  $20 \mu\text{m}^2$  よりも大なる実効面積 ( $A_{\text{eff}}$ ) と、 $0.6 \text{dB/km}$  未満の減衰とを有する。表 1 に示す結果の全ては、 $125 \mu\text{m}$  直径のファイバに線引きされたファイバによる結果である。

20

## 【0035】

本発明による DC ファイバの他の実施例は、本願明細書の図 6 に示される。本発明による DCF は、 $1546 \text{nm}$  の波長で  $0.29 \text{ps/nm}^2/\text{km}$  未満の負の分散スロープ、 $1546 \text{nm}$  の波長で  $-10 \text{ps/nm/km}$  から  $-120 \text{ps/nm/km}$  の間の負の分散、及び、 $250$  から  $387$  の間の  $1546 \text{nm}$  での分散スロープ (DS) で分散 (D) を割り算して得られるカップ値 ( $\kappa$ )、すなわち  $D/DS$  を呈するファイバを結果として生じるコア屈折率分布を有する。最も好ましくは、 $1546 \text{nm}$  での分散は、 $-105$  から  $-120 \text{ps/nm/km}$  の間にある。DCF は、好ましくは図 3 に示した構造と同じ構造である。特に、ファイバ 24 の屈折率分布は、 $n_1 > n_3 > n_c > n_2$  である。以下の表 2 は、実施例 4 の図 6 の実施例の属性及び構造を示している。

30

## 【0036】

DCF 24 の屈折率分布 29 は、ピーク  $n_1$  を有するアップドープ中央コアセグメント 30、負のピーク  $n_2$  を有するダウンドープモートセグメント 32 及びピーク  $n_3$  を有する環状リングセグメント 34 を有する。ファイバ 24 は、純シリカクラッド層 36 及び従来の保護ポリマーコーティング 38 を含む。図 6 に示す DCF の実施例において、 $n_1$  は  $1.6\%$  よりも大且つ  $2.0\%$  未満であって、 $1.5$  から  $2 \mu\text{m}$  の間の外側半径  $r_1$  (図 6 において、 $r_1$  はゼロデルタの X 軸と分布が交わる位置から降ろした垂線の足である) である。 $n_2$  は  $-0.25\%$  未満且つ  $-0.44\%$  よりも大であって、 $4$  から  $5 \mu\text{m}$  の間の外側半径  $r_2$  を有する。本発明によると、 $n_3$  は  $0.3\%$  よりも大且つ  $0.5\%$  未満であり、 $5.5$  から  $7.5 \mu\text{m}$  の間の中心半径  $r_3$  (セグメントの半値高さ位置から垂下した直線の中心位置から測定される) を有している。本願明細書において使用されるように、半径は、ファイバ中央線からセグメントの外側位置、すなわち、屈折率セグメントの最も外側領域が X 軸 (クラッド層 36 の屈折率にも等しい) を横切るところまで計測した距離を意味する。他方、中心半径は、半値高さ位置によって決定されるコアセグメントの中心で計測される。

40

## 【0037】

図 6 の実施例において、DCF は、 $8 \mu\text{m}$ 、より好ましくは  $10 \mu\text{m}$  よりも大なる半径でゼロデルタ%42 を満たす下部デルタテール部分 40 を有するリングセグメント 34 を含む。テール部分 40 は、 $8 \mu\text{m}$  の半径において好ましくは  $0.02\%$  よりも大且つ  $0.2\%$  未満のデルタ% を有する。好ましくは、テール部分は約  $8 \mu\text{m}$  からゼロデルタ%42 まで、ほぼ線形にテーパ形状となっている。

50

## 【0038】

本発明により製造されたDCFは、好ましくは、Cバンド未満、例えば、1500nm未満、より好ましくは、1350nm未満のファイバカットオフ波長( )を呈する。従って、シリカクラッドでクラッドするときに、本願明細書において開示されたファイバは、望ましくは1550nmでシングルモードである。

## 【0039】

## 【表2】

	$\Delta 1$	外側 $r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta 2$	外側 $r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$\Delta 3$	中央 $r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	$D_{1546}$	Dスロープ	$\kappa$	ファイバ カットオフ
実施例 4	1.84	1.69	-0.33	4.61	.40	6.67	-114	-0.41	278	1460

10

## 【0040】

本発明によるファイバは、Cバンドで動作するDCFとして優れた有用性を有し、約1310nmでゼロ分散となるように最適化されたSMFファイバ(例えば、コーニング社のSMF-28<sup>TM</sup>)を使用した光通信システムで生じる分散及び分散スロープを補償する。

## 【0041】

図1の実施例において、Cバンド全体に亘るSMFのブロードバンド分散補償を可能にするためにそれらが最適化され、実施例1の如きDCFがCバンド全体の分散を補償するために使用され得る。この種の光通信リンク20は、典型的には、例えば、少なくとも信号コンポーネント26(例えば送信機若しくはアンプ)及び第2コンポーネント28(例えば信号受信機若しくはアンプ)、通信経路上のSMF及びDCF(ブロック27として集合的に示されている)を光学的に相互接続する1つ以上のアンプ若しくはバンドパスフィルタからなる。

20

## 【0042】

図5は、Cバンドで実施例1のDCFを使用した場合の波長の関数としての残余分散を示している。Cバンド全体に亘る残余分散の絶対値は、0.15ps/nm/km未満であることが理解されるであろう。図示された実施例では、SMFの100kmが本発明によるDCFの約14.27kmと連結される。これにより、図5に示すように、バンド端44a,44bでの分散は、15ps/nm未満となる。プロット線は、本発明によるDCFが全てのCバンド窓に亘って約99%でSMFの分散を補償することを示している。2つのライン(SMF46及びDCF48)の相対的な平行性は、SMFのスロープもまた、かなり補償されていることを示す。

30

## 【0043】

本発明によるDCFは、好ましくは、通常のOVD法を利用して製造される。コアセグメント30は、回転アルミナのマンドレル上へゲルマニア添加されたシリカスートを堆積させることで形成される。その後、マンドレルが除去され、スートプリフォームは透明な圧密化プリフォームに圧密化される。同時に、真空下で中央線の開口を閉じると共に、圧密化プリフォームは、コアケーン(細長いロッド)に延伸炉中で線引きされる。コアケーンのセグメントは、旋盤へと戻されて配置され、更なるシリカスートがOVD法によってその上に堆積される。スート堆積されたコアケーンは、CF<sub>4</sub>を導いた圧密化炉でフッ素を添加される。その後、フッ素処理されたスートプリフォームは、十分に圧密化されて、モートセグメント32に対応するフッ素添加領域を形成する。圧密化ブランクはコアケーンに再び線引きされ、追加のゲルマニアを添加されたスートがリングセグメント34に対応する領域をその上に形成するためにOVD法によって与えられる。スート堆積されたケーンは、圧密化されて、上述した如きコアケーンに再度、線引きされる。このコアケーンがコア、モート及びリングセグメントに対応する領域を含むと認識されなければならない。最後に、シリカスートがOVD法によってコアケーンの上へ与えられ、スート堆積ケーンが再度

40

50

、圧密化される。これは、ファイバが線引きされる最終的な圧密化プリフォームを形成する。その後、プリフォームは、線引き炉へ移されて、ファイバが従来の方法でプリフォームから線引きされる。

【 0 0 4 4 】

さまざまなモディフィケーション及びバリエーションが本発明の精神と範囲から逸脱することなく、本発明によって得られることは、当業者にとって明らかであろう。故に、本発明は、添付の特許請求の範囲及びそれらの均等物の範囲内で与えられる本発明のモディフィケーション及びバリエーションをカバーすることを意図する。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 4 5 】

【 図 1 】 本発明による D C F を含む伝送リンクを示す図である。

【 図 2 】 従来 S M F の屈折率分布を示す図である。

【 図 3 】 本発明による D C F の部分分解斜視図である。

【 図 4 】 本発明による D C F の屈折率分布を示す図である。

【 図 5 】 本発明による D C F 及び S M F の組合せを含む伝送リンクの残余分散を示すプロット線図である。

【 図 6 】 本発明による D C F の他の実施例の屈折率分布を示す図である。

【 符号の説明 】

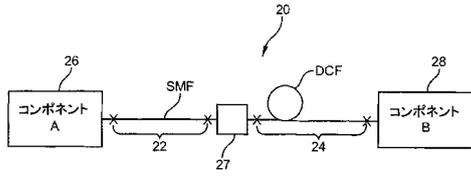
【 0 0 4 6 】

- 2 0 伝送リンク
- 2 2 S M F
- 2 4 D C F
- 3 0 中央コアセグメント
- 3 2 モートセグメント
- 3 4 リングセグメント
- 3 6 クラッド層
- 3 8 コーティング

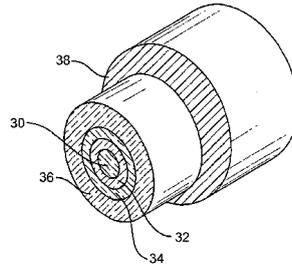
10

20

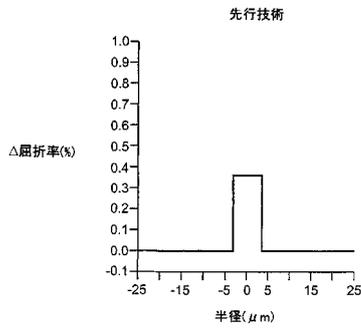
【図1】



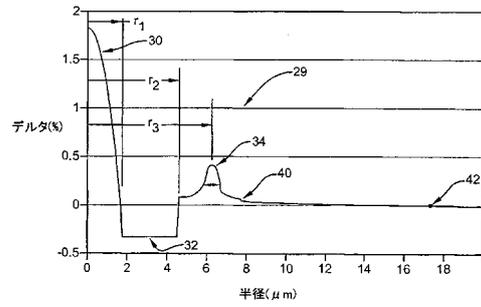
【図3】



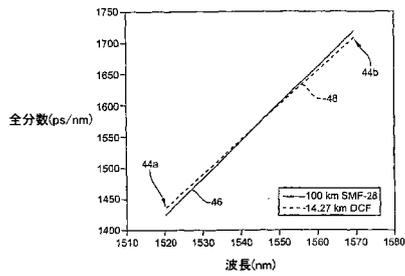
【図2】



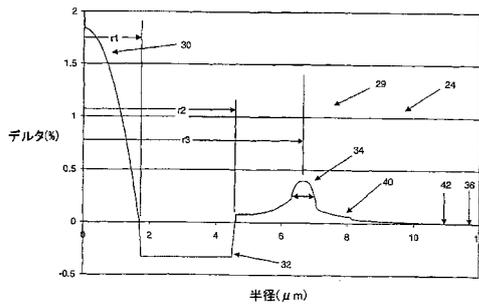
【図4】



【図5】



【図6】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第00/067053(WO,A1)  
国際公開第00/017684(WO,A1)  
欧州特許第01072909(EP,B1)  
特開昭62-275204(JP,A)  
特開平10-073738(JP,A)

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