

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4533388号
(P4533388)

(45) 発行日 平成22年9月1日(2010.9.1)

(24) 登録日 平成22年6月18日(2010.6.18)

(51) Int.Cl. F I
GO2B 6/036 (2006.01) GO2B 6/22
HO4B 10/02 (2006.01) HO4B 9/00 M
HO4B 10/18 (2006.01)

請求項の数 5 (全 17 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2006-538052 (P2006-538052) (86) (22) 出願日 平成16年10月14日(2004.10.14) (65) 公表番号 特表2007-512553 (P2007-512553A) (43) 公表日 平成19年5月17日(2007.5.17) (86) 国際出願番号 PCT/US2004/033857 (87) 国際公開番号 W02005/045493 (87) 国際公開日 平成17年5月19日(2005.5.19) 審査請求日 平成19年7月13日(2007.7.13) (31) 優先権主張番号 10/696,929 (32) 優先日 平成15年10月30日(2003.10.30) (33) 優先権主張国 米国 (US)</p>	<p>(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 プ ラザ 1 (74) 代理人 100079119 弁理士 藤村 元彦 (72) 発明者 ビッカム スコット アール. アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 30 コーニング イーストフォーススト リート 69 審査官 大石 敏弘</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 中程度の分散を有するNZDSFに対する分散補償ファイバおよびこれを使用する伝送システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

分散補償光ファイバであって、

1.85%から1.90%までの範囲の正の相対屈折率(n_1)および1.68 μ mから1.72 μ mまでの範囲のコア外半径(r_1)を有する中央コア部と、

-0.50%から-0.53%までの範囲の負の相対屈折率(n_2)および4.80 μ mから4.90 μ mまでの範囲のモート外半径(r_2)を有し、前記中央コア部を取り囲むモート部と、

前記モート部を取り囲むリング部であって、0.44%から0.49%までの範囲の正の相対屈折率(n_3)および前記リング部の中心に対する6.85 μ mから7.17 μ mまでの範囲のリング中心半径(r_3)を有し且つ前記モート部を取り囲むリング部と、からなる相対屈折率プロファイルを有し、

前記 n_1 、 n_2 、及び n_3 は、前記リング部を囲むクラッド層の屈折率 n_c に対する相対屈折率であり、

前記相対屈折率プロファイルは、

1550nmで-144ps/nm/km以上でありかつ-132ps/nm/km以下の全分散と、

当該1550nmでの全分散を1550nmでの全分散勾配で割った値として定義され、97nmから121nmの間であるカップと、をもたらし、

前記リング部は、当該リング部の相対屈折率(n_3)の2分の1で測定されるリング幅

(W_r)を含み、 $1.21\ \mu\text{m}$ 以上のリングオフセット(X_o)で前記モート外半径(r_2)からオフセットされており、 $X_o = r_3 - r_2 - W_r / 2$ であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項2】

前記 $1550\ \text{nm}$ での全分散を前記 $1550\ \text{nm}$ での全分散勾配で割った値として定義され、 $107\ \text{nm}$ から $121\ \text{nm}$ の間であるカップをさらに含むことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項3】

前記 $1550\ \text{nm}$ での全分散を前記 $1550\ \text{nm}$ での全分散勾配で割った値として定義され、 $113\ \text{nm}$ から $121\ \text{nm}$ の間であるカップをさらに含むことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

10

【請求項4】

前記 $1550\ \text{nm}$ での全分散勾配は、 $-1.46\ \text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以上でありかつ $-1.18\ \text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項5】

光ファイバ伝送システムであって、
 $1550\ \text{nm}$ で $5.24\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ から $8.12\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ の間の全分散を有するシングルモード伝送ファイバと、

前記シングルモード伝送ファイバに光学的に結合した、請求項1に記載の分散補償ファイバと、を含み、

20

$1525\ \text{nm}$ から $1625\ \text{nm}$ の間の伝送波長帯域内の全波長に対して、前記伝送システムは、前記シングルモード伝送ファイバの $100\ \text{km}$ につき $\pm 14\ \text{ps} / \text{nm}$ 未満の残留分散を示すことを特徴とする光ファイバ伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバに関し、特に分散補償光ファイバおよび当該ファイバを含むシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

30

高ビット伝送速度に対する需要の増大は、分散効果を制御し且つ最小にすることができる光伝送システムに対する大きな需要をもたらす。光伝送システムは、 $10\ \text{Gbit} / \text{秒}$ でかなりの量の残留分散を許容することができるが、これらのシステムは、約 $40\ \text{Gbit} / \text{秒}$ の高伝送速度では、不要な信号歪みをもたらさずには僅かな量の残留分散しか許容することができない、ということが一般的な光伝送システムの解析によって示されている。従って、かかる高ビットレート光伝送システムにおいて、対象の全波長域にわたった分散を正確に制御することは最重要性を有している。

【0003】

二つの窓($1310\ \text{nm}$ および $1550\ \text{nm}$ 付近)における伝送ができるファイバの必要性を扱うにあたって、 $1550\ \text{nm}$ で約 $5 \sim 14\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$ の範囲で分散を有する、新しい伝送ファイバが開発されてきている。これらいわゆる中程度の分散を有するノンゼロ分散シフトファイバ(NZDSF)は、 $1550\ \text{nm}$ で約 $0.08\ \text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ 未満の分散勾配を有するが、 $1550\ \text{nm}$ で約 $0.035 \sim 0.07\ \text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$ の範囲であることがより好ましい。さらに、それらは、 $1550\ \text{nm}$ で約 $45\ \mu\text{m}^2$ より大きい実効面積を示すが、 $1550\ \text{nm}$ で約 $50\ \mu\text{m}^2$ から $75\ \mu\text{m}^2$ の間であることがより好ましく、約 $1300\ \text{nm}$ から $1480\ \text{nm}$ の間の λ_0 を有する。

40

【0004】

従って、かかる中程度の分散を有するNZDSFを含むスパンにおける累積分散を補償するために有用な、分散補償ファイバに対する必要性がある。

【発明の開示】

50

【 0 0 0 5 】

< 定義 >

以下の定義および専門用語は、当技術分野で一般に使用されている。

【 0 0 0 6 】

屈折率プロファイル - 屈折率プロファイルは、屈折率（ % ）と光ファイバの半径（ μm ）との間の関係である。（光ファイバの半径は、光ファイバの中心線（CL）から測定される。）

分割したコア - 分割したコアは、物理コアにおいて、第1および第2の部分のような多数の部分を含むものであり、例えば中央コア部、モート部（moat segment）およびリング部のうちのいずれか2つを含む。各部分は、それぞれの相対屈折率プロファイルを有し、当該相対屈折率プロファイルは、最小および最大の屈折率を有する。

10

【 0 0 0 7 】

実効面積 - 実効面積は、下記の[式1]のように定義される。

【 式 1 】

【 0 0 0 8 】

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

【 0 0 0 9 】

[式1]において、積分範囲はゼロから であり、Eは、1550nmで測定されるような伝搬光に関連した電界である。

20

【 0 0 1 0 】

相対屈折率パーセント % - %は、下記の[式2]によって定義される、屈折率の相対量を示す。

【 式 2 】

【 0 0 1 1 】

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

【 0 0 1 2 】

[式2]において、%はクラッド層 n_c の屈折率に対して測定される、屈折率プロファイル部分の最大の（モート部の場合には最小）屈折率である。

30

【 0 0 1 3 】

アルファプロファイル - アルファプロファイルは、（b）%で表される、中央コア部の屈折率プロファイルを指し、bは半径であり、下記の[式3]で表される。

【 式 3 】

【 0 0 1 4 】

$$\Delta(b)\% = \{ \Delta b_0 (1 - [|b - b_0| / (b_1 - b_0)]^\alpha) \} \times 100,$$

【 0 0 1 5 】

[式3]において、 b_0 はコアの屈折率プロファイルの最大点であり、 b_1 は（b）%がゼロで且つbがb以下の b_i から b_f 以下のbまでの範囲である点である。%は前述のように定義され、 b_i はアルファプロファイルの起点であり、 b_f はアルファプロファイルの終点であり、アルファは実数である指数である。中央コア部のプロファイルは、オフセットを含み、当該オフセットにおいて、半径 b_0 は、ファイバの中心線からオフセットされるポイントで始まり得る。

40

【 0 0 1 6 】

ピンアレイ曲げ損失（pin array macro-bending）試験 - この試験は、光ファイバの相対抵抗を曲げ損失と比較して試験するために使用される。この試験を行うために、光ファイバが、誘導曲げ損失が生じないように配置されるとき、減衰損失が1550nmで測定される。その後、この光ファイバはピンアレイ周囲に編み込まれ、再び同一波長で減衰が測定される。曲げによって引き起こされる損失は、2つの減衰測定間の差異（dB）であ

50

る。ピンアレイは、1列に配置された10個の円柱状のピンー式であり、平面上に固定垂直位置で保持される。ピン間隔は、中心間で5mmである。ピン直径は0.67mmである。光ファイバは、隣接するピンの両側を通ることとなる。試験中に、光ファイバをピンの周囲部分に一致させるのに十分な張力を受けた状態で、光ファイバは配される。

【0017】

水平荷重試験 (lateral load test) - 水平荷重試験は、光ファイバのマイクロベンディング抵抗の測定を与える。この試験において、光ファイバの全長は、直径98.5mmの1つのループに配され、2つの平面平板の間に挟まれる。ワイヤメッシュNo.70は、平板の1つに取り付けられる。光ファイバの全長は平板の間に挟まれ、平板が30ニュートンの力で共にプレスされている間に、参照減衰が測定される。その後、70ニュートンの力が平板に加えられ、減衰の増加およびdB/mが測定される。この減衰の増加が、光ファイバの水平荷重減衰 (dB/m) である。

【0018】

本発明の実施例によると、分散補償光ファイバは、正の相対屈折率 (n_1) およびコア外半径 (r_1) を有する中央コア部と、負の相対屈折率 (n_2) およびモート外半径 (r_2) を有し、前記中央コア部を取り囲むモート部と、前記モート部を取り囲むリング部と、を有する相対屈折率プロファイルで与えられ、前記リング部は、正の相対屈折率 (n_3) および前記リング部の中心に対するリング中心半径 (r_3) を有し、前記相対屈折率プロファイルは、1550nmで-143ps/nm/kmより大きく-114ps/nm/km未満の全分散と、当該1550nmでの全分散を1550nmでの全分散勾配で割った値として定義され、96nmから150nmの間であるカップと、をもたらしことを特徴とする。さらなる実施例によると、全分散は、1550nmで-143ps/nm/kmより大きく-120ps/nm/km未満であることが好ましいが、1550nmで-138ps/nm/kmより大きく-120ps/nm/km未満であることがより好ましい。

【0019】

本発明のさらなる実施例によると、分散補償ファイバは、1.5%から2.0%の間の相対屈折率 (n_1) および1.6μmから1.8μmの間の外半径 (r_1) を有する中央コア部と、-0.4%から-0.6%の間の相対屈折率 (n_2) および4.6μmから5.0μmの間のモート外半径 (r_2) を有し、前記中央コア部を取り囲むモート部と、前記モート部を取り囲むリング部と、を有する相対屈折率プロファイルを含み、前記リング部は、0.3%から0.6%の間の相対屈折率 (n_3)、前記リング部の中心に対するリング半径 (r_3) および前記リング部の相対屈折率 (n_3) の2分の1で測定されるリング幅 (W_r) を含み、当該リング半径 (r_3) は6.5μmから7.2μmの間であり、前記相対屈折率プロファイルは、1550nmの波長で、-143ps/nm/kmより大きく-114ps/nm/km未満の全分散と、当該1550nmでの全分散を当該1550nmでの分散勾配で割った値として定義され、96nmから150nmの間であるカップと、をもたらしことを特徴とする。

【0020】

本発明のさらなる実施例によると、本明細書に説明されている分散補償光ファイバは、光伝送システム中に含まれていることが好ましく、中程度の分散を有するNZDSFに光学的に結合されている。当該NZDSFは、1550nmで約5ps/nm/kmから14ps/nm/kmの間の全分散を有している。光伝送システムは、1525~1565nmの波長帯域にわたって (C帯域にわたって)、中程度の分散を有するNZDSFの100kmにつき±10ps/nm未満の残留分散を示すことが好ましいが、100kmにつき±7ps/nm以下を示すことがより好ましい。中程度の分散を有する伝送ファイバと本明細書で説明される分散補償光ファイバとの組み合わせを含めたさらなる実施例によると、スパンに対する残留分散は、1525~1625nmの波長帯域にわたって (C+L帯域にわたって)、中程度の分散を有するNZDSFの100kmにつき±20ps/nm以下であることが好ましいが、100kmにつき±15ps/nm以下であることが

10

20

30

40

50

より好ましい。本発明における分散補償ファイバは、分散補償モジュール内に含まれることが好ましい。

【0021】

本発明のさらなる特徴および利点は、以下の詳細な説明において説明され且つ部分的に、添付図面と同様に、以下の詳細な説明および特許請求の範囲を含み、その説明から当業者にすぐに明らかであるかまたは本明細書に説明されているように本発明を実施することによって認識されるであろう。

【0022】

上述の概要および以下の詳細な説明は、本発明の実施例を表し、特許請求の範囲にあるように、本発明の性質および特徴を理解するための概要および構成を与えることを意図している、ということが理解されるべきである。添付図面は、本発明のさらなる理解を与えるために包含され、本明細書中に組み込まれ且つ本明細書の一部を構成している。図面は、本発明のさまざまな実施例を示し、詳細な説明とともに本発明の原理および動作を説明する働きをしている。

【好ましい実施例の詳細な説明】

【0023】

ここで、本発明の好ましい実施例に対して詳細に言及がなされ、その実例は、添付の図面および表において示されるであろう。可能ならいつでも、同一部または類似部を示すために、同一の参照番号が図面を通して使用されるであろう。

【0024】

本発明による一群の分散補償光ファイバ（さもなければ、分散補償光ファイバまたは分散補償導波路ファイバとして言及される）が示されており、図1および図4～図12を参照して説明されている。かかるファイバは、全体を通して参照番号20で示されている。本願で説明され且つ開示されている分散補償ファイバ20は、分割したコア構造を有している。部分（例えば、中央コア部、モート部およびリング部）は、全体としてファイバの物理コアに対する相対屈折率を定める。ファイバの相対屈折率プロファイルは、さらに説明され、さまざまな部分に対する、さまざまな相対屈折率パーセント r_1, r_2, r_3 、代表半径 r_1, r_2, r_3, r_0, r_i 、リング幅 W_r およびオフセット X_0 で定義されている。さまざまな部分に対する半径は、すべて光ファイバの縦軸中心線CLから測定される。従来のように、相対屈折率プロファイルは、ファイバの縦方向の長さにならわたって変化せず且つファイバの中心線CLの周囲に対照的であることが好ましい。

【0025】

図1および図4～図12を参照すると、本発明による分散補償ファイバ20の各々は、物理コア21および当該コアを取り囲むクラッド層30を含む物理的構造を有している。物理コアに接触しつつ当該コアを取り囲んでいるクラッド層30は、屈折率 n_c を有する。

本発明の実施例によると、本願の一群の分散補償ファイバ20の分割したコア21は、さらにファイバの中心線CLに最も近接した中央コア部22、環状形状を有し、中央コア部22に接触しつつ当該中央コア部を取り囲むモート部24およびモート部24に接触しつつ当該モート部を取り囲む環状リング部26を含む。環状のクラッド層30（アンドープシリカであることが好ましい）は、リング部26を取り囲み且つ当該リング部と境を接している。クラッド層30は、約 $62.5 \mu\text{m}$ の外径を有することが好ましい。（但し、さまざまな屈折率プロットが約 $10 \mu\text{m}$ で切り捨てられて示されており、残りの $52.5 \mu\text{m}$ は明確化のために示されていない。）ファイバ20のクラッド層30の、最も外側の放射状ガラス部分は、保護用のポリマーコーティング34（UV硬化性であることが好ましい）で、約 $250 \mu\text{m}$ の外径になるように被覆（被膜）されることが好ましい。ポリマーコーティング34は、従来と同じように、軟係数（softer-modulus）の内側一次コーティングおよび硬係数（harder-modulus）の外側二次コーティングを有する、2つの係数を有するアクリレートコーティングであることが好ましい。しかし、適当な任意のファイバコーティングが使用され得る、ということが認識されるべきである。

10

20

30

40

50

【0026】

本発明による分散補償ファイバ20の第1実施例に対する相対屈折率プロファイルが、図4に示されている。図4のプロファイルの変形が、図5～図12に示されており、本明細書における特許請求の範囲の一群のファイバ20を説明するのに役立っている。図4は、分散補償ファイバの半径(μm)に対して示された相対屈折率(%)を示している。さらに、図4は、デルタ $\delta_1, \delta_2, \delta_3$ 、代表半径 r_1, r_2, r_3, r_0, r_i 、リング幅 W_r およびリングオフセット X_0 に対して使用される決まり事を示している。同じ決まり事は、図5～図12に示される例b～iに対する相対屈折率プロファイルの特性を示すために使用されており、明確にするために本明細書中で繰り返さないものとする。

【0027】

図4～図12に良く示されているように、本願による一群の分散補償ファイバの各ファイバ20に対する物理コア21は、最大相対屈折率パーセント $\delta_1\%$ を有する中央コア部22を有していることが好ましい。当該最大相対屈折率パーセント $\delta_1\%$ は、クラッド基準線27から測定され、 1.0% より大きく 2.0% 未満であることが好ましいが、 1.5% より大きく 2.0% 未満であることがより好ましく、約 $1.55\% \sim 1.95\%$ の範囲内にあることが最も好ましい。さらに、中央コア部22は、アルファ α でアルファプロファイルを有することが好ましい。 α は 5.0 未満であるのが好ましいが、 3.0 未満であることがより好ましく、約 2.0 であることが最も好ましい。図に示されているように、中央コア部22の最大屈折率のポイントは、ファイバの中心線CLからある距離($0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$)でオフセットされ得る。中央コア部22は、外径 r_1 を示す。 r_1 は、 $1.6 \mu\text{m}$ から $1.8 \mu\text{m}$ の間であることが好ましいが、約 $1.65 \mu\text{m} \sim 1.75 \mu\text{m}$ の範囲内であることがより好ましい。中央コア部22の外径 r_1 は、中央コア部22の相対屈折率プロファイルの下向き線と横軸伸長線27との交点で測定され且つ当該交点によって定義される。横軸伸長線27は、クラッド層30(純粋シリカから構成されていることが好ましい)の屈折率に対応し且つ当該屈折率から伸長している。中央コア部22の相対屈折率プロファイルは、当該相対屈折率が高められるように十分な量のゲルマニウムでシリカをドーピングすることによって形成されることが好ましく、その結果、所望の $\delta_1\%$ およびアルファプロファイルを与えることとなる。

【0028】

分散補償ファイバ20の環状モート部24は、中央コア部22を取り囲み且つ中央コア部22と接触していることが好ましく、マイナスの最小相対屈折率パーセント $\delta_2\%$ を有していることが好ましい。クラッド層30に対して測定されるときに、 $\delta_2\%$ は -0.3% よりもマイナスであることが好ましいが、約 $-0.4\% \sim -0.6\%$ の範囲内であることがより好ましい。さらに、モート部24は、本願で $r_2 - r_1$ として定義される幅を有し、この幅は、 $2.5 \sim 3.5 \mu\text{m}$ であることが好ましい。モート部24の底は、平面面を含むことが好ましく、少なくとも $2 \mu\text{m}$ 長が一定の屈折率であることが好ましい。モート部24の外径 r_2 は、モート部24とリング部26との交点で測定される。特に、外径 r_2 は、モート部24のプロファイルの上向き線とクラッド層30(純粋シリカであることが好ましい)の屈折率に対応した水平軸27との交点で測定され、且つ当該交点で定義される。モート部24の外径 r_2 は、ファイバ中心線CLから約 4.6 から $5.0 \mu\text{m}$ の間に配されることが好ましい。モート部24は、クラッド層30に対してその屈折率を減じるのに十分な量で、シリカをフッ素ドーピングすることによって形成され、モート部24の所望の相対屈折率 $\delta_2\%$ を得ることが好ましい。米国特許第4,629,485号は、光ファイバの予備成形物をフッ素ドーピングするための1つの適切な方法を教示している。必要に応じて、屈折率を下げる、フッ素以外の他の適当な任意のガラス調整剤も使用され得る。

【0029】

分散補償ファイバ20の環状リング部26が、モート部24を取り囲み且つ当該モート部と境を接していることが好ましい。高屈折率のリング部26は、相対屈折率 $\delta_3\%$ を有しており、この $\delta_3\%$ は、約 0.3% より大きいことが好ましいが、約 0.3% から $0.$

10

20

30

40

50

6%の間であることがより好ましく、約0.44%から0.51%の範囲内であることがさらにより好ましい。リング部26は、ハーフハイト(half-height)幅寸法 W_r を有し、この W_r は内側ポイント29から外側ポイント31まで測定され、 $1.0\mu\text{m}$ から約 $2.0\mu\text{m}$ の範囲内にあることが好ましい。リング中心半径 r_3 が、ファイバ中心線CLから幅 W_r の二分ポイント33まで測定される。半径 r_3 は、約 $6.5\mu\text{m}$ ~約 $7.2\mu\text{m}$ の間にあることが好ましい。リング幅 W_r は、 $r_0 - r_1$ に等しく、 r_0 は中心線CLからハーフハイトポイント31までの寸法であり、同様に、 r_1 は、ファイバ中心線CLからハーフハイトポイント29までの寸法である。ハーフハイトポイント29、31は、それぞれリング部26の上向き線および下向き線上の、値が $\gamma_3\%$ の2分の1に等しいポイントで測定され且つ当該ポイントとして定義される。

10

リング部26は、クラッド層30に対してリング部の添加量を上げるために十分なゲルマニウムでドーブすることによって形成され、所望のリングプロファイル形状および相対屈折率 $\gamma_3\%$ を与えることが好ましい。本発明の好ましい実施例によると、リング部26は、モート部24の端から距離 X_0 でオフセットされることが好ましい。分散補償ファイバ20に対するオフセット寸法 X_0 は、 $X_0 = r_3 - r_2 - W_r / 2$ の関係によって定義される。モート部24の端部からリング部26のオフセット X_0 は、リング部26の内側ポイント29が、モート部24の外縁からオフセットされている量の寸法である。オフセット X_0 は、 $0.75\mu\text{m}$ より大きいことが好ましいが、 $0.9\mu\text{m}$ より大きいことがより好ましく、 $1.0\mu\text{m}$ から $2.0\mu\text{m}$ の間であることがさらにより好ましく、 $1.0\mu\text{m}$ から $1.7\mu\text{m}$ の間にあることが最も好ましい。オフセット X_0 のサイズは、ファイバの分散特性を最適化するように変えられる。幾つかの実施例において、リング部24は、ファイバ20の中心の方に内向きに位置付けられ、クラッド層30のレベルを少し上回ったデルタ%(通常は、0.04%から0.1%の間である)を有する上回り部分26aを含むことが好ましい。この上回り部分は、モート部24からリング部26を隔てて、粘度不一致を回避することとなり、その結果、予備成形物製造可能性を改善する。

20

【0030】

クラッド層30は、リング部26を取り囲み且つリング部と隣接しており、約0%の相対屈折率パーセント $\gamma_0\%$ および約 $62.5\mu\text{m}$ の外半径を有する。クラッド層30は、非ドーブの石英ガラスから作られることが好ましい。しかし、本明細書で説明された相対屈折率が実現されるならば、クラッド層30は、僅かにドーブ量を増減し得る、ということが理解されるべきである。

30

【0031】

分散補償ファイバ20の多様な実施例が、本発明に基づいて本明細書で説明されており、各々は、中央のコア半径 r_1 をモート部の外半径 r_2 で割った値として定義される、コア/モートの比を有しており、当該比は0.32より大きいことが好ましい。コア/モートの比は、0.34より大きいことが好ましいが、0.34から0.38の間であることが最も好ましい。さらに、モート部の外半径 r_2 をリングの中心半径 r_3 で割った値として定義される、ファイバ20のモート/リングの比は、約0.60から0.75の間であることが好ましいが、0.65から0.72の間であることがより好ましい。

【0032】

本発明の実施例による分散補償ファイバ20は、約 1550nm の波長で所望の光特性を示し、中程度の分散を有するNZDSFを使用するシステムにおいて使用されるときに、累積分散の分散補償を与える優れた実用性を有することとなる。本願に説明されている実施例による分散補償ファイバ20は、 1550nm で $-143\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ より大きく $-114\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 未満の全分散を有することが好ましいが、 1550nm で $-143\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ より大きく $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 未満の全分散を有することがより好ましく、 1550nm で $-138\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ より大きく $-120\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$ 未満の全分散を有することがさらにより好ましい。ファイバ20の 1550nm での全分散勾配は、 $-0.7\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ よりマイナスであることがより好ましいが、 $-1.5\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ より大きく $-0.7\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 未満の範囲にあ

40

50

ることが好ましい。1550 nmでの全分散を1550 nmでの全分散勾配で割った値として定義される、ファイバ20に対する好ましいカッパは、約150 nm未満であることが好ましいが、1550 nmで96 nmから150 nmの間にあることがより好ましく、1550 nmで107 nmから146 nmの間にあることがより好ましく、1550 nmで113 nmから127 nmの間にあることが最も好ましい。ファイバ20の実効面積は、1550 nmで約15.0 μm^2 以上であることが好ましく、1550 nmでのモードフィールド径は、4.4 μm 以上であることが好ましい。

【0033】

1550 nmでのファイバ20の、計算された水平荷重の曲げ損失 (lateral load bend loss) は、約2.0 dB/m以下であることが好ましいが、約1.5 dB/m以下であることがより好ましい。ファイバ20によって示される、ピンアレイの曲げ損失は、1550 nmで約20 dB未満であるように計算されるが、1550 nmで12 dB未満であることがより好ましく、幾つかの実施例においては、1550 nmで8 dB未満である。本発明の分散補償ファイバ20は、約1900 nm未満である、好ましい理論的な遮断波長をさらに示すが、これは1850 nm未満であることがより好ましい。

10

【0034】

以下の表1は、本発明の実施例による分散補償ファイバの幾つかの実施例A~Iに対する、設計された(計算された)光学的性質を示している。

【0035】

【表1】

20

表1-分散補償ファイバに対する光学的性質

例 #	A	B	C	D	E	F	G	H	I
図 #	図 4	図 5	図 6	図 7	図 8	図 9	図 10	図 11	図 12
全分散 (ps/nm/km) @ 1550 nm	-141	-132	-139	-118	-143	-127	-137	-144	-128
分散勾配 (ps/nm ² /km) @ 1550 nm	-1.46	-1.23	-1.28	-1.08	-1.18	-1.05	-0.95	-1.23	-1.00
κ (nm) @ 1550 nm	97	108	109	109	121	120	145	117	129
水平荷重試験 @ 1550 nm (dB/m)	1.29	0.88	1.31	1.24	1.30	1.22	0.92	1.30	1.28
ピンアレイ曲げ損失 @ 1550 nm (dB)	6.9	4.7	8.0	7.6	8.8	8.4	6.8	9.3	10.5
実効面積 @ 1550 nm (μm^2)	15.5	15.7	16.2	17.0	16.7	16.9	17.2	16.1	16.9
MFD @ 1550 nm (μm)	4.42	4.46	4.51	4.62	4.57	4.61	4.62	4.57	4.62
λ_{cth} (nm)	1867	1858	1815	1816	1770	1770	1729	1762	1711

30

【0036】

以下の表2は、本発明の実施例による分散補償ファイバの例A~Iを含み、所望の動作範囲内に光学的性質を与える、一群のファイバ20の相対屈折率プロファイルの物理的構造をさらに定義している。

【0037】

40

【表 2】

表 2- ファイバ例 A-I の物理的構造

例 #	A	B	C	D	E	F	G	H	I
図 #	図 4	図 5	図 6	図 7	図 8	図 9	図 10	図 11	図 12
Δ_1 (%)	1.90	1.87	1.86	1.59	1.85	1.64	1.86	1.86	1.64
r_1 (μm)	1.68	1.72	1.70	1.76	1.70	1.70	1.71	1.70	1.70
Δ_2 (%)	-0.53	-0.53	-0.51	-0.52	-0.50	-0.51	-0.49	-0.51	-0.51
r_2 (μm)	4.89	4.90	4.89	4.95	4.80	4.68	4.71	4.89	4.68
モート幅 (μm)	3.21	3.18	3.19	3.19	3.10	2.98	3.00	3.19	2.98
Δ_3 (%)	0.46	0.49	0.46	0.47	0.44	0.43	0.51	0.49	0.46
r_3 (μm)	7.17	6.93	7.04	7.04	6.85	7.12	6.59	7.01	6.91
r_i (μm)	6.35	6.12	6.23	6.34	6.23	6.01	5.87	6.28	6.15
r_o (μm)	8.00	7.77	7.85	7.68	7.85	7.68	7.31	7.73	7.66
Wr (μm)	1.65	1.65	1.63	1.34	1.63	1.67	1.44	1.45	1.51
Xo (μm)	1.46	1.21	1.34	1.42	1.24	1.61	1.16	1.39	1.47
アルファ	2.0	2.0	2.0	2.9	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0
コア-モートの比	0.344	0.351	0.348	0.355	0.354	0.363	0.362	0.314	0.335
モート/リングの比	0.68	0.71	0.70	0.70	0.70	0.66	0.72	0.70	0.68

10

20

30

【0038】

図 13 ~ 図 15 は、分散補償ファイバの例 A ~ I に対する、特定の光学パラメータのプロットを示している。特に、プロットは、分散補償ファイバ例 A ~ I に対して、それぞれ 1525 nm から 1625 nm までの C + L 波長帯域にわたった全分散 (図 13 を参照)、1525 nm から 1625 nm までの C + L 波長帯域にわたった全分散勾配 (図 14 を参照) および 1525 nm から 1625 nm までの C + L 波長帯域にわたったカップ (図 15 を参照) を含む。プロットの各々は、ファイバ例の番号に対応して A ~ I と適切にラベルされている。1525 nm から 1625 nm までの波長帯域は、概して C + L 帯域として言及され、本発明による分散補償ファイバを使用するシステムに対する 1 つの動作波長帯域である。しかし、本発明による分散補償ファイバ 20 の実施例の多くは、他の波長帯域内で使用されることができ、例えば C 帯域 (1525 nm ~ 1565 nm) のような他の帯域においても最適化され得る、ということは明らかである。特に、例 A, C, D, E, F および G は、C 帯域での動作に対して最適化され、例 B, H および I は、C + L 帯域での動作に対して最適化される、ということが明らかである。

40

【0039】

図 2 および図 3 は、本明細書に説明されている、本発明の実施例による分散補償ファイバ 20 を使用する光伝送システム 32, 32a を図示している。システム 32, 32a は、光信号送信器 40 および送信器 40 に光学的に結合し且つこの送信器 40 と光通信する、中程度の分散を有する NZDSF 36 を含む。中程度の分散を有する NZDSF 36 は、1550 nm で中程度の分散を有するシングルモードファイバであることが好ましい。

50

中程度の分散を有するNZDSF36は、例えば1550nmでプラスの全分散およびプラスの全分散勾配を有することが好ましい。特に、システム32, 32aにおいて使用される中程度の分散を有するNZDSF36は、概して1550nmで約5ps/nm/kmから14ps/nm/kmの間の全分散を有することが好ましく、システム32, 32aにおける伝送ファイバの全分散勾配は、1550nmで0.08ps/nm²/km未満であることが好ましい。分散勾配は、1550nmで約0.035ps/nm²/kmから0.07ps/nm/kmの間にあることがより好ましく、伝送ファイバのカッパは、1550nmで約90nmから160nmの間にあることが好ましい。中程度の分散を有するNZDSFは、コア、モートおよびリングの構造を有する屈折率プロファイルを有することが好ましく、当該構造において、コアは、プラスのデルタを有し且つモートは、プラスまたはゼロのデルタを有することが好ましいが、幾つかの実施例においてマイナスであり得る。リングは、プラスのデルタを有することが好ましい。ファイバ36は、約1350nmから1480nmの間にあるゼロ分散波長 λ_0 を示し、1550nmで約45 μm^2 より大きい実効面積を有することが好ましいが、この実効面積は、60 μm^2 より大きいことがより好ましく、約50 μm^2 から75 μm^2 の間であることが最も好ましい。コア、モートおよびリングの構造が、中程度の分散を有するNZDSF36に対して好ましいが、上述の λ_0 特性、送信分散および分散勾配が条件に合う場合には、例えばコア、モートの構造または1つのコアを有する設計のような他のプロファイル構造が同様に考えられる、といことが認識されるべきである。このタイプの伝送ファイバの例は、例えば米国特許第6,628,873号、米国特許第6,614,973号、米国特許第6,612,756号、米国特許第6,577,800号、米国特許第6,535,676号、米国特許第6,507,689号、米国特許第6,453,101号、米国特許第6,396,987号、米国特許第5,546,177号、米国特許第2003/81,921号、米国特許第2003/21,562号、米国特許第2002/197,036号、米国特許第2002/168,159号、米国特許第2002/97,971号および米国特許第2002/12,509号において教示されている。

【0040】

本発明のシステム実施例によると、分散補償ファイバ20は、伝送ファイバ36に光学的に結合し且つ好ましくは、1または2以上の増幅器（または増幅ステージ）42にも光学的に結合しており、分散補償ファイバ20は、その結果もたらされたマイナスの全分散が好ましくは実質的にスパンの累積分散を補償するのに十分な量であるように選択される。「実質的に補償する」ということは、分散補償ファイバ20によってスパンに与えられた分散補償が、スパンの終端（伝送ファイバ36の長さを含むスパンの終端）での分散が、図16におけるポイント46によって示されているように、1550nmでほぼゼロであるようになされるような大きさであることを意味している。「実質的に補償する」は、例えば動作波長域内の波長で、スパンの分散が意図的に僅かに（ほぼ5%）下回って（ポイント48を参照）または上回って（ポイント50を参照）補償される状況をも含む。図2は、送信器40と受信器44との間に接続され且つ光学的に結合されている、シングルファイバのスパン（伝送ファイバ36および分散補償ファイバ20を含む）を示している。システム32と対比すると、図3に示されているシステム32aは、中継器42への連結および伝送ファイバ36bのもう1つのファイバ長を含み、システムが伝送ファイバ36, 36bの複数のスパンを含むようになっている。ここで、各スパンは、その中で累積した分散を補償する分散補償ファイバ20の長さを含む。伝送システム32, 32aは、例えばコネクタおよびカプラ等の他の従来の光学部品をも含むことができ、幾つかの実施例においては、スパンの勾配調整を補助するための調整ファイバの短い長さを含み得る。

【0041】

本発明の他の実施例によると、分散補償ファイバ20は、分散補償ファイバ20をフランジ付きスプールまたはリール上に巻き付けることによっておよび/またはファイバを適当な任意のエンクロージャでパッケージすることによって、分散補償モジュール38中に含まれ得る。状況に応じて、分散補償ファイバ20は、伝送に連続的に連結してケーブル

10

20

30

40

50

配線されて縦方向に配置され（スプール上への巻き付けとは対照的である）、その結果、全体的なスパン長に寄与し得る。図2および図3に示されるように、Xは、それぞれのシステム構成要素を光学的に結合する接合部またはコネクタを暗示するものである。本願で説明されているシステムは、一方向性であるが、本願で説明されている分散補償ファイバ20は、多方向性である光システムにおいて同様に使用され得る、ということが認識されるべきである。

【0042】

一例として（但し、限定されるべきものではない）、本発明による分散補償ファイバ20の約2.5~7.0kmのファイバ長は、実質的に100kmである上述の中程度の分散を有するNZDS伝送ファイバ36の蓄積分散を補償し得る。さらに、第1の動作波長帯域（1525nmから1565nm）にわたった、かかるシステム32, 32aに対する残留分散の大きさは、伝送ファイバ36の100kmにつき+/-10ps/nm未満であることが好ましく、幾つかの実施例においては、伝送ファイバ36の100kmにつき+/-7ps/nm未満である。第2の動作波長帯域（1525nmから1625nm）にわたった、システム32, 32aの残留分散の大きさは、伝送ファイバ36の100kmにつき+/-20ps/nm未満であることが好ましく、幾つかの実施例においては、伝送ファイバ36の100kmにつき+/-15ps/nm未満である。以下の表3は、各システム例1~10に関して、それぞれの波長帯域にわたったシステムの残留分散の大きさを示したものである。明らかであるように、本発明による分散補償ファイバ20は、中程度の分散を有するNZDSF36を含むシステムにおいて、動作波長帯域（少なくとも1525nm~1565nmおよび幾つかの場合においては、1525nm~1625nm）にわたって、システムの残留分散を最小にするための優れたユーティリティを有する。

【0043】

【表3】

表3-さまざまなファイバの組み合わせに対する残留分散

システム例	ファイバ例	L伝送ファイバ		L分散補償ファイバ		+/- 残留分散 (1525-1565NM) (100kmについてのps/nm)
		(km)	伝送ファイバ	(km)	光帯域	
1	A	100	D1	3.06	C	+/-6
2	B	100	D1	3.23	C+L	+/-10
3	C	100	D2	4.90	C	+/-7
4	D	100	D2	5.78	C	+/-7
5	E	100	D4	5.41	C	+/-7
6	F	100	D4	6.09	C	+/-7
7	G	100	D5	5.89	C	+/-4
8	H	100	D2	4.67	C+L	+/-14
9	I	100	D4	5.99	C+L	+/-13
10	H	100	D3	6.08	C+L	+/-17

【0044】

図18および図19は、100km長のさまざまな中程度の分散を有するNZDSF36についてのさまざまな組み合わせに対する、計算された残留分散（ps/nm）対波長のプロットを示している。特に、さまざまなNZDSF36は、図17に示されるように且つ以下の表4で概説されるように、1550nmで分散を有している。さまざまなNZDSF36は、スパン中に含まれ、分散補償ファイバ20のさまざまな例（A~I）に光

学的に結合されている。上記の表3は、識別例の番号1～10でラベルされた、それぞれのプロットでシミュレートされたさまざまな組み合わせを示している。以下の表4は、さまざまなシステムにおいて使用される、さまざまな中程度の分散を有するNZDSF36の特性を示している。

【0045】

【表4】

表4-伝送ファイバの特性

伝送 ファイバ 例	分散 @ 1550 NM (ps/nm/km)	分散勾配 @ 1550 NM (ps/nm ² /km)	カップ @ 1550 NM (nm)
D1	5.24	0.051	102
D2	6.85	0.060	114
D3	7.77	0.062	124
D4	8.12	0.054	151
D5	8.90	0.078	114
D6	10.14	0.067	151

10

20

【0046】

本発明の実施例による試験的なプロトタイプファイバ20が製造され、その相対屈折率の見積もりが、図19に示されている。図19に示されている相対屈折率は、ファイバの予備成形物（これからファイバが引かれる）について実際に測定された光パラメータに基づく、ファイバプロファイルの見積もりである。ファイバ20は、今まで説明されたように中央コア部22，モート部24，リング部26およびクラッド層を含む。ファイバの特性も測定された。従って、実際のファイバ20において、測定された減衰は1550nmで0.64dB/km，測定されたモードフィールド径は1550nmで4.69μm，測定された2mファイバの遮断波長は1649nm，測定されたケーブル化状態での遮断波長は1451nmおよび測定されたピンアレイは1550nmで6.1dB/kmであった。ファイバ20は、直径125μmであり、約9m/sの速さおよび約150gの張力で引かれている。測定されたデータのプロットは、図20に示されている。図20は、約1525nmから1620nmまでの波長帯域にわたった分散55およびカップ57を示している。図20の実例としてのファイバ20において、全分散は1550nmで-133ps/nm/km，全分散勾配は1550nmで-1.02ps/nm²/kmおよびカップは1550nmで130.2nmである。

30

【0047】

製作方法に関しては、分散補償ファイバ20は、VAD法(vapor axial deposition)，内付けCVD法(MCVD, modified chemical vapor deposition)，プラズマ化学蒸着(PCVD)および外付け溶着(OVD, outside vapor deposition)を含む多様な方法(但し、これらに限定されるものではない)によって作成され得る。さまざまな変更および変形が、本発明の範囲から逸脱することなく本発明になされることができるということが、当業者に明らかであろう。従って、本発明の変更および変形が、添付の特許請求の範囲内およびそれらの均等物の範囲内にあるならば、本発明は、その変更および変形を包含するものである、ということが意図されている。

40

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】本発明の実施例による分散補償ファイバの断面等角図である。

【図2】本発明の実施例による分散補償ファイバを使用する光伝送システムの概略図である。

50

【図 3】本発明の実施例による分散補償ファイバを使用する光伝送システムの概略図である。

【図 4】本発明による分散補償ファイバの第 1 実施例（例 a）の相対屈折率プロファイル（デルタ%対半径（ μm ））のプロットである。

【図 5】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

【図 6】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

【図 7】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

10

【図 8】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

【図 9】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

【図 10】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

【図 11】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

【図 12】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例 b ~ i）に対する、別の相対屈折率プロファイルのプロットである。

20

【図 13】本発明の実施例による分散補償ファイバの例 A ~ I に対する、全分散（ $p_s / nm / km$ ）対波長（ nm ）のグラフである。

【図 14】本発明の実施例による分散補償ファイバの例 A ~ I に対する、全分散勾配 $p_s / nm^2 / km$ 対波長（ nm ）のグラフである。

【図 15】本発明の実施例による分散補償ファイバの例 A ~ I に対する、カッパ（ nm ）対波長（ nm ）のグラフである。

【図 16】本発明のさらなる実施例によるシステム例に対する、累積分散（ p_s / nm ）対スパン長（ km ）のグラフである。

【図 17】本発明のさらなる実施例によるシステムにおいて使用され得る、さまざまな程度の分散を有する伝送ファイバに対する分散（ $p_s / nm / km$ ）対波長（ nm ）のグラフである。

30

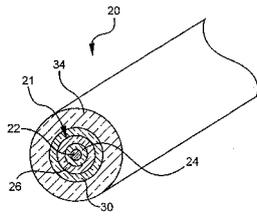
【図 18】本発明の実施例によるファイバ例 A ~ I を含む、さまざまなシステムに対する残留分散（ p_s / nm ）対波長（ nm ）のグラフである。

【図 19】本発明の実施例によるファイバ例 A ~ I を含む、さまざまなシステムに対する、残留分散（ p_s / nm ）対波長（ nm ）のグラフである。

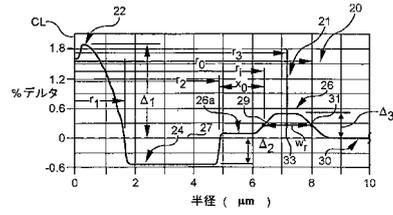
【図 20】本発明による分散補償ファイバの実際の試験的な実施例についての相対屈折率プロファイルのプロットである。

【図 21】本発明による、図 20 の分散補償ファイバに対する、分散およびカッパ対波長（ nm ）のグラフである。

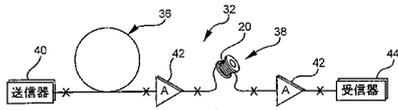
【図1】



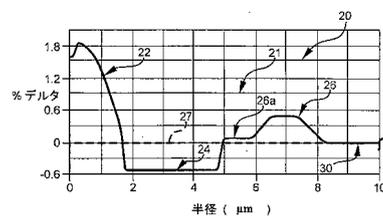
【図4】



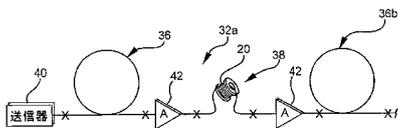
【図2】



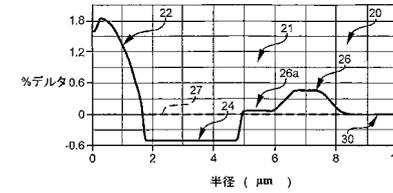
【図5】



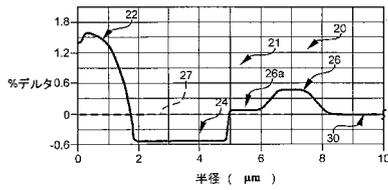
【図3】



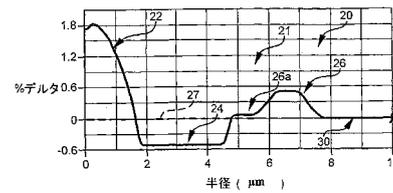
【図6】



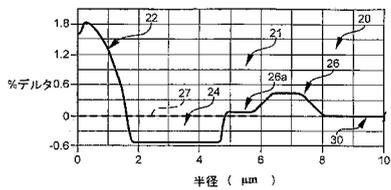
【図7】



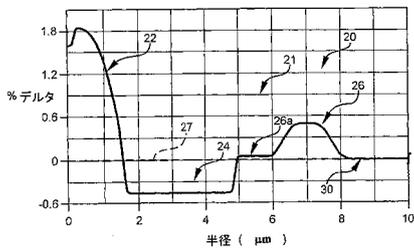
【図10】



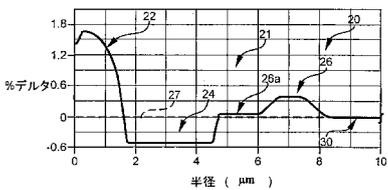
【図8】



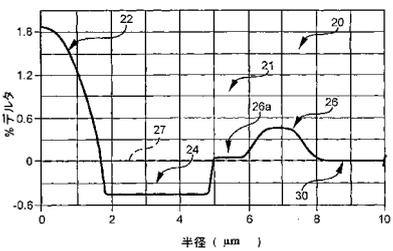
【図11】



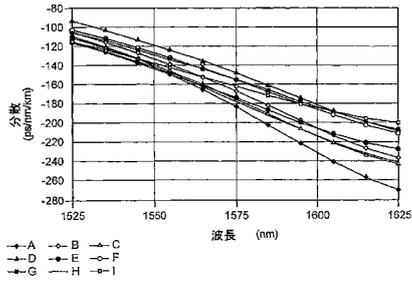
【図9】



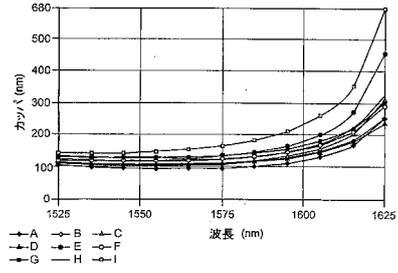
【図12】



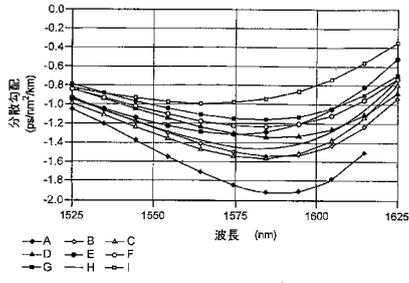
【図13】



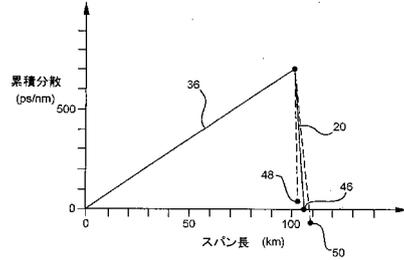
【図15】



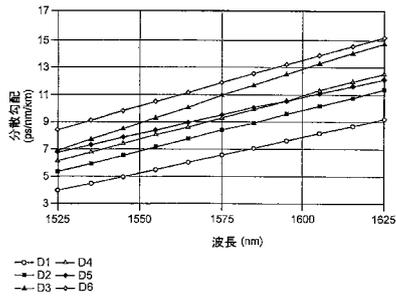
【図14】



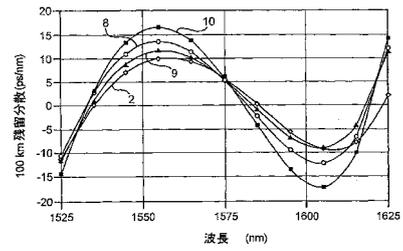
【図16】



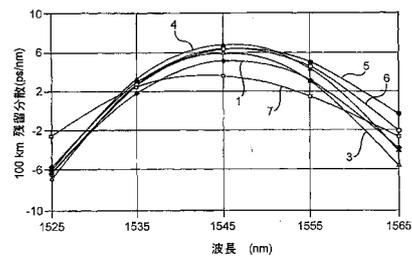
【図17】



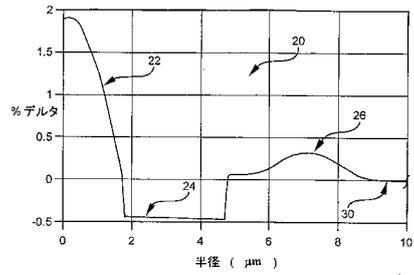
【図19】



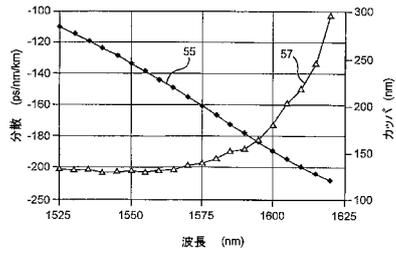
【図18】



【図20】



【図 21】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2002-341157(JP,A)
特表2003-528344(JP,A)
国際公開第03/040776(WO,A1)
国際公開第03/007035(WO,A1)
国際公開第03/079078(WO,A1)
国際公開第03/054601(WO,A1)
国際公開第03/027737(WO,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/02-6/036
H04B 10/00-10/28
H04J 14/00-14/08