

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4861181号  
(P4861181)

(45) 発行日 平成24年1月25日(2012.1.25)

(24) 登録日 平成23年11月11日(2011.11.11)

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

請求項の数 7 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2006-528066 (P2006-528066)	(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
(86) (22) 出願日	平成16年9月17日 (2004. 9. 17)	(74) 代理人	100079119 弁理士 藤村 元彦
(65) 公表番号	特表2007-521513 (P2007-521513A)	(72) 発明者	ヘブゲン ピーター ジー アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2 8411 ウィルミントン ブリタニーレ イクスドライブ 7106
(43) 公表日	平成19年8月2日 (2007. 8. 2)	(72) 発明者	ミシュラ スニグダラジャ ケー アメリカ合衆国 ノースカロライナ州 2 8409 ウィルミントン セントフラン シスドライブ 3509
(86) 国際出願番号	PCT/US2004/030407		
(87) 国際公開番号	W02005/031414		
(87) 国際公開日	平成17年4月7日 (2005. 4. 7)		
審査請求日	平成19年6月21日 (2007. 6. 21)		
(31) 優先権主張番号	10/670, 017		
(32) 優先日	平成15年9月24日 (2003. 9. 24)		
(33) 優先権主張国	米国 (US)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 標準的なシングルモードファイバに対する、高性能指数の分散補償ファイバおよび当該分散補償ファイバ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、  
 $1.72\%$  から  $1.92\%$  の相対屈折率 ( $n_1$ ) および  $1.62\ \mu\text{m}$  から  $1.72\ \mu\text{m}$  のコア外半径 ( $r_1$ ) を有する中央コア部と、  
 $-0.35\%$  から  $-0.46\%$  の相対屈折率 ( $n_2$ ) および  $4.32\ \mu\text{m}$  から  $4.84\ \mu\text{m}$  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、  
 $0.27\%$  から  $0.49\%$  の相対屈折率 ( $n_3$ ) を有し、前記モート部を取り囲むリング部と、を有し、  
 前記リング部の中央までのリング半径 ( $r_3$ ) は、 $6.18\ \mu\text{m}$  から  $7.00\ \mu\text{m}$  であり、リング幅 ( $W_r$ ) は、前記リング部の相対屈折率 ( $n_3$ ) の高さの2分の1で測定され、前記リング幅 ( $W_r$ ) は、 $0.92\ \mu\text{m}$  以上で  $2.04\ \mu\text{m}$  以下であり、前記リング部は、 $0.75\ \mu\text{m}$  より大きいリングオフセット ( $X_o$ ) で、前記モート外半径 ( $r_2$ ) からオフセットされており、  
 前記光ファイバは、前記リング部を取り囲むクラッド層をさらに有し、前記相対屈折率は前記クラッド層の屈折率に対する相対屈折率であり、  
 $X_o = r_3 - r_2 - W_r / 2$  であり、  
 前記屈折率プロファイルは、 $1550\ \text{nm}$  で  $-0.51\ \text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  以上で  $-0.4\ \text{ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  以下の全分散勾配と、 $1550\ \text{nm}$  で  $-1.41\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$  以上で  $-1.21\ \text{ps} / \text{nm} / \text{km}$  以下の全分散と、当該  $1550\ \text{nm}$  における全分散

10

20

を当該 1550 nm における分散勾配で割ったものとして定義され、250 nm から 318 nm のカップと、をもたらし、

前記光ファイバは、1550 nm での全分散の絶対値を 1550 nm での減衰で割った値として定義され、 $267 \text{ ps} / \text{nm} / \text{dB}$  以上で  $309 \text{ ps} / \text{nm} / \text{dB}$  以下の絶対値を有する性能指数 (FOM) をさらに含むことを特徴とする分散補償光ファイバ。

【請求項 2】

当該 1550 nm での全分散勾配は、 $-0.47 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  より大きく  $-0.41 \text{ ps} / \text{nm}^2 / \text{km}$  未満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 3】

当該 1550 nm での全分散は、 $-132 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  より大きく  $-121 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  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。

10

【請求項 4】

全分散が  $-123.3 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  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】

請求項 1 に記載の分散補償光ファイバを含む分散補償モジュール。

【請求項 6】

光ファイバ伝送システムであって、

1550 nm で  $14 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  から  $21 \text{ ps} / \text{nm} / \text{km}$  の間の全分散を有する、標準的なシングルモード伝送ファイバと、

20

前記標準的な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、1525 nm から 1570 nm の間の伝送波長域内の全波長に対して、前記伝送システムは、前記標準的なシングルモード伝送ファイバの 100 km につき  $\pm 15 \text{ ps} / \text{nm}$  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。

【請求項 7】

前記残留分散は、前記標準的なシングルモード伝送ファイバの 100 km につき  $\pm 10 \text{ ps} / \text{nm}$  未満であることを特徴とする請求項 6 に記載の光ファイバ伝送システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【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使用するシステムに関する。

【技術背景】

【0002】

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、対象の全波長域にわたった、かかる高ビットレート光伝送システムにおいて分散を正確に制御することは最重要性を有している。さらに、分散制御は、転送速度が増大するにつれて益々重要になってくる。分散を正確に制御するための必要性に加えて、伝送速度が  $40 \text{ Gbit} / \text{秒}$  に近づくにつれて、伝送ファイバの分散勾配を補償することも望ましい。

40

【0003】

標準的なシングルモード光ファイバを補償するために必要とされる分散および分散勾配値を得るために、さまざまな解決策が提案されている。1つの好ましい方法は、分散補償モジュールにおいて分散補償ファイバを内蔵することを含み、伝送ファイバの累積分散は、ファイバ端がアクセス可能である、ファイバスパンの端で補償される。かかるモジュ

50

ルは、スプールまたはリール上に巻き付けられた分散補償ファイバのの長さを含む。

【 0 0 0 4 】

コーニング社 (Corning Incorporated of Corning, New York) によって製造販売されている、例えば S M F - 2 8 (登録商標) のような標準的なシングルモードファイバを補償するために使用される分散補償ファイバの一例は、米国特許出願第 2 0 0 3 / 0 0 5 3 7 8 0 号に説明されている。1 5 5 0 n m で約 1 0 0 k m 長の標準的なシングルモード伝送ファイバを補償するために、この分散補償ファイバの比較的短い長さだけが必要とされる

、  
分散補償モジュールにおける 2 つの重要なパラメータは、性能指数 ( F O M ) および挿入損失 ( I L ) である。伝送ファイバの分散を補償するために必要とされる分散補償ファイバの長さが長くなるにつれて、その結果導入される減衰が増し、挿入損失が大きくなる。概して、I L に対する主成分は、分散補償ファイバ自体の減衰である。F O M は、1 5 5 0 n m での分散の絶対値を 1 5 5 0 n m でのファイバ減衰で割った比である。F O M 値は、標準的なシングルモードファイバを含むスパンの累積システム分散を補償するために分散補償ファイバを付加することによって、どの程度の損失が生じたかについての基準であるので、大きい F O M 値が望ましい。

10

【 0 0 0 5 】

従って、ファイバが、システムにおける累積分散を補償しながらより小さい損失をもたらすように、さらに大きい F O M とより小さい I L を有し、標準的なシングルモードファイバのスパンにおいて分散を補償するための分散補償ファイバに対する必要性がある。

20

【 発明の開示 】

【 0 0 0 6 】

< 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 7 】

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 (  $\mu$  m ) との関係である。(光ファイバの半径は、光ファイバの中心線から測定される。)

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もつものであり、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、それぞれの屈折率プロファイルを有し、その中に最小および最大の屈折率を有する。

30

【 0 0 0 8 】

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 9 】

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

【 0 0 1 0 】

式 [ 1 ] において、積分範囲はゼロから  $r_c$  であり、E は、1 5 5 0 n m で測定されるような伝搬光に関連した電界である。

40

【 0 0 1 1 】

相対屈折率パーセント  $\Delta\%$  -  $\Delta\%$  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 2 】

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

【 0 0 1 3 】

式 [ 2 ] において、 $n_c$  はクラッド層の屈折率に対して測定される、屈折率プロファイル部

50

分の最大の（モート部の場合には最小）屈折率である。

【0014】

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】

【0015】

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

【0016】

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 $b_1$ から $b_1$ 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、 $b_1$ 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。

10

【0017】

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)である。ピンアレイは、1列に配置された10個の円柱状のピン一式であり、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。

20

【0018】

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、光ファイバの所定の長さが、2つの平板間に配される。ワイヤメッシュNo.70は、平板の1つに取り付けられる。既知の長さの光ファイバが平板の間に挟まれ、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。

30

【0019】

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、を有する屈折率プロファイルを含んで与えられ、前記リング部は、正の相対屈折率( $n_3$ )、前記リング部の中心に対するリング中心半径( $r_3$ )および前記モート部の相対屈折率( $n_3$ )の高さの2分の1で測定されるリング幅( $W_r$ )と、を有し、0.4μmより大きいリングオフセット( $X_o$ )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。本発明による分散補償光ファイバの屈折率プロファイルは、1550nmで-0.56ps/nm<sup>2</sup>/kmより大きく-0.36ps/nm<sup>2</sup>/km未満の全分散勾配と、1550nmで-145ps/nm/kmより大きく-120ps/nm/km未満の全分散と、をもたらしことを特徴とする。

40

【0020】

本発明のさらなる実施例によると、分散補償ファイバは、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るカップを含むことが好ましく、当該カップは、約240nmから335nmの間であるが、250nmから320nmの間であることがより好ましく、約275nmから300nmの間であることがさらに好ましい。本発明の実施例による分散補償光ファイバは、1550nmでの全分散の絶対値を1550nmでの減衰で割った値として定義される性能指数(FOM)も含み、この

50

性能指数は、 $240 \text{ ps/nm/dB}$ より大きいことが好ましいが、 $260 \text{ ps/nm/dB}$ より大きいことがより好ましく、 $275 \text{ ps/nm/dB}$ より大きいことがさらにより好ましく、幾つかの実施例においては、 $300 \text{ ps/nm/dB}$ より大きい。

#### 【0021】

本発明の実施例によると、本明細書に説明される分散補償光ファイバは、光伝送システムに含まれることが好ましく且つ $1550 \text{ nm}$ で約 $14 \text{ ps/nm/km}$ から $21 \text{ ps/nm/km}$ の間の分散補償を有する、標準的なシングルモード伝送ファイバに光学的に接続されており、 $1525 \text{ nm}$ から $1570 \text{ nm}$ の間の伝送波長域内の全波長に対して、光伝送システムは、前記標準的なシングルモード伝送ファイバの $100 \text{ km}$ につき $\pm 15 \text{ ps/nm}$ 未満の残留分散を示すが、標準的なシングルモード伝送ファイバの $100 \text{ km}$ につき $\pm 10 \text{ ps/nm}$ 未満であることがより好ましく、幾つかの実施例に対しては、標準的なシングルモード伝送ファイバの $100 \text{ km}$ につき $\pm 6 \text{ ps/nm}$ 未満である。本発明による分散補償ファイバは、分散補償モジュールに含まれることが好ましい。

10

#### 【0022】

本発明のさらなる実施例によると、分散補償光ファイバは、 $1.5\%$ から $2.1\%$ の間の相対屈折率( $n_1$ )および $1.40 \mu\text{m}$ から $1.9 \mu\text{m}$ の間の外半径( $r_1$ )を有する中央コア部と、 $-0.3\%$ から $-0.5\%$ の間の相対屈折率( $n_2$ )および $3.9 \mu\text{m}$ から $5.3 \mu\text{m}$ の間のモートの外半径( $r_2$ )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、を有する屈折率プロファイルを含み、前記リング部は、 $0.24\%$ から $0.54\%$ の間の相対屈折率( $n_3$ )、 $5.5 \mu\text{m}$ から $7.7 \mu\text{m}$ の間である、前記リング部の中心に対するリング中心半径( $r_3$ )および前記中央コア部の相対屈折率( $n_3$ )の2分の1で測定されるリング幅( $W_r$ )と、を有し、 $0.40 \mu\text{m}$ より大きいリングオフセット( $X_o$ )で、前記モートの外半径( $r_2$ )からオフセットされており、 $X_o = r_3 - r_2 - W_r / 2$ であり、前記屈折率プロファイルは、 $1550 \text{ nm}$ の波長で $-145 \text{ ps/nm/km}$ より大きく $-120 \text{ ps/nm/km}$ 未満の全分散と、 $1550 \text{ nm}$ の波長で $-0.55 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ より大きく $-0.40 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 未満の全分散勾配と、当該 $1550 \text{ nm}$ での全分散を当該 $1550 \text{ nm}$ での全分散勾配で割った値として定義され、 $250 \text{ nm}$ から $320 \text{ nm}$ の間であるカップと、をもたらし

20

30

#### 【0023】

本発明のさらなる機能および利点は、以下の詳細な説明に説明され、部分的に、詳細な説明から当業者に容易に明らかでありまたは添付の図面と同様に、以下の詳細な説明および特許請求の範囲を含み、本明細書に説明されているように本発明を実行することによって認識されるであろう。

#### 【0024】

前述の概要および以下の詳細な説明の両方は、ともに本発明の実施例を示し、特許請求の範囲にあるような本発明の性質および特徴を理解するための概要または枠組み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含まれ、本明細書に取り入れられ且つ本明細書の一部を構成して

40

#### 【好ましい実施例の詳細な説明】

#### 【0025】

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、同一の参照番号が、同一部または類似部を示すために図面を通して使用されるであろう。

#### 【0026】

本発明による一群の分散補償光導波路ファイバは、図1、図4～図8および図13～図14を参照して示され且つ説明されており、概して参照番号20で示されている。本明細

50

書で説明され且つ開示されている分散補償ファイバ20は、概して分割したコア構造を有する。分割した部分の各々（例えば中央コア，モートおよびリング）が説明され、屈折率プロファイル，相対屈折率パーセント（ $n_1, n_2, n_3$ ），代表半径（ $r_1, r_2, r_3$ ），リング幅 $W_r$ およびリング $X_o$ で定義されている。さまざまな部分に対する半径は、光ファイバの縦軸中心線CLから測定される。

【0027】

図1および図4～図8を参照すると、本発明による分散補償ファイバ20は、物理コア21および当該コアを取り囲むクラッド層30を含み、クラッド層30はコアを取り囲み、屈折率 $n_c$ を有する。本発明によると、本明細書における一群の分散補償ファイバ20の分割したコア21は、中央コア部22，モート部（moat segment）24および環状リング部26をさらに含む。中央コア部22は、ファイバの中心線に最も近く、外半径 $r_1$ およびアルファプロファイルを有している。モート部24は中央コア部22に接触して取り囲み且つ外半径 $r_2$ を有している。環状リング部26は、モート部24に接触して取り囲み且つ中心半径 $r_3$ ，半値幅（half height width） $W_r$ およびオフセット寸法 $X_o$ を有している。環状クラッド層30（シリカ添加されていないことが好ましい）は、リング部26を取り囲み且つ当該リング部と接触している。クラッド層30は、約 $62.5 \mu\text{m}$ の外半径を有することが好ましい。（しかし、多様な屈折率プロットが、明確にするために約 $10 \mu\text{m}$ で切り捨てられて示されている。）ファイバ20の最も外側のガラス部分は、保護用UV硬化性ポリマーコーティング34で被覆されて約 $250 \mu\text{m}$ の外径にすることが好ましい。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。

【0028】

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（ $\mu\text{m}$ ）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 $n_1, n_2, n_3$ ，代表半径 $r_1, r_2, r_3, r_o, r_i$ ，リング幅 $W_r$ およびオフセット $X_o$ 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8に示される例b～e，図15～図19に示される例f～jおよび図13～図14に示される例1～2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。

【0029】

一群の分散補償ファイバ20の中央コア部22は、相対屈折率パーセント $n_1\%$ を有し、この $n_1\%$ は、 $1.0\%$ より大きく $3.0\%$ 未満であることが好ましいが、 $1.5\%$ より大きく $2.1\%$ 未満であることがより好ましく、 $1.7\%$ より大きく $2.0\%$ 未満であることがさらにより好ましく、約 $1.7\%$ から $1.9\%$ の範囲内にあることが最も好ましい。さらに、中央コアは、 $5.0$ 未満のアルファでアルファプロファイルを有するが、 $n_1$ は $3.0$ 未満であることが好ましく、約 $2.0$ であることが最も好ましい。さらに、中央コア部22は、外半径 $r_1$ を有し、 $r_1$ は $1.4 \mu\text{m}$ と $1.9 \mu\text{m}$ の間にあることが好ましく、約 $1.50$ から $1.8 \mu\text{m}$ の範囲内にあることがより好ましく、 $1.61 \mu\text{m}$ と $1.71 \mu\text{m}$ の間の範囲にあることが最も好ましい。中央コア部22の外半径 $r_1$ は、中央コア部22の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の屈折率に対応しており且つ当該屈折率から伸長したものである。クラッド層30は、純粋石英から作られていることが好ましい。中央コア部22の屈折率プロファイルは、その屈折率を上げるように純粋石英を十分な量のゲルマニウムとともに添加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 $n_1\%$ および $n_2$ を与えるようになることが好ましい。

【0030】

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

10

20

30

40

50

部 2 2 と接触しており、負の最小相対屈折率パーセント  $n_2\%$  を有する。 $n_2\%$  は、 $-0.3\%$  よりもさらに負であることが好ましく、約  $-0.3\%$  から  $-0.5\%$  の範囲内にあることがより好ましい。さらに、モート部 2 4 は、約  $2.4$  から約  $3.5$  の間である、 $r_2 - r_1$  で定義される幅を有する。モート部 2 4 の外半径  $r_2$  は、モート部 2 4 とリング部 2 6 との交点で測定される。特に、外半径  $r_2$  は、モート部 2 4 のプロファイルの上向き線と横軸 2 7 との交点で測定され且つ当該交点で定義される。横軸 2 7 は、クラッド層 3 0 (純粋石英であることが好ましい) の屈折率に対応している。モート部の外半径  $r_2$  は、約  $3.9 \mu\text{m}$  から  $5.3 \mu\text{m}$  の間に定められることが好ましいが、ファイバの中心線から  $4.4 \mu\text{m}$  から  $4.9 \mu\text{m}$  の間であることがより好ましい。モート部 2 4 は、クラッド層 3 0 に対してその屈折率を減じるのに十分な量で、シリカをフッ素とともに添加することによって形成され、モート部の所望の屈折率  $n_2\%$  を得ることが好ましい。従って、屈折率を下げる、他の適当なガラス改質材 (glass modifier) も使用され得る。

10

## 【0031】

モート部 2 4 を取り囲んでいるのは、分散補償ファイバ 2 0 の環状リング部 2 6 である。高屈折率のリング部 2 6 は、約  $0.20\%$  から  $0.60\%$  の間にある相対屈折率  $n_3\%$  を有しているが、 $n_3\%$  は、約  $0.24\%$  から  $0.54\%$  の間の範囲内にあることがより好ましい。リング部 2 6 は、半値幅  $W_r$  を有し、 $W_r$  はサイドポイントからサイドポイントまで測定され、約  $0.8 \mu\text{m}$  から約  $2.2 \mu\text{m}$  までの範囲内にあることがより好ましい。半値幅  $W_r$  は、ファイバの中心線から幅  $W_r$  の二分点 2 8 c までで測定される中心点半径  $r_3$  を有している。 $r_3$  は、約  $5.5 \mu\text{m}$  から約  $7.7 \mu\text{m}$  の間にあることが好ましいが、 $6.1 \mu\text{m}$  から  $7.0 \mu\text{m}$  の間にあることがより好ましい。リング幅  $W_r$  は、 $r_0 - r_1$  に等しく、 $r_0$  は中心線 CL から半分の高さの点 2 8 b までの寸法であり、同様に、 $r_1$  は、ファイバ中心線 CL から半分の高さの点 2 8 a までの寸法である。半分の高さの点 2 8 a, 2 8 b は、リング部 2 6 の上向き線および下向き線上の、値が  $n_3\%$  の  $1/2$  に等しい点で測定され且つ当該点として定義される。リング部 2 6 は、クラッド層 3 0 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を添加することによって形成され、所望のリングプロファイルおよび相対屈折率  $n_3\%$  を与えることが好ましい。本発明によると、リング部 2 6 ( $W_r$  の位置で定義される) は、モート部 2 4 の端から距離  $X_0$  でオフセットされる。分散補償ファイバ 2 0 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 2 4 の端からのリング部のオフセット  $X_0$  は、 $0.4 \mu\text{m}$  より大きいことが好ましいが、 $0.75 \mu\text{m}$  より大きいことがより好ましく、 $0.9 \mu\text{m}$  より大きいことがさらにより好ましく、 $0.75 \mu\text{m}$  から  $2.0 \mu\text{m}$  の間であることが最も好ましい。幾つかの実施例において、ファイバの中心の方に向かって、リング部 2 4 はクラッド層 3 0 のレベルを少し上回ったデルタ% (通常は大体  $0.05\%$  から  $0.2\%$  の間である。) を有する部分 2 6 a を含む。図 5 に示されるように、状況に応じて部分 2 6 a は、クラッド層 3 0 とほぼ同じ屈折率であり得る。

20

30

## 【0032】

クラッド層 3 0 は、リング部 2 6 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  $n_0\%$  および約  $62.5 \mu\text{m}$  の外半径を有する。クラッド層 3 0 は、純粋で非ドープ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 3 0 は、僅かにドープ量を上下し得る、ということが理解されるべきである。

40

## 【0033】

分散補償ファイバ 2 0 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  $0.4$  未満である。コア/モートの比は、 $0.39$  未満であることがより好ましく、約  $0.33$  から  $0.39$  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、モート/リングの比は、約  $0.66$  から  $0.72$  の間であることが好ましい。

## 【0034】

50

さらに、本明細書に説明される、本発明の実施例による分散補償ファイバ20は、標準的なシングルモード光ファイバを含むシステムにおいて使用されるときに、累積分散の優れた分散補償を許容するようになされた約1550nmの波長で所望の光学的性質を示す。本明細書に説明される実施例による分散補償ファイバ20は、 $-145 \text{ ps/nm/km}$ より大きく $-120 \text{ ps/nm/km}$ 未満の全分散を有することが好ましいが、1550nmで $-132 \text{ ps/nm/km}$ より大きく $-120 \text{ ps/nm/km}$ 未満であることがより好ましい。1550nmでの全分散勾配は、 $-0.36 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 未満であることが好ましい。幾つかの実施例においては、 $-0.40 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 未満であるが、 $-0.56 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ より大きく $-0.36 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 未満の範囲にあることがより好ましく、 $-0.55 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ より大きく $-0.40 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 未満の範囲にあることがさらにより好ましく、 $-0.47 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ より大きく $-0.41 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 未満の範囲にあることが最も好ましい。

10

## 【0035】

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る、ファイバ20に対する好ましいカッパは、約200nmより大きいことが好ましいが、240nmより大きいことがより好ましく、1550nmで約240nmから335nmの間であることがさらにより好ましい。より好ましい範囲は、1550nmで250nmから320nmの間であり、1550nmで約275nmから300nmの間であることが最も好ましい。ファイバ20の実効面積は、1550nmで約 $19.0 \mu\text{m}^2$ 以上であることが好ましいが、1550nmで約 $20.0 \mu\text{m}^2$ 以上であることがより好ましく、1550nmでのモードフィールド径は、 $4.8 \mu\text{m}$ より大きいことが好ましい。

20

## 【0036】

1550nm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 $5.0 \text{ dB/m}$ 以下であることが好ましいが、約 $3.0 \text{ dB/m}$ 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、ピンアレイの計算された曲げ損失は、1550nmで約 $40 \text{ dB}$ 未満であり、幾つかの実施例においては、1550nmで $30 \text{ dB}$ 未満である。本発明の分散補償ファイバ20は、約 $1700 \text{ nm}$ 未満である $\text{LP}_{02}$ モードおよび約 $1750 \text{ nm}$ 未満である $\text{LP}_{11}$ モードの好ましい理論的な遮断波長を、さらに示す。

## 【0037】

30

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。

## 【0038】

【表 1】

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
全分散 (ps/nm/km) @ 1550 nm	-124	-141	-140	-125	-138
分散勾配 (ps/nm <sup>2</sup> /km) @ 1550 nm	-0.46	-0.51	-0.50	-0.42	-0.47
K (nm) @ 1550 nm	268	279	280	296	294
水平荷重損失 @ 1550 nm (dB/m)	1.72	1.61	2.41	1.71	2.49
ピンアレイ曲げ損失 @ 1550 nm (dB)	30.3	22.0	27.3	23.9	17.3
実効面積 @ 1550 nm ( $\mu\text{m}^2$ )	21.2	21.0	22.0	21.6	22.7
MFD @ 1550 nm ( $\mu\text{m}$ )	5.11	5.02	5.15	5.15	5.21
$\lambda_{\text{cth}} \text{LP}_{02}$ (nm)	1581	1589	1610	1598	1643
$\lambda_{\text{cth}} \text{LP}_{11}$ (nm)	1419	1487	1556	1491	1706
減衰 @ 1550 nm (dB/km)	0.451	0.456	0.453	0.451	0.452
FOM @ 1550 nm (ps/nm/dB)	275	309	309	277	305

10

20

30

【 0 0 3 9 】

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 ~ e を含み、所望の動作範囲内に光学的性質を与える、一群の屈折率プロファイルの物理的構造をさらに定義する。

【 0 0 4 0 】

【表 2】

表 2 - ファイバ例 a~e に対する物理的構造

例 #	a	b	c	d	e
$\Delta_1$ (%)	1.83	1.83	1.83	1.83	1.78
$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	1.65	1.67	1.64	1.64	1.70
$\Delta_2$ (%)	-0.37	-0.46	-0.40	-0.35	-0.36
$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	4.63	4.32	4.84	4.66	4.62
モート幅 ( $\mu\text{m}$ )	2.98	2.65	3.20	3.02	2.92
$\Delta_3$ (%)	0.44	0.36	0.27	0.40	0.49
$r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	6.66	6.18	6.80	6.79	6.92
$r_i$ ( $\mu\text{m}$ )	6.25	5.36	5.78	6.24	6.38
$r_o$ ( $\mu\text{m}$ )	7.16	7.00	7.82	7.33	7.46
$W_r$ ( $\mu\text{m}$ )	0.92	1.64	2.04	1.09	1.08
$X_o$ ( $\mu\text{m}$ )	1.59	1.04	0.94	1.58	1.76
アルファ	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
コア-モートの比	0.36	0.39	0.34	0.35	0.37
モート/リングの比	0.70	0.70	0.71	0.69	0.67

## 【0041】

図9~図11は、分散補償ファイバの例a~e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。特にこれらのプロットは、分散補償ファイバの例a~eに対して、少なくとも、1525nmから1570nmまでの延長C波長域 (extended C wavelength band) にわたる全分散 (図9を参照)、少なくとも、1525nmから1570nmまでの延長C波長域にわたった全分散勾配 (図10を参照) および少なくとも、1525nmから1570nmまでの延長C波長域にわたるカップ (図11を参照) をそれぞれ含む。1525nmから1570nmまでの波長域は、概して延長C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動作についての好ましい波長域である。しかし、本発明による分散補償ファイバは、例えばC帯域 (1525nmから1565nmまで) のような、他の波長域においても使用され得る。

## 【0042】

本発明の実施例による分散補償ファイバ20のさらなる例は、以下の表3および表4を参照して説明される。

## 【0043】

【表 3】

表 3-分散補償ファイバに対する光学的性質

例 #	f	g	h	i	j
全分散 (ps/nm/km) @ 1550 nm	-126	-121	-131	-121	-125
分散勾配 (ps/nm <sup>2</sup> /km) @ 1550 nm	-0.44	-0.45	-0.41	-0.40	-0.50
$\kappa$ (nm) @ 1550 nm	288	262	318	291	250
水平荷重損失 @ 1550 nm (dB/m)	1.53	1.26	1.93	0.83	2.74
ピンアレイ					
曲げ損失 @ 1550 nm (dB)	18.7	15.3	23.7	14.9	33.0
実効面積 @ 1550 nm ( $\mu\text{m}^2$ )	21.3	20.6	22.1	19.8	22.6
MFD @ 1550 nm ( $\mu\text{m}$ )	5.14	5.06	5.18	4.96	5.24
$\lambda_c$ LP <sub>02</sub> (nm)	1613	1621	1604	1584	1610
$\lambda_c$ LP <sub>11</sub> (nm)	1537	1545	1528	1413	1540
減衰 @ 1550 nm (dB/km)	0.452	0.452	0.453	0.453	0.448
FOM @ 1550 nm (ps/nm/dB)	278	268	290	267	278

10

20

【0044】

以下の表 4 は、本発明のさらなる実施例による分散補償ファイバの例 f ~ j (図 15 ~ 図 19 に示されている) を含み、所望の動作範囲内に光学的性質を与える、一群の屈折率プロファイルの物理的構造をさらに定義する。屈折率プロファイルの例 f ~ j (図 15 ~ 図 19 に示されている) は、図 4 に示された屈折率プロファイルにおいて示される決まり事を使用して説明される。

【0045】

30

【表 4】

表 4 - ファイバ例 f~j に対する物理的構造

例 #	f	g	h	i	j
$\Delta_1$ (%)	1.82	1.82	1.82	1.92	1.72
$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	1.68	1.69	1.67	1.62	1.72
$\Delta_2$ (%)	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37	-0.37
$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	4.55	4.57	4.52	4.49	4.79
モート幅 ( $\mu\text{m}$ )	2.87	2.88	2.85	2.87	3.08
$\Delta_3$ (%)	0.44	0.44	0.44	0.43	0.46
$r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	6.71	6.78	6.67	6.58	7.00
$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	6.23	6.26	6.19	6.09	6.48
$r_0$ ( $\mu\text{m}$ )	7.21	7.27	7.18	7.04	7.50
Wr ( $\mu\text{m}$ )	0.98	1.01	0.99	0.95	1.02
Xo ( $\mu\text{m}$ )	1.67	1.71	1.66	1.61	1.70
ALPHA ( $\alpha$ )	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
コア-モートの比	0.37	0.37	0.37	0.36	0.36
モート/リングの比	0.68	0.67	0.68	0.68	0.68

10

20

30

【 0 0 4 6 】

&lt; 実験例 &gt;

本発明による分散補償ファイバ 20 の幾つかの例は、実際に製造され且つ試験された。実験例 1 および 2 の光学的性質は、以下の表 5 に示されており、その屈折率プロファイルは、図 13 および図 14 にそれぞれ示されている。

【 0 0 4 7 】

【表 5】

表 5 - 実験例

例 #	例 1	例 2
図 #	図 13	図 14
分散 @ 1550 nm (ps/nm/km)	-123.3	-128.8
分散勾配 @ 1550 nm (ps/nm <sup>2</sup> /km)	-0.420	-0.476
カップ @ 1550 nm (nm)	293	271
モードフィールド径 @ 1550 nm ( $\mu\text{m}^2$ )	5.15	5.17
ピンアレイ @ 1550 nm (dB) - 予想	17.7	27.7
水平荷重 @ 1550 nm (dB/m) - 予想	1.45	2.32
減衰 @ 1550 nm (dB/km)	0.406	0.422
FOM @ 1550 nm	304	305

10

20

## 【0048】

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 と光通信する伝送ファイバ 36 を含む。伝送ファイバ 36 は、コーニング社から入手できる、例えば SMF-28 (登録商標) のような標準的なシングルモードファイバであることが好ましい。この標準的なシングルモード伝送ファイバ 36 は、例えば、1550 nm で正の全分散および正の全分散勾配を有する。特に、システム 32, 32a に利用される伝送ファイバ 36 は、1550 nm で約 14 から 21 ps/nm/km の間の全分散を有することが好ましい (公称値で、1550 nm で約 16.7 ps/nm/km)。システム 32, 32a における伝送ファイバ 36 の分散勾配は、約 0.044 から 0.067 ps/nm<sup>2</sup>/km の間であることが好ましく (公称値で、約 0.06 ps/nm<sup>2</sup>/km)、1550 nm でのカップは、約 250 nm から 350 nm の間であることが好ましい (公称値で約 278 nm)。伝送ファイバ 36 は、ステップインデックス分布を有し、約 1300 nm から 1325 nm の間のゼロ分散波長  $\lambda_0$ 、約 0.34% から 0.38% の間のコアのデルタ% および 1550 nm で約 70  $\mu\text{m}^2$  より大きい実効面積を有することが好ましい。

30

40

## 【0049】

分散補償ファイバ 20 は、伝送ファイバ 36 に光学的に結合しており且つ 1 または 2 以上の増幅器 (または増幅段) 42 に光学的に結合していることも好ましい。分散補償ファイバ 20 は、分散補償ファイバ 20 によりもたらされた負の全分散が、伝送ファイバ 36 のスパンの累積分散を実質的に補償するため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、分散補償が、分散補償ファイバ 20 の終端 (および伝送ファイバ 36 の長さを含むスパンの終端) での分散がほぼゼロ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

50

の分散が意図的に僅かに下回ってまたは越えて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。その一方、システム32aは、中継器42への連結および伝送ファイバ36bのもう一つのファイバ長を含み、システムが複数のスパンを含むようになっている。伝送システムは、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み得る。

【0050】

本発明によると、分散補償ファイバ20は、ファイバを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。

10

【0051】

認識されるべきであることには、本発明による分散補償ファイバ20のさらなる負分散は、伝送ファイバ36のファイバ長において累積した分散を補償するために、より短い分散補償ファイバの使用を可能にする。このことは、さらなる負分散を有することに対して減衰が小さくなるので、ファイバの性能指数FOMが大きくなるというさらなる利点を有する。本発明による一群の分散補償ファイバ20に関して、1550nmでの全分散を1550nmでの減衰で割った絶対値として定義されるFOMは、1550nmで約240ps/nm/dBより大きい絶対値を有することが好ましいが、260ps/nm/dBより大きいことがより好ましく、1550nmで275ps/nm/dBより大きいことがさらにより好ましく、幾つかの実施例においては、1550nmで約300ps/nm/dBより大きいことが好ましい。同様に、分散補償ファイバが分散補償モジュール中に含まれるときに、高分散値はILを減少させる効果がある。従って、モジュールのコストおよびサイズは、有利に低減し、全体的なシステムの減衰も低減する。

20

【0052】

一例として、本発明による分散補償ファイバ20の約10~15kmのファイバ長は、100kmの上述の伝送ファイバ36の蓄積分散を補償し得る。さらに、所望の動作波長域（1525nmから1570nm）にわたった、かかるシステム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+/-15ps/nmであり、本明細書に説明される実施例の幾つかに対しては、伝送ファイバ36の100kmにつき+/-10ps/nm未満である。以下の表6は、1525nmから1570nmまでの波長域にわたる、システムの残留分散の大きさを示している。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、動作波長域（少なくとも1525nm~1565nm）にわたって、システムの残留分散の大きさを最小にするためのユーティリティを有する。

30

【0053】

【表 6】

表 6—ファイバ例 a～eを使用した場合のシステム残留分散

パラメータ	伝送ファイバ (km)	分散補償ファイバ (km)	+/- 残留分散 (1525 - 1570 nm) (100km当たりのps/nm)
例 a	100	13.46	+/- 6
例 b	100	11.85	+/- 5
例 c	100	12.00	+/- 5
例 d	100	13.35	+/- 8
例 e	100	12.14	+/- 9

10

## 【0054】

図12は、100km長の標準的なシングルモード伝送ファイバ36に対する、計算された残留分散 (ps/nm) のプロットを示しており、当該シングルモード伝送ファイバ36は、1550nmで約16.7ps/nm/kmの分散および1550nmで約0.06ps/nm<sup>2</sup>/kmの分散勾配を有し、さまざまな例(a～e)の分散補償ファイバ20と光学的に結合している。以上のように、システムに対する残留分散は、100km長の標準的なシングルモード伝送ファイバに対して、1525nmから1570nmまでの波長域にわたって+/-15ps/km未満であるが、1525nmから1570nmまでの波長域にわたって+/-10ps/km未満であることがより好ましい。幾つかの例(例えばa, bおよびc)に関して、1525nmから1570nmまでの波長域にわたって100km長の伝送ファイバ36に対して、+/-6ps/nm以下である。従って、本発明による分散補償ファイバは、動作波長範囲にわたって優れた分散補償を提供するものである、ということが認識されるべきである。

20

30

## 【0055】

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。

## 【図面の簡単な説明】

40

## 【0056】

【図1】本発明の実施例による分散補償ファイバの部分断面等角図である。

【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。

【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実施例の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～e)に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

50

【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～e）に対する、別の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～e）に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

【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～e）に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

【図9】本発明の実施例による分散補償ファイバの例a～eに対する、全分散（ $p_s / nm / km$ ）対波長（ $nm$ ）のグラフである。

【図10】本発明の実施例による分散補償ファイバの例a～e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。

10

【図11】本発明の実施例による分散補償ファイバの例a～eに対する、カップ（ $nm$ ）対波長（ $nm$ ）のグラフである。

【図12】本発明の実施例による分散補償ファイバの例a～eに対する、残留分散（ $p_s / nm$ ）対波長（ $nm$ ）のグラフである。

【図13】本発明の実施例による実験ファイバの例1～2に対する、デルタ%対半径（ $\mu m$ ）の屈折率プロットである。

【図14】本発明の実施例による実験ファイバの例1～2に対する、デルタ%対半径（ $\mu m$ ）の屈折率プロットである。

【図15】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例f～j）に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

20

【図16】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例f～j）に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

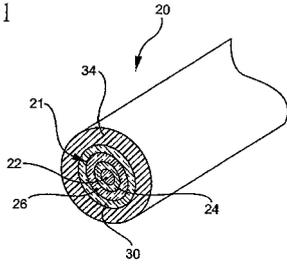
【図17】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例f～j）に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

【図18】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例f～j）に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

【図19】本発明による分散補償ファイバの幾つかの実施例（例f～j）に対する、別の屈折率プロファイルのプロットである。

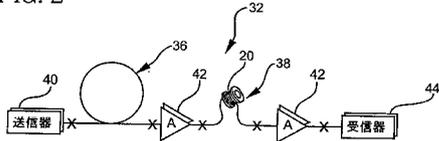
【図1】

FIG. 1



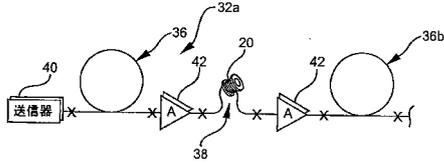
【図2】

FIG. 2



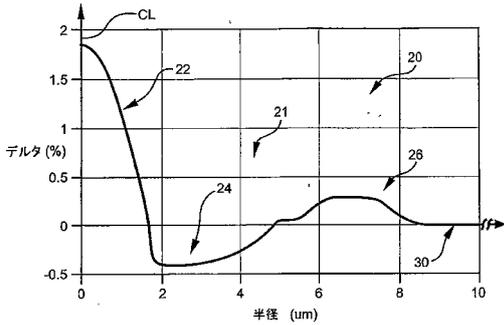
【図3】

FIG. 3



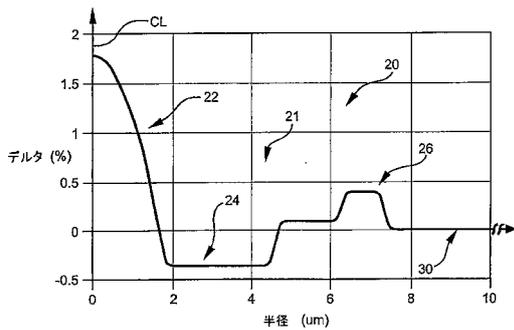
【図6】

FIG. 6



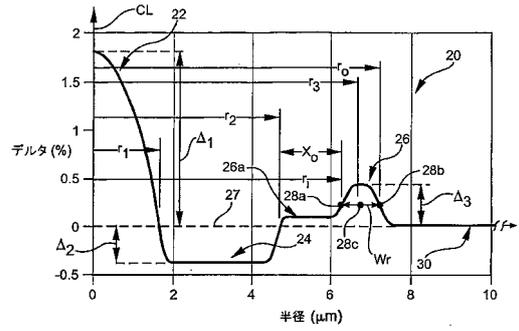
【図7】

FIG. 7



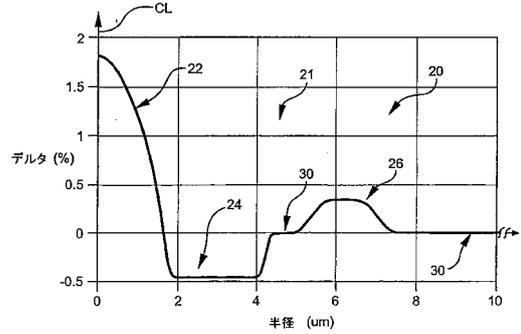
【図4】

FIG. 4



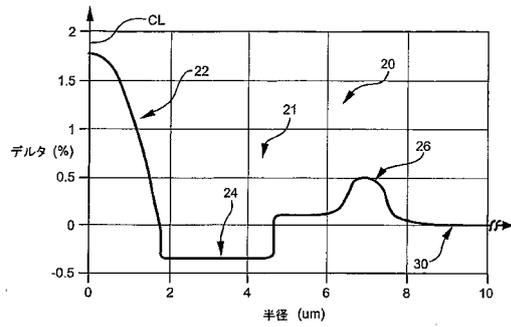
【図5】

FIG. 5



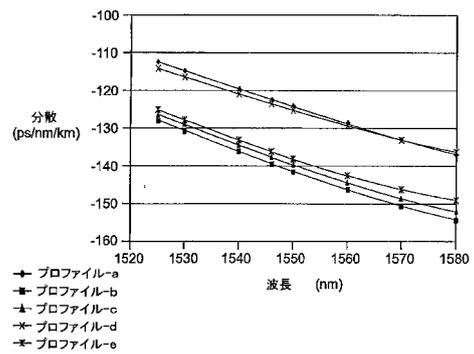
【図8】

FIG. 8



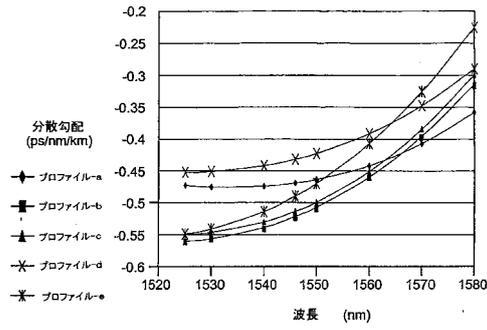
【図9】

FIG. 9



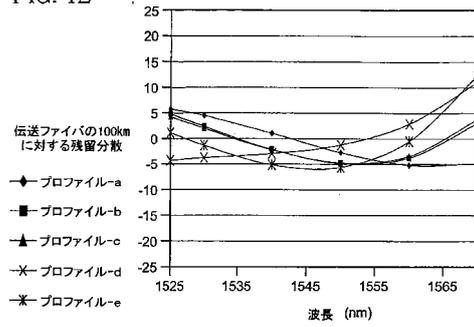
【図10】

FIG. 10



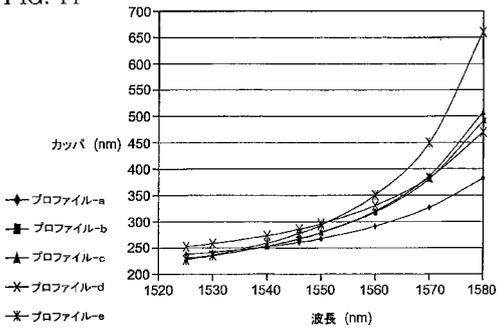
【図12】

FIG. 12



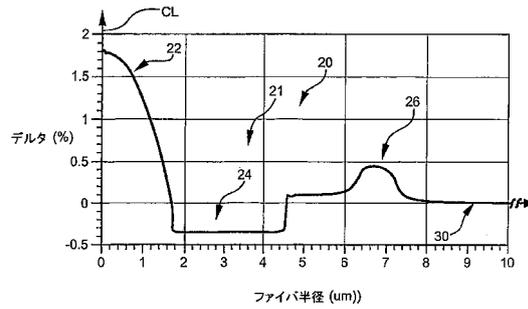
【図11】

FIG. 11



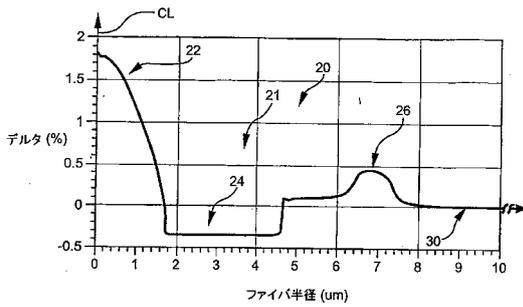
【図13】

FIG. 13



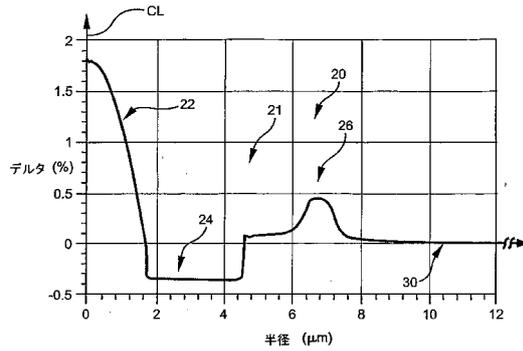
【図14】

FIG. 14



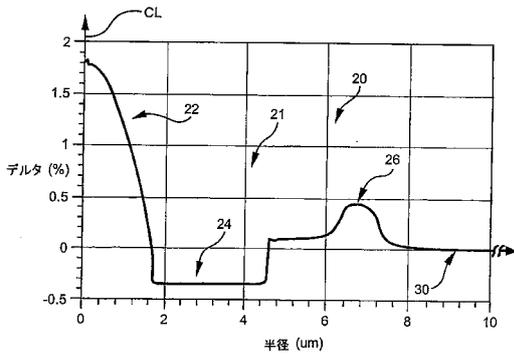
【図16】

FIG. 16



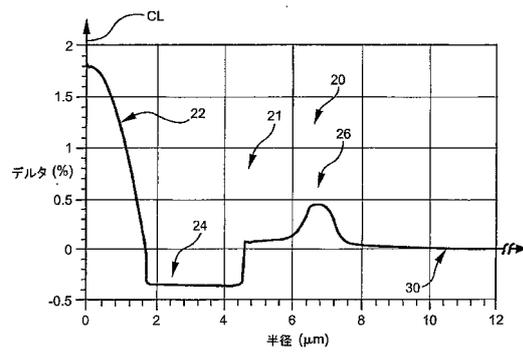
【図15】

FIG. 15



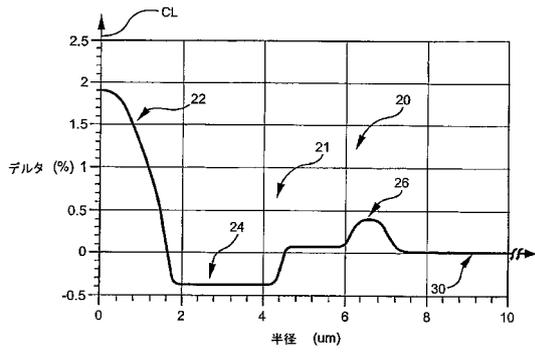
【図17】

FIG. 17



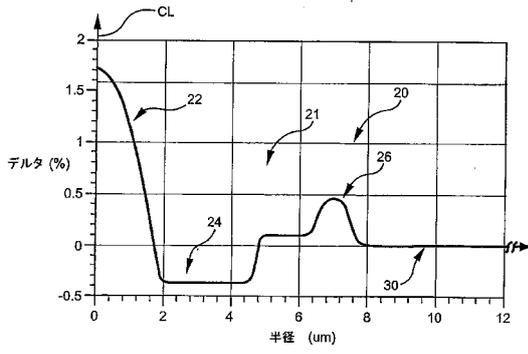
【 図 18 】

FIG. 18



【 図 19 】

FIG. 19



フロントページの続き

審査官 大石 敏弘

(56)参考文献 国際公開第03/007035(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/02-6/036