

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-54291

(P2004-54291A)

(43) 公開日 平成16年2月19日(2004.2.19)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

G02B 6/10

G02B 6/22

F I

G02B 6/10

G02B 6/22

テーマコード (参考)

2H050

審査請求 未請求 請求項の数 23 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2003-276018 (P2003-276018)  
 (22) 出願日 平成15年7月17日 (2003.7.17)  
 (31) 優先権主張番号 0209136  
 (32) 優先日 平成14年7月18日 (2002.7.18)  
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(71) 出願人 391030332  
 アルカテル  
 フランス国、75008 パリ、リュ・ラ  
 ・ボエティ 54  
 (74) 代理人 100062007  
 弁理士 川口 義雄  
 (74) 代理人 100113332  
 弁理士 一入 章夫  
 (74) 代理人 100114188  
 弁理士 小野 誠  
 (74) 代理人 100103920  
 弁理士 大崎 勝真  
 (74) 代理人 100124855  
 弁理士 坪倉 道明

最終頁に続く

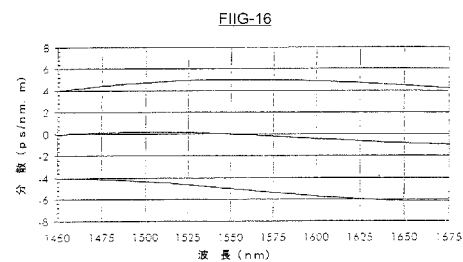
(54) 【発明の名称】 分散管理光ファイバー

## (57) 【要約】

【課題】分散勾配が十分に少なく、広範なスペクトル範囲で平均的な分散が非常に少ない、波長分割多重伝送ネットワーク用の分散管理光ファイバーを提供する。

【解決手段】正の波長分散光ファイバー部分 (T+) と負の波長分散光ファイバー部分 (T-) とが長手方向に繰り返され、可変屈折率プロファイルを有するコアと一定の屈折率を有するクラッドを含み、コアとクラッドとのコアの屈折率プロファイルの外径を十分に小さくして、光ファイバーがケーブルでシングルモードであるようにし、各部分 (T+, T-) は、波長1550nmで絶対値が1~10ps/nm・kmの波長分散と絶対値が0.015ps/nm<sup>2</sup>・km未満の波長分散勾配と35μm<sup>2</sup>より大の有効面積を有し、波長1625nmのとき直径60mmで100回巻きつけた場合の曲げ損失が0.1dB未満であり、T+とT-との間で波長1550nmにおける有効面積の相対的な差が7%未満である。

【選択図】 図16



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

波長分割多重伝送ネットワーク用の分散管理光ファイバーであって、  
 正の波長分散光ファイバー部分（ $T+$ ）と負の波長分散光ファイバー部分（ $T-$ ）とが  
 長手方向に繰り返され、  
 中央から周辺に向かって連続して、可変屈折率プロファイルを有するコア、次いで一定  
 の屈折率を有するクラッドを含み、  
 コアとクラッドとの間の境界にあるコアの屈折率プロファイルの外側半径を十分に小さ  
 くして、光ファイバーがケーブルでシングルモードであるようにし、  
 光ファイバーの各部分（ $T+$ 、 $T-$ ）は、波長  $1550\text{ nm}$  で、絶対値が  $1\text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  10  
 $\cdot \text{km}$  から  $10\text{ ps/nm} \cdot \text{km}$  の波長分散と、絶対値が  $0.015\text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$   
 未満の波長分散勾配と、 $35\text{ }\mu\text{m}^2$  より大きい有効面積とを有し、  
 正の波長分散光ファイバー部分（ $T+$ ）と負の波長分散光ファイバー部分（ $T-$ ）との  
 間で、波長  $1550\text{ nm}$  における有効面積の相対的な差が  $7\%$  未満であり、  
 光ファイバーの各部分（ $T+$ 、 $T-$ ）は、波長  $1625\text{ nm}$  のとき、直径  $60\text{ }\mu\text{m}$  で  $1$   
 $00$  回巻きつけた場合の曲げ損失が、 $0.1\text{ dB}$  未満である光ファイバー。

## 【請求項 2】

光ファイバーの部分（ $T+$ 、 $T-$ ）全体で、コアとクラッドとの間の境界にあるコアの  
 屈折率プロファイルの外側半径（ $r_3$ ）の平均値が  $10.5\text{ }\mu\text{m}$  未満であり、コアの屈折  
 率プロファイルが 3 個の区間から構成されることを特徴とする、請求項 1 に記載の分散管 20  
 理光ファイバー。

## 【請求項 3】

コアの可変屈折率プロファイルが、中央から周辺に向かって連続して、  
 クラッドの屈折率より大きい最大屈折率を有する中央区間と、  
 クラッドの屈折率より小さい最小屈折率を有する埋め込み区間と、  
 クラッドの屈折率より大きく、中央区間の最大屈折率より小さい最大屈折率を有する環  
 状区間とから構成されることを特徴とする、請求項 2 に記載の分散管理光ファイバー。

## 【請求項 4】

中央区間が、台形またはアルファ形であることを特徴とする、請求項 3 に記載の分散管 30  
 理光ファイバー。

## 【請求項 5】

光ファイバーの部分（ $T+$ 、 $T-$ ）全体で、中央区間の最大屈折率とクラッドの屈折率  
 との差（ $n_1$ ）の平均値が、 $7.00 \times 10^{-3}$  から  $11.0 \times 10^{-3}$  であり、  
 光ファイバーの部分（ $T+$ 、 $T-$ ）全体で、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有す  
 る中央区間の部分の半径（ $r_1$ ）が、 $2.65\text{ }\mu\text{m}$  から  $3.70\text{ }\mu\text{m}$  であることを特徴と  
 する、請求項 3 または 4 に記載の分散管理光ファイバー。

## 【請求項 6】

屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分（ $T+$ 、 $T-$ ）全体の屈折率プロ  
 ファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、半径ゼロと、  
 クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間部分の半径（ $r_1$ ）との間で、クラ 40  
 ッドの屈折率に対する屈折率差の積分値

## 【数 1】

$$S_{01} = \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot dr$$

が、 $23.0 \times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}$  より大きいことを特徴とする、請求項 5 に記載の分散管理光  
 ファイバー。

## 【請求項 7】

屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分（ $T+$ 、 $T-$ ）全体の屈折率プロ 50

ファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、半径 0 と、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間の部分の半径 ( $r_1$ ) との間で、クラッドに対する屈折率差と半径との積の積分値の 2 倍の値

【数 2】

$$S_1 = 2 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$$

が、 $5.8 \times 10^{-3}$  から  $9.9 \times 10^{-3} \mu m^2$  であることを特徴とする、請求項 5 または 6 に記載の分散管理光ファイバー。

10

【請求項 8】

屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分 ( $T+$ 、 $T-$ ) 全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、半径 0 とクラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間の部分の半径 ( $r_1$ ) との間で、クラッドの屈折率に対する屈折率差と半径の 2 乗との積の積分値の 3 倍の値

【数 3】

$$S_{11} = 3 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r^2 \cdot dr$$

が、 $1.50 \times 10^{-3}$  から  $3.35 \times 10^{-3} \mu m^3$  であることを特徴とする、請求項 5 または 7 に記載の分散管理光ファイバー。

20

【請求項 9】

光ファイバーの部分 ( $T+$ 、 $T-$ ) 全体で、埋め込み区間の最小屈折率とクラッドの屈折率との差 ( $n_2$ ) の平均値が、 $-9.0 \times 10^{-3}$  から  $-2.5 \times 10^{-3}$  であり、

光ファイバーの部分 ( $T+$ 、 $T-$ ) 全体で、埋め込み区間の外側半径 ( $r_2$ ) の平均値が、 $4.00 \mu m$  から  $8.10 \mu m$  であることを特徴とする、請求項 3 から 8 のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 10】

屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分 ( $T+$ 、 $T-$ ) 全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間部分の半径 ( $r_1$ ) と、埋め込み区間の外側半径 ( $r_2$ ) との間で、クラッドの屈折率に対する屈折率差の積分値

30

【数 4】

$$S_{02} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) \cdot dr$$

が、 $-22.0 \times 10^{-3}$  から  $-8.0 \times 10^{-3} \mu m$  であることを特徴とする、請求項 9 に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 11】

40

光ファイバーの部分 ( $T+$ 、 $T-$ ) 全体で、環状区間の最大屈折率とクラッドの屈折率との差 ( $n_3$ ) の平均値が、 $0.50 \times 10^{-3}$  から  $7.5 \times 10^{-3}$  であり、

光ファイバーの部分 ( $T+$ 、 $T-$ ) 全体で、環状区間の外側半径 ( $r_3$ ) の平均値が、 $6.70$  から  $10.50 \mu m$  であることを特徴とする、請求項 3 から 10 のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 12】

屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分 ( $T+$ 、 $T-$ ) 全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、埋め込み区間の外側半径 ( $r_2$ ) と、環状区間の外側半径 ( $r_3$ ) との間で、クラッドの屈折率に対する屈折率差の積分値

50

【数 5】

$$S_{03} = \int_{r2}^{r3} \Delta n(r) \cdot dr$$

が、 $1.0 \times 10^{-3} \mu m$  から  $1.5 \times 10^{-3} \mu m$  であることを特徴とする、請求項 11 に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 13】

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、コアとクラッドとの間の境界であるコアの屈折率プロファイルの外側半径 ( $r_4$ ) の平均値が、 $16 \mu m$  未満であり、コアの屈折率プロファイルが 4 個の区間からなることを特徴とする、請求項 1 に記載の分散管理光ファイバー。 10

【請求項 14】

コアの可変屈折率プロファイルが、中央から周辺に向かって連続して、クラッドの屈折率より大きい最大屈折率を有する中央区間と、クラッドの屈折率より小さい最小屈折率を有する第一の埋め込み区間と、クラッドの屈折率より大きく、中央区間の最大屈折率より小さい最大屈折率を有する環状区間と、

クラッドの屈折率より小さい最小屈折率を有する第二の埋め込み区間とから構成されることを特徴とする、請求項 13 に記載の分散管理光ファイバー。 20

【請求項 15】

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、中央区間の最大屈折率とクラッドの屈折率との差 ( $n_1$ ) が、 $7.0 \times 10^{-3}$  から  $10.0 \times 10^{-3}$  であり、

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間の部分の半径 ( $r_1$ ) の平均値が、 $2.5 \mu m$  から  $3.5 \mu m$  であることを特徴とする、請求項 14 に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 16】

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、第一の埋め込み区間の最小屈折率とクラッドの屈折率との差 ( $n_2$ ) が、 $-9.0 \times 10^{-3}$  から  $-2.5 \times 10^{-3}$  であり、

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、埋め込み区間の外側半径 ( $r_2$ ) の平均値が、 $4.1 \mu m$  から  $7.0 \mu m$  であることを特徴とする、請求項 14 または 15 に記載の分散管理光ファイバー。 30

【請求項 17】

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、環状区間の最大屈折率とクラッドの屈折率との差 ( $n_3$ ) が、 $0.5 \times 10^{-3}$  から  $5.0 \times 10^{-3}$  であり、

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、環状区間の外側半径 ( $r_3$ ) の平均値が、 $9.0 \mu m$  から  $13.0 \mu m$  であることを特徴とする、請求項 14 から 16 のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 18】

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、第二の埋め込み区間の最小屈折率とクラッドの屈折率との差 ( $n_4$ ) が、 $-9.0 \times 10^{-3}$  から  $-2.0 \times 10^{-3}$  であり、 40

光ファイバーの部分 (T +、T -) 全体で、第二の埋め込み区間の外側半径 ( $r_4$ ) の平均値が、 $12.0 \mu m$  から  $16.0 \mu m$  であることを特徴とする、請求項 14 から 17 のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 19】

前記分散管理光ファイバーが、同一プリフォームの特性の修正により、線引きによって得られることを特徴とする、請求項 1 から 18 のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項 20】

正の波長分散光ファイバーと負の波長分散光ファイバーとの間の外側半径の相対的な差 50

が、11%未満に選択されることを特徴とする、請求項1から19のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項21】

光ファイバーが、波長1550nmで0.35dB/km以下の減衰を有することを特徴とする、請求項1から20のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【請求項22】

光ファイバーが、波長1550nmで、 $0.2 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下の偏光モード分散を有し、好適には $0.1 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下で、さらには $0.05 \text{ ps/km}^{1/2}$ 以下の偏光モード分散を有することを特徴とする、請求項1から21のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

10

【請求項23】

光ファイバーが、前記光ファイバーを構成する任意の一つの部分に対して、波長1625nmで半径10mmの場合に測定される曲げ損失が400dB/m未満であることを特徴とする、請求項1から22のいずれか一項に記載の分散管理光ファイバー。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、波長分割多重伝送ネットワーク用の光ファイバーの領域に関する。

【背景技術】

【0002】

このタイプのネットワークにおける情報伝送速度の高速化により、波長分散および波長分散勾配をますます広いスペクトル帯域で補償することが必要になっている。いわゆるSバンドは、約1460から1530nmに及ぶスペクトル帯域に対応する。いわゆるCバンドは、約1530nmから1565nmに及ぶスペクトル帯域に対応する。いわゆるLバンドは、1565nmから1625nmに及ぶスペクトル帯域に対応する。いわゆるUバンドは、1625nmから1675nmに及ぶスペクトル帯域に対応する。最もよく用いられるスペクトル帯域は、Cバンドである。Cバンドに加えてSバンドおよびLバンド、さらにはUバンドまで使用を望む傾向がますます強まっている。

20

【0003】

そのため、第一の従来技術によれば、正の波長分散を持つ光ファイバー部分と負の波長分散を持つ光ファイバー部分が長手方向に繰り返される分散管理光ファイバー（「Dispersion Managed Fiber: DMF」）を使用することが知られている。かくして、分散管理光ファイバーの全体に対する波長分散が、所定の波長で容易に補償される。ところが、分散管理光ファイバーを用いるスペクトル幅が広がると、広いスペクトル幅で波長分散を補償しなければならず、すなわち、同様に波長分散勾配を補償しなければならない。こうした波長分散勾配の補償は、実際にはずっと実現が難しく、特に有効面積などの、分散管理光ファイバーの幾つかの他のパラメータがの劣化がしばしば伴う。

30

【0004】

第二の従来技術によれば、非線形クロス効果を減少する一定のタイプの分散シフト光ファイバー（「non-zero dispersion shifted fiber: NZ-DSF」）を分散補償ファイバー（「dispersion compensating fiber: DCF」）に結合することが知られており、これによって、広いスペクトル間隔で分散がゼロである伝送線を得られる。このように分散シフトファイバーと分散補償ファイバーとを結合した場合の不都合は、特に単位長さあたりの減衰および曲げ損失など、分散補償ファイバーが有する損失が大きく、また、PMD（「polarization mode dispersion」）が存在することにあり、そのために情報伝送速度の増加が制限される。

40

【0005】

【特許文献1】国際公開第00/63732号パンフレット

50

【特許文献2】国際公開第01/92928号パンフレット

【特許文献3】欧州特許出願公開第1116697号明細書

【特許文献4】米国特許出願公開第2001/008077号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

本発明が提案する解決方法は、分散管理ファイバーの使用を想定しており、光ファイバーの様々な部分の分散勾配を十分に少なくして、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分との間で波長分散勾配が厳密に逆転していなくても、このように得られた分散管理光ファイバーの平均的な分散が、Sバンド、Cバンド、Lバンドおよび好適にはUバンドを含む広範なスペクトル範囲で非常に少なく、さらにはほとんどゼロになるようにする。かくして、「分散がフラットな」分散管理光ファイバーと呼ばれるファイバーが得られる。波長分散勾配を厳密に逆転する必要がないため、このように得られた分散管理光ファイバーに沿って有効面積の値が急落することがないという長所がさらに得られる。しかも、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分との繰り返しは、各部分の波長分散勾配が少ないことを考慮すると、有利には、コアの屈折率プロファイルを半径方向に相似変換することにより得られる。相似変換の比率の値を比較的小さくして、このように得られる波長分散管理光ファイバーの特性を著しく劣化しないようにし、特に、正の波長分散光ファイバー部分から負の波長分散光ファイバー部分への移行時に、有効面積が著しく劣化しないようにする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明によれば、波長分割多重伝送ネットワーク用の分散管理光ファイバーであって、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分とが長手方向に繰り返され、中央から周辺に向かって連続して、可変屈折率プロファイルを有するコア、次いで一定の屈折率を有するクラッドを含み、コアとクラッドとの間の境界にあるコアの屈折率プロファイルの外側半径を十分に小さくして、光ファイバーがケーブルでシングルモードであるようにし、光ファイバーの各部分は、波長1550nmで、絶対値が $1 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ から $10 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$ の波長分散と、絶対値が $0.015 \text{ ps/nm}^2 \cdot \text{km}$ 未満の波長分散勾配と、 $35 \mu\text{m}^2$ より大きい有効面積を有し、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分との間で、波長1550nmにおける有効面積の相対的な差が7%未満であり、光ファイバーの各部分は、波長1625nmのとき、直径60mmで100回巻きつけた場合の曲げ損失が0.1dB未満である。

【0008】

従来技術による「分散がフラットな」分散管理光ファイバーでは、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分との間で波長分散勾配が逆転し、この逆転が、屈折率プロファイルを大きい比率で相似変換することにより行われるので、有効面積が減少することが不都合である。有効面積を広く保持するために、使用する屈折率プロファイルの相似変換比率を小さくすると、勾配が厳密に逆転されず、分散管理光ファイバーの「分散がフラット」ではなくなってしまう。一方、本発明による分散管理光ファイバーでは、正の分散を有する光ファイバー部分の勾配が既に比較的少ないので勾配を逆転しやすく、たとえ勾配の逆転が厳密ではなくても前記勾配が少なくなり、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分との繰り返しによって得られる分散管理光ファイバーの波長分散が比較的「フラット」である。それによって有効面積に関して二つの長所が得られ、負の波長分散光ファイバー部分の有効面積が比較的大きく、負の波長分散光ファイバー部分の有効面積が正の波長分散光ファイバー部分の有効面積に比較的近い。このような「分散がフラットな」光ファイバーは、既に従来技術に記載されており、事実、国際公開第00/63732号パンフレットに記載されているが、コアの屈折率プロファイルの外側半径が大きいので、前記光ファイバーがケーブルでマルチモードになる。

【0009】

10

20

30

40

50

本発明による分散管理光ファイバーは、コアの屈折率プロファイルの外側半径を有し、この外側半径がコアとクラッドとの境界であって、前記光ファイバーがケーブルでシングルモードになるように十分に小さい。3個または4個の区間を有するコアの屈折率プロファイルに全て対応する後述する例では、正の分散を有する光ファイバー部分に対しても負の分散を有する光ファイバー部分に対しても、この外側半径の上界が、4個の区間を有するプロファイルに対しては $16\text{ }\mu\text{m}$ 未満、3個の区間を有するプロファイルに対しては $10.5\text{ }\mu\text{m}$ 未満になるように選択されるので、本発明による「分散がフラットな」対応する分散管理光ファイバーのケーブルでシングルモードの挙動が確保される。

【0010】

好適には、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分との間の外側半径の相対的な差が $11\%$ 未満になるように選択し、正の波長分散光ファイバー部分と負の波長分散光ファイバー部分との有効面積の変動を最小化する。

【0011】

本発明の好適な第一の実施形態では、本発明による分散管理光ファイバーが、3個の区間からなるコアの第一のタイプの可変屈折率プロファイルを有する。コアの第一のタイプの可変屈折率プロファイルは、中央から周辺に向かって連続して、クラッドの屈折率より大きい最大屈折率を有する中央区間と、クラッドの屈折率より小さい最小屈折率を有する埋め込み区間と、クラッドの屈折率より大きく、中央区間の最大屈折率より小さい最大屈折率を有する環状区間とから構成される。中央区間は、好適には台形であるが、矩形または三角形またはアルファ形にしてもよい。

【0012】

本発明による分散管理光ファイバーの波長分散のスペクトルのフラット性ならびに他の特性を改善するため、次に、コアの第一のタイプの屈折率プロファイルの屈折率および半径に対して好適な、一定数の範囲または関係式を挙げる。

【0013】

好適には、光ファイバーの部分全体で、中央区間の最大屈折率とクラッドの屈折率との差の平均値  $n_1$  が  $7.00 \times 10^{-3}$  から  $11.0 \times 10^{-3}$  であり、光ファイバーの部分全体で、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間の部分の半径  $r_1$  が  $2.65\text{ }\mu\text{m}$  から  $3.70\text{ }\mu\text{m}$  である。

【0014】

好適には、屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、半径ゼロと、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間部分の半径  $r_1$  との間で、クラッドの屈折率に対する屈折率差の積分値

【数1】

$$S_{01} = \int_0^{r1} \Delta n(r) \cdot dr$$

が  $23.0 \times 10^{-3}\text{ }\mu\text{m}$  より大きい。

【0015】

好適には、屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、半径0と、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間の部分の半径  $r_1$  との間で、クラッドに対する屈折率差と半径との積の積分値の2倍の値

【数2】

$$S_1 = 2 \cdot \int_0^{r1} \Delta n(r) \cdot r \cdot dr$$

10

20

30

40

50

が  $5.8 \times 10^{-3}$  から  $9.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$  である。

【0016】

好適には、屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、半径  $0$  とクラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間の部分の半径 ( $r_1$ ) との間で、クラッドの屈折率に対する屈折率差と半径の2乗との積の積分値の3倍の値

【数3】

$$S_{11} = 3 \cdot \int_0^{r_1} \Delta n(r) \cdot r^2 \cdot dr$$

10

が  $1.50 \times 10^{-3}$  から  $3.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^3$  である。

【0017】

好適には、光ファイバーの部分全体で、埋め込み区間の最小屈折率とクラッドの屈折率との差  $n_2$  の平均値が  $-9.0 \times 10^{-3}$  から  $-2.5 \times 10^{-3}$  であり、光ファイバーの部分全体で、埋め込み区間の外側半径  $r_2$  の平均値が  $4.00 \mu\text{m}$  から  $8.10 \mu\text{m}$  である。

【0018】

好適には、屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間部分の半径  $r_1$  と、埋め込み区間の外側半径  $r_2$  との間で、クラッドの屈折率に対する屈折率差の積分値

20

【数4】

$$S_{02} = \int_{r_1}^{r_2} \Delta n(r) \cdot dr$$

が  $-22.0 \times 10^{-3}$  から  $-8.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  である。

【0019】

好適には、光ファイバーの部分全体で、環状区間の最大屈折率とクラッドの屈折率との差  $n_3$  の平均値が  $0.50 \times 10^{-3}$  から  $7.5 \times 10^{-3}$  であり、光ファイバーの部分全体で、環状区間の外側半径  $r_3$  の平均値が  $6.70$  から  $10.50 \mu\text{m}$  である。

30

【0020】

好適には、屈折率プロファイルの半径の値が光ファイバーの部分全体の屈折率プロファイルの半径の値の平均値に対応する光ファイバーの中間部分に対して、埋め込み区間の外側半径  $r_2$  と、環状区間の外側半径  $r_3$  との間で、クラッドの屈折率に対する屈折率差の積分値

【数5】

$$S_{03} = \int_{r_2}^{r_3} \Delta n(r) \cdot dr$$

40

が  $1.0 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  から  $1.5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$  である。

【0021】

本発明の好適な第二の実施形態では、本発明による分散管理光ファイバーが、4個の区間を持つコアの第二のタイプの可変屈折率プロファイルを有する。コアの第二のタイプの可変屈折率プロファイルは、中央から周辺に向かって連続して、クラッドの屈折率より大きい最大屈折率を有する中央区間と、クラッドの屈折率より小さい最小屈折率を有する第一の埋め込み区間と、クラッドの屈折率より大きく、中央区間の最大屈折率より小さい最大屈折率を有する環状区間と、クラッドの屈折率より小さい最小屈折率を有する第二の埋

50



め込み区間とから構成される。好適には、中央区間は矩形であるが、この区間を台形または三角形またはアルファ形にすることもまたできる。

【0022】

本発明による分散管理光ファイバーの波長分散のスペクトルのフラット性ならびに他の特性を改善するために、コアの第二のタイプの屈折率プロファイルの屈折率および半径に対して好適な一定数の範囲または関係式を以下に挙げる。

【0023】

好適には、光ファイバーの部分全体で、中央区間の最大屈折率とクラッドの屈折率との差  $n_1$  が  $7.0 \times 10^{-3}$  から  $10.0 \times 10^{-3}$  であり、光ファイバーの部分全体で、クラッドの屈折率より大きい屈折率を有する中央区間の部分の半径  $r_1$  の平均値が  $2.5 \mu\text{m}$  から  $3.5 \mu\text{m}$  である。 10

【0024】

好適には、光ファイバーの部分全体で、第一の埋め込み区間の最小屈折率とクラッドの屈折率との差  $n_2$  が  $-9.0 \times 10^{-3}$  から  $-2.5 \times 10^{-3}$  であり、光ファイバーの部分全体で、埋め込み区間の外側半径  $r_2$  の平均値が  $4.1 \mu\text{m}$  から  $7.0 \mu\text{m}$  である。

【0025】

好適には、光ファイバーの部分全体で、環状区間の最大屈折率とクラッドの屈折率との差  $n_3$  が  $0.5 \times 10^{-3}$  から  $5.0 \times 10^{-3}$  であり、光ファイバーの部分全体で、環状区間の外側半径  $r_3$  の平均値が  $9.0 \mu\text{m}$  から  $13.0 \mu\text{m}$  である。 20

【0026】

好適には、光ファイバーの部分全体で、第二の埋め込み区間の最小屈折率とクラッドの屈折率との差  $n_4$  が  $-9.0 \times 10^{-3}$  から  $-2.0 \times 10^{-3}$  であり、光ファイバーの部分全体で、第二の埋め込み区間の外側半径  $r_4$  の平均値が  $12.0 \mu\text{m}$  から  $16.0 \mu\text{m}$  である。

【0027】

本発明による分散管理光ファイバーに沿って、正の波長分散光ファイバー部分から負の波長分散光ファイバー部分への移行およびその反対への移行が、コアの屈折率プロファイルの相似変換により行われる。複数の方法でこの相似変換を実施することができる。好適には、本発明による分散管理光ファイバーが、同一プリフォームの特性の修正により、線引きによって得られる。この修正は、たとえば、プリフォームの可変線引きとその後行われる一定の直径へのファイバー引き、あるいは可変直径へのファイバー引きにより実施可能である。分散管理光ファイバーは、また、たとえば、正の波長分散区間および負の波長分散区間が繰り返される光ファイバー区間の連結によっても得られる。 30

【0028】

本発明は、例として挙げられた以下の説明および添付図面により、いっそう理解され、他の特徴および長所が明らかになるであろう。

【発明を実施するための最良の形態】

【0029】

図1は、分散管理光ファイバーを概略的に示している。分散管理光ファイバー1は、正の波長分散光ファイバー部分T+と、負の波長分散光ファイバー部分T-とを交互に含む。図1では、簡略化するために4個の部分だけを示したが、光ファイバー1は、それよりもずっと多くの部分を含むことができる。2個の部分T+11と13との間に、部分T-12がある。2個の部分T-12と14との間に、部分T+13がある。部分T+およびT-はたとえば同じ長さである。 40

【0030】

図2は、本発明による分散管理光ファイバーの3個の区間を有する第一のタイプのプロファイルの概略的に示している。中央区間と呼ばれる第一の区間は、クラッドの一定の屈折率との最大の屈折率差  $n_1$  と、外側半径  $r_{1b}$  とを有する。最大屈折率差  $n_1$  は正である。好適には、半径ゼロと半径  $r_{1a}$  との間で屈折率は一定で最大であり、半径の値 50

$r_1$  においてクラッドの屈折率に等しくなり、値  $r_{1b}$  では第二の区間の屈折率に達する。 $r_{1a}$  がゼロでなく、 $r_{1a}$  が  $r_{1b}$  とは異なる場合、第一の区間は台形である。 $r_{1a}$  がゼロではなく、 $r_{1a}$  が  $r_{1b}$  に等しい場合、第一の区間は矩形になる。 $r_{1a}$  がゼロで  $r_{1b}$  がゼロでない場合、第一の区間は三角形になる。埋め込み区間と呼ばれる第二の区間は、クラッドの一定の屈折率との最大屈折率差  $n_2$  と、外側半径  $r_2$  とを有する。最大屈折率差  $n_2$  は、負である。好適には、半径  $r_{1b}$  と半径  $r_2$  との間で屈折率が一定である。環状区間と呼ばれる第三の屈折率は、クラッドの一定屈折率との最大の屈折率差  $n_3$  と、外側半径  $r_3$  とを有する。最大の屈折率差  $n_3$  は、正である。好適には、半径  $r_2$  と半径  $r_3$  との間で屈折率が一定である。半径  $r_3$  を超えるとクラッドの屈折率が一定になる。

10

#### 【0031】

図3は、本発明による第一のタイプの分散管理光ファイバーの10個のプロファイルの例に対する半径の平均値と屈折率の平均値とを含む表である。左側の列は、例1から10までの名称を含む。屈折率  $i$  は、最初に、部分  $T+$  の半径と部分  $T-$  の半径との平均値に対する所定の半径の値を示す。次の4個の列は、コアの可変屈折率プロファイルの半径を表す(単位:  $\mu m$ )。最後の3個の列は、屈折率差の1000倍を表す(単位はない)。

#### 【0032】

図4は、図3の平均値に対する半径の端の相対変動と、本発明による分散管理光ファイバーの対応するプロファイルの幾つかの特性とを含む表である。左側の列は、例1から例10の名称を含む。屈折率  $a$  は、相似変換の適用後、対応する屈折率  $i$  の値から得られる部分  $T+$  に対応する。相似変換比率は、1とパラメータ  $Var Ray$  との和であり、%で示される。たとえば  $Var Ray$  が 0.91% のとき、相似変換比率は 1.0091 になる。屈折率  $b$  は、相似変換の適用後、対応する屈折率  $i$  の値から得られる部分  $T-$  に対応し、相似変換率は、1とパラメータ  $Var Ray$  の和であって%で示される。たとえば  $Var Ray$  が -0.91% のとき、相似変換比率は 0.9909 になる。パラメータ  $Var Ray$  は、第二の列に配置されている。考慮される各例に対して、他の列は、考慮された例に対応する光ファイバー部分の特性を示している。次の列は、理論上のカットオフ  $c_{th}$  を示す(単位  $nm$ )。次の列は、波長 1550  $nm$  におけるモード  $2W_{02}$  の直径を示す(単位  $\mu m$ )。次の列は、有効面積を示す(単位  $\mu m^2$ )。次の列は、波長分散をゼロにする波長  $\lambda_0$  を示す(単位  $nm$ )。次の列は、波長 1550  $nm$  における波長分散  $C$  (単位  $ps/nm \cdot km$ ) を示す。次の列は、波長 1550  $nm$  における波長分散勾配  $C'$  を示す(単位  $ps/nm^2 \cdot km$ )。次の列は、波長 1625  $nm$  で直径 60  $mm$  のとき 100 回巻きつけた曲げ損失  $PC$  の最大閾値を示す(単位  $dB$ )。たとえば、例 1a では、前記曲げ損失が  $3 \times 10^{-4} dB$  未満である。最後の列は、波長 1550  $nm$  における微小曲率に対する感度を示し、この感度は、ファイバー G652 に対する比率として示される。このファイバーは、この整理番号で本出願人が商品化したものである。

20

30

#### 【0033】

図5は、本発明による第一のタイプの分散管理光ファイバーのプロファイルの5個の追加例のための半径の平均値および様々な屈折率の平均値を含む表である。その説明は、図3と同様である。

40

#### 【0034】

図6は、図5の平均値に対して半径の端の相対変動と、本発明による分散管理光ファイバーの対応するプロファイルの幾つかの特性とを含む表である。その説明は、図4と同様である。

#### 【0035】

図7は、図4に定義された本発明による分散管理光ファイバーのプロファイルの別の特性を含む表である。左側の列は、既に説明した例の名称を含む。考慮される各例に対して、他の列は、考慮された例に対応する光ファイバー部分の諸特性を示す。次の4個の列は、それぞれ波長 1460  $nm$ 、1500  $nm$ 、1625  $nm$  および 1675  $nm$  における有効面積  $S_{eff}$  を示す(単位  $\mu m^2$ )。次の4個の列は、それぞれ波長 1460  $nm$ 、

50

1500 nm、1625 nmおよび1675 nmにおける波長分散  $C$  (単位  $\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ ) を示す。次の3個の列は、それぞれ波長1500 nm、1625 nmおよび1675 nmにおいて、半径10 mmのときの曲げ損失の最大閾値 (単位  $\text{dB/m}$ ) を示す。たとえば、例1aでは、前記曲げ損失が5  $\text{dB/m}$  未満である。次の3個の列は、それぞれ波長1500 nm、1625 nmおよび1675 nmにおいて、半径30 mmのときの曲げ損失の最大閾値 (単位  $\text{dB/m}$ ) を示す。

【0036】

図8は、図6に定義された本発明による分散管理光ファイバプロファイルの他の特性を示す表である。その説明は、図7と同様である。

【0037】

図9は、図7、8に定義された本発明による分散管理光ファイバプロファイルの諸特性の平均値を含む表である。左側の列は、1から15までの例を示す。屈折率  $m$  は、屈折率  $a$ 、 $b$  を付した同じ実施例番号を有する部分  $T+$  と  $T-$  との間で出される平均値に、他の列に示された特性が対応することを意味する。たとえば、例1mの特性は、例1aと例1bの特性の平均値である。考慮される各例に対して、他の列は、考慮された例に対応する光ファイバ部分の諸特性を示す。次の4個の列は、それぞれ波長1460 nm、1500 nm、1625 nmおよび1675 nmにおける有効面積  $S_{\text{eff}}$  を示す (単位  $\mu\text{m}^2$ )。次の列は、波長1460 nmと1625 nmとの間の有効面積  $S_{\text{eff}}$  の差  $S_{\text{eff}}$  を示す (単位  $\mu\text{m}^2$ )。次の4個の列は、それぞれ波長1460 nm、1500 nm、1625 nmおよび1675 nmにおける波長分散  $C$  を示す (単位  $\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ )。最後の列は、波長1460 nmと1625 nmとの間の波長分散の差  $C$  を示す (単位  $\text{ps/nm} \cdot \text{km}$ )。

【0038】

図10は、本発明による分散管理光ファイバの4個の区間を備えた第二のタイプのプロファイルを概略的に示している。中央区間と呼ばれる第一の区間は、クラッドの一定の屈折率差との最大の屈折率差  $n_1$  と、外側半径  $r_1$  とを有する。最大の屈折率差  $n_1$  は正である。好適には、半径ゼロと半径  $r_1$  との間で屈折率が一定である。第一の埋め込み区間と呼ばれる第二の区間は、クラッドの一定の屈折率との最大の屈折率差  $n_2$  と外側半径  $r_2$  とを有する。最大の屈折率差  $n_2$  は負である。好適には、半径  $r_1$  と半径  $r_2$  との間で屈折率が一定である。環状区間と呼ばれる第三の区間は、クラッドの一定の屈折率差との最大の屈折率差  $n_1$  と、外側半径  $r_3$  とを有する。最大の屈折率差  $n_3$  は正である。好適には、半径  $r_2$  と半径  $r_3$  の間で屈折率が一定である。第二の埋め込み区間と呼ばれる第四の区間は、クラッドの一定の屈折率との最大の屈折率差  $n_4$  と外側半径  $r_4$  とを有する。最大の屈折率差  $n_4$  は負である。好適には、半径  $r_3$  と半径  $r_4$  との間で屈折率が一定である。半径  $r_4$  を超えると、クラッドの屈折率が一定になる。

【0039】

図11は、本発明による第二のタイプの分散管理光ファイバのプロファイルの10個の例に対して、半径の平均値と屈折率差の平均値とを含む表である。その説明は、図3と同様である。

【0040】

図12は、図11の平均値に対する半径の端の相対変動と、本発明による分散管理光ファイバの対応する幾つかのプロファイル特性とを含む表である。その説明は、図4と同様である。

【0041】

図13は、図12に定義された本発明による分散管理光ファイバプロファイルの他の特性を含む表である。その説明については図7と同様である。

【0042】

図14は、図13に定義された本発明による分散管理光ファイバプロファイルの特性の平均値を含む表である。その説明については図9と同様である。

【0043】

10

20

30

40

50

図 15 は、図 3、4 に定義された実施例 4 の正の波長分散変動、平均的な波長分散変動、および負の波長分散変動を、広範なスペクトル範囲で概略的に示す図である。曲線 a、m、b は、それぞれ、部分 T + に対して、部分 T - に対して、また、部分 T + および T - の繰り返しを含む光ファイバー 1 の全体の波長分散に相当する部分 T + および T - の平均値に対して、波長 1200 nm から 1700 nm に及ぶスペクトル範囲における波長分散（単位  $\text{ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$ ）を示す。図 15 に示されるこの例は、実施例 4 に関する。

【0044】

図 16 は、さらに狭いスペクトル範囲で図 15 を拡大して概略的に示す図である。図 15 と同じ曲線が、1450 nm から 1675 nm の狭いスペクトル範囲に示されている。得られた分散管理光ファイバーの波長分散勾配は、「フラット」である（曲線 m）。実際、波長分散は、図 16 では、 $0.5 \text{ ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$  と  $-1 \text{ ps} / \text{nm} \cdot \text{km}$  との間に閉じ込められている。

10

【0045】

図 17 は、図 3、4 に定義された実施例 5 の正の波長分散、平均的な波長分散、および負の波長分散の変動を広いスペクトル範囲で概略的に示している。その説明については、図 15 と同様である。

【0046】

図 18 は、狭いスペクトル範囲で図 17 の一部を拡大して概略的に示す図である。その説明については、図 16 と同様である。

【0047】

20

図 19 は、図 3、4 に定義された実施例 7 の正の波長分散、平均的な波長分散、および負の波長分散の変動を広いスペクトル範囲で概略的に示している。その説明については、図 15 と同様である。

【0048】

図 20 は、狭いスペクトル範囲で図 19 の一部を拡大して概略的に示す図である。その説明については、図 16 と同様である。

【0049】

図 21 は、図 3、4 に定義された実施例 10 の正の波長分散、平均的な波長分散、および負の波長分散の変動を広いスペクトル範囲で概略的に示している。その説明については、図 15 と同様である。

30

【0050】

図 22 は、狭いスペクトル範囲で図 21 の一部を拡大して概略的に示す図である。その説明については、図 16 と同様である。

【0051】

図 23 は、図 11、12 に定義された実施例 20 の正の波長分散、平均的な波長分散、および負の波長分散の変動を広いスペクトル範囲で概略的に示している。その説明については、図 15 と同様である。

【0052】

図 24 は、狭いスペクトル範囲で図 23 の一部を拡大して概略的に示している。その説明については、図 16 と同様である。

40

【0053】

好適には、本発明による分散管理光ファイバーは、波長 1550 nm のときの減衰が  $0.35 \text{ dB} / \text{km}$  以下である。

【0054】

好適には、本発明による分散管理光ファイバーは、波長 1550 nm のとき、偏光モード分散が  $0.2 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$  以下で、好適には  $0.1 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$  以下、さらには  $0.05 \text{ ps} / \text{km}^{1/2}$  以下である。

【0055】

好適には、本発明による分散管理光ファイバーは、前記光ファイバーを構成する任意の一つの部分に対して、波長 1625 nm で半径 10 mm の場合に測定される曲げ損失が 4

50

0 0 d B / m 未 満 である。

【図面の簡単な説明】

【0 0 5 6】

【図 1】分散管理光ファイバーを概略的に示す図である。

【図 2】本発明による分散管理光ファイバーの 3 個の区間を持つ第一のタイプのプロファイル  
を概略的に示す図である。

【図 3】本発明による第一のタイプの分散管理光ファイバーのプロファイルの 1 0 個の例  
に対する半径の平均値と屈折率差の平均値とを含む表である。

【図 4】図 3 の平均値に対する半径の端の相対変動と、本発明による分散管理光ファイバ  
ーの対応する幾つかのプロファイル特性とを含む表である。

10

【図 5】本発明による第一のタイプの分散管理光ファイバーのプロファイルに追加される  
5 個の例に対する半径の平均値と屈折率差の平均値とを含む表である。

【図 6】図 5 の平均値に対する半径の端の相対変動と、本発明による分散管理光ファイバ  
ーの対応するプロファイルの幾つかの特性とを含む表である。

【図 7】図 4 で定義された本発明による分散管理光ファイバーの他のプロファイル特性を  
含む表である。

【図 8】図 6 で定義された本発明による分散管理光ファイバーのプロファイルの他の特性  
を含む表である。

【図 9】図 7、8 に定義された本発明による分散管理光ファイバープロファイルの諸特性  
の平均値を含む表である。

20

【図 1 0】本発明による分散管理光ファイバーの 4 個の区間を備えた第二のタイプのプロ  
ファイルの概略的に示す図である。

【図 1 1】本発明による第二のタイプの分散管理光ファイバーの 1 0 個のプロファイルの  
例に対して、半径の平均値と屈折率差の平均値とを含む表である。

【図 1 2】図 1 1 の平均値に対する半径の端の相対変動と、本発明による分散管理光ファ  
イバーの対応する幾つかのプロファイル特性とを含む表である。

【図 1 3】図 1 2 に定義された本発明による分散管理光ファイバーのプロファイルの別の  
特性を含む表である。

【図 1 4】図 1 3 に定義された本発明による分散管理光ファイバーのプロファイルの諸特  
性の平均値を含む表である。

30

【図 1 5】図 3、4 に定義された例 4 の、正の波長分散変動、平均的な波長分散変動、お  
よび負の波長分散変動を、広範なスペクトル範囲で概略的に示す図である。

【図 1 6】狭いスペクトル範囲における図 1 5 の拡大概略図である。

【図 1 7】図 3、4 に定義された例 5 の、正の波長分散変動、平均的な波長分散変動、お  
よび負の波長分散変動を、広範なスペクトル範囲で概略的に示す図である。

【図 1 8】狭いスペクトル範囲で図 1 7 の一部を概略的に示す部分拡大図である。

【図 1 9】図 3、4 に定義された例 7 の、正の波長分散変動、平均的な波長分散変動、お  
よび負の波長分散変動を、狭いスペクトル範囲で概略的に示す図である。

【図 2 0】狭いスペクトル範囲で、図 1 9 の一部を概略的に示す部分拡大図である。

【図 2 1】図 3、4 に定義された例 1 0 の、正の波長分散変動、平均的な波長分散変動、  
および負の波長分散変動を、広範なスペクトル範囲で概略的に示す図である。

40

【図 2 2】狭いスペクトル範囲で図 2 1 の一部を概略的に示す部分拡大図である。

【図 2 3】図 1 1、1 2 に定義された例 2 0 の、正の波長分散変動、平均的な波長分散変  
動、および負の波長分散変動を、広範なスペクトル範囲で概略的に示す図である。

【図 2 4】狭いスペクトル範囲で図 2 3 の一部を概略的に示す部分拡大図である。

【符号の説明】

【0 0 5 7】

1 分散管理光ファイバー

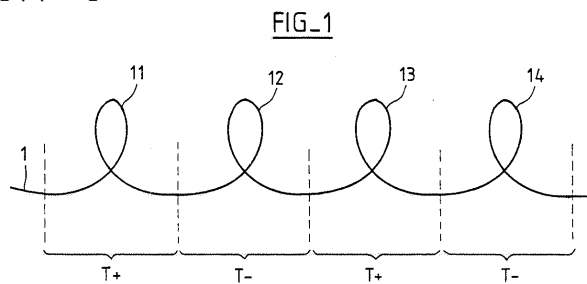
T +、T - 波長分散光ファイバー部分

$n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$ 、 $n_4$  屈折率差

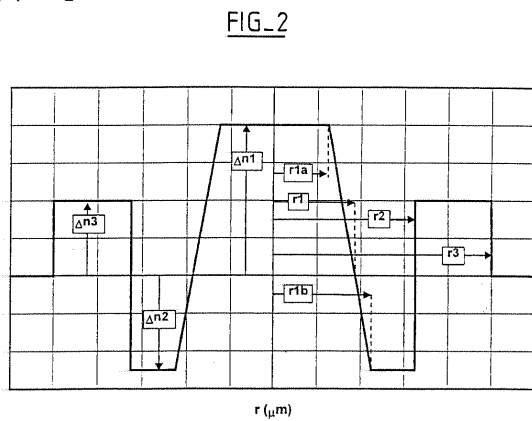
50

$r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_3$ 、 $r_4$ 、 $r_{1a}$ 、 $r_{1b}$  外側半径  
 $C$  波長分散  
 $C'$  波長分散勾配  
 $i$  屈折率  
 $VarRay$  パラメータ  
 $cth$  カットオフ  
 $S_{eff}$  有効面積  
 $S_{eff}$  有効面積の差  
 $C$  波長分散の差

【図 1】



【図 2】



【図 3】

FIG\_3

	$r_{1a}$ (μm)	$r_1$ (μm)	$r_{1b}$ (μm)	$r_2$ (μm)	$r_3$ (μm)	$10^3 \Delta n_1$	$10^3 \Delta n_2$	$10^3 \Delta n_3$
1i	2.81	2.81	2.81	5.27	7.03	9.50	-5.00	2.50
2i	3.19	3.19	3.19	5.74	7.98	9.00	-6.50	6.00
3i	2.85	2.85	2.85	5.56	7.12	9.00	-4.50	3.00
4i	3.19	3.19	3.19	5.32	8.86	8.50	-7.50	2.50
5i	3.05	3.05	3.05	5.09	8.49	9.50	-6.00	3.00
6i	2.94	2.94	2.94	6.33	9.17	9.00	-4.00	3.50
7i	2.96	2.96	2.96	5.56	7.41	10.00	-6.00	6.00
8i	3.09	3.09	3.09	5.10	7.73	10.00	-8.00	4.50
9i	2.96	2.96	2.96	5.67	8.22	9.50	-5.50	3.50
10i	3.12	3.12	3.12	5.62	7.80	9.50	-7.50	5.50

【 図 4 】

FIG\_4

	Var Ray (%)	$\lambda_{\text{eff}}$ nm	$2W_{02}$ $\mu\text{m}$	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$	$\lambda_0$ nm	C ps/nm-km	C' ps/nm <sup>2</sup> -km	PC <sub>1225</sub> dB 100 tours $\phi=60$ mm	$S_{\text{eff}}$
1a	0.91%	1146	6.74	35.4	1478	1.0	0.0100	<3.10 <sup>-4</sup>	0.37
1b	-0.91%	1018	6.76	35.5	1764	-1.0	0.0071	<2.10 <sup>-3</sup>	0.48
2a	0.85%	1808	7.11	41.3	1434	1.0	0.0040	<3.10 <sup>-7</sup>	0.23
2b	-0.85%	1778	7.14	41.7	1662	-1.0	0.0037	<2.10 <sup>-6</sup>	0.29
3a	2.78%	1051	6.92	37.4	1416	3.0	0.0139	<5.10 <sup>-4</sup>	0.43
3b	-2.78%	996	7.00	38.0	1815	-3.0	0.0060	<9.10 <sup>-2</sup>	1.00
4a	3.73%	1727	7.00	39.5	1336	5.0	0.0015	<6.10 <sup>-5</sup>	0.35
4b	-3.73%	1604	7.10	40.7	1835	-5.0	-0.0142	<8.10 <sup>-2</sup>	1.04
5a	4.75%	1801	6.96	38.7	1364	5.0	0.0148	<2.10 <sup>-10</sup>	0.11
5b	-4.75%	1639	7.10	40.0	1726	-5.0	0.0133	<10 <sup>-7</sup>	0.33
6a	3.90%	1849	6.98	38.4	1357	5.0	0.0064	<4.10 <sup>-6</sup>	0.25
6b	-3.90%	1711	7.09	39.6	1828	-5.0	-0.0118	<9.10 <sup>-3</sup>	0.74
7a	4.31%	1774	6.69	35.8	1352	5.0	0.0096	<6.10 <sup>-11</sup>	0.09
7b	-4.31%	1628	6.77	36.6	1787	-5.0	0.0020	<3.10 <sup>-4</sup>	0.26
8a	6.90%	1851	6.71	36.6	1314	8.0	0.0137	<9.10 <sup>-14</sup>	0.06
8b	-6.90%	1614	6.84	37.8	1785	-8.0	0.0061	<5.10 <sup>-4</sup>	0.29
9a	6.60%	1773	6.74	36.3	1321	8.0	0.0140	<3.10 <sup>-9</sup>	0.13
9b	-6.60%	1561	6.87	37.4	1853	-8.0	-0.0100	<9.10 <sup>-3</sup>	0.70
10a	6.80%	1866	6.73	37.1	1298	9.5	0.0116	<7.10 <sup>-11</sup>	0.27
10b	-6.80%	1615	6.87	38.6	1833	-9.5	-0.0108	<3.10 <sup>-3</sup>	0.60

【 図 6 】

FIG\_6

	Var Ray (%)	$\lambda_{\text{eff}}$ nm	$2W_{02}$ $\mu\text{m}$	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$	$\lambda_0$ nm	C ps/nm-km	C' ps/nm <sup>2</sup> -km	PC <sub>1225</sub> dB 100 tours $\phi=60$ mm	$S_{\text{eff}}$
11a	6.47%	1682	6.66	36.1	1310	8.0	0.0103	<2.10 <sup>-9</sup>	0.12
11b	-6.47%	1486	6.77	37.0	1866	-8.0	-0.0113	<7.10 <sup>-3</sup>	0.66
12a	6.49%	1836	6.62	34.9	1326	8.0	0.0131	<2.10 <sup>-10</sup>	0.09
12b	-6.49%	1621	6.74	35.8	1867	-8.0	-0.0153	<2.10 <sup>-3</sup>	0.51
13a	2.85%	1808	7.14	40.3	1405	3.0	0.0128	<4.10 <sup>-8</sup>	0.18
13b	-2.85%	1708	7.24	41.5	1689	-3.0	0.0124	<2.10 <sup>-5</sup>	0.36
14a	2.30%	1561	6.75	36.4	1371	3.0	0.0003	<5.10 <sup>-4</sup>	0.31
14b	-2.30%	1491	6.79	36.9	1874	-3.0	-0.0096	<6.10 <sup>-3</sup>	0.62
15a	0.88%	1806	6.86	36.7	1465	1.0	0.0070	<2.10 <sup>-4</sup>	0.15
15b	-0.88%	1774	6.88	36.9	1697	-1.0	0.0049	<2.10 <sup>-7</sup>	0.19

【 図 5 】

FIG\_5

	$r_{1a}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_{1b}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_{1c}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_{2a}$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_{2b}$ ( $\mu\text{m}$ )	$10^3\Delta n_1$	$10^3\Delta n_2$	$10^3\Delta n_3$
11i	2.98	3.11	3.21	5.08	7.53	9.45	-8.85	3.70
12i	2.54	3.02	3.28	6.05	7.90	9.95	-5.30	5.65
13i	2.80	3.09	3.22	5.85	8.36	9.20	-4.20	4.35
14i	2.79	3.07	3.29	5.39	7.38	9.15	-7.35	4.20
15i	2.43	3.08	3.35	5.69	8.82	10.00	-4.25	3.35

【 図 7 】

FIG\_7

	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1460 nm	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1500 nm	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1625 nm	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1675 nm	C ps/nm-km 1460 nm	C ps/nm-km 1500 nm	C ps/nm-km 1625 nm	C ps/nm-km 1675 nm	PC10nm dB/m 1500 nm	PC10nm dB/m 1625 nm	PC10nm dB/m 1675 nm	PC30nm dB/m 1500 nm	PC30nm dB/m 1625 nm	PC30nm dB/m 1675 nm
1a	31.5	33.1	39.6	43.1	0.4	0.4	1.5	1.7	<5	<5	<5	<110.5	<5.10.3	<0.01
1b	31.4	33.3	40.1	44.0	2.1	1.5	0.7	0.5	<10	<50	<150	<110.5	<5.10.3	<2
2a	36.3	38.3	47.2	52.2	0.4	0.7	1.4	1.9	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
2b	36.3	38.5	48.2	53.7	1.5	1.2	0.5	0.3	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
3a	33.4	35.0	41.6	45.2	1.2	2.2	3.8	4.1	<5	<50	<100	<110.5	<5.10.3	<0.05
3b	33.1	35.1	43.6	48.5	3.9	3.4	2.7	2.4	<50	<200	<600	<110.5	<5.10.3	<0.05
4a	35.6	37.2	43.9	47.8	4.1	4.7	4.7	4.2	<5	<50	<100	<110.5	<110.4	<2
4b	35.0	37.2	47.8	54.2	4.1	4.4	-6.0	-6.1	<50	<250	<600	<110.5	<5.10.3	<2
5a	34.8	36.4	42.8	46.2	3.3	4.2	5.9	6.5	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
5b	34.3	36.6	46.4	51.9	6.0	5.6	-3.7	-2.2	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
6a	34.6	36.1	42.7	46.4	3.7	4.5	5.0	4.7	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
6b	34.1	36.3	46.5	52.7	4.4	4.5	-5.8	-5.8	<20	<150	<600	<110.5	<5.10.3	<2
7a	32.4	33.8	39.5	42.6	3.6	4.4	5.5	5.7	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
7b	31.7	33.6	42.2	47.0	5.2	5.1	-4.7	-4.0	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
8a	33.5	34.8	39.9	42.6	6.2	7.2	8.7	9.0	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
8b	33.3	34.5	44.3	49.9	8.3	8.2	-7.1	-5.7	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
9a	33.2	34.5	39.6	42.3	6.1	7.1	8.6	8.7	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
9b	32.0	34.1	44.0	49.8	7.3	7.5	-8.5	-8.3	<15	<150	<600	<110.5	<5.10.3	<2
10a	34.0	35.2	40.1	42.8	7.7	8.7	9.9	9.9	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
10b	32.5	34.8	45.7	52.3	8.3	8.8	-9.9	-9.2	<15	<100	<600	<110.5	<5.10.3	<2

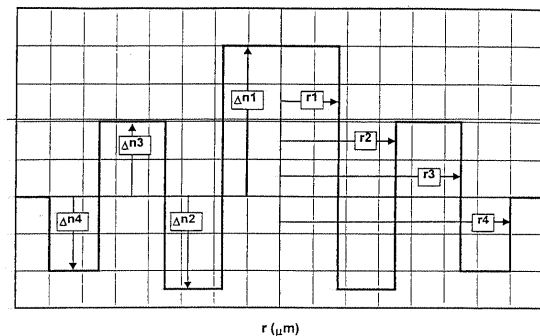
【 図 8 】

FIG\_8

	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1460 nm	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1500 nm	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1625 nm	$S_{\text{eff}}$ $\mu\text{m}^2$ 1675 nm	C ps/nm-km 1460 nm	C ps/nm-km 1500 nm	C ps/nm-km 1625 nm	C ps/nm-km 1675 nm	PC10nm dB/m 1500 nm	PC10nm dB/m 1625 nm	PC10nm dB/m 1675 nm	PC30nm dB/m 1500 nm	PC30nm dB/m 1625 nm	PC30nm dB/m 1675 nm
11a	31.8	33.9	43.4	49.1	7.1	7.4	8.6	8.5	<15	<100	<600	<0.00005	<0.05	<2.0
11b	31.0	32.0	38.1	40.7	6.1	7.1	8.6	8.5	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
12a	30.7	32.8	42.1	47.7	7.0	7.3	8.9	9.0	<10	<100	<200	<110.5	<110.4	<110.3
12b	35.8	37.7	45.3	49.5	1.5	2.3	3.9	4.6	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
13a	35.7	38.0	48.1	53.8	4.1	3.6	-1.8	-0.4	<5	<50	<100	<110.5	<110.4	<110.3
13b	32.7	34.2	40.6	44.3	2.3	2.8	2.7	2.3	<5	<50	<100	<110.5	<110.4	<110.3
14a	32.3	34.1	42.4	47.2	2.7	2.7	3.8	4.3	<15	<100	<600	<0.00005	<0.05	<2.0
14b	32.5	34.2	41.3	45.2	0.1	0.5	1.4	1.7	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3
15a	32.4	34.2	41.9	46.2	1.8	1.3	-0.7	-0.3	<5	<50	<50	<110.5	<110.4	<110.3

FIG\_9

FIG\_10



FIG\_11

	$r_1$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_2$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_3$ ( $\mu\text{m}$ )	$r_4$ ( $\mu\text{m}$ )	$10^3\Delta n_1$	$10^3\Delta n_2$	$10^3\Delta n_3$	$10^3\Delta n_4$
16i	2.74	6.93	11.70	14.44	9.50	-2.50	3.00	-4.50
17i	3.06	4.90	11.04	12.24	9.80	-6.80	2.21	-3.59
18i	3.21	5.70	9.13	13.44	8.86	-7.70	5.00	-3.00
19i	2.90	6.21	11.17	13.79	9.50	-3.50	3.00	-3.50
20i	3.29	5.74	10.40	11.95	8.00	-6.50	3.00	-3.50
21i	3.00	5.57	11.14	14.29	9.50	-4.00	3.00	-5.00
22i	2.67	6.32	12.22	14.05	9.50	-3.00	1.50	-5.00
23i	2.78	6.36	11.13	13.25	9.50	-4.00	2.50	-4.50
24i	3.29	5.74	10.40	11.96	8.00	-6.50	3.00	-3.50
25i	3.07	5.87	10.67	13.34	9.30	-5.80	3.80	-7.60

FIG\_12

【 図 1 3 】

[illegible]



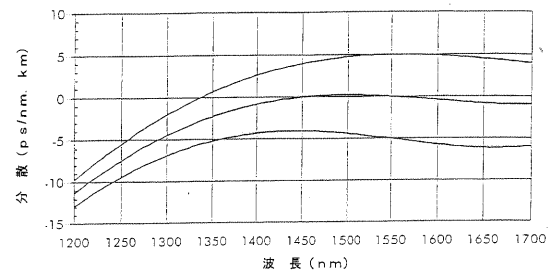
【図 14】

FIG-14

	$S_{eff}$	$S_{eff}$	$S_{eff}$	$\Delta S_{eff}$	C	C	C	C	C	AC
	$\mu m^2$	$\mu m^2$	$\mu m^2$	$\mu m^2$	ps/nm-km 1460 nm	ps/nm-km 1460 nm	ps/nm-km 1460 nm	ps/nm-km 1460 nm	ps/nm-km 1460 nm	ps/nm-km 1460 nm
	1460 nm	1500 nm	1625 nm	1675 nm	1460 nm	1460 nm	1460 nm	1460 nm	1460 nm	1460 nm
16m	33.4	35.2	43.2	47.7	9.8	-1.02	-0.41	0.30	0.67	1.3
17m	32.8	34.5	41.8	45.9	9.0	-0.98	-0.46	0.65	1.33	1.6
18m	35.8	37.9	47.3	52.7	11.6	-0.66	-0.35	0.94	2.13	1.6
19m	33.9	35.8	44.0	48.7	10.1	-0.87	-0.37	0.50	1.15	1.4
20m	38.4	40.7	51.2	57.5	12.8	-0.12	0.04	0.00	0.47	0.1
21m	35.3	37.3	45.9	50.7	10.6	-1.25	-0.65	1.20	2.48	2.5
22m	31.8	33.5	40.6	44.6	8.8	-1.33	-0.58	0.43	0.66	1.8
23m	31.5	33.1	40.2	44.4	8.8	-0.53	-0.12	-0.28	-0.45	0.2
24m	38.5	40.8	51.4	57.7	12.9	-0.19	-0.01	0.11	0.65	0.3
25m	34.3	36.3	45.0	49.9	10.7	-0.87	-0.47	1.11	2.39	2.0

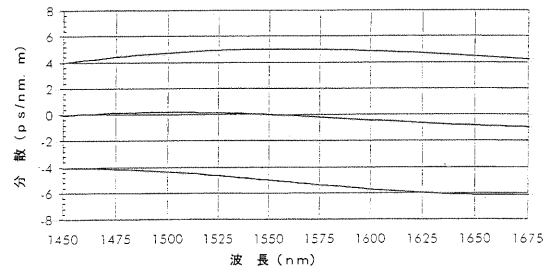
【図 15】

FIG-15



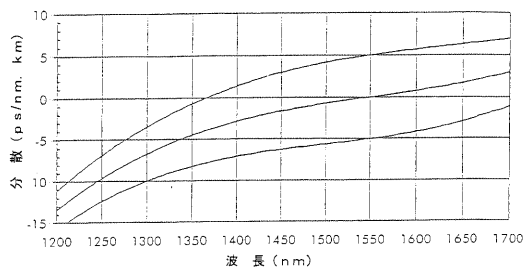
【図 16】

FIG-16



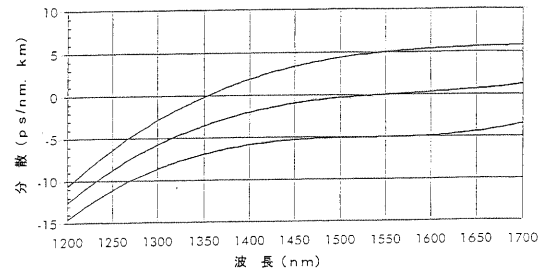
【図 17】

FIG-17



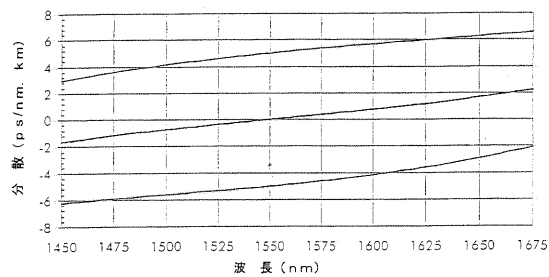
【図 19】

FIG-19



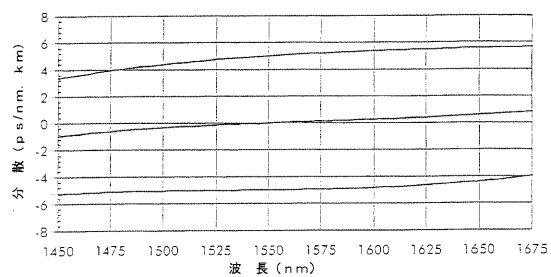
【図 18】

FIG-18



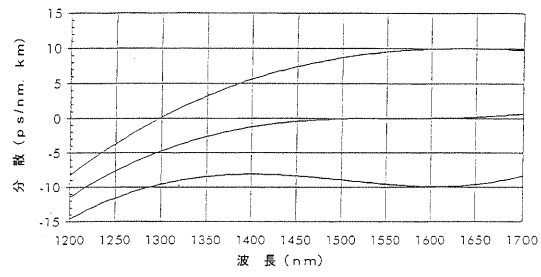
【図 20】

FIG-20



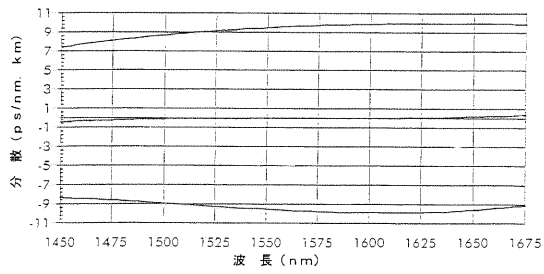
【図 2 1】

FIG-21



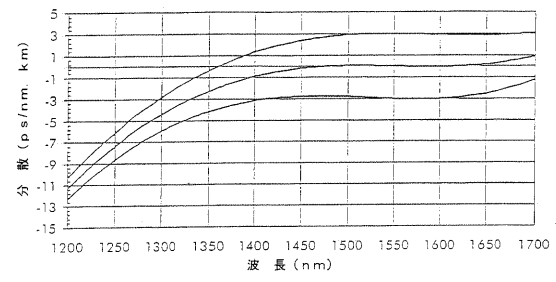
【図 2 2】

FIG-22



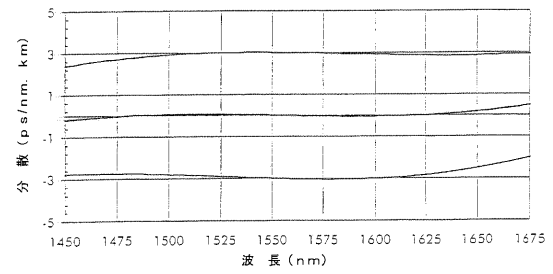
【図 2 3】

FIG-23



【図 2 4】

FIG-24



---

フロントページの続き

- (72)発明者 ピエール・シラール  
フランス国、7 8 1 5 0 ・ル・シエスネ、スクワール・ラファエル・2、レジダンス・オルセー
- (72)発明者 リヨネル・プロボスト  
フランス国、9 1 4 6 0 ・マルクシス、シュマン・ドユ・ムラン・5 4
- (72)発明者 フロラン・ボーモン  
フランス国、7 8 7 0 0 ・コンフラン・サント・オノリヌ、アブニユ・アルフレード・ベルナール、1 8
- (72)発明者 リュドビック・フルリー  
フランス国、7 8 3 9 0 ・ボワ・ダルシー、リュ・ジャン・ラシーヌ、1 7、レジダンス “ラ・フォレ”
- (72)発明者 マキシム・ゴルリエ  
フランス国、7 5 0 0 8 ・パリ、ブールバール・ドウ・クルセル、8 7
- (72)発明者 ドウニ・モラン  
フランス国、7 8 1 5 0 ・ル・シエスネ、スクワール・エブル・4、レジダンス・ブルトウイユ
- (72)発明者 ルイ・アンヌ・ドウ・モンモリオン  
フランス国、7 5 0 1 7 ・パリ、リュ・トリュフォー、3 2
- (72)発明者 パスカル・ヌキ  
フランス国、7 8 6 0 0 ・メゾン - ラフィット、アブニユ・ボシユ・2
- F ターム(参考) 2H050 AC09 AC14 AC15 AC28 AC29 AC71 AC73 AC76 AC81 AD00