

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4065716号
(P4065716)

(45) 発行日 平成20年3月26日 (2008. 3. 26)

(24) 登録日 平成20年1月11日 (2008. 1. 11)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 6/036 (2006. 01)

G O 2 B 6/22

請求項の数 7 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2002-125109 (P2002-125109)	(73) 特許権者	302003314
(22) 出願日	平成14年4月26日 (2002. 4. 26)		フルカワ エレクトリック ノース アメ
(65) 公開番号	特開2002-365464 (P2002-365464A)		リカ インコーポレーテッド
(43) 公開日	平成14年12月18日 (2002. 12. 18)		アメリカ合衆国 3 0 0 7 1 ジョージア
審査請求日	平成15年3月12日 (2003. 3. 12)		, ノアクロス, ノースイースト エクスプ
(31) 優先権主張番号	09/844643		レスウェイ 2 0 0 0
(32) 優先日	平成13年4月27日 (2001. 4. 27)	(74) 代理人	100064447
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 岡部 正夫
		(74) 代理人	100085176
			弁理士 加藤 伸晃
		(74) 代理人	100106703
			弁理士 産形 和央
		(74) 代理人	100096943
			弁理士 臼井 伸一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 有効面積の広い正分散光ファイバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光ファイバ (50、55) であって、
 屈折率 n_1 を有するドープ・コア領域 (51、56) と、
 屈折率 n_2 を有するクラッド領域 (54、59) と、
 ドープ・コア領域とクラッド領域との間でドープ・コア領域に隣接する、屈折率 n_3 を有する第1の領域 (52、57) と、
 ドープ・コア領域とクラッド領域との間で第1の領域に隣接する、屈折率 n_3 よりも小さい屈折率 n_4 を有する第2の領域 (53、58) とを含み、
 $0.14\% < (n_1 - n_2) / n_2 < 0.31\%$ 、 $-0.19\% < (n_3 - n_2) / n_2 < -0.02\%$ 、および $-0.20\% < (n_4 - n_2) / n_2 < -0.08\%$ であり、
 そして、

前記ドープ・コア領域の半径が約 $6.0 \mu\text{m}$ から約 $6.4 \mu\text{m}$ までの範囲内にあり、前記第1の領域の幅が約 $2.0 \mu\text{m}$ から約 $4.1 \mu\text{m}$ までの範囲内にあり、そして前記第2の領域の幅が約 $15.0 \mu\text{m}$ から約 $35.0 \mu\text{m}$ までの範囲内にあることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】

波長 1550 nm における光ファイバの色分散の大きさが $20 \pm 2.0 \text{ ps} / (\text{nm} \cdot \text{km})$ より大きいことを特徴とする請求項1に記載のファイバ。

【請求項 3】

10

20

波長 1550 nm における光ファイバの分散傾斜が $0.062\text{ ps}/(\text{nm}^2 - \text{km})$ より小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のファイバ。

【請求項 4】

波長 1550 nm における光ファイバのモード・フィールド径 (MFD) が $11.64\text{ }\mu\text{m}$ より大きいことを特徴とする請求項 1 に記載のファイバ。

【請求項 5】

波長 1550 nm における光ファイバの有効コア面積 A_{eff} が $100.0\text{ }\mu\text{m}^2$ より大きいことを特徴とする請求項 1 に記載のファイバ。

【請求項 6】

第 2 のクラッド領域の周囲に形成された、少なくとも 1 層の被覆層をさらに含むことを特徴とする請求項 1 に記載のファイバ。

10

【請求項 7】

光ファイバの相対分散傾斜 (RDS) が 0.00310 nm^{-1} より小さいことを特徴とする請求項 1 に記載のファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、正分散光ファイバに関し、より詳細には、有効面積の広い伝送特性の改善された正分散光ファイバに関する。

【0002】

20

【従来の技術】

光ファイバは、比較的大量の情報を含む光信号を、長距離にわたって、比較的小さい減衰で伝送することができる、細いガラス繊維またはプラスチック繊維である。通常、光ファイバは、ガラスまたは他の適切な材料からなる保護クラッド領域に囲まれた屈折コア領域を含む光プリフォームの一部を加熱し、引き出すことによって作られている。プリフォームから引き出された光ファイバは、通常、クラッド領域に加えられた 1 層または複数層の被覆でさらに保護されている。

【0003】

光ファイバの伝送特性を改善するための努力の一環として、波長分割多重 (WDM) システムが使用されている。一般的には、WDM システムは、各チャネルが異なる波長で動作する複数の情報チャネルを単一ファイバ上に多重化している。チャネル間の固有非直線性相互作用効果 (例えば、4 光子混合) を除去するために、多くの WDM システム構造は、(負の) 分散補償ファイバと連結した正分散ファイバを含む分散補償構造を備えている。正分散ファイバは、通常、チャネル間の非線形相互作用を軽減するために、分散量の少ない単一モード・ファイバを備えている。分散補償ファイバには、もたらされた分散を軽減し、分散を累積させないために、負の分散を持たせる傾向がある。

30

【0004】

しかし分散補償ファイバには、非分散補償ファイバより信号が大きく減衰する傾向があるため、分散補償構造の総合減衰を緩和するためには、正分散ファイバの損失を比較的小なくすることが望ましい。低損失正分散光ファイバは、従来から存在している。このようなファイバには、例えば住友電気工業 (株) 製の低損失純石英コア・ファイバがある。

40

【0005】

しかし、上で参照した製品の中に開示されている光ファイバは、コア領域が、例えば二酸化ゲルマニウム (GeO_2) がドープされた石英で作られている、より従来型の光ファイバではなく、純石英コア領域を有していることに留意すべきである。例えば、純石英は、Ge がドープされた石英より加工が困難であり、したがって高価であるため、通常、純石英コア領域を有する光ファイバは、 GeO_2 またはその他がドープされたコア・ファイバより高価である。また、純石英コア・ファイバには、低下屈折率クラッド、例えばコアとクラッドの不整合特性に関連する固有の困難性があり、ファイバ引出しプロセスをより困難にしている。

50

【0006】

したがって、従来の純石英コア・ファイバの製造および経済性の制限に無関係に、上で考察した望ましい伝送特性を有する、比較的広い有効面積を有する非ゼロ正分散光ファイバを始めとする光ファイバを有することが望ましい。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

したがって本発明の目的は、有効面積の広い正分散光ファイバを提供することである。

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明は、屈折率が n_1 のドープ・コア領域と、屈折率が n_2 のクラッド領域と、ドープ・コア領域とクラッド領域の間に形成された第1および第2の環状リング、すなわち屈折率がそれぞれ n_3 および n_4 の領域とを含む正分散光ファイバの中に具体化されている。各領域は、屈折率の値の範囲が、 $0.14 < (n_1 - n_2) / n_2 < 0.31$ 、 $-0.19 < (n_3 - n_2) / n_2 < -0.02$ 、および $-0.20 < (n_4 - n_2) / n_2 < -0.08$ になるように製造されている。コア領域には、例えばゲルマニウムまたは他の適切な物質がドープされている。第1および第2の領域には、例えばフッ素または他の適切な物質がダウン・ドープされている。クラッド領域は、例えば純石英である。本発明の実施形態による正分散ファイバは、波長 $1,550\text{ nm}$ において、 20 ± 2.0 ピコ秒（ナノメートルキロメートル）を超える色分散を有し、かつ、分散傾斜が $0.062\text{ ps} / (\text{nm}^2 - \text{km})$ より小さくなっている。また、ファイバのモード・フィールド径（MFD）は、少なくとも 11.9 ± 0.7 ミクロン（ μm ）である。また、本発明の実施形態による光ファイバは、例えば $100.0\text{ }\mu\text{m}^2$ を超える比較的広い有効コア面積 A_{eff} を有し、かつ、 0.0032 nm^{-1} 未満の相対分散傾斜（RDS）を有している。光ファイバの製造には、幅が約 $6.0\text{ }\mu\text{m}$ から約 $6.4\text{ }\mu\text{m}$ までのコア領域、幅が約 $2.0\text{ }\mu\text{m}$ から約 $4.1\text{ }\mu\text{m}$ までの第1の環状領域、および幅が約 $15.0\text{ }\mu\text{m}$ から約 $35.0\text{ }\mu\text{m}$ までの第2の環状領域の製造が含まれている。本発明の実施形態による光ファイバにより、従来のファイバの製造および経済性の制限による負担を負うことなく、例えば比較的広い有効コア面積および比較的小さい伝送損失などの所望の伝送特性が、所望の周波数（例えば $1,550\text{ nm}$ ）で提供される。

【0009】

【発明の実施の形態】

光ファイバが商業的に有用であるためには、多数の光ファイバ設計配慮が必要である。一般的には、ファイバは、伝送損失が小さく、また、極端に損失することなく、ある程度の曲げ量に耐えることができ、所定の全波長範囲にわたって分散が一定であり、分散傾斜が比較的緩やかであり、かつ、システム波長での単一モード伝送に適した遮断波長を有していることが望ましい。伝送損失の小さい高品質ガラス材が開発されているが、商業的に有用な光ファイバに所望の特徴のすべてを満たすには、高品質ガラス材だけでは不十分である。

【0010】

所望の多くの特徴は、例えば、中心軸からの距離の関数として光ファイバの屈折率が如何に変化するかを示す、光ファイバの屈折率プロファイルによって処理される。屈折率プロファイルを説明するために使用されているパラメータは、一般的にガラスの最外層の屈折率で表されている。通常、屈折率プロファイルの理想化モデルは、軸に対して対称のリング、すなわち屈折率が異なる領域を備えているが、これらの領域の任意の1つの数、大きさ、および／または形状が変化すると、一般的には光ファイバの複数の特徴に影響が及ぶことになる（例えば分散傾斜が緩やかになるが、伝送損失が増加する）。したがって、すべてではないとしても、所望の特徴のほとんどを提供し、かつ、製造が容易な屈折率プロファイルを生成することは、重要な設計努力である。

【0011】

光ファイバの帯域幅は、分散を始めとする多くの要因に影響される。例えば多モード・フ

ファイバの場合、モード分散により、ファイバの一端から入った光のパルスが、ファイバの他端を出る際に広がってしまう結果となる。モード分散は、多モード・ファイバが、特定の波長の多くの異なるモード（経路）をサポートすることによって生じ、異なるモードがファイバの他端で結合されると、最終的な結果として、入力パルスが広がることになる。通常、モード分散は、望ましくない分散である。また、分散という用語は、通常、色分散すなわち「線形」分散を意味している。従来、分散の符号は、短波長放射の速度が長波長放射の速度より速い場合、正である。

【0012】

単一モード・ファイバは、特定の波長の基本モード（ LP_{01} ）のみをサポートするために設計された光ファイバである。多モード・ファイバよりはるかに広い帯域幅を有する単一モード・ファイバは、帯域幅の広さに比例して、より速い伝送速度で光信号を伝送しているが、それにもかかわらず、コア半径（ a ）、屈折率（ n ）、および極わずかなコア／クラッド屈折率差（ Δ ）によって決まる LP_{11} 遮断波長より短い波長に対しては、多モード・ファイバであるかのように挙動している。 Δ および a が小さくなるほどモード伝搬が少なくなり、最終的にただ1つのモードのみが、 LP_{11} 遮断波長より長い波長で伝搬するようになる。したがって LP_{11} 遮断波長は、適切な量だけ、伝送すべき波長より短くしなければならない。

【0013】

ここで図1を参照すると、例えば、本発明の実施形態が有効な被覆光ファイバ10が示されている。光ファイバ10は、光搬送コア領域12、およびコア領域12を取り囲んでいるクラッド領域14を含んでいる。本明細書において既に考察したように、通常、コア領域12およびクラッド領域14はガラスでできており、典型的にはガラス・プリフォームから引き出されている。

【0014】

コア領域12の直径は、単一モード・ファイバの場合、約 $5\ \mu\text{m}$ ～ $8\ \mu\text{m}$ であり、また、多モード・ファイバの場合は、約 $50\ \mu\text{m}$ または $62.5\ \mu\text{m}$ である。コア領域12の直径は、ファイバが単一モードであるか、あるいは多モードであるかによって変化するが、コア領域12を取り囲んでいるクラッド領域14の全体の直径は、通常、約 $125\ \mu\text{m}$ である。

【0015】

クラッド領域14は、保護および強化のために、1層または複数層の被覆、例えば一次被覆層16および二次被覆層18で覆われており、その結果、全体の外径が、通常、約 $250\ \mu\text{m}$ ～ $1,000\ \mu\text{m}$ になっている。二次被覆層18は、取扱いに耐えることができるよう、一般的に比較的弾性率が大きく、例えば $10^9\ \text{Pa}$ である。一次被覆層16の弾性率は比較的小さく、例えば $10^6\ \text{Pa}$ であり、マイクロベンディング損失を低減するクッションを提供している。

【0016】

次に図2を参照すると、例えば図1に示す光ファイバ10のような光ファイバの色分散が、グラフで示されている。詳細には、図2は、総合分散フラット特性23が、材料分散21と導波路分散22の付加結合を介して、如何に生成されるかをグラフで示したものである。通常、分散フラット・ファイバは、例えば $1,400\ \text{nm}$ および $1,700\ \text{nm}$ の2つの波長において零分散である。

【0017】

材料分散21は、光ファイバを製造するために使用している実際の材料に関連している。図2では、材料分散21は、石英ガラスに関連している。導波路分散22は、ファイバの屈折率プロファイルの関数である。材料分散とは異なり、導波路分散は、設計技術者による制限範囲内で影響を受ける。色分散を $1,400\ \text{nm}$ ～ $1,700\ \text{nm}$ に及ぶ広範囲の波長領域にわたって低減する分散フラット・ファイバの設計には、総合分散フラット特性23をもたらした特定の屈折率プロファイルが使用されている。

【0018】

次に図 3 a を参照すると、ファイバ 3 0 の導波路分散特性を修正するために、それぞれ異なる屈折率を有する複数の層 3 1、3 2、3 3 および 3 4 の構成を示す、非被覆ガラス・ファイバ 3 0 の横断面が示されている。層 3 1 ~ 3 4 は、屈折率が層と層の間で急激に変化していることを示しているが、場合によっては、必ずしもそうなるとは限らない。通常は、グレーデッド・インデックス・ファイバになるように、隣接する層には、隣接する層と層の間の屈折率が徐々に変化する屈折率を使用されているが、本発明の実施形態に対する理解を容易にするために、急激な変化が示されている。本発明の実施形態がグレーデッド・インデックス・ファイバを意図していることを理解されたい。

【0019】

光ファイバ 3 0 は、公称屈折率が n_1 の中心コア領域 3 1 を備えている。中心コア領域 3 1 は、公称屈折率が n_3 の第 1 の環状リングすなわち領域 3 2 に囲まれている。第 1 の領域 3 2 は、公称屈折率が n_4 の第 2 の環状リングすなわち領域 3 3 に囲まれている。公称屈折率が n_2 の外部クラッド 3 4 が第 2 の領域 3 3 を囲んでいる。図 3 a が非スケールで表されていることに留意すべきである（例えば単一モード・ファイバの場合、クラッド層 3 4 の直径は、約 $125 \mu\text{m}$ であり、中心コア領域 3 1 の直径は、約 $8 \mu\text{m}$ である）。

【0020】

次に図 3 b を参照すると、屈折率プロファイル、例えば図 3 a に示すファイバ 3 0 の構成と類似の構成を有するファイバの屈折率プロファイルが示されている。屈折率の実際の値を用いて屈折率プロファイルをグラフ化するより、屈折率プロファイルを、 $\Delta_1 = (n_1 - n_2) / n_2 \times 100\%$ 、 $\Delta_2 = (n_3 - n_2) / n_2 \times 100\%$ 、および $\Delta_3 = (n_4 - n_2) / n_2 \times 100\%$ で定義される正規化屈折率差 Δ_1 、 Δ_2 および Δ_3 の関数として示す方が便利かつ習慣的である。屈折率プロファイルに関しては、図 3 a の第 1 の領域 3 2 に対応する領域の外半径は a_2 であり、内半径は a_1 である。第 2 の領域 3 3 に対応する領域の外半径は a_3 であり、内半径は a_2 である。この特定の従来構成では、 $\Delta_1 = 0.65$ 、 $\Delta_2 = -0.25$ 、および $\Delta_3 = 0.10$ である。また、この特定の従来構成では、 $a_1 = 3.4 \mu\text{m}$ 、 $a_2 = 5.2 \mu\text{m}$ 、および $a_3 = 7.2 \mu\text{m}$ である。したがって第 1 の領域 3 2 の幅は $1.8 \mu\text{m}$ ($5.2 \mu\text{m} - 3.4 \mu\text{m}$) であり、第 2 の領域 3 3 の幅は $2.0 \mu\text{m}$ ($7.2 \mu\text{m} - 5.2 \mu\text{m}$) である。

【0021】

通常、図 3 b に示す屈折率プロファイルは、ゲルマニウムまたは他の適切な物質がドーピングされた石英コア、フッ素または他の適切な物質がドーピングされた第 1 の環状リングすなわち領域、ゲルマニウムまたは他の適切な物質がドーピングされた第 2 の環状リングすなわち領域、および純石英外部クラッドを備えている。通常、石英にゲルマニウムまたは類似の物質をドーピングすることにより、ドーピング材の屈折率が大きくなり、また、石英にフッ素または類似の物質をドーピングすることにより、ドーピングされた材料の屈折率が小さくなる。

【0022】

通常、図 3 b に示す石英コアは、例えばゲルマニウム・ドーピング領域であるが、光ファイバのコア領域を純石英製にすることも可能である。第 1 および第 2 の環状領域、およびクラッド領域は、例えば異なるドーピング準位のフッ素または他の適切な物質を使用することにより、屈折率の小さい準位を有している。例えば、図 4 a および 4 b を参照すると、非被覆ガラス・ファイバ 4 0、例えば住友電気工業（株）製の純石英コア・ファイバの横断面図（図 4 a）、および対応する屈折率プロファイル（図 4 b）が示されている。この従来構成では、光ファイバ 4 0 は、公称屈折率が n_3 の第 1 の環状リング 4 2 に囲まれた、屈折率が n_1 の中心コア領域 4 1 を備えている。第 1 の環状リング 4 2 は、公称屈折率が n_4 の第 2 の環状リング 4 3 に囲まれている。第 2 の環状リング 4 3 は、公称屈折率が n_2 の外部クラッド 4 4 に囲まれている。さらに詳細には、この特定の構成では、 n_1 、 n_2 、 n_3 および n_4 の値は、 $\Delta_1 = 0.26\%$ および $\Delta_2 = 0.08\%$ になるような値になっている。また、 b_1 に対する b_2 の比率は 2.5 である。

【0023】

従来の多くの光ファイバ屈折率プロファイルは、ゲルマニウム・ドーピング石英コア、1 層ま

10

20

30

40

50

たは複数層のフッ素ドーブ中間層、および純石英外部クラッドからなる従来のコア・プロファイルを有しているが、図4 aおよび4 bに示す住友製ファイバの屈折率プロファイルは、純石英コア、フッ素ドーブ中間層、およびフッ素ドーブ外部クラッドからなっている。中間層の屈折率(n_3)は、外部クラッドの屈折率(n_2)より小さく、したがって中間層は、外部クラッドより高濃度にフッ素がドーブされている。しかし、本明細書において既に考察したように、純石英コアを有する光ファイバには多数の欠点がある。例えば、純石英は、ドーブされた石英より加工が困難であり、したがって高価である。また、フッ素ドーブ・クラッドの製造は、さらに困難である。例えば、純石英コア・ファイバに匹敵するロッド・イン・チューブ(RIT)オーバクラッド・チューブは、製造および／または入手がさらに困難であり、したがってさらに高価である。つまり、フッ素または他の適切な物質が(ダウン)ドーブされたオーバクラッド・チューブは、例えば、より従来型のゲルマニウム・ドーブ石英コアと共に使用される純石英オーバクラッド・チューブより入手が困難である。

10

【0024】

次に図5 aおよび5 bを参照すると、本発明の実施形態による光ファイバ50の横断面図(図5 a)、および対応する屈折率プロファイル(図5 b)が示されている。本発明によるプロファイルは、ドーブ石英コア領域51、屈折率がコア領域の屈折率より小さい第1の環状リングすなわち領域52、屈折率が第1の領域の屈折率より小さい第2の環状リングすなわち領域53、および屈折率が第1および第2の領域の屈折率より大きく、かつ、コア領域の屈折率より小さい外部クラッド54を備えている。第1の領域(環状リング)の外半径は c_2 であり、内半径は c_1 である。第2の領域(環状リング)の外半径は c_3 であり、内半径は c_2 である。例えば、ファイバ・プロファイルは、ゲルマニウム・ドーブ石英コア、コア領域を取り囲む第1のフッ素ドーブ領域、第1の領域を取り囲む第2のフッ素ドーブ領域、および第2の領域を取り囲む純石英外部クラッドからなる構成を表している。別法としては、コア領域にゲルマニウムおよびフッ素が共ドーブされ、あるいは他の適切な共ドーパントが共ドーブされる。また、別法としては、第1および第2の領域の一方または両方にコア領域にゲルマニウムおよびフッ素が共ドーブされ、あるいは他の適切な共ドーパントが共ドーブされる。

20

【0025】

本発明の実施形態によれば、本発明による屈折率プロファイルにより、例えば上で考察したような、従来の同様のファイバが有する欠点のない、比較的広い有効伝送面積(すなわち有効コア面積 A_{eff})を有し、かつ、少なくとも従来のファイバと同程度の望ましい伝送特性を有する正分散光ファイバが提供される。例えば、図5 aに示す本発明の実施形態によれば、 $\Delta_1 = 0.303$ 、 $\Delta_2 = -0.026$ 、および $\Delta_3 = -0.075$ である。また、この特定の構成では、 $c_1 = 6.343 \mu m$ 、 $c_2 = 8.343 \mu m$ 、および $c_3 = 23.343 \mu m$ である。したがって第1の環状リングの幅は $2.000 \mu m$ ($8.343 \mu m - 6.343 \mu m$)であり、第2の環状リングの幅は $15 \mu m$ ($23.343 \mu m - 8.343 \mu m$)である。

30

【0026】

また、図6 aおよび6 bを参照すると、本発明の他の実施形態による光ファイバ55の横断面図(図6 a)、および対応する屈折率プロファイル(図6 b)が示されている。上で考察した本発明の実施形態のプロファイルと同様、図6 aおよび6 bに示すファイバ・プロファイルは、ドーブ石英コア56、屈折率がコア領域の屈折率より小さい第1の領域57、屈折率が第1の領域の屈折率より小さい第2の領域58、および屈折率が第1および第2の領域の屈折率より大きく、かつ、コア領域の屈折率より小さい外部クラッド59を有している。また、第1の領域57の外半径は d_2 であり、内半径は d_1 である。第2の領域58の外半径は d_3 であり、内半径は d_2 である。図5 bに示すように、 $\Delta_1 = 0.148$ 、 $\Delta_2 = -0.187$ 、および $\Delta_3 = -0.200$ である。また、この特定の構成では、 $d_1 = 6.00 \mu m$ 、 $d_2 = 10.013 \mu m$ 、および $d_3 = 29.013 \mu m$ である。したがって第1の領域の幅は $4.013 \mu m$ ($10.013 \mu m - 6.00 \mu m$)

40

50

であり、第2の領域の幅は $19.000\mu\text{m}$ ($29.013\mu\text{m} - 10.013\mu\text{m}$)である。

【0027】

本発明の実施形態についての以上の考察においては、特定の値が開示されているが、本発明の実施形態によれば、上で説明したファイバ品質は、

$$0.14 < \Delta_1 < 0.31$$

$$-0.19 < \Delta_2 < -0.02$$

$$-0.20 < \Delta_3 < -0.08$$

である Δ_1 、 Δ_2 および Δ_3 の範囲のすべての値に対して得ることができることに留意されたい。また、この方式によれば、例えばコア領域の半径は、約 $6.0\mu\text{m}$ と約 $6.4\mu\text{m}$ の間であり、第1の領域の幅は、約 $2.0\mu\text{m}$ と約 $4.1\mu\text{m}$ の間、また、第2の領域の幅は、約 $15.0\mu\text{m}$ と約 $35.0\mu\text{m}$ の間である。したがって c_1 および/または d_1 の値は、約 $6.0\mu\text{m}$ と約 $6.4\mu\text{m}$ の間であり、 c_2 および/または d_2 の値は、約 $8.0\mu\text{m}$ と約 $10.5\mu\text{m}$ の間、また、 c_3 および/または d_3 の値は、約 $23.0\mu\text{m}$ と約 $45.5\mu\text{m}$ の間である。

【0028】

本発明の実施形態によるファイバ構成は、波長 $1,550\text{nm}$ において、 $20 \pm 0.2\text{ps}/(\text{nm} - \text{km})$ を超える大きさの色分散、および $0.062\text{ps}/(\text{nm}^2 - \text{km})$ 未満の分散傾斜を有している。さらに、このようなファイバ構成は、波長 $1,550\text{nm}$ において、少なくとも約 $11.9 \pm 0.7\mu\text{m}$ のモード・フィールド径(MFD)を有し、また、波長 $1,550\text{nm}$ における有効コア面積 A_{eff} は、 $100\mu\text{m}^2$ より大きくなっている(例えば $106\mu\text{m}^2$)。また、分散傾斜($1,550\text{nm}$ における)を分散($1,550\text{nm}$ における)で割った相対分散傾斜(RDS)は、 0.0032nm^{-1} 未満である。

【0029】

本発明の実施形態による正分散光ファイバのための仕様表が開発されているが、表は、許容可能なファイバの全範囲を画定することを意図したものではなく、単に説明用のものであるに過ぎない。

実例ファイバ仕様表

有効コア面積 (A_{eff})	$>100\mu\text{m}^2$ (平均)
1,550nmにおける分散	$20 \pm 0.2\text{ps}/(\text{nm} - \text{km})$
分散傾斜	$<0.062\text{ps}/(\text{nm}^2 - \text{km})$ (平均)
相対分散傾斜 (RDS)	$<0.0032\text{nm}^{-1}$ (平均)
1,550nmにおける減衰	$\leq 0.192\text{dB}/\text{km}$ (平均)
モード・フィールド径	$\geq 11.9 \pm 0.7\mu\text{m}$ (1,550nm)
遮断波長 (λ_c)	$<1,530\text{nm}$ (基準長2m)
マクロベンディング	$<0.45\text{dB}/\text{km}$ (16mm)
	1,550nmにて $<0.033\text{dB}$ (1回転、20mm)
マイクロベンディング	$<0.043\text{dB}/\text{km}$
	1,550nmにて $<0.001\text{dB}$ (100回転、50mm)

【0030】

次に図7を参照すると、本発明の実施形態が有効な光システム60の簡易図が示されている。光通信システム60は、例えば1, 530nm~1, 565nmの範囲の波長を異なるベースバンド信号で変調する、1つまたは複数の光源すなわちトランスミッタ62を備えている。変調された波長は、例えばマルチプレクサ63または他の適切な結合器を介して結合され、組合せファイバ伝送線路64_aおよび64_bに導かれる。組合せファイバ伝送線路間には、例えば光増幅器66が含まれている。組合せファイバ伝送線路64_aおよび64_bは、例えば、本発明の実施形態による光ファイバ（例えばファイバ伝送線路64_a）、および分散補償ファイバ（例えばファイバ伝送線路64_b）などの正分散ファイバを含んだ分散補償構造を備えている。伝送された光チャネルは、レシーバ端で、例えばデマルチプレクサ67によって、その波長に応じて分割され、レシーバ68によって処理されて個々のベースバンド信号が抽出される。

10

【0031】

本明細書において説明した光ファイバの実施形態に対して、特許請求の範囲の各クレームによって定義されている本発明の精神および範囲、およびそれらと等価のすべての範囲を逸脱することなく、多くの変更および置換を加えることができることは、当分野の技術者には明らかであろう。このような変更および置換には、他にもあるが、隣接する層と層の間に漸減する屈折率プロファイル（例えばグレーデッド・インデックス・プロファイル）、層の幅の変化、同一汎用プロファイル形状を実現するための異なるドーパ物質の使用、および塑性物質（ガラス以外）を使用した光ファイバの製造などが含まれる。また、多くの実用ファイバには、ファイバの製造に使用される製造プロセスにより、ファイバの中心に屈折率低下が存在していることに留意すべきである。本明細書におけるいくつかの図は、理想化したプロファイルを示しているが、本発明の実施形態が、このような中心低下を意図していることを理解されたい。

20

【図面の簡単な説明】

【図1】被覆光ファイバの斜視図である。

【図2】材料分散成分および導波路分散成分を示す、分散フラット光ファイバの波長を関数とした総合色分散のグラフである。

【図3a】異なる屈折率材の複数の層を示す、非被覆光ファイバの横断面図である。

【図3b】図3aに示す光ファイバの屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図4a】異なる屈折率をもつ材料の複数の層を示す、他の非被覆光ファイバの横断面図である。

30

【図4b】図4aに示す光ファイバの屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図5a】異なる屈折率をもつ材料の複数の層を示す、本発明の実施形態による光ファイバの横断面図である。

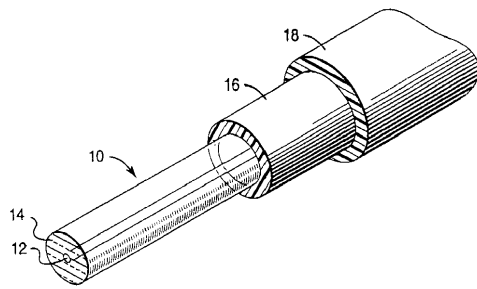
【図5b】図5aに示す光ファイバの屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図6a】異なる屈折率をもつ材料の複数の層を示す、本発明の他の実施形態による光ファイバの横断面図である。

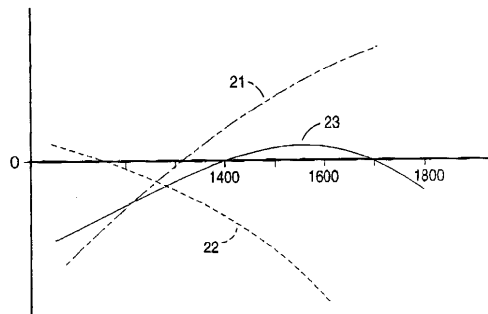
【図6b】図6aに示す光ファイバの屈折率プロファイルを示すグラフである。

【図7】本発明の実施形態が有効な光システムの簡易図である。

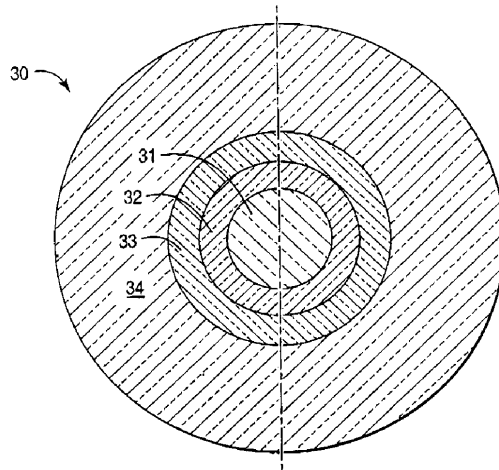
【図 1】



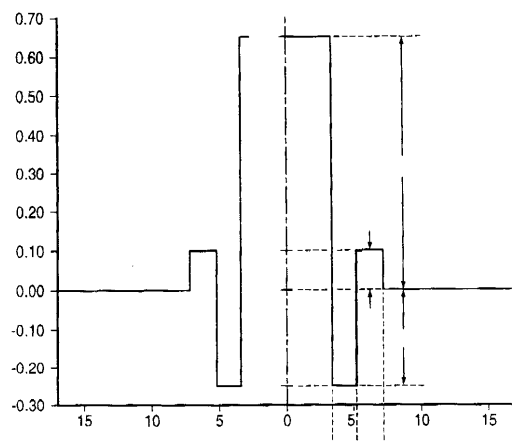
【図 2】



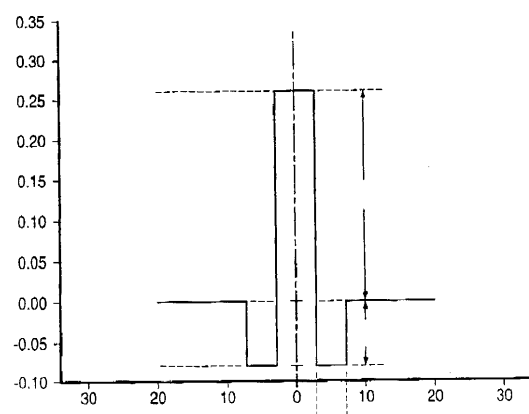
【図 3 a】



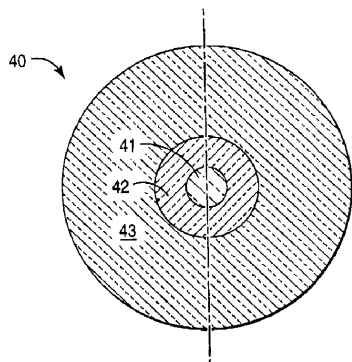
【図 3 b】



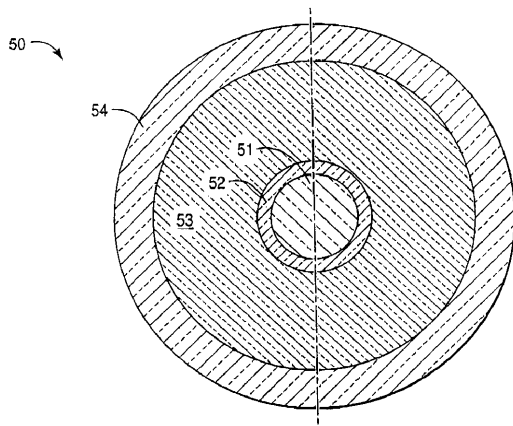
【図 4 b】



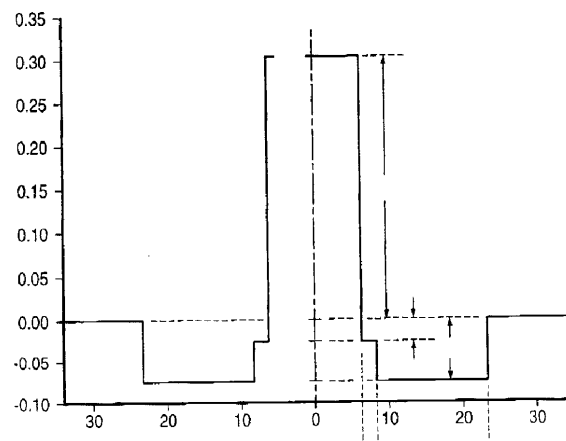
【図 4 a】



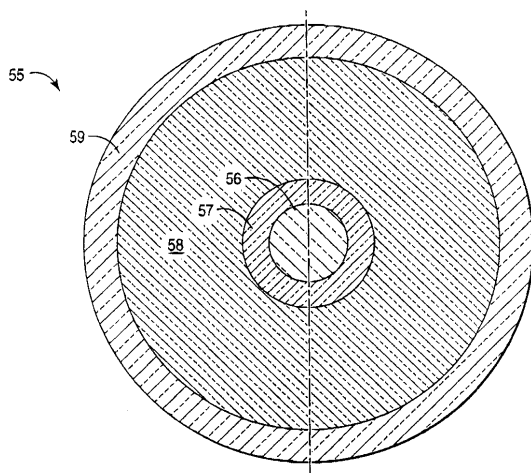
【図 5 a】



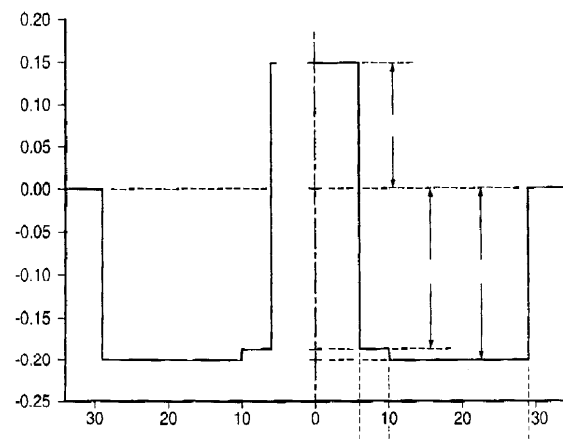
【図 5 b】



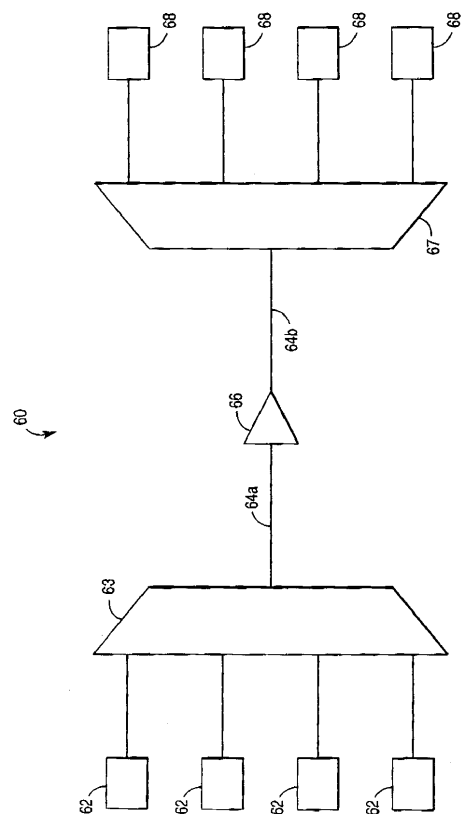
【図 6 a】



【図 6 b】



【図 7】



フロントページの続き

- (74)代理人 100091889
弁理士 藤野 育男
- (74)代理人 100101498
弁理士 越智 隆夫
- (74)代理人 100096688
弁理士 本宮 照久
- (74)代理人 100102808
弁理士 高梨 憲通
- (74)代理人 100104352
弁理士 朝日 伸光
- (74)代理人 100107401
弁理士 高橋 誠一郎
- (74)代理人 100106183
弁理士 吉澤 弘司
- (72)発明者 ルーカス フス
アメリカ合衆国 18104 ペンシルヴァニア, アレントアウン, スプリング ウッド コート
310
- (72)発明者 ディヴィッド ダブリュ. ペッカム
アメリカ合衆国 30044 ジョージア, ローレンスヴィル, ハミルトン アヴェニュー 63
2
- (72)発明者 ウィリアム アルフレッド リード
アメリカ合衆国 07901 ニュージャージー, サミット, ブラックバーン ロード 143
- (72)発明者 マン フェイ ヤン
アメリカ合衆国 07922 ニュージャージー, バークレイ ハイ츠, ハイランド サークル
75

審査官 井口 猶二

- (56)参考文献 特開昭63-043107 (JP, A)
特開平09-258054 (JP, A)
特開平01-207705 (JP, A)
特開平10-260330 (JP, A)
特開昭61-122612 (JP, A)
国際公開第00/052507 (WO, A1)
特開平04-001706 (JP, A)
特開平10-010350 (JP, A)
特開平09-218318 (JP, A)
特開平09-288220 (JP, A)
特開2001-116947 (JP, A)
特開平10-115727 (JP, A)
特開平11-326654 (JP, A)
特開2000-347057 (JP, A)
特開平10-039155 (JP, A)
特開平10-319266 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/00-6/54