

(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2012-123247

(P2012-123247A)

(43) 公開日 平成24年6月28日(2012.6.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G O 2 B 6/02 (2006.01)	G O 2 B 6/10 C	2 H 0 4 6
G O 2 B 6/04 (2006.01)	G O 2 B 6/16	2 H 1 5 0
	G O 2 B 6/04 C	

審査請求 未請求 請求項の数 13 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2010-274663 (P2010-274663)	(71) 出願人	000005186
(22) 出願日	平成22年12月9日 (2010.12.9)		株式会社フジクラ
			東京都江東区木場1丁目5番1号
		(74) 代理人	100143764
			弁理士 森村 靖男
		(74) 代理人	100129296
			弁理士 青木 博昭
		(72) 発明者	谷川 庄二
			千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
			フジクラ佐倉事業所内
		(72) 発明者	竹永 勝宏
			千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社
			フジクラ佐倉事業所内
		Fターム(参考)	2H046 AZ03
			2H150 AB04 AB05 AC34 AC57 AD26
			AH27 AH50

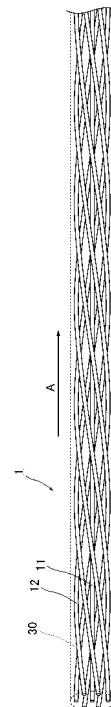
(54) 【発明の名称】 マルチコアファイバ

(57) 【要約】

【課題】 非直線的に設置される場合においても、特定のコア同士のクロストークが悪化することを抑制できるマルチコアファイバを提供することを目的とする。

【解決手段】 マルチコアファイバ1は、複数のコア12と、それぞれのコア12の外周面を囲むクラッド30と、を備え、コア12の少なくとも1つが、クラッド30の中心軸の周りを回転するように螺旋状に配置されていることを特徴とする。このようにコア12を配置することで、湾曲した状況で設置される場合においても、特定のコア同士のクロストークが高くなることを抑制することができる。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

複数のコアと、
それぞれの前記コアの外周面を囲むクラッドと、
を備え、
前記コアの少なくとも 1 つが、前記クラッドの中心軸の周りを回転するように螺旋状に配置されている
ことを特徴とするマルチコアファイバ。

【請求項 2】

螺旋状の前記コアは、前記クラッドの前記中心軸の周りを回転するピッチが変化する区
間を有していることを特徴とする請求項 1 に記載のマルチコアファイバ。

10

【請求項 3】

螺旋状の前記コアは、前記ピッチが常に変化していることを特徴とする請求項 2 に記載
のマルチコアファイバ。

【請求項 4】

螺旋状の前記コアは、前記クラッドの前記中心軸の周りを右回転と左回転とを繰り返して
いることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。

【請求項 5】

螺旋状の前記コアが、右回転する区間の長さの平均と、左回転する区間の長さの平均と
が、互いに等しいことを特徴とする請求項 4 に記載のマルチコアファイバ。

20

【請求項 6】

螺旋状の前記コアが、右回転するそれぞれの区間の長さ、及び、左回転するそれぞれの
区間の長さが、一定ではないことを特徴とする請求項 4 または 5 に記載のマルチコアファ
イバ。

【請求項 7】

前記コアの 2 つ以上が、前記クラッドの中心軸の周りを回転するように螺旋状に配置さ
れており、螺旋状の前記コアは、それぞれ前記クラッドの前記中心軸の周りを平均 1 回 /
m 以上のピッチで回転していることを特徴とする請求項 1 から 6 に記載のマルチコアファ
イバ。

【請求項 8】

螺旋状の前記コアは、それぞれ前記クラッドの前記中心軸の周りを平均 4 回 / m 以上の
ピッチで回転していることを特徴とする請求項 7 に記載のマルチコアファイバ。

30

【請求項 9】

螺旋状の前記コアと、螺旋状の前記コアと隣り合うコアとが、互いに異なる屈折率であ
ることを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。

【請求項 10】

螺旋状の前記コアと、螺旋状の前記コアと隣り合うコアとが、互いに異なる直径であるこ
とを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。

【請求項 11】

前記コアの 2 つ以上が、前記クラッドの外周方向に沿って均等な間隔で配置されると共
に、前記クラッドの前記中心軸の周りを、互いに同じ方向に回転するように螺旋状に配置
されていることを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイ
バ。

40

【請求項 12】

前記コアの 1 つが、前記クラッドの前記中心軸に沿って配置されていることを特徴とす
る請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。

【請求項 13】

それぞれの前記コアは、使用波長に対してシングルモードで光を伝播することを特徴と
する請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載のマルチコアファイバ。

【発明の詳細な説明】

50

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチコアファイバに関し、特に、非直線的に設置される場合においても、特定のコア同士のクロストークが悪化することを抑制できるマルチコアファイバに関する。

【背景技術】

【0002】

現在、一般に普及している光ファイバ通信システムに用いられる光ファイバは、1本のコアの外周がクラッドにより囲まれた構造をしており、このコア内を光信号が伝搬することで情報が伝送される。そして、近年、光ファイバ通信システムの普及に伴い、伝送される情報量が飛躍的に増大している。このような伝送される情報量の増大に伴い、光ファイバ通信システムにおいては、数十本から数百本といった多数の光ファイバが用いられることで、大容量の長距離光通信が行われている。

【0003】

こうした光ファイバ通信システムにおける光ファイバの数を低減させるため、複数のコアの外周が1つのクラッドにより囲まれたマルチコアファイバを用いて、それぞれのコアを伝搬する光により、複数の信号を伝送させることが知られている。

【0004】

下記非特許文献1には、このようなマルチコアファイバの一例が記載されている。このマルチコアファイバにおいては、1つのクラッド内に複数のコアが配置されている。しかし、非特許文献1においても指摘されているように、マルチコアファイバにおいては、それぞれのコアを伝播する光信号同士が互いに干渉して、それぞれのコアを伝播する光信号にノイズが重畳する場合がある。そこで、非特許文献1においては、コア同士のクロストークを低減させるための1つの手法として、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差を互いに変えることが示されている。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

【非特許文献1】Masanori KOSHIBA “Heterogeneous multi-core fibers: proposal and design principle” IEICE Electronics Express, Vol. 6, No. 2, 98-103

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

上記非特許文献1に記載のように、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差を互いに变えることにより、互いに隣り合うコアにおける光信号の伝搬定数（導波条件）が異なり、確かにクロストークは軽減される。しかし、光ファイバは、直線状に設置される場合だけではなく、非直線的に設置される場合がある。例えば、一定の径の弧を描くように設置される場合、互いに隣り合うコアの一方が、弧の内側となり、他方が弧の外側になることで、互いに隣り合うコアのそれぞれの光の伝搬定数が一致してしまうことがある。そして、光ファイバの設置の状況によっては、互いに隣り合うコアのそれぞれの光の伝搬定数が一致する状況が長く続く場合がある。このように互いに隣り合うコアのそれぞれの光の伝搬定数が互いに一致している状態が長い距離続くと、それぞれのコア同士のクロストークが生じ易くなるという問題がある。つまり、互いに隣り合うコアのクラッドに対する比屈折率差を变える等することにより、互いに隣り合うコアにおける光の伝搬定数を異ならず場合においても、光ファイバが非直線的に設置される場合においては、特定のコア同士のクロストークが生じ易くなる虞がある。

【0007】

そこで、本発明は、非直線的に設置される場合においても、特定のコア同士のクロスト

ークが悪化することを抑制できるマルチコアファイバを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のマルチコアファイバは、複数のコアと、それぞれの前記コアの外周面を囲むクラッドと、を備え、前記コアの少なくとも1つが、前記クラッドの中心軸の周りを回転するように螺旋状に配置されていることを特徴とするものである。

【0009】

このようなマルチコアファイバにおいては、螺旋状に配置されたコアのファイバの長手方向に垂直な断面における位置は、ファイバの長手方向に沿って変化する。従って、このようなマルチコアファイバが設置されて、螺旋状に配置された特定のコアと他のコアとの光の伝搬定数が一致する区間が生じたとしても、ファイバの長手方向に沿って、この特定のコアと他のコアとの位置関係が変化するため、通常、これらのコア同士の光の伝搬定数は、長い区間において一致しない。従って、湾曲した状況で設置される場合においても、この特定のコアと他のコアとのクロストークが悪化することを抑制することができる。なお、上記の他のコアは、螺旋状に配置されたコアであっても、直線上に配置されたコアであっても良い。

【0010】

さらに上記マルチコアファイバにおいて、螺旋状の前記コアは、前記クラッドの前記中心軸の周りを回転するピッチが変化する区間を有していることが好ましい。

【0011】

このようにコアが螺旋状に回転するピッチが変化する区間を有することにより、例えば、本ファイバを撚って光ケーブルにされて、周期的に一定の径の弧を描くようにマルチコアファイバが設置される場合においても、回転のピッチが変化する区間を有することで、特定のコアと他のコアとの光の伝搬定数が長い区間において一致しないようにすることができる。

【0012】

なお、本明細書における「ピッチ」とは、ファイバの長手方向の単位長さ当たりの螺旋状のコアの回転回数を意味する。従って、例えば、螺旋状のコアが、ファイバの1mあたりにクラッドの中心軸の周りを1回転する場合、このコアのピッチは1回/mとなる。

【0013】

さらに上記マルチコアファイバにおいて、螺旋状の前記コアは、前記ピッチが常に変化していることが好ましい。

【0014】

このようにコアが螺旋状に回転するピッチが常に変化することにより、上述のように周期的な弧を描いたとしても、特定のコアと他のコアとの光の伝搬定数が一致する距離をより短くすることができる。

【0015】

また、上記マルチコアファイバにおいて、螺旋状の前記コアは、前記クラッドの前記中心軸の周りを右回転と左回転とを繰り返していることが好ましい。

【0016】

このようにコアが右回転と左回転を繰り返すように螺旋状に配置されることにより、ファイバを長手方向に渡って右回転、左回転を交互にさせて製造することができるので、コアが片方向の回転のみを持った構造の光ファイバと比較すると、製造性が高まり、安価な螺旋状のコアを持つマルチコアファイバを提供できる。

【0017】

なお、本明細書において、コアが、クラッドの中心軸の周りを右回転と左回転とを繰り返して螺旋状に回転している場合における、「回転回数」とは、右回転の回転回数、及び、左回転の回転回数を共に正として加算する場合の回転回数を意味する。従って、例えば、螺旋状のコアが、ファイバの0.5mの区間においてクラッドの中心軸の周りを右側に0.5回転して、続く0.5mの区間において、今度は左側に0.5回転する場合、1m

10

20

30

40

50

当たりの回転回数は、 $0.5 + 0.5 = 1$ 回であり、この場合のコアのピッチは 1 回 / m となる。

【0018】

また、上記マルチコアファイバにおいて、螺旋状の前記コアが、右回転する区間の長さの平均と、左回転する区間の長さの平均とが、互いに等しいことが好ましい。

【0019】

さらに上記マルチコアファイバにおいて、螺旋状の前記コアが、右回転するそれぞれの区間の長さ、及び、左回転するそれぞれの区間の長さが、一定ではないこととしても良い。

【0020】

また、上記マルチコアファイバにおいて、前記コアの 2 つ以上が、前記クラッドの中心軸の周りを回転するように螺旋状に配置されており、螺旋状の前記コアは、それぞれ前記クラッドの前記中心軸の周りを平均 1 回 / m 以上のピッチで回転していることが、螺旋状に配置されているそれぞれのコアにおけるクロストークのばらつきをより抑制できる観点から好ましく、さらに平均 4 回 / m 以上のピッチで回転していることが、このクロストークのばらつきをさらに抑制できる観点からより好ましい。

【0021】

また、上記マルチコアファイバにおいて、螺旋状の前記コアと、螺旋状の前記コアと隣り合うコアとが、互いに異なる屈折率であることが好ましく、また、螺旋状の前記コアと、螺旋状の前記コアと隣り合うコアとが、互いに異なる直径であることとしても好ましい。

【0022】

このようなマルチコアファイバによれば、螺旋状のコアと、この螺旋状のコアと隣り合うコアとの光の伝搬定数が、基本的に互いに異なるためクロストークを低減することができる。

【0023】

また、上記マルチコアファイバにおいて、前記コアの 2 つ以上が、前記クラッドの外周方向に沿って均等な間隔で配置されると共に、前記クラッドの前記中心軸の周りを、互いに同じ方向に回転するように螺旋状に配置されていることとしても良い。

【0024】

また、上記マルチコアファイバにおいて、前記コアの 1 つが、前記クラッドの前記中心軸に沿って配置されていることとしても良い。

【0025】

また、上記マルチコアファイバにおいて、それぞれの前記コアは、使用波長に対してシングルモードで光を伝播することが好ましい。

【0026】

このようなマルチコアファイバによれば、シングルモードで光を伝播することにより、各コアの伝送速度を上げられるとともに、更にクロストークを抑制することができる。

【発明の効果】

【0027】

以上のように、本発明によれば、非直線的に設置される場合においても、特定のコア同士のコロストークが悪化することを抑制できるマルチコアファイバが提供される。

【図面の簡単な説明】

【0028】

【図 1】本発明の実施形態に係るマルチコアファイバの様子を示す図である。

【図 2】図 1 のマルチコアファイバのコアの様子を示す図である。

【図 3】マルチコアファイバが曲がっている場合におけるマルチコアファイバの様子を示す図である。

【図 4】マルチコアファイバの変形例を示す図である。

【図 5】マルチコアファイバの変形例を示す図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】**【0029】**

以下、本発明に係るマルチコアファイバの好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。なお、理解の容易のため、それぞれの図に記載のスケールと、以下の説明に記載のスケールとが異なる場合がある。

【0030】

図1は、本発明の実施形態に係るマルチコアファイバの様子を示す図であり、具体的には、図1の(A)は、マルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造を示す図であり、図1の(B)は、図1の(A)のB-B線における屈折率分布を示す図である。なお、図1の(B)は、マルチコアファイバが直線状である場合の屈折率分布を示している。

10

【0031】

図1の(A)に示すように、本実施形態のマルチコアファイバ1は、複数のコア11、12と、複数のコア11、12全体を包囲すると共にそれぞれのコア11、12の間を埋めて、それぞれのコア11、12の外周面を囲むクラッド30と、クラッド30の外周面を被覆する内側保護層31と、内側保護層31の外周面を被覆する外側保護層32と、を備える。

【0032】

本実施形態においては、コアの数が7つとされ、中心に1つのコア11が配置されると共に、他の6つのコア12がクラッド30外周に沿って互いに均等な間隔に配置されている。こうして、中心のコア11と外周側のそれぞれのコア12とが三角格子状に配置されている。従って、それぞれのコア11、12同士の間隔は、互いに等しくされている。このように配置された複数のコア11、12は、クラッド30の中心軸に対して対称とされている。つまり、マルチコアファイバ1をクラッド30の中心軸の周りに所定の角度回転させた場合に、外周側のそれぞれのコア12の回転後における位置は、回転前における外周側の他のコア12の位置となる。また、中心に配置されたコア11は、マルチコアファイバ1を中心軸の周りに回転させても動かない。このようにそれぞれのコア11、12がクラッド30の中心軸に対して対称となる位置に配置されることにより、それぞれのコア11、12の配置による光学的性質を均質にすることができる。

20

【0033】

そして、本実施形態においては、互いに隣り合うそれぞれのコア11、12の直径が、互いに僅かに異なるようにされている。このマルチコアファイバ1を構成するそれぞれの部材の大きさは、特に限定されるわけではないが、中心に配置されるコア11の直径は、例えば、 $6.9\mu\text{m}$ とされ、外周側に配置されるコア12の直径は、中心に配置されるコア11の直径に対して、例えば、約3%異なるようにされ、さらに、互いに隣り合う外周側に配置されたコア12同士は、例えば、直径が互いに約0.5%~5%異なるようにされている。このように、互いに隣り合うコア11、12の直径が、物理的に僅かに異なっても、コア11、12を伝播する光にしてみれば、それぞれのコア11、12の直径は、殆ど変わらず、略同等の光学特性となるが、このように互いに隣り合うコア11、12の直径が、物理的に僅かに異なることにより、互いに隣り合うコア11、12のクロストークを抑制することができる。この場合、互いに隣り合うコア11、12の直径の差は、直径の1%~5%であることが、クロストークを抑制しつつ、それぞれのコアの光学的特性を同等にする観点から好ましい。

30

40

【0034】

また、クラッド30の直径は、例えば、 $124\mu\text{m}$ とされ、内側保護層31の外径は、例えば、 $190\mu\text{m}$ とされ、外側保護層32の外径は、例えば、 $250\mu\text{m}$ とされる。また、それぞれのコア11、12の中心間距離は、特に限定されないが、例えば、 $37\mu\text{m}$ とされている。

【0035】

また、図1の(B)に示すように、本実施形態においては、中心に配置されているコア

50

１１の屈折率が n_1 、及び、外周側に配置されているそれぞれのコア１２の屈折率 n_2 は、クラッド３０の屈折率 n_3 よりも高くされており、さらに、外周側に配置されているそれぞれのコア１２の屈折率 n_2 は、中心に配置されているコア１１の屈折率が n_1 よりも高くされている。なお、外周側に配置されているコア１２の内、互いに隣り合うコア１２の屈折率が、互いに異なることが、外周側のそれぞれのコア１２同士のクロストークを抑制できる観点から好ましいが、本実施形態においては、理解の容易のため、上述のように外周側に配置されているコア１２の屈折率が、それぞれ同等であるものとして説明する。なお、互いに隣り合うコア１１、１２の屈折率の差は、屈折率の１％～５％であることが、クロストークを抑制しつつ、それぞれのコアの光学的特性を同等にする観点から好ましい。

10

【００３６】

なお、図１の（Ｂ）においては、内側保護層３１及び外側保護層３２の屈折率については省略している。

【００３７】

このようなマルチコアファイバにおいて、コア１１、１２の材料としては、例えば、屈折率を上げるゲルマニウム等のドーパントが添加されたシリカガラスを挙げることができる。クラッド３０の材料としては、何らドーパントが添加されていないシリカガラスを挙げることができる。さらに、内側保護層３１及び外側保護層３２の材料としては、紫外線硬化樹脂を挙げることができる。

【００３８】

そして、本実施形態においては、それぞれのコア１１、１２は、光をシングルモードで伝播する。

20

【００３９】

なお、光ファイバのコアを伝播する光の伝搬定数は、コアの屈折率に基づくクラッドの屈折率に対する比屈折率差 Δ とコアの直径で規定される。ここで、 $i = 1, 2$ としたとき、 n_i の屈折率を有するコア１１、１２のクラッド３０に対する比屈折率差 Δ_i は、以下の式で定義される。

【数１】

$$\Delta_i = \frac{n_i^2 - n_3^2}{2n_i^2}$$

30

【００４０】

コア１１、１２の比屈折率差 Δ_1 、 Δ_2 及びコアの直径は、特性として有すべきモードフィールド径ＭＦＤに応じて規定される。そして、例えば、上述のようにコア１１、１２の直径が、約 $7.2 \mu\text{m}$ である場合、コア１１、１２を伝播する光の波長が 1260 nm である場合、コア１１、１２が、この光をシングルモードで伝播するには、それぞれのクラッド３０に対する比屈折率差 Δ_1 、 Δ_2 は約 $0.27\% \sim 0.50\%$ とされる。同様に、コア１１、１２を伝播する光の波長が 1500 nm である場合、コア１１、１２が、この光をシングルモードで伝播するには、それぞれのクラッド３０に対する比屈折率差 Δ_1 、 Δ_2 は約 $0.35\% \sim 0.70\%$ とされる。ただし、上述のように本実施形態においては、中心のコア１１の屈折率が n_1 と外周側のそれぞれのコア１２の屈折率 n_2 とが互いに異なっているため、中心のコア１１の比屈折率差 Δ_1 と、外周側のそれぞれのコア１２の比屈折率差 Δ_2 とは、互いに異なっている。

40

【００４１】

図２は、図１のマルチコアファイバ１のコア１１、１２の様子を示す図である。なお、図２においては、理解の容易のため、クラッド３０を破線で示し、内側保護層３１、外側保護層３２は省略し、マルチコアファイバ１の長手方向と径方向の縮尺を実際のマルチコアファイバと変えて記載している。

50

【 0 0 4 2 】

図 2 に示すように、中心のコア 1 1 は、クラッド 3 0 の軸中心に沿って配置されており、外周側のコア 1 2 は、クラッド 3 0 の中心軸の周りを、互いに同じ方向に回転するように螺旋状に配置されている。図 2 において、外周側のコア 1 2 は、矢印 A の方向に沿って、右回転するようにして、配置されている。つまり、マルチコアファイバ 1 においては、このようにコア 1 2 が螺旋状に形成された状態で固化しており、コア 1 2 の永久捻れが付与されている。

【 0 0 4 3 】

なお、図 2 においては、螺旋状である外周側のコア 1 2 は、クラッド 3 0 の中心軸の周りを同じピッチで回転している。つまり、マルチコアファイバ 1 の長手方向における何れの区間においても、マルチコアファイバ 1 の単位長さ当たりのコア 1 2 の回転回数が一定とされている。

【 0 0 4 4 】

しかし、マルチコアファイバ 1 においては、螺旋状のコア 1 2 は、クラッド 3 0 の中心軸の周りを回転するピッチが変化する区間を有していても良い。つまり、例えば、ある所定の区間において、螺旋状のコア 1 2 の回転のピッチが、1 回 / m であり、他の区間で 0 . 5 回 / m であるようにしていても良く、更に他の区間で、他のピッチで回転するようにしても良い。更に、螺旋状のコア 1 2 は、ピッチが常に変化していても良い。

【 0 0 4 5 】

また、特に図示しないが、螺旋状のコア 1 2 は、クラッド 3 0 の中心軸の周りを右回転と左回転とを繰り返していても良い。つまり、螺旋状のコア 1 2 は、所定の区間において、右回転するように配置され、その所定の区間と隣り合う区間において、左回転するように配置されても良い。さらにこの場合においては、コア 1 2 が右回転する区間と左回転する区間との間において、コア 1 2 がクラッド 3 0 の軸中心に回転せず、コア 1 1 と平行に配置されても良い。また更に、螺旋状のコア 1 2 が、右回転するそれぞれの区間の長さ、及び、左回転するそれぞれの区間の長さが、一定ではないこととしても良い。

【 0 0 4 6 】

そして、コア 1 2 は、クラッド 3 0 の中心軸の周りを平均 1 回 / m 以上のピッチで回転していることが好ましく、平均 4 回 / m 以上のピッチで回転していることがより好ましい。なお、上記のように、コア 1 2 が、右方向、左方向のそれぞれに回転している場合において、このピッチは、右方向の回転数、及び、左方向の回転数を共に正として加算して、ピッチを計算する。例えば、螺旋状のコア 1 2 が、マルチコアファイバ 1 の 0 . 5 m の区間においてクラッド 3 0 の中心軸の周りを右側に 0 . 5 回転して、続く 0 . 5 m の区間において、今度は左側に 0 . 5 回転する場合、1 m 当たりの回転回数は、 $0 . 5 + 0 . 5 = 1$ 回であり、この場合のコア 1 2 の回転のピッチは 1 回 / m となる。

【 0 0 4 7 】

次に、本実施形態のマルチコアファイバ 1 の作用について説明する。

【 0 0 4 8 】

光ファイバを曲げた場合の屈折率の変化は、例えば、等価屈折率法により求めることができる。すなわち、光ファイバが曲がっている場合の屈折率は、直線状の光ファイバの屈折率分布に $(1 + r / R \cos \theta)$ を掛けることにより、等価的に求めることができる。ここで、 (r, θ) は、光ファイバの長手方向に垂直な平面における極座標であり、 $\theta = 0$ が光ファイバを曲げている方向であり、 r は光ファイバの中心からの距離である。また、 R は、光ファイバの曲率半径を示す。

【 0 0 4 9 】

ここで、図 1 の (A) における B - B 線に沿った方向にマルチコアファイバ 1 を曲げることを考える。つまり、B - B 線が $\theta = 0$ の線である。図 3 は、このようにマルチコアファイバ 1 が曲がっている場合におけるマルチコアファイバ 1 の様子を示す図である。具体的には、図 3 の (A) は、マルチコアファイバ 1 の長手方向に垂直な断面における構造を示す図であり、図 1 の (B) は、図 1 の (A) の B - B 線における等価屈折率の分布を示

10

20

30

40

50

す図である。なお、図 3 の (B) においては、理解の容易のため、図 1 の (B) に示すマルチコアファイバ 1 が直線状の場合の屈折率分布を破線で示す。図 3 に示すように、B - B 線に沿ってマルチコアファイバ 1 を曲げたとき、マルチコアファイバ 1 の中心が原点となり、B - B 線上における曲げの外側の方向が $\theta = 0$ となり、B - B 線上における曲げの内側が $\theta = 180$ 度となる。この場合、上式より、外側のコアやクラッドの等価屈折率が高くなり、内側のコアやクラッドの等価屈折率が低くなる。

【 0 0 5 0 】

従って、上述のように外周側のコア 1 2 が中心のコア 1 1 よりも屈折率が高い場合、マルチコアファイバ 1 の曲げの曲率半径を特定の大きさにすると、中心のコア 1 1 の実効屈折率と、外周側のコア 1 2 の内、マルチコアファイバ 1 の曲げ内側に位置するコアの実効屈折率と、1 つのコア 1 2 の実効屈折率とが一致する場合がある。また、特に図を用いて説明しないが、上述の説明と異なり、中心のコア 1 1 が外周側のコア 1 2 よりも屈折率が高くされている場合においては、中心のコア 1 1 の実効屈折率と、外周側のコア 1 2 の内、マルチコアファイバ 1 の曲げ外側に位置するコアの実効屈折率と、1 つのコア 1 2 の実効屈折率とが一致する場合がある。

【 0 0 5 1 】

なお、上述の説明においては、理解の容易のために、実効屈折率を実際のガラスの屈折率と同じように説明したが、実際には、導波される光の断面中の広がりを含めて決定されるパラメータである。なお、実効屈折率は、伝搬定数と 1 対 1 の関係にある。

【 0 0 5 2 】

しかし、本実施形態のマルチコアファイバ 1 においては、螺旋状に配置されたコア 1 2 のマルチコアファイバ 1 の長手方向に垂直な断面における位置は、マルチコアファイバ 1 の長手方向に沿って変化する。従って、このようにマルチコアファイバが特定の曲率半径で曲げられて設置されることで、図 3 に示すように、中心のコア 1 1 の屈折率と、外周側のコア 1 2 の内、曲げ方向の内側に位置する 1 つのコア 1 2 の実効屈折率とが一致する区間が生じたとしても、マルチコアファイバ 1 の長手方向に沿って、この中心のコア 1 1 と実効屈折率が一致した外周側の特定のコア 1 2 と、中心のコア 1 1 との位置関係が変化するため、この特定のコア 1 2 と中心のコア 1 1 との実効屈折率は、長い区間において一致しない。従って、この特定のコア 1 2 と中心のコア 1 1 とのクロストークが悪化することを抑制することができる。このように本実施形態のマルチコアファイバ 1 によれば、湾曲した状況で設置される場合においても、特定のコア同士クロストークが悪化することを抑制することができるため、コア全体として、クロストークのばらつきを抑制することができる。

【 0 0 5 3 】

なお、上記説明においては、外周側の特定のコア 1 2 の実効屈折率と、中心のコア 1 1 の実効屈折率とが一致する場合について説明したが、例えば、外周側のコア 1 2 同士において、実効屈折率が一致する場合においても、同様にしてそれぞれのコア 1 2 の実効屈折率は、長い区間において一致しない。従って、それぞれのコア 1 2 同士のクロストークが悪化することを抑制することができる。

【 0 0 5 4 】

このようなマルチコアファイバ 1 の製造は次の様に行う。

【 0 0 5 5 】

まず、コア 1 1 及びコア 1 2 となる部分を含むコア用ガラス部材をクラッド 3 0 もしくはクラッド 3 0 の一部となるクラッド用ガラス部材中に配置して、コラプスすることにより、断面における配置が、図 1 の (A) に示す、コア 1 1、1 2 及びクラッド 3 0 と略同様の配置であるファイバ用母材を作製する。

【 0 0 5 6 】

そして、作製した母材を加熱溶融し紡糸することでマルチコアファイバとし、このマルチコアファイバを内側保護層 3 1、外側保護層 3 2 で被覆する。このとき、紡糸された直後のマルチコアファイバを軸中心に回転させる。このようにマルチコアファイバを軸中心

10

20

30

40

50

に回転させることで、ファイバ用母材から紡糸されて固化する前のマルチコアファイバの半製体にこの軸中心の回転力が伝わり、図2に示すように、外周側のコア12が、クラッド30の中心軸の周りを回転するように螺旋状に形成される。別言すれば、外周側のコア12に永久捻じれが付与される。

【0057】

このようにコアが螺旋状に配置されたマルチコアファイバを製造することにより、例えばファイバのテープ化やケーブル化、敷設作業、および実環境下において継続的・永久的にクロストークが悪化することを抑制することができる。さらに、機械的信頼性の観点でも、このように予めマルチコアファイバのコアを螺旋状に配置することが望ましい。

【0058】

紡糸された直後のマルチコアファイバを軸中心に回転させるには、例えば、紡糸されたマルチコアファイバが、最初に接触するターンブリーをマルチコアファイバの軸中心に回転移動させれば良い。このターンブリーを一方向に回転させることにより、コア12がクラッド30の中心軸の周りを一方の方向に回転する形状となる。また、ターンブリーを一方向の回転させずに、揺動回転させることにより、コア12がクラッド30の中心軸の周りを右回転と左回転とを交互に回転する形状となる。

【0059】

以上、本発明について、実施形態を例に説明したが、本発明はこれらに限定されるものではない。

【0060】

例えば、上記実施形態において、コアの数を7つとしたが、コアは複数であればその数に特に制限はない。また、少なくとも1つのコアが、クラッドの中心軸の周りを回転するように螺旋状に配置されるものであればよく、例えば、図1において、外周側のコア12が1本でも良く、7本以上であっても良い。さらに、コア全体の数が複数である限りにおいて、クラッド30の中心軸に沿ったコア11は必須の要件ではない。例えば、クラッド30に正三角形を描くように3つのコアが螺旋状に配置されても良い。また、本発明のマルチコアファイバは、複数のコアが、クラッド30の中心軸に対して対称とされている必要はなく、例えば、複数のコアが5行×4列で、格子状に配列されるものであっても良い。

【0061】

このように本発明のマルチコアファイバは、複数のコアを備えて、このコアの内、少なくとも1本が、クラッドの中心軸の周りを回転するように螺旋状に配置されている限りにおいて、使用用途に応じて、適宜変形が可能である。図4は、このようなマルチコアファイバの変形例を示す図である。

【0062】

図4の(a)は、中心に1つのコア11が配され、このコアを取り囲むように4つのコア12が配されて、コア11とコア12との中心間距離が、それぞれ等しくされたマルチコアファイバを示す図である。図4の(b)は、図1の(A)に示す上記実施形態のマルチコアファイバ1における外周側のコア12の更に外周側に6つのコア13が設けられており、それぞれのコア11～13が三角格子状に並べられて、全体として、星形に配置されている例を示す図である。また、図4の(c)は、図1の(A)に示す上記実施形態のマルチコアファイバ1における外周側のコア12の更に外周側に12本のコア13が互いに均等な間隔で設けられて、19本のコアが三角格子状に配されることで、最密充填されている例を示す図である。

【0063】

また、図5の(a)は、図1の(A)に示す上記実施形態のマルチコアファイバ1におけるそれぞれのコア11、12が、複数の空孔14によって囲まれている例を示す図である。この場合、それぞれの空孔14の働きにより、コア11、12に光がより強く閉じ込められて、互いに隣り合うコア同士のクロストークをより抑制することができる。また、図5の(b)は、図1の(A)に示す上記実施形態のマルチコアファイバ1におけるそれぞれのコア11、12が、クラッド30と同様の屈折率を有する第1クラッド15で囲ま

10

20

30

40

50

れ、この第1クラッド15がクラッド30よりも屈折率が低い第2クラッド16で囲まれている例を示す図である。つまり、コア11(12)と第1クラッド15と第2クラッド16によるコア要素が、いわゆるトレンチ型とされることにより、コア11、12に光がより強く閉じ込められて、互いに隣り合うコア同士のクロストークをより抑制することができる。

【0064】

また、上記実施形態において、螺旋状のコア11の直径と、このコア11と隣り合うコア12の直径が互いに異なるものとした。しかし、本発明は、これに限らず、全てのコアの直径が等しくされても良い。

【0065】

また、上記実施形態において、コア11の屈折率とコア12の屈折率とが互いに異なるものとした。しかし、本発明はこれに限らず、全てのコアの屈折率が互いに等しいものであっても良い。なお、上記実施形態において、コア12の屈折率 n_2 がコア11の屈折率が n_1 よりも高くされているが、コア11の屈折率が n_1 がコア12の屈折率 n_2 よりも高くても良い。

【実施例】

【0066】

以下、実施例及び比較例を挙げて本発明の内容をより具体的に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0067】

(実施例1)

中心に1つのコアが配され、このコアを取り囲むように6つのコアが配されて、それぞれのコア同士の中心間距離がそれぞれ等しいマルチコアファイバを作製した。このマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造は、図1の(A)に示すマルチコアファイバと同様の構造である。

【0068】

このマルチコアファイバにおいては、それぞれのコアの直径 R_{CO} を $6.5\mu m$ とし、それぞれのコアの中心間距離 L を $36\mu m$ とし、クラッドの外径 R_{CL} を $132\mu m$ とした。また、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差 Δ を、それぞれ略 0.6% とし、わずか(約 1%)に中心コアと周辺コアの比屈折率差 Δ に違いを持たせた。さらに、マルチコアファイバを紡糸するときに、左右方向に捻回することで、外周側のコアが、全長における平均で長さ1m当たり左右方向それぞれに約 0.25 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 0.5 回/mの回転ピッチとした。

【0069】

(実施例2)

外周側のコアが、全長における平均で長さ1m当たり左右方向それぞれに約 0.5 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 1.0 回/mの回転ピッチとしたこと以外は、実施例1のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

【0070】

(実施例3)

外周側のコアが、全長における平均で長さ1m当たり左右方向それぞれに約 1.0 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 2.0 回/mの回転ピッチとしたこと以外は、実施例1のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

【0071】

(実施例4)

外周側のコアが、全長における平均で長さ1m当たり左右方向それぞれに約 2.0 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 4.0 回/mの回転ピッチとしたこと以外は、実施例1のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製し

10

20

30

40

50

た。

【 0 0 7 2 】

(実施例 5)

外周側のコアが、全長における平均で長さ 1 m 当たり左右方向それぞれに約 4 . 0 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 8 . 0 回 / m の回転ピッチとしたこと以外は、実施例 1 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

【 0 0 7 3 】

(比較例 1)

マルチコアファイバを紡糸するときに、捻回をせず、外周側のコアが、クラッドの中心軸の周りを回転せず、クラッドの中心軸に沿うようにしたこと以外は、実施例 1 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

10

【 0 0 7 4 】

(実施例 6)

それぞれのコアの直径 R_{CO} を 7 . 2 μm とし、それぞれのコアの中心間距離 L を 3 5 μm とし、クラッドの外径 R_{CL} を 1 2 5 μm とし、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差 Δ をそれぞれ 0 . 4 % としたこと以外は、実施例 1 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

【 0 0 7 5 】

(実施例 7)

外周側のコアが、全長における平均で長さ 1 m 当たり左右方向それぞれに約 0 . 5 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 1 . 0 回 / m の回転ピッチとしたこと以外は、実施例 6 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

20

【 0 0 7 6 】

(実施例 8)

外周側のコアが、全長における平均で長さ 1 m 当たり左右方向それぞれに約 1 . 0 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 2 . 0 回 / m の回転ピッチとしたこと以外は、実施例 6 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

30

【 0 0 7 7 】

(実施例 9)

外周側のコアが、全長における平均で長さ 1 m 当たり左右方向それぞれに約 2 . 0 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 4 . 0 回 / m の回転ピッチとしたこと以外は、実施例 6 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

【 0 0 7 8 】

(実施例 1 0)

外周側のコアが、全長における平均で長さ 1 m 当たり左右方向それぞれに約 4 . 0 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均約 8 . 0 回 / m の回転ピッチとしたこと以外は、実施例 6 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

40

【 0 0 7 9 】

(比較例 2)

マルチコアファイバを紡糸するときに、捻回をせず、外周側のコアが、クラッドの中心軸の周りを回転せず、クラッドの中心軸に沿うようにしたこと以外は、実施例 6 のマルチコアファイバと同様のマルチコアファイバを作製した。

【 0 0 8 0 】

次に、作製したそれぞれのマルチコアファイバを曲率半径 2 0 0 mm で曲げて、中心のコアに波長 1 5 5 0 nm の光信号を入力した。そして、長さが 1 km における外周側の 6

50

つのコアにおけるクロストークを測定した。上記実施例 1 ～ 10、及び、比較例 1、2 におけるマルチコアファイバの条件と、これらのマルチコアファイバの測定によるクロストーク量の平均値、最大値、最小値と、標準偏差を表 1 に示す。

【表 1】

	Rco(μ m)	L(μ m)	Rcl(μ m)	Δ (%)	ピッチ(回/m)	平均(dB)	最大(dB)	最小(dB)	標準偏差(dB)
実施例1	6.5	36	132	0.6	0.5	-46.4	-39.4	-53.6	7.37
実施例2	6.5	36	132	0.6	1.0	-42.7	-39.0	-46.8	2.50
実施例3	6.5	36	132	0.6	2.0	-44.6	-41.9	-47.5	1.93
実施例4	6.5	36	132	0.6	4.0	-48.0	-46.5	-51.1	1.76
実施例5	6.5	36	132	0.6	8.0	-48.1	-46.6	-50.1	1.33
比較例1	6.5	36	132	0.6	0.0	-46.2	-32.9	-54.2	9.57
実施例6	7.2	35	125	0.4	0.5	-28.5	-19.9	-40.2	8.54
実施例7	7.2	35	125	0.4	1.0	-25.3	-22.8	-28.9	2.66
実施例8	7.2	35	125	0.4	2.0	-26.3	-23.9	-29.8	2.07
実施例9	7.2	35	125	0.4	4.0	-30.3	-27.6	-31.7	1.54
実施例10	7.2	35	125	0.4	8.0	-30.4	-28.4	-32.1	1.24
比較例2	7.2	35	125	0.4	0.0	-31.3	-18.1	-42.1	8.76

10

20

【0081】

それぞれの光ファイバにおいて、クロストークの大きさは、外周側の 6 つの光ファイバで、ばらついていて、そして、表 1 に示すように、実施例 1 ～ 5 のマルチコアファイバにおいては、最大のクロストークの大きさは、比較例 1 のマルチコアファイバの最大のクロストークの大きさよりも小さい結果となった。同様に、実施例 6 ～ 10 のマルチコアファイバにおいては、最大のクロストークの大きさは、比較例 2 のマルチコアファイバの最大のクロストークの大きさよりも小さい結果となった。

【0082】

従って、本発明によるマルチコアファイバによれば、湾曲した状況で設置される場合においても、特定のコア同士のクロストークが高くなることを抑制できることが分かった。

30

【0083】

さらに、実施例 1 ～ 5 のそれぞれのマルチコアファイバにおける外周側の 6 つのコアのクロストークの標準偏差は、比較例 1 における外周側の 6 つのコアのクロストークの標準偏差よりも小さい結果となった。同様に実施例 6 ～ 10 のそれぞれのマルチコアファイバにおける外周側の 6 つのコアのクロストークの標準偏差は、比較例 2 における外周側の 6 つのコアのクロストークの標準偏差よりも小さい結果となった。

【0084】

従って、本発明によるマルチコアファイバによれば、湾曲した状況で設置される場合においても、それぞれのコアのクロストーク量のばらつきが抑制できることが分かった。

【0085】

40

そして、表 1 から分かるように、ピッチが平均 1 回 / m 以上になるとそれぞれのコアのクロストークのばらつきが極端に小さくなり、平均 4 回 / m 以上になると、更に小さくなることが分かった。

【0086】

(実施例 11)

中心に 1 つのコアが配され、このコアを取り囲むように 4 つのコアが配されて、それぞれのコア同士の中心間距離がそれぞれ等しいマルチコアファイバを作製した。このマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造は、図 4 の (a) に示すマルチコアファイバと同様の構造である。

【0087】

50

このマルチコアファイバにおいては、それぞれのコアの直径を $6.9\ \mu\text{m}$ とし、中心のコアと周辺のコアの中心間距離を $37\ \mu\text{m}$ とし、クラッドの外径を $124\ \mu\text{m}$ とした。また、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差を、それぞれ 0.42% とした。さらに、マルチコアファイバを紡糸するときに、スパン紡糸することで、外周側のコアが、全長における平均で長さ 1m 当たり左右方向それぞれに約 1.4 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均 2.8 回 / m の回転ピッチとした。

【0088】

次に、作製したマルチコアファイバを 140mm の曲率半径で巻いて、中心のコアに波長 1550nm の光信号を入力した。そして、長さが 1km における外周側の4つのコアにおけるクロストークを測定した。このマルチコアファイバの測定によるクロストーク量の平均値は、 -38.4dB であり、最大値は、 -36.4dB であり、最小値は、 -39.9dB であり、標準偏差は、 1.46dB であった。このように外周側の4つのコアにおけるクロストークは、小さなばらつきであった。

10

【0089】

(実施例12)

中心に1つのコアが配され、このコアを取り囲むように6つのコアが配されて、それぞれのコア同士の間隔距離がそれぞれ等しいマルチコアファイバを作製した。このマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造は、図1の(A)に示すマルチコアファイバと同様の構造である。

【0090】

20

このマルチコアファイバにおいては、それぞれのコアの直径を $8.1\ \mu\text{m}$ とし、それぞれのコアの中心間距離を $35\ \mu\text{m}$ とし、クラッドの外径を $125\ \mu\text{m}$ とした。また、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差を、それぞれ 0.36% とした。さらに、マルチコアファイバを紡糸するときに、スパン紡糸することで、外周側のコアが、全長における平均で長さ 1m 当たり左右方向それぞれに約 2.65 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均 5.3 回 / m の回転ピッチとした。

【0091】

次に、作製したそれぞれのマルチコアファイバを 280mm の曲率半径で巻いて、中心のコアに波長 1550nm の光信号を入力した。そして、長さが 1km における外周側の6つのコアにおけるクロストークを測定した。このマルチコアファイバの測定によるクロストーク量の平均値は、 -25.4dB であり、最大値は、 -23.3dB であり、最小値は、 -25.6dB であり、標準偏差は、 0.82dB であった。このように外周側の6つのコアにおけるクロストークは、小さなばらつきであった。

30

【0092】

(実施例13)

中心に1つのコアが配され、このコアを取り囲むように6つのコアが配されて、この中心と隣り合う6つのコアの外周側に更に6つのコアが配され、それぞれのコア同士の間隔距離がそれぞれ等しいマルチコアファイバを作製した。このマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造は、図4の(b)に示すマルチコアファイバと同様の構造である。

40

【0093】

このマルチコアファイバにおいては、それぞれのコアの直径を $6.1\ \mu\text{m}$ とし、それぞれのコアの中心間距離を $35\ \mu\text{m}$ とし、クラッドの外径を $159\ \mu\text{m}$ とした。また、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差を、それぞれ約 0.70% とし、中心のコアの屈折率差と周辺のコアの比屈折率差で、約 2% の差を持たせた。さらに、マルチコアファイバを紡糸するときに、スパン紡糸することで、中心のコア以外のコアが、全長における平均で長さ 1m 当たり左右方向それぞれに約 1.6 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均 3.2 回 / m の回転ピッチとした。

【0094】

次に、作製したそれぞれのマルチコアファイバを 500mm の曲率半径で巻いて、中心

50

のコアに波長 1 5 5 0 n m の光信号を入力した。そして、長さが 1 k m において、中心のコアと隣り合う 6 つのコアにおけるクロストークを測定した。このマルチコアファイバの測定によるクロストーク量の平均値は、 - 4 4 . 6 d B であり、最大値は、 - 4 2 . 2 d B であり、最小値は、 - 4 8 . 8 d B であり、標準偏差は、 2 . 4 4 d B であった。このように中心のコアと隣り合う 6 つのコアにおけるクロストークは、小さなばらつきであった。

【 0 0 9 5 】

(実施例 1 4)

中心に 1 つのコアが配され、このコアを取り囲むように 6 つのコアが配されて、この中心と隣り合う 6 つのコアの外周側に更に 1 2 本のコアが配され、それぞれのコア同士の中 10
心間距離がそれぞれ等しいマルチコアファイバを作製した。このマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造は、図 4 の (c) に示すマルチコアファイバと同様の構造である。

【 0 0 9 6 】

このマルチコアファイバにおいては、それぞれのコアの直径を 7 . 6 μ m とし、それぞれのコアの中心間距離を 3 9 μ m とし、クラッドの外径を 1 8 8 μ m とした。また、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差を、それぞれ 0 . 3 9 % とし、中心のコアの屈折率差と周辺のコアの比屈折率差に約 3 % の差を持たせた。さらに、マルチコアファイバを紡糸するときに、スパン紡糸することで、中心のコア以外のコアが、全長における平均で長さ 1 m 当たり左右方向それぞれに約 0 . 7 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転 20
するようにして、平均 1 . 4 回 / m の回転ピッチとした。

【 0 0 9 7 】

次に、作製したそれぞれのマルチコアファイバを 5 0 0 m m の曲率半径で巻いて、中心のコアに波長 1 5 5 0 n m の光信号を入力した。そして、長さが 1 k m において、中心のコアと隣り合う 6 つのコアにおけるクロストークを測定した。このマルチコアファイバの測定によるクロストーク量の平均値は、 - 5 1 . 7 d B であり、最大値は、 - 4 9 . 5 d B であり、最小値は、 - 5 4 . 3 d B であり、標準偏差は、 2 . 1 2 d B であった。このように中心のコアと隣り合う 6 つのコアにおけるクロストークは、小さなばらつきであった。

【 0 0 9 8 】

(実施例 1 5)

中心に 1 つのコアが配され、このコアを取り囲むように外周側に 6 つのコアが配されて、さらにそれぞれのコアを取り囲むようにそれぞれのコアと隣接して 6 つの空孔が形成され、それぞれのコア同士の間距離がそれぞれ等しいマルチコアファイバを作製した。このマルチコアファイバの長手方向に垂直な断面における構造は、図 5 の (a) に示すマルチコアファイバと同様の構造である。

【 0 0 9 9 】

このマルチコアファイバにおいては、それぞれのコアの直径を 6 . 1 μ m とし、それぞれのコアの中心間距離を 3 2 μ m とし、クラッドの外径を 1 2 5 μ m とし、更にそれぞれの空孔の直径を 6 . 2 μ m とし、コアとそれぞれの空孔との中心間距離を 1 1 μ m とした。また、それぞれのコアのクラッドに対する比屈折率差を、それぞれ 0 . 7 2 % とした。さらに、マルチコアファイバを紡糸するときに、スパン紡糸することで、外周側のコアが、全長における平均で長さ 1 m 当たり左右方向それぞれに約 2 . 0 回転ずつ、クラッドの中心軸の周りを回転するようにして、平均 4 . 0 回 / m の回転ピッチとした。

【 0 1 0 0 】

次に、作製したそれぞれのマルチコアファイバを 5 0 0 m m の曲率半径で巻いて、中心のコアに波長 1 5 5 0 n m の光信号を入力した。そして、長さが 1 k m における外周側の 6 つのコアにおけるクロストークを測定した。このマルチコアファイバの測定によるクロストーク量の平均値は、 - 4 5 . 9 d B であり、最大値は、 - 4 4 . 6 d B であり、最小値は、 - 4 8 . 2 d B であり、標準偏差は、 1 . 3 0 d B であった。このように外周側の 40
50

6つのコアにおけるクロストークは、小さなばらつきであった。

【産業上の利用可能性】

【0101】

以上説明したように、本発明によれば、非直線的に設置される場合においても、特定のコア同士のクロストークが悪化することを抑制できるマルチコアファイバが提供される。

【符号の説明】

【0102】

1・・・マルチコアファイバ

11、12・・・コア

14・・・空孔

15・・・第1クラッド

16・・・第2クラッド

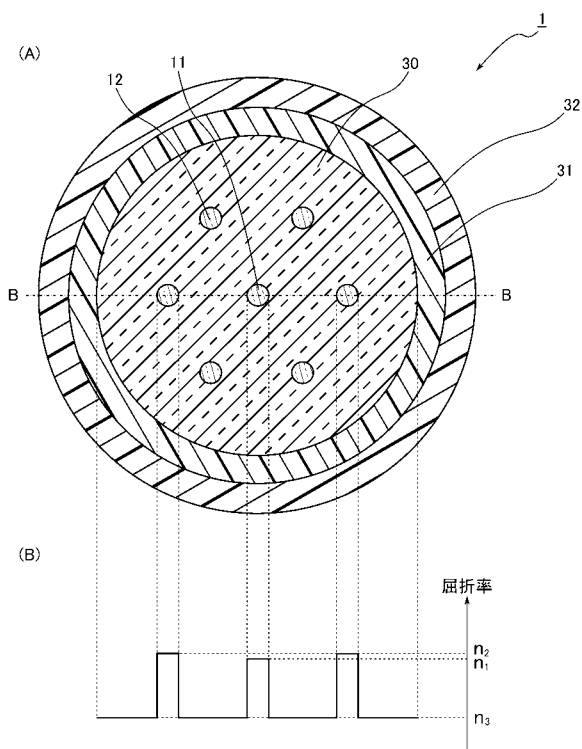
30・・・クラッド

31・・・内側保護層

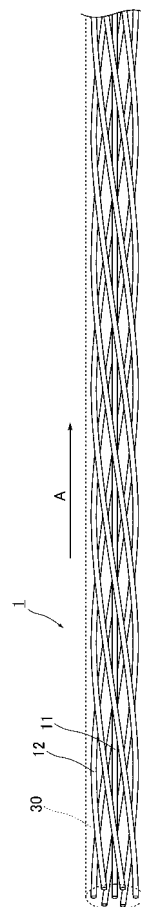
32・・・外側保護層

10

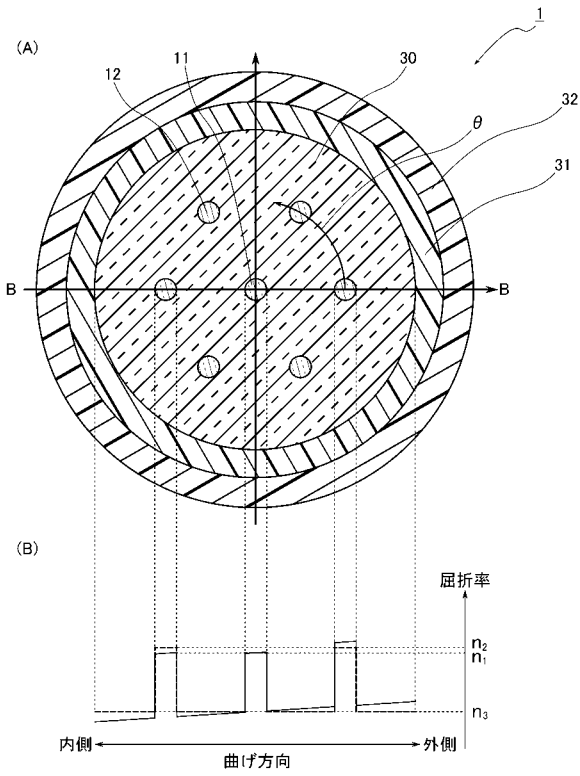
【図1】



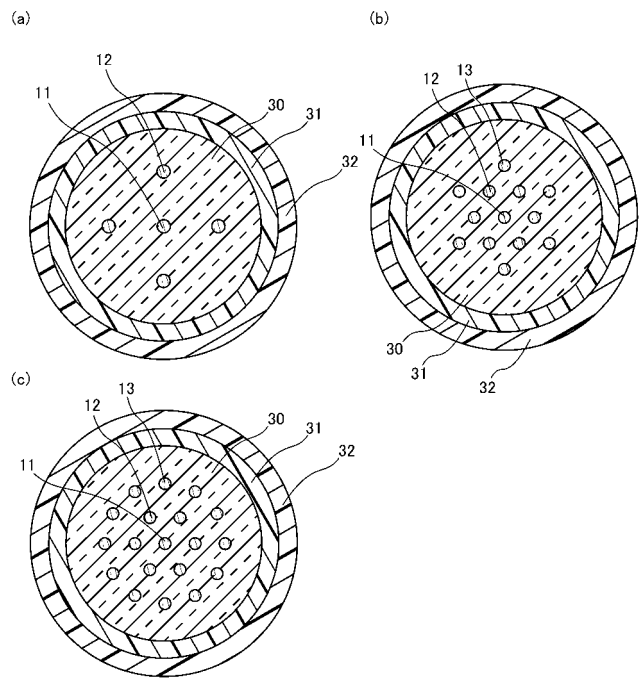
【図2】



【図 3】



【図 4】



【図 5】

