(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5778316号
(P5778316)

(45)発行日　平成27年9月16日(2015.9.16)　(24)登録日　平成27年7月17日(2015.7.17)

(51)Int.Cl.　　F I
G02B 6/024 (2006.01)　　G02B 6/024
G02B 6/036 (2006.01)　　G02B 6/036 301

請求項の数 5　(全 19 頁)

(21)出願番号　特願2014-114391(P2014-114391)
(22)出願日　平成26年6月2日(2014.6.2)
(62)分割の表示　特願2008-524841(P2008-524841)の分割
原出願日　平成19年7月12日(2007.7.12)
(65)公開番号　特開2014-197214(P2014-197214A)
(43)公開日　平成26年10月16日(2014.10.16)
審査請求日　平成26年6月20日(2014.6.20)
(31)優先権主張番号　60/830,099
(32)優先日　平成18年7月12日(2006.7.12)
(33)優先権主張国　米国(US)
(31)優先権主張番号　60/830,098
(32)優先日　平成18年7月12日(2006.7.12)
(33)優先権主張国　米国(US)

(73)特許権者　000005290
古河電気工業株式会社
東京都千代田区丸の内二丁目２番３号
(74)代理人　100089118
弁理士　酒井　宏明
(74)代理人　100142712
弁理士　田代　至男
(72)発明者　宮部　亮
東京都千代田区丸の内２丁目２番３号　古河電気工業株式会社内
(72)発明者　味村　裕
東京都千代田区丸の内２丁目２番３号　古河電気工業株式会社内

審査官　吉田　英一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】偏波保持光ファイバ

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
コア部と、
前記コア部の外周に形成され該コア部よりも屈折率が低いクラッド部と、
を備え、前記コア部の屈折率分布形状は、ステップ型あるいは凹型を成すとともに、該コア部と前記クラッド部との境界において、該クラッド部に対する比屈折率差がゼロの位置から比屈折率差の最大値の３／４となる位置までの形状をα型の屈折率分布形状で近似した場合に、α値が３．５以上の値となる形状を有し、前記クラッド部は、前記コア部を挟んで対向する位置に、該コア部との最短距離がほぼゼロになるように形成された２つの空孔を有し、
前記コア部のコア径をａ（μｍ）、前記空孔の直径をｂ（μｍ）、前記コア部と前記空孔の中心間距離をＬ（μｍ）とした場合、Ｗ＝Ｌ－（ａ＋ｂ）／２で表される前記コア部と前記空孔との最短距離Ｗ（μｍ）が、－０．１～０．２μｍであり、
前記コア部のクラッド部に対する最大比屈折率差をΔ（％）とした場合に、ａ≧－２４．２２１×Δ^3＋５１．７１８×Δ^2－４０．７８６×Δ＋１６．８７８を満たすとともに、Δが０．３２％以上０．８５％以下であり、
前記ａは５．５μｍ以上８μｍ以下であり、
前記ｂは１０μｍ以上３０μｍ以下であり、
前記コア部の非円率が１０％より小さく、
モード複屈折が１．０×10^{-4}以上であり、

カットオフ波長が１３００ｎｍ以下であり、
波長１５５０ｎｍにおける直交する２つの偏波軸における電界基底モードの漏れ損失がいずれも０．０１ｄＢ/ｋｍ以下である
ことを特徴とする偏波保持光ファイバ。
【請求項２】
前記コア部はゲルマニウムが添加されたシリカガラスからなり、前記クラッド部は純シリカガラスからなることを特徴とする請求項１に記載の偏波保持光ファイバ。
【請求項３】
前記Δが０．４７％以上であり、
モード複屈折が２．０×１０$^{-4}$以上であることを特徴とする請求項１または２に記載の偏波保持光ファイバ。
【請求項４】
１５００ｎｍ以上の波長においてシングルモード動作することを特徴とする請求項１～３のいずれか１つに記載の偏波保持光ファイバ。
【請求項５】
前記Δおよび前記ａは、ａ≧－２５．０６５×Δ^{3}＋６３．８０２×Δ^{2}－５８．１６５×Δ＋２３．８５８を満たし、
曲率半径１０ｍｍで曲げた場合の波長１５５０ｎｍにおけるマクロベンディングロスが０．１ｄＢ／ｍ以下であることを特徴とする請求項１～４のいずれか１つに記載の偏波保持光ファイバ。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、サイドトンネル型の偏波保持光ファイバに関するものである。
【背景技術】
【０００２】
偏波保持光ファイバとは、光の偏波状態を保持したまま伝搬させる光ファイバである。たとえば、クラッド部に、コア部を挟んで対向するように応力付与材を配置し、実効屈折率が互いに異なる直交軸を形成した応力付与型の偏波保持光ファイバや、楕円状のコア部を備える楕円コア型の偏波保持光ファイバがある。
【０００３】
一方、サイドトンネル型の偏波保持光ファイバは、応力付与材を用いない偏波保持光ファイバとして古くから研究され、コア部の屈折率プロファイルを調整することで単一偏波特性が得られることが知られている。たとえば、特許文献１に開示される偏波保持光ファイバは、コア部と空孔との間に間隔を設ける構造とすることで、ＯＨ損失や漏れ損失に起因する伝送損失を低減している。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００４】
【特許文献１】特開２００４－２６４４０５号公報
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００５】
しかしながら、特許文献１に開示される偏波保持光ファイバは、空孔とコア部との間に間隔を設けることでモード複屈折が小さくなり、偏波保持性が低減するという問題があった。特許文献１には、コア部の屈折率を非常に大きくする、若しくはコア径を小さくすることで、一般の応力付与型偏波保持光ファイバと同等のモード複屈折が得られると記載されているが、コア部の屈折率を大きくするとモードフィールド径が小さくなるので非線形性が大きくなってしまい、またコア径を小さくすると、マクロベンディングロスが非常に大きくなってしまうという問題があった。

【０００６】
本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、偏波保持性が高く、かつ伝送損失が低減されたサイドトンネル型の偏波保持光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】
【０００７】
上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る偏波保持光ファイバは、コア部と、前記コア部の外周に形成され該コア部よりも屈折率が低いクラッド部と、を備え、前記コア部の屈折率分布形状は、ステップ型あるいは凹型を成し、前記クラッド部は、前記コア部を挟んで対向する位置に、該コア部との最短距離がほぼゼロになるように形成された２つの空孔を有することを特徴とする。
【０００８】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、前記コア部の屈折率分布形状は、該コア部と前記クラッド部との境界において、該クラッド部に対する比屈折率差がゼロの位置から比屈折率差の最大値の３／４となる位置までの形状をα型の屈折率分布形状で近似した場合に、α値が３．５以上の値となる形状を有することを特徴とする。
【０００９】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、前記コア部のコア径をａ、前記空孔の直径をｂ、前記コア部と前記空孔の中心間距離をＬとした場合、Ｗ＝Ｌ－（ａ＋ｂ）／２で表される前記コア部と前記空孔との最短距離Ｗが、－０．１～０．２μｍであることを特徴とする。
【００１０】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、前記コア部のクラッド部に対する比屈折率差をΔ、コア径をａとした場合に、$a \geqq -24.221 \times \Delta^3 + 51.718 \times \Delta^2 - 40.786 \times \Delta + 16.878$を満たすとともに、Δが０．３２％以上であることを特徴とする。
【００１１】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、前記コア部はゲルマニウムが添加されたシリカガラスからなり、前記クラッド部は純シリカガラスからなることを特徴とする。
【００１２】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、前記コア部の非円率が１０％より小さいことを特徴とする。
【００１３】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、モード複屈折が1.0×10^{-4}以上であることを特徴とする。
【００１４】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、モード複屈折が2.0×10^{-4}以上であることを特徴とする。
【００１５】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、１３１０ｎｍ以上の波長においてシングルモード動作することを特徴とする。
【００１６】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、１５００ｎｍ以上の波長においてシングルモード動作することを特徴とする。
【００１７】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバは、上記発明において、曲率半径１０ｍｍで曲げた場合の波長１５５０ｎｍにおけるマクロベンディングロスが０．１ｄＢ／ｍ以下であることを特徴とする。
【００１８】
また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法は、上記のいずれかの発明に

係る偏波保持光ファイバの端部において前記空孔を潰して前記端部におけるコア部を楕円形状にし、該楕円形状のコア部と応力付与型偏波保持光ファイバとの偏波軸を一致させて、該偏波保持光ファイバと該応力付与型偏波保持光ファイバとを融着接続することを特徴とする。

【００１９】

また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法は、上記のいずれかの発明に係る偏波保持光ファイバと応力付与型偏波保持光ファイバとの偏波軸を一致させ、該偏波保持光ファイバの端部において前記空孔が潰れないように融着接続を行ない、前記融着接続した偏波保持光ファイバの端部を、前記空孔を潰すように加熱して、前記端部におけるコア部を楕円形状にすることを特徴とする。

【００２０】

また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体は、上記発明に係る製造方法によって製造された偏波保持光ファイバ接続体であって、融着接続部において、偏波クロストークが－３０ｄＢ以下であり、接続損失が１．０ｄＢ以下であることを特徴とする。

【００２１】

また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体は、上記発明において、前記融着接続部において、偏波クロストークが－３５ｄＢ以下であり、接続損失が０．５ｄＢ以下であることを特徴とする。

【００２２】

また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体は、上記発明に係る製造方法によって製造された偏波保持光ファイバ接続体であって、融着接続部において、偏波クロストークが－３０ｄＢ以下であり、接続損失が０．５ｄＢ以下であることを特徴とする。

【００２３】

また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体は、上記発明において、前記融着接続部において、偏波クロストークが－３５ｄＢ以下であり、接続損失が０．３ｄＢ以下であることを特徴とする。

【００２４】

また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体は、上記発明において、前記偏波保持光ファイバの端部に形成した楕円形状のコア部の長径方向と、前記応力付与型偏波保持光ファイバの２つの応力付与材の中心を通る軸を結んだ方向とが一致していることを特徴とする。

【００２５】

また、本発明に係る偏波保持光ファイバ接続体は、上記発明において、前記応力付与型偏波保持光ファイバの非線形係数が１０／ｗ／ｍ以上であることを特徴とする。

【発明の効果】

【００２６】

本発明によれば、コア部の屈折率分布形状が、ステップ型あるいは凹型を成し、クラッド部が、前記コア部を挟んで対向する位置に、該コア部との最短距離がほぼゼロになるように形成された２つの空孔を有することによって、偏波保持性が高く、かつ伝送損失が低減されたサイドトンネル型の偏波保持光ファイバを実現できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【００２７】

【図１】図１は、本発明の実施の形態１に係る偏波保持光ファイバの断面概略図である。

【図２】図２は、図１に示す偏波保持光ファイバのＡ－Ａ線断面における屈折率分布形状を示す図である。

【図３】図３は、図１に示す偏波保持光ファイバのＢ－Ｂ線断面における屈折率分布形状を示す図である。

【図４】図４は、コア部と空孔との最短距離の定義を説明する図である。

【図５】図５は、図１に示すものと構造を有する偏波保持光ファイバにおいて、Ｗを変化させた際のモード複屈折の変化の様子を示す図である。

【図６】図６は、図１に示すものと同様の構造を有する偏波保持光ファイバにおいて、屈折率分布形状を規定するα値を変化させた際の漏れ損失の変化の様子を示す図である。
【図７】図７は、図１に示すものと同様の構造を有する偏波保持光ファイバにおいて、条件Ａにおけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係と、条件Ａにおける比屈折率差Δとモード複屈折との関係とを示す図である。
【図８】図８は、図１に示すものと同様の構造を有する偏波保持光ファイバにおいて、条件Ｂにおけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係を示す図である。
【図９】図９は、図１に示すものと同様の構造を有する偏波保持光ファイバにおいて、条件Ｃにおけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係と、条件Ｃにおける比屈折率差Δとモード複屈折との関係と、条件Ａにおけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係と、を示す図である。
【図１０】図１０は、実施例２～１４に係る偏波保持光ファイバの特性を示す図である。
【図１１】図１１は、本発明の実施の形態２に係る偏波保持光ファイバの断面概略図である。
【図１２】図１２は、図１１に示す偏波保持光ファイバのＣ－Ｃ線断面における屈折率分布形状を示す図である。
【図１３】図１３は、実施例１５～２０に係る偏波保持光ファイバの特性を示す図である。
【図１４】図１４は、本発明の実施の形態３に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法を説明する図である。
【図１５】図１５は、本発明の実施の形態３に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法を説明する図である。
【図１６】図１６は、製造した偏波保持光ファイバ接続体の融着接続部を、図１５において示す方向から見た状態を示す図である。
【図１７】図１７は、本発明の実施の形態４に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法を説明する図である。
【図１８】図１８は、製造した偏波保持光ファイバ接続体の融着接続部を、図１７において示す方向から見た状態を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００２８】
以下に、図面を参照して本発明に係る偏波保持光ファイバおよび偏波保持光ファイバ接続体の製造方法および偏波保持光ファイバ接続体の実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、本明細書中におけるカットオフ波長λｃとは、ＩＴＵ－Ｔ（国際電気通信連合）Ｇ．６５０で定義するファイバカットオフ波長λｃをいう。その他、本明細書で特に定義しない用語についてはＩＴＵ－Ｔ　Ｇ．６５０における定義及び測定方法に従うものとする。また、漏れ損失については、光ファイバの断面構造から計算される計算値を示している。
【００２９】
（実施の形態１）
図１は、本発明の実施の形態１に係る偏波保持光ファイバの断面概略図である。図１に示すように、この偏波保持光ファイバ１０は、コア部１１と、コア部１１の外周に形成され、コア部１１よりも屈折率が低いクラッド部１２とを備える。なお、コア部１１はゲルマニウムが添加されたシリカガラスからなり、クラッド部１２は屈折率調整用のドーパントが添加されていない純シリカガラスからなる。また、クラッド部１２は、コア部１１を挟んで対向する位置に２つの空孔１３を有する。この空孔１３は、いずれもコア部１１との最短距離がほぼゼロになるように形成されている。なお、この最短距離については後述する。
【００３０】
図２は、図１に示す偏波保持光ファイバ１０のＡ－Ａ線断面における屈折率分布形状を示す図である。図２に示すように、コア部１１における屈折率分布形状Ｐ１１は、コア部

１１内で屈折率が一様なステップ型を成している。また、クラッド部１２における屈折率分布形状Ｐ１２は、クラッド部１２内で屈折率が一様な形状を成しており、コア部１１のクラッド部１２に対する比屈折率差はΔ１１である。なお、この比屈折率差Δ１１は、下記式（１）で定義される。

【００３１】

$$\Delta 11 = \{(n_{c1} - n_c) / n_{c1}\} \cdot 100 \qquad (1)$$

ここで、n_{c1}はコア部１１の最大屈折率、n_cはクラッド部１２の屈折率である。

【００３２】

また、コア部１１のコア径はａ１である。このコア径は、コア部１１とクラッド部１２との境界において、Δ１１の１／２の比屈折率差を有する位置でのコア部１１の直径として定義する。

【００３３】

一方、図３は、偏波保持光ファイバ１０のＢ－Ｂ線断面における屈折率分布形状を示す図である。なお、Ａ－Ａ線とＢ－Ｂ線は互いに直交しているものとする。図３に示すように、コア部１１およびクラッド部１２における屈折率分布形状Ｐ１１、Ｐ１２はそれぞれ図２と同様の形状を成しているが、Ｂ－Ｂ線断面は空孔１３を含むため、Ｂ－Ｂ線断面における屈折率分布形状には、空孔１３において屈折率が低下した屈折率分布形状Ｐ１３が含まれている。なお、空孔１３は通常は空気によって満たされているので、空孔１３のクラッド部１２に対する比屈折率差であるΔ１３は、通常は空気のクラッド部１２に対する比屈折率差と同一である。

【００３４】

ここで、図１～３に示すように、偏波保持光ファイバ１０は、互いに直交するＡ－Ａ線方向とＢ－Ｂ線方向とで屈折率分布形状が異なるために実効屈折率に差異が生じ、モード複屈折が発生することによって、偏波保持性を有するものとなる。

【００３５】

また、偏波保持光ファイバ１０は、コア部１１との最短距離がほぼゼロになるように空孔１３が形成されているので、モード複屈折が大きくなり、偏波保持性が高くなっている。一方、偏波保持光ファイバ１０においては、コア部１１の屈折率分布形状Ｐ１１がステップ型を成しているため、コア部１１と空孔１３との最短距離がほぼゼロであっても、コア部１１を伝搬する光のフィールド分布と空孔１３との空間的な重なりを最小限に抑えることができる。その結果、空孔１３の内壁面に残留したＯＨ基による光の吸収損失の発生や、光の空孔１３への漏れ損失の発生が抑制されるので、偏波保持光ファイバ１０の伝送損失が低減される。

【００３６】

以下、偏波保持光ファイバ１０についてさらに具体的に説明する。まず、空孔１３の空孔径とコア部１１のコア径との関係が、モード複屈折および漏れ損失に与える影響について説明する。空孔部の大きさがコア径の１．５倍の場合と２倍の場合とにおけるモード複屈折を比較すると、２倍の場合のほうが、モード複屈折が１０～１５％程度大きく、さらに２倍以上の場合は、空孔径が異なることによるモード複屈折の変化量は１０％以下であり、ほとんど変わらない。また、空孔部の大きさがコア径の１．５倍の場合と２倍の場合とにおける漏れ損失を比較すると、２倍の場合のほうが、漏れ損失が２００％以上大きいが、さらに２倍以上の場合は、空孔径が異なることによる漏れ損失の変化量は２００％よりも小さく、同程度のオーダーとなる。したがって、モード複屈折と漏れ損失との安定性を考慮すれば、空孔部の大きさはコア径の２倍以上が好ましい。

【００３７】

つぎに、コア部１１と空孔１３との距離と、モード複屈折および漏れ損失との関係について説明する。

【００３８】

はじめに、図４に示すように、コア部１１の中心軸と空孔１３の中心軸とを結んだ線上における、コア部１１の外周と空孔１３の内壁との最短距離をW[μm]と定義する。なお

、コア径をａ１、空孔径をｂ１、コア部１１と空孔１３の中心間距離をＬとした場合、Ｗは、Ｗ＝Ｌ－（ａ１＋ｂ１）／２で表される。

【００３９】

図５は、偏波保持光ファイバ１０と同様の構造を有し、コア径が６μｍ、空孔径が２５μｍ、比屈折率差Δ１１が０．８％の偏波保持光ファイバにおいて、Ｗを変化させた際のモード複屈折の変化の様子を示す図である。図５に示すように、Ｗが小さくなるほどモード複屈折が大きくなる。また、Ｗを負の値とする、すなわち空孔をコア部に食い込ませるようにすることによって、より大きなモード複屈折が得られる。本実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０は、Ｗがほぼゼロであるから、モード複屈折が２．４×１０$^{-4}$となり、モード複屈折の値が２．０×１０$^{-4}$である一般的な応力付与型偏波保持ファイバ以上の偏波保持性を実現することができ、製造時のＷの変動を考慮しても安定して大きな偏波保持性を得ることができる。なお、たとえば製造の際に、Ｗが－０．１～０．２μｍの範囲で変動したとしても、モード複屈折が１．６×１０$^{-4}$以上なり、十分に大きい値である。

一方、空孔をコア部に大きく食い込ませるようにすると、漏れ損失が大きくなるので好ましくない。また、Ｗが－０．１～０．２μｍの範囲で変動した場合を想定すると、Ｗが０．２μｍの場合の漏れ損失は、Ｗが０μｍの場合の約１／１０と十分に小さい。さらに、Ｗが－０．１μｍの場合の漏れ損失は、Ｗが０μｍの場合の２倍程度となり、伝送損失に影響を与えない許容範囲内と考えられる０．０１ｄＢ／ｋｍよりも小さい差であるので、問題とはならない。すなわち、Ｗが－０．１～０．２μｍの範囲であれば、十分大きなモード複屈折が得られるとともに、漏れ損失も十分小さい。

【００４０】

つぎに、偏波保持光ファイバのコア部の屈折率分布形状と漏れ損失との関係についてより具体的に説明する。上述したように、偏波保持光ファイバ１０のコア部１１における屈折率分布形状Ｐ１１は、コア部１１内で屈折率が一様なステップ型を成している。しかしながら、現実には、屈折率分布形状Ｐ１１が理想的なステップ型ではなくα型の形状を成す場合がある。

【００４１】

なお、α型形状は、α型形状を規定するパラメータであるα値をαとすると、式（２）で定義される。

$$n^2(r) = n_{core}^2 \times \{1 - 2 \times (\Delta / 100) \times (r / a) \wedge \alpha\}$$

（但し、０＜ｒ＜ａ）　・・・　（２）

ただし、ｒはコア部の中心からの半径方向の位置を示し、ｎ（ｒ）は位置ｒにおける屈折率、n_{core}はコア部のｒ＝０における屈折率、Δは（１）式におけるΔ１１、ａはコア部の半径を表している。また、記号「＾」はべき乗を表す記号である。

【００４２】

ここで、偏波保持光ファイバ１０のコア部１１の屈折率分布形状Ｐ１１がα型形状を成している場合は、α値が３．５以上であれば、漏れ損失は十分に小さいので好ましい。以下説明する。

【００４３】

図６は、偏波保持光ファイバ１０と同様の構造を有し、コア部の屈折率分布形状がα型形状を成し、コア径が６．５μｍ、空孔径が２２μｍ、クラッド部に対するコア部の比屈折率差の最大値が０．６％の偏波保持光ファイバにおいて、屈折率分布形状を規定するα値を変化させた際の漏れ損失の変化の様子を示す図である。図６に示すように、α値が３．５以上であれば、漏れ損失は０．００２８ｄＢ／ｋｍとなり、確実に０．０１ｄＢ／ｋｍ以下となるので好ましい。なお、α値が１０以上であれば、α型形状は理想的なステップ形状とほぼ同一となるのでさらに好ましい。

【００４４】

なお、α値はコア部全体の屈折率分布形状を規定するパラメータである。しかしながら、コア部とクラッド部との境界におけるコア部の屈折率分布形状が、比屈折率差がゼロの

位置から比屈折率差が最大値の３／４となる位置までの形状をα型の屈折率分布形状で近似した場合に、α値が３．５以上の値となるような形状を成していれば、漏れ損失は十分に小さくなる。

【００４５】

つぎに、偏波保持光ファイバのコア部の比屈折率差およびコア径と、漏れ損失との関係についてより具体的に説明する。本実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０において、モード複屈折を大きくするためには、コア径を小さくすることが効果的であるが、単にコア径のみを小さくすると、それに従い、光の閉じ込めが弱くなり、マクロベンディングロスが増大するので、コア径を小さくする場合、コア部の比屈折率差を大きくすることが好ましい。

【００４６】

図７は、偏波保持光ファイバ１０と同様の構造を有し、空孔径が２５μｍの偏波保持光ファイバにおいて、波長１５５０ｎｍにおける漏れ損失が０．０１ｄＢ／ｋｍとなる条件（以下、条件Ａとする）におけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係と、条件Ａにおける比屈折率差Δとモード複屈折との関係とを示す図である。なお、線Ｌ１は、条件Ａにおける比屈折率差Δとコア径との関係とを示す線であり、線Ｌ２は、条件Ａにおける比屈折率差Δとモード複屈折との関係とを示す線である。また、線Ｌ２は、コア径をａとして下記式（３）の等号の場合で示され、線Ｌ２より右上側の領域は、式（３）の不等号の場合で示される。

【００４７】

$$a \geqq -24.221\times\Delta^{3}+51.718\times\Delta^{2}-40.786\times\Delta+16.878 \quad (3)$$

【００４８】

したがって、本実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０のコア部１１の比屈折率差Δとコア径との関係を、式（３）を満たすようにすれば、波長１５５０ｎｍにおける漏れ損失が０．０１ｄＢ／ｋｍ以下となるので好ましい。

【００４９】

また、図７の線Ｌ２に示されるように、コア部の比屈折率差とコア径との関係を式（３）で表されるようなものにした場合に、比屈折率差を０．３２％以上にすれば、モード複屈折を、実用上十分な値と考えられる1.0×10^{-4}以上にすることができるので好ましく、比屈折率差を０．４７％以上にすれば、モード複屈折を2.0×10^{-4}以上にすることができるのでさらに好ましい。

【００５０】

つぎに、偏波保持光ファイバのコア部の比屈折率差およびコア径と、マクロベンディングとの関係についてより具体的に説明する。本実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０において、単にコア径のみを小さくすると、それに従い、マクロベンディングも増大するので、コア部の比屈折率差との関係でコア径を小さくすることが好ましい。

【００５１】

図８は、偏波保持光ファイバ１０と同様の構造を有し、空孔径が２５μｍの偏波保持光ファイバにおいて、曲率半径１０ｍｍで曲げた場合の波長１５５０ｎｍにおけるマクロベンディングロスが０．１ｄＢ／ｍとなる条件（以下、条件Ｂとする）におけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係を示す図である。なお、線Ｌ３が、条件Ｂにおける比屈折率差Δとコア径との関係とを示す線である。また、線Ｌ３は、下記式（４）の等号の場合で示され、線Ｌ３より右上側の領域は、式（４）の不等号の場合で示される。

【００５２】

$$a \geqq -25.065\times\Delta^{3}+63.802\times\Delta^{2}-58.165\times\Delta+23.858 \quad (4)$$

【００５３】

したがって、本実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０のコア部１１の比屈折率差Δとコア径との関係を、式（４）を満たすようにすれば、曲率半径１０ｍｍで曲げた場合

の波長１５５０ｎｍにおけるマクロベンディングロスが０．１ｄＢ／ｍとなる。その結果、偏波保持光ファイバ１０の配線時の取り扱いが容易となり、またコイル化する際に巻き径を小径にできるので、小型の光ファイバモジュールを作製するのに適するものとなる。

【００５４】

つぎに、偏波保持光ファイバのコア部の比屈折率差およびコア径と、カットオフ波長との関係についてより具体的に説明する。

【００５５】

図９は、偏波保持光ファイバ１０と同様の構造を有し、空孔径が３０μｍの偏波保持光ファイバにおいて、カットオフ波長が１３００ｎｍとなる条件（以下、条件Ｃとする）におけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係と、条件Ｃにおける比屈折率差Δとモード複屈折との関係と、波長１５５０ｎｍにおける漏れ損失が０．０１ｄＢ／ｋｍとなる条件Ａにおけるコア部の比屈折率差Δとコア径との関係と、を示す図である（ただし、この場合におけるクラッド径は６０μｍである）。なお、線Ｌ５は、条件Ｃにおける比屈折率差Δとコア径との関係とを示す線であり、線Ｌ６は、条件Ｃにおける比屈折率差Δとモード複屈折との関係とを示す線であり、線Ｌ４は、条件Ａにおける比屈折率差Δとコア径との関係とを示す線である。

【００５６】

なお、図９では、空孔とコア部との距離をゼロとしているので、コア径が変わると空孔の中心位置も変化する。また、コア径を固定して比屈折率差Δを小さくすると、偏波保持光ファイバの漏れ損失が大きくなる。なお、図９には示していないが、このとき曲げ損失も大きくなる。一方、コア径を固定して比屈折率差Δを大きくすると、高次モード損失が小さくなり、偏波保持光ファイバがマルチモードファイバとなる。

【００５７】

ここで、伝搬する光の波長が長いほうが、漏れ損失が大きく、波長が短いほうが、マルチモード動作しやすい。したがって、図９において線Ｌ４、Ｌ５で示される関係を計算する際には、偏波保持光ファイバを１．３μｍ帯域（１２８０～１３３０ｎｍ）から１．５５μｍ帯域（１５３０～１５６５ｎｍ）で使用することを想定して、比屈折率差Δの上限値、下限値を設定した。すなわち、線Ｌ４、Ｌ５は、各コア径に対して、比屈折率差Δの下限値については、波長１５５０ｎｍにおける直交する２つの偏波軸における電界の基底モードのうち、いずれかのモードの漏れ損失が０．０１ｄＢ／ｋｍとなる比屈折率差Δを示し、比屈折率差Δの大きいほうの限界については、波長１３００ｎｍにおいてマルチモード動作する比屈折率差Δを示したものである。

【００５８】

ここで、本実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０において、線Ｌ５の線上または左下側の領域に対応するようなコア径と比屈折率差Δとの組み合わせにすれば、カットオフ波長が１３００ｎｍ以下となるので好ましい。また、線Ｌ４の線上または右上側の領域に対応するようなコア径と比屈折率差Δとの組み合わせにすれば、漏れ損失が０．０１ｄＢ／ｋｍ以下となるので好ましい。したがって、コア径と比屈折率差Δとの組み合わせを、線Ｌ４と線Ｌ５との間の領域に対応するものにすることが好ましい。

【００５９】

また、線Ｌ６は、条件Ｃ、すなわち偏波保持光ファイバ１０がマルチモードとなる臨界条件であって、比屈折率差の大きい方の限界における、比屈折率差Δとモード複屈折との関係とを示す線である。図９に示すように、比屈折率差Δを大きくするほうがモード複屈折を大きくすることができる。また、コア径を固定した際の比屈折率差Δの最適範囲の幅も大きくなり、つまり比屈折率差Δの許容誤差も大きくなるため、偏波保持光ファイバとして低偏波クロストーク、低漏れ損失を実現するという点からは、比屈折率差Δが大きいほうが有利である。しかし、比屈折率差Δを大きくするとモードフィールド径が小さくなり、他の光ファイバとの接続損失が大きくなる場合があるため、適度な比屈折率差Δを選択する必要がある。

【００６０】

なお、たとえば比屈折率差Δを０．８％、コア径を６．０μｍとした場合は、図９においてデータ点Ｃ１によって示される。データ点Ｃ１は線Ｌ４とＬ５との間の領域に位置するので、好ましい組み合わせである。また、上記組み合わせの場合のモード複屈折はデータ点Ｃ２で表されるものとなり、その値は２．８×１０$^{-4}$と十分に高い値となる。

【００６１】

（実施例１）

つぎに、本発明の実施例１として、実施の形態１と同様の構造を有する偏波保持光ファイバを製造した。以下、その製造方法を説明する。はじめに、ＶＡＤ法を用いてゲルマニウムが添加された多孔質シリカ母材を作製し、これをガラス化してシリカガラスからなるコア母材を作製した。このコア母材の純シリカガラスに対する比屈折率差は半径方向にほぼ一様に０．８％であった。さらに、このコア母材の屈折率分布形状をより理想的なステップ型とするために、コア母材の外周部を所定の厚さだけエッチングで除去した。その後、このコア母材の屈折率分布形状を測定したところ、外周部の位置から比屈折率差が０．７％の位置までほぼ垂直の立ち上がりを示していた。また、このコア母材の屈折率分布形状をα型形状で近似すると、α値は実質的に１０以上となっていた。

【００６２】

つぎに、このコア母材の外側にクラッド部となる純シリカ層をＯＶＤ法により外付けし、再度ガラス化して光ファイバ母材を作製した。なお、この光ファイバ母材は、外径が４０ｍｍであり、コア部分の直径が１．９２ｍｍであった。つぎに、この光ファイバ母材のクラッドとなる部分に、機械式ドリルにより穿孔し、仕上がり直径がいずれも８ｍｍになるように２つの空孔を形成し、さらに空孔の内面の研磨を行った。なお、２つの空孔は、コア母材を挟んで対向する位置に、コア母材の外周部との最短距離がそれぞれゼロになるように形成した。そして、この光ファイバ母材を、クラッド径が１２５μｍとなるように線引きし、偏波保持光ファイバを作製した。

【００６３】

この実施例１に係る偏波保持光ファイバは、コア部のコア径が６μｍであり、コア部のクラッド部に対する比屈折率差が０．８％であり、コア部の屈折率分布形状がステップ型形状であった。また、コア部の屈折率分布形状については、コア母材の屈折率分布と同様になるので、α型形状で近似すると、α値は実質的に１０以上である。また、２つの空孔の空孔径はいずれも２５μｍであった。

【００６４】

さらに、この実施例１に係る偏波保持光ファイバの光学特性については、以下のとおりである。まず、モード複屈折は２．４×１０$^{-4}$であり、市販の応力付与型の偏波保持光ファイバと同等以上の値であった。また、これに伴う偏波クロストークは－４０ｄＢ以下であった。また、カットオフ波長λｃは１０５０ｎｍであった。したがって、実施例１に係る偏波保持光ファイバは、波長１．３μｍ帯域および１．５５μｍ帯域においてシングルモード動作する。また、曲率半径１０ｍｍで曲げた場合の波長１５５０ｎｍにおけるマクロベンディングロスは０．０３ｄＢ／ｍであり、小径で曲げた場合でも伝送損失の増加が小さい。また、波長１５５０ｎｍにおける伝送損失は１．９ｄＢ／ｋｍであり、使用条長が数百ｍ程度であるような光部品として用いる場合には十分許容範囲の大きさであった。また、コア部の非円率は１％程度であり、空孔を設けたことによるコア部の変形はほとんどなかった。なお、コア部の非円率が１０％より小さければ、漏れ損失の異方性も抑制できるので好ましい。

【００６５】

ちなみに、上記実施の形態１、２に係る偏波保持光ファイバの長手方向の一部分において空孔を加熱処理などによって潰し、コア部を楕円状にすることによって、その部分を楕円コア型の偏波保持光ファイバとすることもできる。このように楕円状コア部を形成した部分においては波長分散値が大きく変化する。したがって、形成する楕円状コア部の長さを調整することによって、偏波保持光ファイバの波長分散値を変化させることができる。なお、楕円状コア部を形成した部分においても、光ファイバの偏波保持性、およびシング

ルモード動作特性は維持される。

【００６６】

（実施例２～１４）

つぎに、本発明の実施例２～１４に係る偏波保持光ファイバとして、実施例１に係る偏波保持光ファイバと同様の構造を有するが、コア部の比屈折率差、α値、コア径、および空孔の空孔径を変えた偏波保持光ファイバを製造した。なお、いずれの偏波保持光ファイバにおいてもコア部と空孔との最短距離はゼロとしている。

【００６７】

図１０は、実施例２～１４に係る偏波保持光ファイバの特性を示す図である。図１０において、「Δ１１」はコア部の比屈折率差、「α１」はα値、「ａ１」はコア径を示す。図１０に示すように、実施例２～１４に係る偏波保持光ファイバは、いずれもモード複屈折が１．０×１０$^{-4}$以上であり、十分大きな偏波保持性を有していた。特に、実施例８～１４に係る偏波保持光ファイバは、モード複屈折が２．０×１０$^{-4}$以上であり、一般的な応力付与型偏波保持光ファイバと同等以上であった。また、カットオフ波長については、いずれの偏波保持光ファイバも１３００nm以下であった。また、実施例３、５、９、１１、１２、１４については、曲率半径１０ｍｍで曲げた場合の波長１５５０ｎｍにおけるマクロベンディングロスが０．１ｄＢ／ｍ以下であり、小径での曲げを伴う用途に適用可能な光ファイバであった。また、光ファイバの構造から計算される漏れ損失については、いずれの偏波保持光ファイバも０．０１ｄＢ／ｋｍであり、伝送損失への影響が問題とならない程度の値であった。

【００６８】

（実施の形態２）

つぎに、本発明の実施の形態２に係る偏波保持光ファイバについて説明する。図１１は、本発明の実施の形態２に係る偏波保持光ファイバの断面概略図である。図１１に示すように、この偏波保持光ファイバ２０は、実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０と同様に、ゲルマニウムが添加されたシリカガラスからなるコア部２１と、コア部２１の外周に形成され、純シリカガラスからなるクラッド部２２とを備え、クラッド部２２は、コア部２１を挟んで対向する位置に、コア部２１との最短距離がほぼゼロになるように形成され２つの空孔２３を有する。しかしながら、偏波保持光ファイバ１０とは異なり、偏波保持光ファイバ２０は、コア部２１が中心コア部２１１と、中心コア部２１１の外周に形成された、中心コア部２１１よりも屈折率が高い外側コア部２１２とを備える。

【００６９】

図１２は、図１１に示す偏波保持光ファイバ２０のＣ－Ｃ線断面における屈折率分布形状を示す図である。図１２に示すように、中心コア部２１１における屈折率分布形状Ｐ２１１と、外側コア部２１２における屈折率分布形状Ｐ２１２は、いずれも屈折率が一様な形状を成しているとともに、コア部２１全体としては凹型の屈折率分布形状を成している。また、クラッド部２２における屈折率分布形状Ｐ２２は、屈折率が一様な形状を成している。また、中心コア部２１１、外側コア部２１２のクラッド部２２に対する比屈折率差は、それぞれΔ２１、Δ２２であり、Δ２２＞Δ２１である。また、外側コア部２１２の外径、すなわちコア部２１のコア径はａ２２である。このコア径は、コア部２１とクラッド部２２との境界において、Δ２２の１／２の比屈折率差を有する位置でのコア部２１の直径として定義する。また、中心コア部２１１の直径はａ２１である。この直径は、中心コア部２１１と外側コア部２１２との境界において、（Δ２２－Δ２１）の１／２の比屈折率差を有する位置での中心コア部２１１の直径として定義する。

【００７０】

一方、偏波保持光ファイバ２０のＣ－Ｃ線と直交する断面においては、偏波保持光ファイバ１０と同様に空孔２３が形成されているので、屈折率分布形状も空孔の屈折率を反映した形状となっている。その結果、偏波保持光ファイバ２０は、Ｃ－Ｃ線方向とこれに直交する方向とで屈折率分布形状が異なるために実効屈折率に差異が生じ、モード複屈折が発生することによって、偏波保持性を有するものとなる。また、偏波保持光ファイバ２０

は、コア部２１との距離がほぼゼロになるように空孔２３が形成されているので、偏波保持光ファイバ１０と同様に、偏波保持性が高くなっている。また、偏波保持光ファイバ２０においては、コア部２１の屈折率分布形状が凹型形状を成しているため、偏波保持光ファイバ１０と同様に、漏れ損失が低減される。

【００７１】

なお、偏波保持光ファイバ１０の場合と同様に、コア部２１の屈折率分布形状が理想的な凹型形状ではなく、コア部２１とクラッド部２２との境界においてα型形状を成している場合があるが、比屈折率差がゼロの位置から比屈折率差が最大値の３／４となる位置までの形状をα型の屈折率分布形状で近似した場合に、α値が３．５以上の値となる形状を有すれば、漏れ損失が小さくなる。

なお、このとき式（２）におけるn_{core}はコア部の最大屈折率、ΔはΔ_{22}とする。また、ｒ＝０の屈折率がn_{core}（コア部の最大屈折率）であるとして、比屈折率差が最大値の３／４となる位置までの形状をα型の屈折率分布形状で近似する。

【００７２】

（実施例１５～２０）

つぎに、本発明の実施例１５～２０に係る偏波保持光ファイバとして、実施の形態２と同様の構造を有し、中心コア部および外側コア部の比屈折率差、中心コア部の直径、コア部のコア径およびα値、および空孔の空孔径を変えた偏波保持光ファイバを製造した。

【００７３】

図１３は、実施例１５～２０に係る偏波保持光ファイバの特性を示す図である。図１３において、「Δ_{21}」は中心コア部の比屈折率差、「Δ_{22}」は外側コア部の比屈折率差、「α２」はα値、「ａ２１」は中心コア部の直径、「ａ２２」はコア径を示す。ここでα値は、コア部とクラッド部との境界において、比屈折率差がゼロの位置から比屈折率差が最大値の３／４となる位置までの形状をα型の屈折率分布形状で近似した場合のα値である。

【００７４】

なお、実施例１５～２０に係る偏波保持光ファイバは、それぞれ図１０に示す実施例５、９、１１、１３、１４に係る偏波保持光ファイバにおいて、コア部の屈折率分布形状を凹型に変えたものに相当する。以下、対応する実施例を対比して説明する。まず、モード複屈折については、いずれも10^{-4}のオーダーであり、ほとんど変わらない。また、コア部の屈折率分布形状が凹型形状を成している場合、ステップ型形状を成している場合に比べて実効屈折率が低くなるため、マクロベンディングロスは増加する傾向となる。例えば、実施例１５や２０の場合、Δ_{21}とΔ_{22}との差が小さいため、コア部の屈折率分布形状がステップ型形状を成している場合とあまり変わらないため、実施例５や１４の場合に対してマクロベンディングロスの増加が１桁程度である。しかし実施例１６～１９の場合、Δ_{21}とΔ_{22}との屈折率差が０．１％と大きいため、対応する実施例９、１１、１３の場合に比べてマクロベンディングロスも大きく増加する。また、屈折率分布形状を、凹型を成すようにすることによって、カットオフ波長はいずれも短波化する。また、漏れ損失も増加するが、いずれの場合も０．０１ｄＢ／ｋｍ以下であり、伝送損失にはほとんど影響しない。

【００７５】

（実施の形態３）

つぎに、本発明の実施の形態３に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法について説明する。本実施の形態３に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法は、実施の形態１に係る偏波保持光ファイバと、応力付与型偏波保持光ファイバとを融着接続し、偏波保持光ファイバ接続体を製造するものである。

【００７６】

図１４、１５は、本実施の形態３に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法を説明する図である。はじめに、図１４に示すように、実施の形態１に係る偏波保持光ファイバ１０の端部を加熱処理し、この端部を楕円コア型偏波保持光ファイバ部３０とする。この楕

円コア型偏波保持光ファイバ部３０は、偏波保持光ファイバ１０のコア部１１が楕円化した楕円コア部３１と、クラッド部１２の空孔１３が完全に潰れて形成されたクラッド部３２とを備える。

【００７７】

つぎに、図１５に示すように、楕円コア型偏波保持光ファイバ部３０と、応力付与型偏波保持光ファイバ４０とを、従来の融着接続機を用いて融着接続する。なお、応力付与型偏波保持光ファイバ４０は、ゲルマニウムが添加されたシリカガラスからなるコア部４１と、純シリカガラスからなるクラッド部４２とを備え、クラッド部４２に、コア部４１を挟んで対向するように応力付与材４３が配置されているものである。また、コア部４１のクラッド部４２に対する比屈折率差は０．３５～０．４％である。

【００７８】

なお、この融着接続を行なう際には、融着接続部における偏波クロストークを低くするために、楕円コア型偏波保持光ファイバ部３０と、応力付与型偏波保持光ファイバ４０との偏波軸を合わせて融着接続を行なう。しかし、楕円コア型偏波保持光ファイバ部３０には偏波軸を合わせるための目印が無いため、これらの光ファイバ同士の調芯を行う際は、光ファイバの端面同士を近接させた状態で、単一偏波の光を一方の光ファイバの他方の端面から入射し、光ファイバの間隙部を通過し他方の光ファイバに結合して他方の端面から出力される光のパワーをモニタする。なお、光のパワーをモニタする際には、他方の光ファイバの他方の端面側に、上述した単一偏波の光を透過するような方向に偏光角を設定した偏光子を配置し、この偏光子を通過した光のパワーをモニタする。そして、モニタした光のパワーが最も大きくなるように他方のファイバを回転させることによって両光ファイバの偏波面を合わせて調芯を行い、その後加熱放電融着を行なう。

【００７９】

図１６は、上記融着接続を行なって製造した偏波保持光ファイバ接続体１００の融着接続部を、図１５に示す方向Ｄ１の方向から見た状態を示す図である。図１６に示すように、偏波保持光ファイバ接続体１００の融着接続部において、楕円コア型偏波保持光ファイバ部３０の楕円コア部３１の長軸方向と、応力付与型偏波保持光ファイバ４０の応力付与材４３の中心を通る軸同士を結んだ方向とが一致しているので、融着接続部の偏波クロストークが低くなる。なお、融着接続部の特性としては、偏波クロストークが－３０ｄＢ以下であり、接続損失が１．０ｄＢ以下であれば実用上十分である。しかし、この偏波保持光ファイバ接続体１００を、光の偏波状態の変動が低く、光パワーが高いことが要求される非線形光ファイバとして用いる場合は、偏波クロストークが－３５ｄＢ以下であり、接続損失が０．５ｄＢであることが好ましい。なお、上述した実施例１に係る偏波保持光ファイバと、一般的な応力付与型偏波保持光ファイバを用いて、本実施の形態３に従って偏波保持光ファイバ接続体を製造したところ、融着接続部における偏波クロストークは－３５．２ｄＢ、接続損失は０．３５ｄＢであった。

【００８０】

（実施の形態４）

つぎに、本発明の実施の形態４に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法について説明する。本実施の形態４に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法は、実施の形態３とは異なり、実施の形態１に係る偏波保持光ファイバと応力付与型偏波保持光ファイバとの偏波軸を一致させ、偏波保持光ファイバの端部において空孔が潰れないように融着接続を行ない、その後融着接続した偏波保持光ファイバの端部を、空孔を潰すように加熱して、コア部を楕円形状にする。

【００８１】

図１７は、本実施の形態４に係る偏波保持光ファイバ接続体の製造方法を説明する図である。はじめに、図１７に示すように、偏波保持光ファイバ１０と、応力付与型偏波保持光ファイバ４０とを、互いの偏波軸を合わせた状態で、従来の融着接続機を用いて融着接続する。この場合、偏波保持光ファイバ１０に形成されている空孔１３が目印となるため、従来の融着接続機に備えられている画像処理機能を用いて、偏波保持光ファイバ１０の

空孔１３の配置方向と応力付与型偏波保持光ファイバ４０の応力付与材４３の配置方向とが一致するように調芯し、互いの偏波軸を合わせることができる。なお、この融着接続は、偏波保持光ファイバ１０の端部において空孔１３が潰れない程度の放電強度で行なう。

【００８２】

図１８は、上記融着接続を行なって製造した偏波保持光ファイバ接続体２００の融着接続部を、図１７に示す方向Ｄ２の方向から見た状態を示す図である。図１８に示すように、偏波保持光ファイバ接続体２００の融着接続部において、偏波保持光ファイバ１０の空孔１３の中心を通る軸同士を結んだ方向と、応力付与型偏波保持光ファイバ４０の応力付与材４３の中心を通る軸同士を結んだ方向とが一致しているので、融着接続部の偏波クロストークが低くなる。

【００８３】

本実施の形態４においては、図１８に示す状態において、融着接続部Ｆにさらに加熱処理、あるいは繰り返しの放電を行い、空孔１３を完全に潰すとともに、コア部１１を楕円化し、所望の偏波保持光ファイバ接続体を製造する。本実施の形態４に係る製造方法によれば、最初の放電による融着接続によって、良好な偏波クロストークを得るとともに、さらにその後の繰り返しの放電等によって、接続損失を極めて低い値とできる。たとえば、実施の形態３の方法と比較すると、空孔を潰した際のコア部の変形が抑制されるため、偏波クロストークが－３０ｄＢ以下の場合に、容易に接続損失を０．５ｄＢ以下とでき、さらには、偏波クロストークが－３５ｄＢ以下の場合に、容易に接続損失を０．３ｄＢ以下とできる。なお、上述した実施例１に係る偏波保持光ファイバと、一般的な応力付与型偏波保持光ファイバを用いて、本実施の形態４に従って偏波保持光ファイバ接続体を製造したところ、融着接続部における偏波クロストークは－３６ｄＢ、接続損失は０．２ｄＢであった。

【００８４】

また、実施例１に係る偏波保持光ファイバと、波長１５５０ｎｍにおいてモードフィールド径が４．３μｍであり、非線形係数が１２／ｗ／ｍであり、偏波クロストークが４０ｄＢ／ｍである高非線形性の応力付与型偏波保持光ファイバとを用いて、本実施の形態４に従って偏波保持光ファイバ接続体を製造した。この応力付与型偏波保持光ファイバは、実施例１に係る偏波保持光ファイバと比較してコア径が非常に小さく、融着接続部において大きなモードフィールドミスマッチが生じるが、融着接続部における偏波クロストークは－３５．５ｄＢ、接続損失は０．４ｄＢと良好な値であった。

【産業上の利用可能性】

【００８５】

本発明に係る偏波保持光ファイバおよび偏波保持光ファイバ接続体の製造方法ならびに偏波保持光ファイバ接続体は、大容量の光通信システムにおいて用いられる光デバイス等に好適に利用できる。

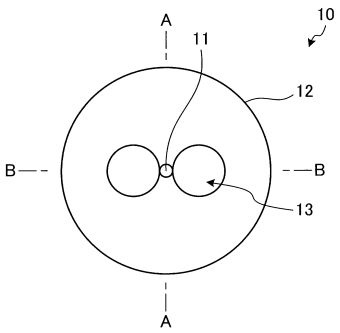
【符号の説明】

【００８６】

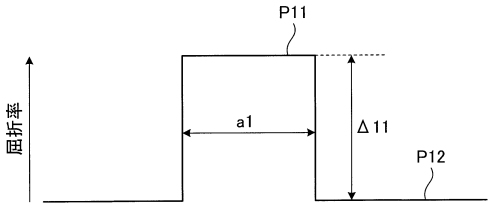
１０、２０　偏波保持光ファイバ
１１、２１、４１　コア部
１２、２２、３２、４２　クラッド部
１３、２３　空孔
３０　楕円コア型偏波保持光ファイバ部
３１　楕円コア部
４０　応力付与型偏波保持光ファイバ
４３　応力付与材
１００、２００　偏波保持光ファイバ接続体
２１１　中心コア部
２１２　外側コア部
Ｃ１、Ｃ２　データ点

Ｄ１、Ｄ２　方向
Ｆ　融着接続部
Ｌ１～Ｌ６　線
Ｐ１１～Ｐ１３、Ｐ２１１、Ｐ２１２、Ｐ２２　屈折率形状

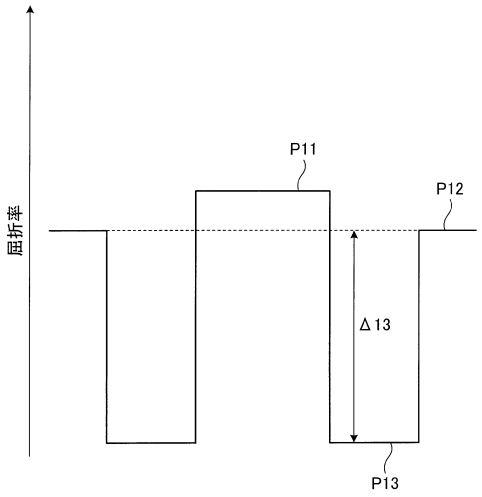
【図１】



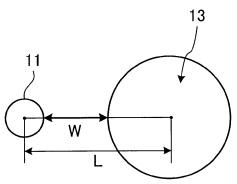
【図２】



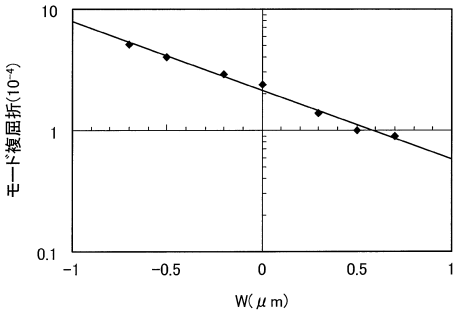
【図３】



【図４】



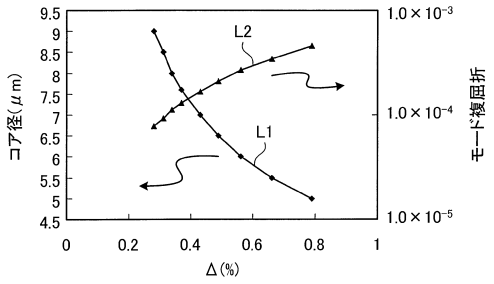
【図５】



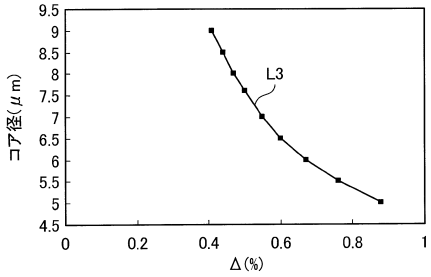
【図６】

α	漏れ損失
	dB/km
2	0.094
3	0.011
3.5	0.0028
4	0.0013
4.5	0.00053

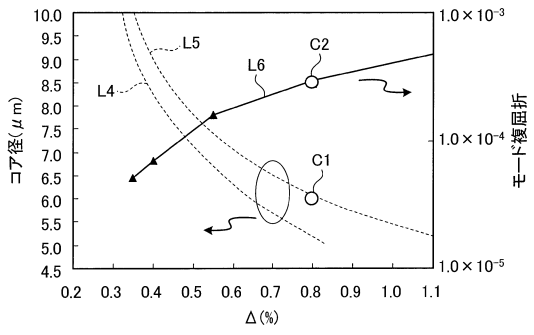
【図７】



【図８】



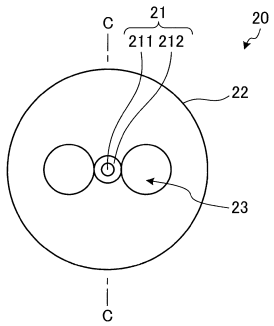
【図９】



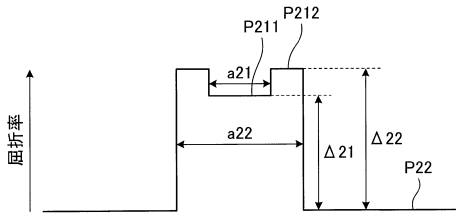
【図１０】

	Δ11	α1	a1	空孔径	モード複屈折率	カットオフ波長	マクロベンディングロス (r=10mm)	漏れ損失
	%		μm	μm		nm	dB/m@1.55μm	dB/km@1.55μm
実施例2	0.34	8	8	25	1.12×10^{-4}	1140	50	0.0025
実施例3	0.47	3.5	8	25	1.13×10^{-4}	1290	0.05	<0.001
実施例4	0.42	6	7.6	20	1.4×10^{-4}	1150	16	<0.001
実施例5	0.51	5	7.6	20	1.41×10^{-4}	1290	0.02	<0.001
実施例6	0.49	8	7	25	1.68×10^{-4}	1150	2.87	0.002
実施例7	0.55	6	7	25	1.69×10^{-4}	1220	0.643	<0.001
実施例8	0.5	8	6.5	25	2.16×10^{-4}	1080	40	<0.001
実施例9	0.6	10	6.5	22	2.17×10^{-4}	1190	0.095	<0.001
実施例10	0.6	10	6	25	2.81×10^{-4}	1100	8.9	<0.001
実施例11	0.7	8	6	25	2.81×10^{-4}	1175	0.007	<0.001
実施例12	0.75	10	6	25	2.82×10^{-4}	1220	<0.001	<0.001
実施例13	0.75	6	5.5	10	3.22×10^{-4}	1150	0.11	<0.001
実施例14	0.85	6	5.5	10	3.32×10^{-4}	1230	<0.001	<0.001

【図１１】



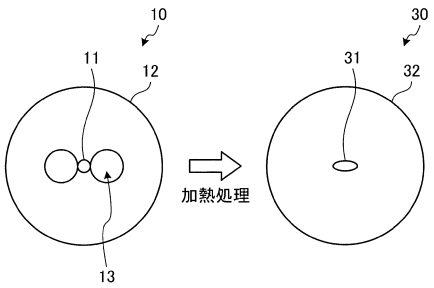
【図１２】



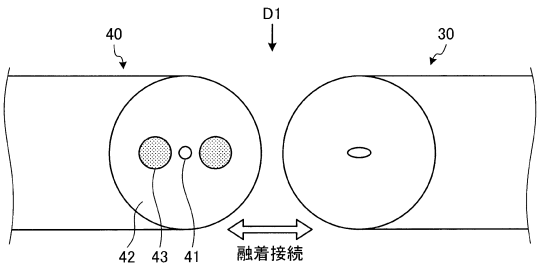
【図１３】

	Δ21	Δ22	α2	a21	a22	空孔径	モード複屈折率	カットオフ波長	マクロベンディングロス (r=10mm)	漏れ損失
	%	%		μm	μm	μm		nm	dB/m@1.55μm	dB/km@1.55μm
実施例15	0.47	0.51	8	5	7.6	20	1.37×10^{-4}	1275	0.226	<0.001
実施例16	0.5	0.6	10	4	6.5	22	2.13×10^{-4}	1160	7.8	0.0048
実施例17	0.6	0.7	8	4	6	25	2.75×10^{-4}	1150	1.35	0.0014
実施例18	0.6	0.7	8	3	6	25	2.76×10^{-4}	1170	0.73	<0.001
実施例19	0.65	0.75	8	4	5.5	10	3.18×10^{-4}	1120	0.3	<0.001
実施例20	0.8	0.85	3.5	4	5.5	10	3.28×10^{-4}	1210	<0.001	<0.001

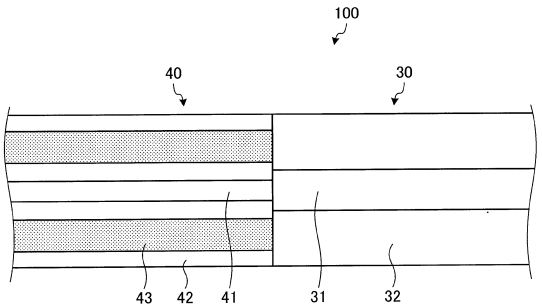
【図１４】



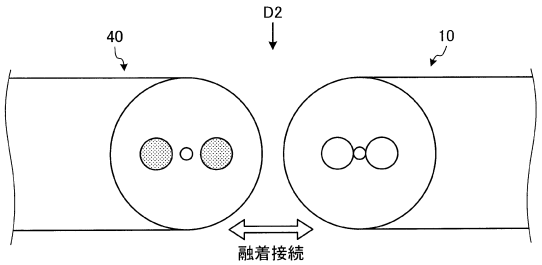
【図１５】



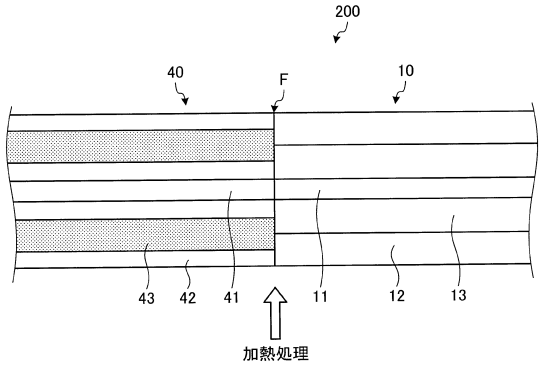
【図１６】



【図１７】



【図１８】



フロントページの続き

(56)参考文献 実開昭５８－１８８６０４（ＪＰ，Ｕ）
特開昭５９－００７９０５（ＪＰ，Ａ）
特開昭６１－２６７７０７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０２Ｂ　　６／０２４
Ｇ０２Ｂ　　６／０３６