

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2025年2月6日(06.02.2025)



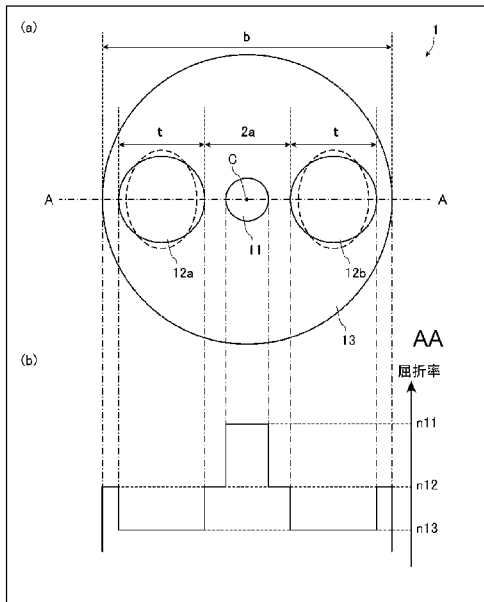
(10) 国際公開番号

WO 2025/028626 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/024 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/027621
- (22) 国際出願日: 2024年8月1日(01.08.2024)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2023-126626 2023年8月2日(02.08.2023) JP
- (71) 出願人: 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.)
[JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場 1-5-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 松永 達 (MATSUNAGA, Satoshi);
〒2858550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 森村 靖男 (MORIMURA Yasuo);
〒1010032 東京都千代田区岩本町三丁目 1 0 番 9 号 秋葉原花岡ビル 6 階 Tokyo (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY,

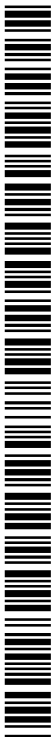
(54) Title: POLARIZATION-MAINTAINING FIBER

(54) 発明の名称: 偏波保持ファイバ



AA Refractive index

(57) Abstract: This polarization maintaining fiber (1) is provided with a core (11), stress imparting units (12a), (12b), and a clad 13, wherein the mode field diameter at a wavelength of 1.55 μm is 10.6 μm or less, the cutoff wavelength when the fiber length is 2 m and the bending radius is 140 mm is greater than or equal to 1.24 μm and less than 1.55 μm , and at least one of (1) or (2) is satisfied. (1) In the case where the bending radius is 7.5 mm and the twist per fiber length of 47.1 mm is one turn, the macrobend loss at a wavelength of 1.55 μm is 0.67 dB/1turn or less. (2) In the case where



WO 2025/028626 A1

MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,
PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK,
SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類 :

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

the bending radius is 10 mm and the twist per fiber length of 62.8 mm is one turn, the macrobend loss at a wavelength of 1.55 μm is 0.16 dB/turn or less.

- (57) 要約 : 偏波保持ファイバ (1) は、コア (1 1) と、応力付与部 (1 2 a) , (1 2 b) と、クラッド 1 3 と、を備え、波長 1. 5 5 μm におけるモードフィールド径が 1 0. 6 μm 以下であり、ファイバ長が 2 m で曲げ半径が 1 4 0 mm である場合のカットオフ波長が 1. 2 4 μm 以上 1. 5 5 μm 未満であり、(1) 及び (2) の少なくとも一方を満たす。(1) 曲げ半径が 7. 5 mm であり、ファイバ長 4 7. 1 mm あたりの振れが 1 回転である場合において、波長 1. 5 5 μm におけるマクロベンドロスが 0. 6 7 dB / 1 t u r n 以下である。(2) 曲げ半径が 1 0 mm であり、ファイバ長 6 2. 8 mm あたりの振れが 1 回転である場合において、波長 1. 5 5 μm におけるマクロベンドロスが 0. 1 6 dB / 1 t u r n 以下である。

明 細 書

発明の名称： 偏波保持ファイバ

技術分野

[0001] 本発明は、偏波保持ファイバに関する。

背景技術

[0002] 近年、コヒーレント光トランシーバやCPO (Co-packaged Optics) スイッチモジュール等の光デバイスの偏波保持特性の担保が求められている光送受信モジュールにおいて、CPOスイッチモジュール等の光デバイスやコヒーレント光トランシーバ用線路等に用いられる外部光源間線路としての偏波保持ファイバのニーズが高まっている。特にコヒーレント光トランシーバ用線路の場合、1本の光ファイバに多くの情報を伝搬するために光デジタルコヒーレント通信が使用され、光デジタルコヒーレント通信を行う光デバイスは偏光依存性がある。このため、光デバイスと外部光源間線路間との接続には、偏波保持ファイバが使用されることが多い。

[0003] この様な状況において、近年、通信容量増大に伴う光トランシーバ等の光デバイスの数の増加や複数の光デバイスや電子部品を1つのパッケージにまとめるといった光デバイスの小型化の検討が行われており、これに応える為に、小さく曲げても曲げ損失（マクロベンドロス）を抑制可能な偏波保持ファイバが求められている。

[0004] 下記特許文献1には、偏波保持ファイバの一例が記載されている。

[0005] 特許文献1：特開2000-221341号公報

発明の概要

[0006] 偏波保持ファイバとして、コアが一对の応力付与部により挟まれる構造の物が知られている。このような偏波保持ファイバは、PANDAファイバと呼ばれる場合がある。応力付与部として、例えば酸化ホウ素が添加されたガラスが用いられ、クラッドよりも屈折率の低いものが知られている。従って、このような偏波保持ファイバでは、コアを伝搬する光は、応力付与部側に

漏れにくい性質がある。また、S軸方向に偏波保持ファイバが曲がる場合、S軸と垂直なF軸方向からの光の漏れ量は、偏波保持ファイバが曲がらない場合と比べて、然程変化しない。しかし、偏波保持ファイバに捩れが印加される場合がある。この場合、偏波保持ファイバの曲がり方向は、S軸方向以外の方向に曲がる場合がある。S軸方向以外では、応力付与部が存在しなかったり、コアから応力付与部までの距離が大きかったりする。このため、S軸方向以外に偏波保持ファイバが曲げられる場合、コアを伝搬する光が、当該曲げ方向から漏れやすくなる。このため、偏波保持ファイバに捩りが加えられて、偏波保持ファイバが曲げられる場合、コアを伝搬する光がS軸方向以外の方向から漏れやすくなる。したがって、偏波保持ファイバに捩れが印加された場合、光ファイバ特性としてのマクロベンドロス特性が低下し易くなる傾向にある。このため、偏波保持ファイバに捩れが印加される場合であってもマクロベンドロス特性の低下が抑制される偏波保持ファイバが求められている。

[0007] そこで、本発明は、偏波保持ファイバに捩れが印加される場合であってもマクロベンドロス特性の低下が抑制される偏波保持ファイバを提供することを目的とする。

[0008] 上記課題を解決するため、本発明の態様1は、コアと、前記コアを挟む位置に配置された一对の応力付与部と、前記コア及び前記一对の応力付与部を内包するクラッドと、を備え、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.6\mu\text{m}$ 以下であり、ファイバ長が 2m で曲げ半径が 140mm である場合のカットオフ波長が $1.24\mu\text{m}$ 以上 $1.55\mu\text{m}$ 未満であり、以下の(1)及び(2)の少なくとも一方を満たすことを特徴とする偏波保持ファイバである。

(1) 曲げ半径が 7.5mm であり、ファイバ長 47.1mm あたりの捩れが1回転である場合において、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるマクロベンドロスが $0.67\text{dB}/1\text{turn}$ 以下である。

(2) 曲げ半径が 10mm であり、ファイバ長 62.8mm あたりの捩れが

1回転である場合において、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるマクロベンドロスが $0.16\text{dB}/1\text{turn}$ 以下である。

[0009] この偏波保持ファイバのように、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.6\mu\text{m}$ 以下であることで、当該波長におけるモードフィールド径が $10.6\mu\text{m}$ より大きい場合と比べて、モードフィールド径が小さくなることに起因して光の閉じ込め力を大きくすることができる。また、ファイバ長が 2m で曲げ半径が 140mm である場合のカットオフ波長が $1.24\mu\text{m}$ 以上であることで、当該カットオフ波長が $1.24\mu\text{m}$ より小さい場合と比べて、光の閉じ込め力を大きくし得る。このため、コアを伝搬する光の損失を抑制し得る。以上により、本発明の偏波保持ファイバは、上記構成を満たさない偏波保持ファイバと比べて、偏波保持ファイバに振れが印加される場合であってもマクロベンドロス特性の低下が抑制され得る。

[0010] 以上のように、本発明によれば、偏波保持ファイバに振れが印加される場合であってもマクロベンドロス特性の低下が抑制される偏波保持ファイバが提供され得る。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の実施形態に係る偏波保持ファイバを示す図である。

[図2]ファスト軸方向に沿う比屈折率差の分布を示す図である。

[図3]スロー軸方向に沿う比屈折率差の分布を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明に係る偏波保持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。以下に例示する実施形態は、本発明の理解を容易にするためのものであり、本発明を限定して解釈するためのものではない。本発明は、請求項の範囲内において、その趣旨を逸脱することなく、変更、改良することができる。なお、理解の容易のため、それぞれの図のスケールと、以下の説明に記載のスケールとが異なる場合がある。

[0013] 図1は、本実施形態に係る偏波保持ファイバを示す図である。図1において、(a)は、本実施形態に係る偏波保持ファイバの横断面を示す断面図で

あり、(b)は、図1の(a)に示す断面のA-A線における屈折率分布を示す図である。なお、横断面とは、偏波保持ファイバ1の中心軸Cに直交する断面である。

- [0014] 偏波保持ファイバ1は、図1の(a)に示すように、コア11と、コア11の両側に配置された一对の応力付与部12a、12bと、コア11及び一对の応力付与部12a、12bを内包するクラッド13と、を備える。なお、偏波保持ファイバ1は、クラッド13を覆う被覆を備えてもよい。このような構成の偏波保持ファイバ1は、PANDA (Polarization-maintaining AND Absorption-reducing) ファイバと称される場合がある。換言すると、PANDA型偏波保持ファイバと称される場合がある。
- [0015] コア11は、クラッド13の概ね中心を通る偏波保持ファイバ1の中心軸C方向に延在する柱状の形状をしている。従って、偏波保持ファイバの中心軸Cとコアの中心軸は、概ね同一である。従って、以下では、コア及び偏波保持ファイバの中心軸を中心軸Cとして説明する。コアの屈折率 n_{11} は、クラッド13の屈折率 n_{13} よりも高い。コア11は、例えば、ゲルマニウム(Ge)等のアップドープが添加された石英ガラスにより構成される。コア11の数は1つであってもよく、2つ以上であっても良い。
- [0016] クラッド13に対するコア11の比屈折率差 Δ_{11} は、0.32%以上であることが好ましい。比屈折率差 Δ_{11} が0.32%以上であることで、比屈折率差 Δ_{11} が0.32%未満の場合と比べて、コア11への光の閉じ込め力を大きくし得、コア11からの光の漏洩を抑制し得る。また、比屈折率差 Δ_{11} は、0.33%以上であることがより好ましい。比屈折率差 Δ_{11} が0.33%以上であることで、比屈折率差 Δ_{11} が0.33%未満の場合と比べて、コア11への光の閉じ込め力を大きくし得、コア11からの光の漏洩を抑制し得る。また、比屈折率差 Δ_{11} は、0.40%以下であることが好ましい。コア11を伝搬する光のモードフィールド径が小さくなりすぎることを抑制し得、他の光ファイバや光デバイスとの接続点における光の損失を抑制し得る。従って、比屈折率差 Δ_{11} は、0.32%以上0.40%以下であることが

、光の閉じ込め力と接続点における光の損失とのバランスをとり得るため好ましく、0.33%以上0.40%以下であることがより好ましい。なお、上記の「光デバイス」の例としては、例えば、(1)都市間ネットワークや海底ネットワーク用途トランシーバなどのテレコム用光デバイス、又は、CPO (Co-packaged Optics) モジュール (CPOスイッチモジュール等) やプラグブルトランシーバ (コヒーレント光トランシーバ等) などのデータコム用光デバイス等の通信用光デバイス、(2)アンプ用光デバイスや(3)センサ用光デバイス等を挙げることができ、以下で説明する「光デバイス」は上述した(1)～(3)における光デバイスを含む意味で用いるものとする。

[0017] 図1に示すように、本実施形態の偏波保持ファイバ1では、クラッド13に対するコア11の屈折率分布がステップ状である。但し、当該屈折率分布は、ステップ状に限定されず、例えば、G1型分布状であってもよい。また、クラッド13に対するコア11の屈折率分布は他の形状であってもよい。

[0018] 本実施形態のコア11の断面形状は、概ね円形である。ただし、コア11の断面形状は、円形に限定されず、例えば、楕円形、三日月形、又は非円形であってもよい。なお、ここでのコア11の断面形状とは、偏波保持ファイバ1の中心軸Cと直交する断面の形状を指す。なお、コアの半径は、4.4 μm 以下であることが好ましい。また、コア11の半径は、4.1 μm 以上であることが好ましい。また、コア11の半径は、4.1 μm 以上4.4 μm 以下であることがより好ましい。このコア11の半径とは、例えば、上記中心軸Cに垂直な方向のコア11の直径を平均化した値の半分の大きさである。なお、後述するカットオフ波長が後述の<条件2>または(3)もしくは(4)を満たすカットオフ波長の好ましい条件のうちいずれかの条件を満たせば、コア11の半径は特に限定されない。

[0019] 一对の応力付与部12a, 12bは、上記中心軸C方向に沿って延在する柱状の形状をしているが、柱状の形状以外の形状であっても良い。本実施形態では、応力付与部12a, 12bの屈折率 n_{12} は、クラッド13の屈折

率 n_{13} よりも低い。応力付与部 12 a, 12 b は、例えば、酸化ホウ素 (B_2O_3) 等のダウンドーパントが添加された石英ガラスにより構成される。ここで、応力付与部 12 a, 12 b の横断面の形状は、上底（短い方の底辺）がコア 11 を向くように配置された等脚台形状であってもよい。この場合、応力付与部 12 a, 12 b の上底及び下底（長い方の底辺）の一方又は両方は、コア 11 から遠ざかる方向に膨らんだ円弧状であってもよい。応力付与部 12 a, 12 b の形状が等脚台形状である偏波保持ファイバ 1 は、「ボウタイ型偏波保持ファイバ」と呼ばれることがある。このように、偏波保持ファイバ 1 は、上述した PANDA 型偏波保持ファイバに限定されず、ボウタイ型偏波保持ファイバであっても良い。

[0020] クラッド 13 に対する応力付与部 12 a, 12 b の比屈折率差 Δ_{12} は、 -0.78% 以下であることが好ましい。このような比屈折率差であることで、応力付与部 12 a, 12 b が並ぶ方向に沿った S 軸方向において、応力付与部 12 a, 12 b が低屈折率層として機能し得、コア 11 からの光の漏洩をより抑制し得る。また、比屈折率差 Δ_{12} は、 -1.0% 以上であることが好ましい。比屈折率差 Δ_{12} が -1.0% 以上であることで、比屈折率差 Δ_{12} が -1.0% 以上の場合は、酸化ホウ素の添加量が十分小さくなり得るため、応力付与部 12 a, 12 b の潮解を防げ得る。また、比屈折率差 Δ_{12} は、 -1.0% 以上 -0.78% 以下であることがより好ましい。

[0021] 本実施形態の応力付与部 12 a, 12 b の断面形状は、図 1 において実線で示すように概ね円形であるか、破線で示すように応力付与部 12 a, 12 b の並び方向を短軸方向とする概ね楕円形である。ただし、応力付与部 12 a, 12 b の断面形状は、円形や楕円形に限定されず、例えば、三日月形、又は非円形であってもよい。なお、ここでの応力付与部 12 a, 12 b の断面形状とは、偏波保持ファイバ 1 の中心軸 C と直交する断面の形状のことを指す。ここで、後述のクラッド 13 の直径が $125 \mu m \pm 1 \mu m$ である場合、応力付与部 12 a, 12 b の S 軸方向に沿った直径 t は、 $24.8 \mu m$ 以上であることが好ましく、 $30.0 \mu m$ 以上であることがより好ましい。こ

れにより、コア11に十分な応力を付与することができ、その結果、偏波保持機能を好適に実現し得る。また、直径tは、40.0 μm 以下であることが好ましく、38.0 μm 以下であることがより好ましく、34.4 μm 以下であることがより好ましい。これにより、直径125 $\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ のクラッド13の内部に、応力付与部12a, 12bを好適に配置し得る。また、クラッド13の直径が125 $\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ である場合、直径tは、24.8 μm 以上40.0 μm 以下であることが好ましく、24.8 μm 以上38.0 μm 以下であることが好ましく、24.8 μm 以上34.4 μm 以下であることが好ましく、また、30.0 μm 以上40.0 μm 以下であることが好ましく、30.0 μm 以上38.0 μm 以下であることが好ましく、30.0 μm 以上34.4 μm 以下であることが好ましい。

[0022] また、後述のクラッド13の直径が80 $\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ である場合、応力付与部12a, 12bのS軸方向に沿った直径tは、22.0 μm 以上であることが好ましい。これにより、コア11に十分な応力を付与し得、その結果、偏波保持機能を好適に実現し得る。また、直径tは、27.0 μm 以下であることが好ましい。これにより、直径80 $\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ のクラッド13の内部に、応力付与部12a, 12bを好適に配置し得る。また、クラッド13の直径が80 $\mu\text{m}\pm 1\mu\text{m}$ である場合、直径tは、22.0 μm 以上27.0 μm 以下であることが好ましい。

[0023] 応力付与部12a, 12bは、それぞれコア11から離隔している。このため、溶融延伸により偏波保持ファイバ1を製造する際に、応力付与部12a, 12bからの応力によってコア11が予期せぬ変形を被る可能性を低減し得る。また、コア11が応力付与部12a, 12bと接触している場合、応力付与部12a, 12bに酸化ホウ素が添加される場合における当該酸化ホウ素に起因して伝送損失が劣化する場合があるが、コア11が応力付与部12a, 12bから離隔していることで、上記の伝送損失の劣化を抑え得る。

[0024] 応力付与部12aと応力付与部12bとの間隔は2aであり、コア11の

中心軸Cから応力付与部12a, 12bまでの距離はaである。ここで、この距離aとは、コア11の中心から、応力付与部12aに含まれる点のうちコア11に最も近い点までの距離、または、コア11の中心から、応力付与部12bに含まれる点のうちコア11に最も近い点までの距離のことを指す。この距離aは、10 μ m以下であることが好ましい。距離aが10 μ m以下であることで、クラッド13よりも屈折率の低い応力付与部12a, 12bが、距離aが10 μ mより大きい場合と比べて、コア11に近づく。このため、S軸方向における応力付与部12a, 12bの低屈折率層としての機能がより高くなり得、コア11からの光の漏洩をより抑制し得る。なお、距離aとモードフィールド径MFDとの半径の比($a / (MFD / 2)$)が1.05以上であることが好ましい。当該比($a / (MFD / 2)$)が1.05以上であることで、応力付与部12a, 12bがモードフィールドの外部に配置されることになるので、応力付与部12a, 12bに酸化ホウ素が添加される場合における当該酸化ホウ素に起因する伝送損失の劣化をより抑制し得る。なお、コア11と応力付与部12a, 12bとの間隔は、1 μ m以上であることが好ましい。なお、距離aが後述の<条件3>の(1)、(2)または(3)もしくは(4)のいずれかの条件を満たせば、上述した直径tの大きさは特に限定されない。

[0025] クラッド13は、上記中心軸C方向に沿って延在する柱状の形状をしている。クラッド13の屈折率 n_{13} は、上述のように、コア11の屈折率 n_{11} よりも低く、応力付与部12a, 12bの屈折率 n_{12} よりも高い。クラッド13は、例えば、石英ガラスにより構成される。

[0026] 本実施形態のクラッド13の断面形状は、概ね円形である。ただし、クラッド13の断面形状は、これに限定されず、例えば、楕円形、三日月形、又は非円形であってもよい。なお、ここでのクラッド13の断面形状とは、偏波保持ファイバ1の中心軸Cと直交する断面の形状のことを指す。

[0027] クラッド13の直径bは、概ね80 μ m \pm 1 μ mすなわち79 μ m以上81 μ m以下であることが好ましく、80 μ mであることがより好ましい。こ

の場合、例えば、光ランシーバに收容する際、又は、センサに適用する際の設置面積を小さく抑えることができるので、高密度実装が可能となり得る。また、この場合、偏波保持ファイバ1の剛性を小さく抑えることができるので、偏波保持ファイバ1が振られた場合の偏波保持ファイバ1の機械的強度の低下を低減し得る。また、この場合、光デバイス等への収納時等において、特に偏波保持ファイバ1が巻かれる場合、偏波保持ファイバ1が振れ易い傾向にあり、マクロベンドロスが上昇し易い懸念がある。しかし、この場合であっても、偏波保持ファイバ1が下記条件1及び条件2を満たすことで、光デバイス等への収納時等において偏波保持ファイバが振れた場合であっても、各種光デバイス等で要求される損失値以下に抑制可能な細径偏波保持ファイバを実現し得る。或いは、クラッドの直径 b は、 $125\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ すなわち $124\mu\text{m}$ 以上 $126\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $125\mu\text{m}$ であることがより好ましい。この場合、通信インフラで一般的に用いられている光ファイバと概ね同径の偏波保持ファイバを実現し得る。上述したクラッド13の直径の $\pm 1\mu\text{m}$ は、仮にクラッド13の直径を $80\mu\text{m}$ や $125\mu\text{m}$ とする場合に $\pm 1\mu\text{m}$ の大きさの差が生じる場合であっても、光ファイバの光学特性や機械特性等がクラッドの径が $80\mu\text{m}$ や $125\mu\text{m}$ である場合と概ね同じ値となるか、誤差程度の変動となり、光ファイバの光学特性や機械特性等に大きな影響を及ぼし得ない。例えば、クラッドの直径が $125\mu\text{m}$ の光ファイバでは、クラッドの直径の $\pm 1\mu\text{m}$ は、光ファイバの規格（ITU-T）で規定されているクラッドの直径の公差の値と同じ大きさでもある。また、クラッドの直径が $80\mu\text{m}$ の光ファイバにおけるクラッドの直径の $\pm 1\mu\text{m}$ も、上記の公差の値に相当し得る。また、クラッド13の直径は、 $79\mu\text{m}$ 以上 $126\mu\text{m}$ 以下であってもよい。なお、クラッド13の断面形状が非円形である場合のクラッド13の直径 b とは、例えば、上記中心軸Cに垂直な方向のクラッド13の直径を平均化した値である。

[0028] また、本実施形態において、コア11の外周を構成する円の中心は、クラッド13の外周を構成する円の中心と一致するが、これに限定されず、コア

11の外周を構成する円の中心は、クラッド13の中心部に含まれていればよい。このため、クラッド13の直径が79 μ m以上126 μ m以下を満たす場合において、コア11の外周を構成する円の中心は、クラッド13の中心部に含まれていればよい。ここで、クラッド13の中心部とは、半径0.6 μ mの円であって、当該円の中心がクラッド13の外周を構成する円の中心と一致する円の内部領域のことを指す。

[0029] なお、偏波保持ファイバ1のファイバ長は、50m未満であることが好ましく、10m未満であってもよく、300mm以下であってもよい。また、偏波保持ファイバ1のファイバ長は、47.1mm以上であることが好ましく、例えば、2m以上にし得る。偏波保持ファイバ1がセンサ用として用いられる場合には、一般的に市販されている偏波保持ファイバとして50m以上で使用されることが多い場合がある。これは、偏波保持ファイバが長いほどセンサの測定分解能が向上する傾向があるためである。センサ用の偏波保持ファイバが数mで使用されると、測定分解能が低下して、センサとしての使用が困難となる場合がある。しかし、通信用の偏波保持ファイバやアンプ用の偏波保持ファイバの場合には、センサ用の偏波保持ファイバの様に測定高分解能が必要ない。また、各種光デバイスと外部光源とを接続する場合、上述した通り、ファイバ長に起因して偏波保持ファイバが各種光デバイスと干渉しない様にするため、上述の通り50m未満であることが好ましい。また、偏波保持ファイバを巻回した状態で接続する場合のファイバ長を50m未満のみならず、各種光デバイスへの収納を考慮して300mmより大きく10m未満という1桁以下の値とする場合があり、また、偏波保持ファイバを巻回さないで接続する場合のファイバ長を300mm以下とする場合があり、接続状態に応じてファイバ長を定める事が好ましい。このため、50m以上と長いファイバ長である必要なく、50m未満であることで、偏波保持ファイバが各種光デバイスと干渉しづらくなり得る。以上より、偏波保持ファイバ1のファイバ長は、後述するファイバ長として23.55mmと31.4mmの場合も考慮すると、23.55mm以上50m未満であることが

好ましく、23.55 mm以上10 m未満であることが好ましく、23.55 mm以上300 mm以下であることが好ましく、31.4 mm以上50 m未満であることが好ましく、31.4 mm以上10 m未満であることが好ましく、31.4 mm以上300 mm以下であることが好ましく、47.1 mm以上50 m未満であることが好ましく、47.1 mm以上10 m未満であることが好ましく、47.1 mm以上300 mm以下であることが好ましく、2 m以上50 m未満であることが好ましく、2 m以上10 m未満であることが好ましく、300 mmより大きく10 m未満であることが好ましい。

[0030] 以上の構成の偏波保持ファイバ1は、次の条件1から3を満たす。

[0031] <条件1>

波長1.55 μm におけるモードフィールド径が10.6 μm 以下である。

[0032] 本条件を満たすことにより、波長1.55 μm におけるモードフィールド径が10.6 μm より大きい場合と比べて、モードフィールド径が小さく、その分、光の閉じ込め効果を向上させ得る。

[0033] <条件2>

ファイバ長が2 mで曲げ半径が140 mmである場合のカットオフ波長が1.24 μm 以上1.55 μm 未満である。なお、ここで言うカットオフ波長とは、ファイバ長が2 mで曲げ半径が140 mmである場合のLP11モードの光のカットオフ波長である。

[0034] カットオフ波長が1.24 μm 以上であることで、カットオフ波長が1.24 μm 未満の場合と比べて、光の閉じ込め効果を向上させ得る。また、上記のモードフィールド径が条件1を満たし、カットオフ波長が条件2を満たせば、屈折率分布がおのずと決まり得る。

[0035] また、カットオフ波長が1.55 μm 未満であることで、使用波長が1.55 μm 以上の場合にシングルモードの光伝送を実現し得る。特に使用波長が1.55 μm 程度であるコヒーレント光トランシーバや使用波長が1.55 μm 以上の光ファイバや光デバイスに適用可能な偏波保持ファイバを実現

し得る。

[0036] <条件3>

次の(1)、(2)の少なくとも一方を満たす。なお、マクロベンドロス
は、曲げ損失と呼ばれる場合がある。

(1) 曲げ半径が7.5mmであり、ファイバ長47.1mmあたりの振れ
が1回転である場合において、波長1.55 μ mにおけるマクロベンドロス
が0.67dB/1turn以下である。

(2) 曲げ半径が10mmであり、ファイバ長62.8mmあたりの振れが
1回転である場合において、波長1.55 μ mにおけるマクロベンドロスが
0.16dB/1turn以下である。

[0037] なお、ファイバ長47.1mmは、曲げ半径7.5mmで1巻きされる場
合のファイバ長であり、ファイバ長62.8mmは、曲げ半径10mmで1
巻きされる場合のファイバ長である。ここで、「1巻き」とは、直径7.5
mmのマンドレルに偏波保持ファイバを1周巻き付けることを指し、もしく
は、直径10mmのマンドレルに偏波保持ファイバを1周巻き付けることを
指す。また、「1巻き」とは、1ターン(1turn)と同義である。

[0038] 偏波保持ファイバ1が、上記(1)の条件を満たすことで、コヒーレント
光トランシーバ等の光デバイスの目標値の1つの目安として要求される曲げ
半径が7.5mm程度以上の条件において、ねじれが印加された場合でもマ
クロベンドロス損失値を当該光デバイス等で要求される損失許容値以下に抑
制可能な偏波保持ファイバを実現し得る。ここで、後述する、ユーザが偏波
保持ファイバを当該光デバイスに適用する場合とは、例えば、偏波保持ファ
イバ1を各種光デバイス等に収納する場合が挙げられる。また、上述した損
失許容値とは、例えば、各種光デバイスに適用できる程度の値が挙げられる
。また、上記の条件1および条件2を満たす限り、上記の条件3の上記(1
)において、ターン(turn)数が0.5turnの条件で測定しても良
く、この場合、上述した偏波保持ファイバ1のファイバ長が47.1mm未
満(例えば、23.55mm)であってもよく、この場合、上記のマクロベ

ンドロスの値が0.5倍に比例した値になり得る。

[0039] また、偏波保持ファイバ1が、上記(2)の条件を満たすことで、曲げ半径が7.5mm程度よりも大きい曲げでの集積形態が要求される光デバイスの目標値の1つの目安として要求される曲げ半径が10mm程度以上の条件において、ねじれが印加された場合でもマクロベンドロス損失値を当該光デバイス等で要求される損失許容値以下に抑制可能な偏波保持ファイバを実現し得る。また、上記の条件1および条件2を満たす限り、上記の条件3の上記(2)において、ターン(turn)数が0.5turnの条件で測定しても良く、この場合、上述した偏波保持ファイバ1のファイバ長が62.8mm未満(例えば、31.4mm)であってもよく、この場合、上記のマクロベンドロスの値が0.5倍に比例した値になり得る。

[0040] また、上記のように、応力付与部12a, 12bのS軸方向に沿った直径tが、24.8 μ m以上であることで、直径tが24.8 μ mよりも小さい場合よりも光の閉じ込め力を大きくし得、上記(1)、(2)の少なくとも一方の条件をより確実に満たし得る。

[0041] 次に、偏波保持ファイバ1の実施例について説明する。

[0042] 実施例1から実施例12および比較例1から比較例3の偏波保持ファイバについて、次の項目を測定した。

[0043] <ファイバカットオフ波長>

ファイバ長が2mで、直径280mmに偏波保持ファイバを1周巻き付けた場合におけるカットオフ波長をファイバカットオフ波長と称す。ファイバカットオフ波長は、IEC60793-1-44に基づき、ファイバ長を2mにカットした偏波保持ファイバ1を直径280mmのマンドレルに1周巻き付けた場合における高次モードが19.3dB減衰する波長をファイバカットオフ波長として測定した。このとき、偏波保持ファイバのスロー軸がマンドレルの表面に垂直となるように偏波保持ファイバをマンドレルに巻き付けた。なお、上記のマンドレルは、断面形状が真円状となる棒状の治具である。ここでは、偏波保持ファイバ1のスロー軸が上記のマンドレルの表面に

垂直となるように偏波保持ファイバ1を上記のマンドレルに巻き付けている。下記表のRはマンドレルの半径を示す。

[0044] <モードフィールド径>

波長 $1.55\mu\text{m}$ の光がコアを伝搬する場合のモードフィールド径を測定した。当該測定は、IEC60793-1-45に基づき、可変開口数法 (Variable Aperture Method) で測定した。モードフィールド径の測定には、コア11を導波される波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を用いた。

[0045] <クラッド径>

クラッドの直径は、IEC60793-1-20に基づき、Transmitted near-field法で測定した。

[0046] <比屈折率差 Δ_{11} >

比屈折率差 Δ_{11} は、クラッドに対するコアの比屈折率差である。図2は、ファスト軸方向に沿う比屈折率差の分布を示す図である。比屈折率差 Δ_{11} は、以下の方法により、クラッドに対するコアの比屈折率差の最大値の90%以上の領域における比屈折率差の平均として求めた。すなわち、干渉法による測定により、偏波保持ファイバのファスト軸方向におけるコアの屈折率分布を得、ファスト軸上の比屈折率差分布を算出し、クラッドに対するコアの比屈折率差の最大値を求めた後、クラッドに対するコアの比屈折率差の最大値の90%以上の領域における比屈折率差の平均として求めた。

[0047] <比屈折率差 Δ_{12} >

比屈折率差 Δ_{12} は、クラッドに対する応力付与部の比屈折率差である。図3は、スロー軸方向に沿う比屈折率差の分布を示す図である。比屈折率差 Δ_{12} は、コアの比屈折率差 Δ_{11} と同様に応力付与部のスロー軸方向における屈折率分布の最小値の50%以下を満たす領域 (図3の $0.5\Delta_{12\text{min}}$ に該当する領域から $\Delta_{12\text{min}}$ に該当する領域までの範囲) における比屈折率差の平均として求めた。すなわち、干渉法による測定により、偏波保持ファイバのスロー軸方向における応力付与部の屈折率分布を得、スロー軸上の比屈折率差分布を算出し、クラッドに対する応力付与部の比屈折率差の最小値を求めた後、

応力付与部のスロー軸方向における屈折率分布の最小値の50%以下を満たす領域における比屈折率差の平均として求めた。

[0048] <コアの中心軸から応力付与部までの距離>

コアの中心軸から応力付与部までの距離は、ファイバ端面を光学顕微鏡で測定することで得た。

[0049] <応力付与部直径>

応力付与部直径は、ファイバ端面を光学顕微鏡で測定することで得た。

[0050] <マクロベンドロス>

本明細書では、半径7.5mmまたは半径10mmのマンドレルに偏波保持ファイバを1周巻きつけた場合における1巻当たりの波長1.55 μ mの光の曲げ損失をマクロベンドロスと称す。マクロベンドロスは、IEC60793-1-47に基づき、スロー軸が半径7.5mmまたは半径10mmのマンドレルの表面に垂直となるように偏波保持ファイバ1を1巻きした場合（曲げ半径が7.5mmまたは10mmである場合）において、そのときの光源からのLP01モードの光のパワーと、リファレンスとして巻き付ける前の状態での光源からのLP01モードの光のパワーとを測定し、上記の2つのパワーの差分から1ターンあたりの曲げ損失を求めた。なお、上記のマンドレルは、断面形状が真円状となる棒状の治具である。下記表のRはマンドレルの半径を示す。

[0051] マクロベンドロスの測定においては、偏波保持ファイバに振りを加えず偏波保持ファイバを曲げ半径を10mmとしマンドレルに1回転巻きつけた場合、同様の巻き付けで1巻当たりにファイバ長62.8mmあたりの1回転の振りを加えた場合のそれぞれにおける曲げ損失を測定した。ここで、実施例1から実施例12および比較例1から比較例3の偏波保持ファイバにおけるクラッドに対するコアの屈折率分布はステップ状である。また、これらの偏波保持ファイバについて、偏波保持ファイバに振りを加えず偏波保持ファイバを曲げ半径を7.5mmとしマンドレルに1回転巻きつけた場合、同様の巻き付けで1巻当たりにファイバ長47.1mmあたりの1回転の振りを

加えた場合のそれぞれにおける曲げ損失を測定した。以上より、換言すると、曲げ半径が7.5 mmであり、ファイバ長47.1 mmあたりの振れが1回転である場合において、波長1.55 μm における1ターンあたりの光の曲げ損失と曲げ半径が10 mmであり、ファイバ長62.8 mmあたりの振れが1回転である場合において、波長1.55 μm における1ターンあたりの光の曲げ損失を測定した。なお、振じりなしの曲げ損失は、マンドレルの表面にスロー軸が垂直な状態での曲げ損失を測定している。その結果を表1から表3に示す。

[0052]

表1

	単位	実施例1	実施例2	実施例3	実施例4	実施例5
使用波長	μm	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
カットオフ波長 (ファイバ長=2m、R=140 mm)	μm	1.33	1.31	1.29	1.36	1.39
モードフィールド径	μm	9.2	9.3	9.4	9.1	8.9
クラッド径	μm	80	80	80	80	80
比屈折率差 $\Delta 11$	%	0.37	0.36	0.35	0.38	0.40
比屈折率差 $\Delta 12$	%	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
中心軸C-応力付与部の距離a	μm	5.3	5.3	5.3	5.3	5.3
応力付与部直径	μm	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8
曲げ損失 (R=10mm1巻き、振りなし)	dB	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満	0.01未満
曲げ損失 (R=10mm1巻き 1巻きあたり1回振り)	dB	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01未満
曲げ損失 (R=7.5mm1巻き、振りなし)	dB	0.01未満	0.01未満	0.01	0.01未満	0.01未満
曲げ損失 (R=7.5 mm1巻き 1巻きあたり1回振り)	dB	0.16	0.15	0.16	0.10	0.02

[0053]

表2

	単位	実施例6	実施例7	実施例8	実施例9	実施例10
使用波長	μm	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
カットオフ波長 (ファイバ長=2m、R=140 mm)	μm	1.26	1.24	1.33	1.36	1.36
モードフィールド径	μm	9.5	9.6	10.5	10.6	10.3
クラッド径	μm	80	80	125	125	125
比屈折率差 $\Delta 11$	%	0.34	0.33	0.32	0.32	0.33
比屈折率差 $\Delta 12$	%	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80	-0.80
中心軸C-応力付与部の距離a	μm	5.3	5.3	10	10	10
応力付与部直径	μm	24.8	24.8	34.4	34.4	34.4
曲げ損失 (R=10mm1巻き、振りなし)	dB	0.01	0.01	0.05	0.03	0.01
曲げ損失 (R=10mm1巻き 1巻きあたり1回振り)	dB	0.04	0.07	0.16	0.14	0.04
曲げ損失 (R=7.5mm1巻き、振りなし)	dB	0.02	0.07	0.15	0.13	0.05
曲げ損失 (R=7.5 mm1巻き 1巻きあたり1回振り)	dB	0.22	0.27	0.67	0.66	0.27

[0054]

表3

	単位	実施例11	実施例12	比較例1	比較例2	比較例3
使用波長	μm	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
カットオフ波長 (ファイバ長=2m、R=140 mm)	μm	1.39	1.33	1.29	1.31	1.22
モードフィールド径	μm	10.2	10.5	10.7	10.6	10.1
クラッド径	μm	125	125	125	125	125
比屈折率差 $\Delta 11$	%	0.34	0.32	0.30	0.31	0.33
比屈折率差 $\Delta 12$	%	-0.80	-0.78	-0.80	-0.80	-0.80
中心軸C-応力付与部の距離a	μm	10	10	10	10	10
応力付与部直径	μm	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4
曲げ損失 (R=10mm1巻き、振りなし)	dB	0.01未満	0.05	0.13	0.08	0.06
曲げ損失 (R=10mm1巻き 1巻きあたり1回振り)	dB	0.02	0.16	0.58	0.44	0.30
曲げ損失 (R=7.5mm1巻き、振りなし)	dB	0.03	0.16	0.34	0.26	0.19
曲げ損失 (R=7.5 mm1巻き 1巻きあたり1回振り)	dB	0.11	0.67	1.98	1.38	1.06

[0055] 表1から表3に示すように、実施例1から実施例12は、条件1から条件

3をすべて満たす。具体的には、これら偏波保持ファイバは、条件1を満たすことで、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.6\mu\text{m}$ より大きい場合と比べて、モードフィールド径が小さくなり得、その分、光の閉じ込め効果を向上させ得る。また、これらの偏波保持ファイバは、条件2を満たすことでカットオフ波長が $1.24\mu\text{m}$ 未満の場合と比べて、光の閉じ込め効果を向上させ得る。このように光の閉じ込め効果が向上されることで、曲げ損失が抑制される。そして、これら偏波保持ファイバは、条件3を満たすことで、コヒーレント光トランシーバ等の光デバイスにおいて、マクロバンドロス値が許容範囲を満たし得る。ここで、許容範囲とは、各種光デバイス等への収納時等において、偏波保持ファイバに振れが印加される場合であっても、例えば、ユーザが偏波保持ファイバを当該光デバイスに適用できる程度にマクロバンドロス特性の低下が抑制され得る範囲である。

[0056] 比較例1の偏波保持ファイバは、モードフィールド径が大きく、条件1を満たさない。また、この偏波保持ファイバは条件3を満たさず、実施例1から実施例12のうち最もマクロバンドロスの大きな実施例8或いは実施例12の偏波保持ファイバと比べて、条件3の(1)のマクロバンドロスについては、約3.7倍であり、条件3の(2)のマクロバンドロスについては、約3.0倍である。このため、比較例1の偏波保持ファイバは、コヒーレント光トランシーバ等の上述した許容範囲を満たす光デバイスに用いることが困難となり得る。

[0057] 比較例2の偏波保持ファイバは、条件3を満たさず、最もマクロバンドロスの大きな実施例8或いは実施例12の偏波保持ファイバと比べて、条件3の(1)のマクロバンドロスについては、約2.8倍であり、条件3の(2)のマクロバンドロスについては、約2.1倍である。このため、比較例2の偏波保持ファイバは、コヒーレント光トランシーバ等の上述した許容範囲を満たす光デバイスに用いることが困難となり得る。

[0058] 比較例2の偏波保持ファイバは、クラッドに対するコアの比屈折率差 Δ_{11} が実施例1から実施例12の偏波保持ファイバの比屈折率差 Δ_{11} と比べて小

さい。従って、クラッド13に対するコア11の比屈折率差 Δ_{11} は、上記のように0.32%以上であることが好ましく、0.33%以上であることがより好ましい。また、比屈折率差 Δ_{11} は、上記のように0.40%以下であることが好ましい。

[0059] 比較例3の偏波保持ファイバは、カットオフ波長が小さく、条件2を満たさない。また、この偏波保持ファイバは条件3を満たさず、最もマクロベンドロスの大い実施例8或いは実施例12の偏波保持ファイバと比べて、条件3の(1)のマクロベンドロスについては、約1.9倍であり、条件3の(2)のマクロベンドロスについては、約1.6倍である。このため、比較例3の偏波保持ファイバは、コヒーレント光トランシーバ等の上述した許容範囲を満たす光デバイスに用いることが困難となり得る。

[0060] また、表1から表3より、偏波保持ファイバ1においては、波長1.55 μm におけるモードフィールド径が10.3 μm 以下であることが好ましい。また、表1から表3より、波長1.55 μm におけるモードフィールド径が9.6 μm 以下であることがより好ましい。この場合、各実施例より明らかな通り、よりマクロベンドロスを抑制することができる。

[0061] また、表1から表3より、偏波保持ファイバ1においては、波長1.55 μm におけるモードフィールド径が8.9 μm 以上であることが好ましい。この場合、モードフィールド径が8.9 μm 未満の場合と比べて、モードフィールド径が大きいため、他の光ファイバや光デバイスとの接続点において、他の光ファイバや光デバイスから伝搬する光が、偏波保持ファイバに入射され易くなり得る。このため、接続損失を低減し得る。したがって、この場合、上記条件3の(1)、(2)の少なくとも一方における所定の捩れの条件でのマクロベンドロス特性を満たすことによる効果と、他の光ファイバや光デバイスとの接続損失の抑制をし得る効果とのバランスを保て得る。なお、使用波長が1.55 μm 帯の光トランシーバ(コヒーレント光トランシーバ等)において使用されるレーザー光源のビームサイズや集光レンズを考慮すると、当該光トランシーバに適用する場合に運用できる程度に接続損失を

低減するためには、モードフィールド径が $8.9\ \mu\text{m}$ 以上である事が好ましい。また、実際の偏波保持ファイバの接続先における光導波路のモードフィールド径は、 $8.9\ \mu\text{m}$ 以上 $9.6\ \mu\text{m}$ 以下となる場合が多い。これは、上記の光導波路に接続されるシングルモードファイバのモードフィールド径が $8.9\ \mu\text{m}$ 以上 $9.6\ \mu\text{m}$ 以下となる場合が多いことからである。このため、上記の光導波路との接続損失を低減できる様にする観点より、偏波保持ファイバ1のモードフィールド径は $8.9\ \mu\text{m}$ 以上 $9.6\ \mu\text{m}$ 以下である事が好ましい。また、実際の偏波保持ファイバの接続先における上記のレーザー光源のビームサイズや集光レンズを考慮すると、光トランシーバに適用する場合に運用できる程度に上記のレーザー光源との接続損失を低減するためには、モードフィールド径が $8.9\ \mu\text{m}$ 以上 $9.6\ \mu\text{m}$ 以下である事が好ましい。

[0062] また、偏波保持ファイバ1においては、モードフィールド径が $10\ \mu\text{m}$ 未満であることが好ましい。モードフィールド径が $10\ \mu\text{m}$ 未満という1桁の値であることで、光ファイバと変調器との間にモードフィールド径変換用の光学素子（レンズ、スポットサイズコンバータ等）を配置させる場合において、当該光学素子が複雑化、大型化することを抑制し得る。特にクラッド径が $80\pm 1\ \mu\text{m}$ の光ファイバを用いる場合には光ファイバとモードフィールド径変換用の光学素子と変調器とを含む光デバイス全体を小型化し得る。このため、モードフィールド径変換用の光学素子との接続損失と、モードフィールド径変換用の光学素子の小型化のバランスから、モードフィールド径が $8.9\ \mu\text{m}$ 以上 $10\ \mu\text{m}$ 未満であることが、より好ましい。

[0063] また、表1から表3より、偏波保持ファイバ1においては、カットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ 以上 $1.39\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。カットオフ波長は、ファイバ長が、例えば $1\ \text{m}$ 以下のように短い場合、長波長側にシフトする場合がある。従って、ファイバ長に起因したカットオフ波長の長波長側へのシフトにより、カットオフ波長が使用波長を超え、使用波長におけるシングルモード伝送が困難になる可能性を低減するため、ファイバ長を $2\ \text{m}$

で測定した状態でのカットオフ波長の上限値と使用波長との間に一定のマージンがあることが好ましい。このため、カットオフ波長が、上記のように、例えば $1.24\ \mu\text{m}$ 以上 $1.39\ \mu\text{m}$ 以下である場合、ファイバ長が上記のように短い場合等において、カットオフ波長が長波長側にシフトしても、カットオフ波長が使用波長を超えることを抑制し得る。従って、使用波長におけるシングルモード伝送が困難になる可能性を低減し得る。

[0064] なお、偏波保持ファイバ1においては、カットオフ波長が $1.39\ \mu\text{m}$ より大きく $1.55\ \mu\text{m}$ 未満であってもよい。偏波保持ファイバ1がこのようなカットオフ波長であることで、カットオフ波長を使用波長帯に近づけ得、カットオフ波長が $1.39\ \mu\text{m}$ 以下の場合と比べて、光の閉じ込め効果を向上させ得る。このため、偏波保持ファイバ1に振れが加わる場合でも、カットオフ波長が $1.39\ \mu\text{m}$ 以下の場合と比べて、マクロベンドロス値を低減し得る。

[0065] また、偏波保持ファイバ1においては、カットオフ波長が $1.36\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満であることが好ましい。この場合、カットオフ波長が $1.36\ \mu\text{m}$ 未満の場合と比べて高い光の閉じ込め効果と、カットオフ波長が $1.39\ \mu\text{m}$ より大きく $1.55\ \mu\text{m}$ 未満の場合と比べて使用波長におけるシングルモード伝送が困難になる可能性を低減し得る効果とのバランスが適切に保たれ得る。

[0066] また、表1から表3より、偏波保持ファイバ1においては、カットオフ波長が $1.36\ \mu\text{m}$ 以上 $1.39\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。この場合、カットオフ波長が $1.36\ \mu\text{m}$ 未満の場合と比べて高い光の閉じ込め効果と、使用波長におけるシングルモード伝送が困難になる可能性を低減し得る効果とのバランスが適切に保たれ得る。また、カットオフ波長が $1.39\ \mu\text{m}$ より大きい場合と比べて、使用波長におけるシングルモード伝送が困難になる可能性を低減し得る。

[0067] また、表1から表3より、偏波保持ファイバ1においては、クラッド13の直径が $124\ \mu\text{m}$ 以上 $126\ \mu\text{m}$ 以下であり、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ における

モードフィールド径が $10.2\ \mu\text{m}$ 以上 $10.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、カットオフ波長が $1.33\ \mu\text{m}$ 以上 $1.39\ \mu\text{m}$ 以下であり、クラッド13に対するコア11の比屈折率差 Δ_{11} が 0.32% 以上 0.34% 以下であることが好ましい。

[0068] また、表1から表3より、偏波保持ファイバ1においては、クラッド13の直径が $79\ \mu\text{m}$ 以上 $81\ \mu\text{m}$ 以下であり、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $8.9\ \mu\text{m}$ 以上 $9.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、カットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ 以上 $1.39\ \mu\text{m}$ 以下であり、クラッド13に対するコア11の比屈折率差 Δ_{11} が 0.33% 以上 0.40% 以下であることが好ましい。

[0069] また、偏波保持ファイバ1においては、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、カットオフ波長が $1.26\ \mu\text{m}$ 以上 $1.41\ \mu\text{m}$ 未満であることが好ましい。

[0070] また、偏波保持ファイバ1においては、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $9.2\ \mu\text{m}$ より大きく $10.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、カットオフ波長が $1.26\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満であることが好ましい。

[0071] また、偏波保持ファイバ1は、以下の(A)～(C)のいずれかを満たすことが好ましい。

(A) 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $9.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、カットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満である。

(B) 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $9.6\ \mu\text{m}$ より大きく $10.5\ \mu\text{m}$ 以下であり、カットオフ波長が $1.33\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満である。

(C) 波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.5\ \mu\text{m}$ より大きく $10.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、カットオフ波長が $1.36\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満である。

[0072] モードフィールド径が大きい場合においてマクロベンドロス値を低減するためには、カットオフ波長を長波長にすることが考えられる。このため、少なくとも上記の条件(A)～(C)のいずれかを満たすことで条件3の(

1) 及び (2) の少なくとも一方をより確実に満たし得る。例えば、表 1 から表 3 より、モードフィールド径が $10.6 \mu\text{m}$ の場合、条件 3 の (1) 及び (2) の少なくとも一方を満たすカットオフ波長の範囲が $1.36 \mu\text{m}$ 以上 $1.55 \mu\text{m}$ 未満である。しかし、モードフィールド径が $10.6 \mu\text{m}$ 未満の場合は、モードフィールド径が $10.6 \mu\text{m}$ の場合よりも光の閉じ込め効果が向上し得る。このため、モードフィールド径が $10.6 \mu\text{m}$ の場合における条件 3 の (1) 及び (2) の少なくとも一方を満たすカットオフ波長の範囲を満たせば、モードフィールド径が $10.6 \mu\text{m}$ 未満の場合でも、当該カットオフ波長の範囲において条件 3 の (1) 及び (2) の少なくとも一方を必然的に満たし得る。また、上述したモードフィールド径が $10.6 \mu\text{m}$ 未満の場合において、カットオフ波長の範囲が $1.24 \mu\text{m}$ 以上であれば、カットオフ波長が $1.36 \mu\text{m}$ 未満でも条件 3 の (1) 及び (2) の少なくとも一方を満たし得る。

[0073] また、偏波保持ファイバ 1 は、<条件 3>の (1) や (2) の代わりに以下の (3) を満たすことが好ましい。

(3) 曲げ半径が 7.5 mm であり、ファイバ長 47.1 mm あたりの振れが 1 回転である場合の波長 $1.55 \mu\text{m}$ におけるマクロベンドロスが 0.27 dB/turn 以下である。

[0074] また、(3) を満たす場合、モードフィールド径が $10.3 \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。また、モードフィールド径が $9.6 \mu\text{m}$ より大きいことが好ましい。従って、モードフィールド径が $9.6 \mu\text{m}$ より大きく $10.3 \mu\text{m}$ 以下であることがより好ましい。また、(3) を満たす場合、カットオフ波長が $1.36 \mu\text{m}$ 以上 $1.55 \mu\text{m}$ 未満であることが好ましい。

[0075] アクセスネットワークや一般的なトランスポートネットワーク等をサポートする為に必要とされ、厳しいマクロベンドロス条件が求められる低曲げ損失シングルモード光ファイバとしての ITU-T 規格 G 657. A 2 がある。この規格では、波長 $1.55 \mu\text{m}$ で曲げ半径が 7.5 mm であり、マンドレルに 1 回転巻きつけた場合でのマクロベンドロスの値が 0.5 dB である

旨が規定されている。表1から表3から読み取れる上記の(3)を満たすことで、偏波保持ファイバが振られているにもかかわらず、当該規格の値以下の値が得られ得る。

[0076] また、偏波保持ファイバ1は、〈条件3〉の(1)や(2)の代わりに以下の(4)を満たすことが好ましい。

(4) 曲げ半径が10mmであり、ファイバ長62.8mmあたりの振れが1回転である場合の波長1.55 μ mにおけるマクロベンドロスが0.07dB/1turn以下である。

[0077] また、(4)を満たす場合、モードフィールド径が9.6 μ m以下であることが好ましい。また、(4)を満たす場合、カットオフ波長が1.24 μ m以上1.55 μ m未満であることが好ましい。

[0078] 上記ITU-T規格G657.A2には、波長1.55 μ mで曲げ半径が10mmであり、マンドレルに1回転巻きつけた場合でのマクロベンドロスの値が0.1dBである旨が規定されている。表1から表3から読み取れる上記の(4)を満たすことで、偏波保持ファイバが振られているにもかかわらず、当該規格の値以下の値が得られ得る。また、ITU-T規格G657.A2よりも厳しいマクロベンドロスの条件が定められるITU-T規格G657.B3では、波長1.55 μ mで曲げ半径が10mmであり、マンドレルに1回転巻きつけた場合でのマクロベンドロスの値が0.08dBである旨が規定されている。上記(4)を満たすことで、偏波保持ファイバが振られているにもかかわらず、当該規格の値以下の値が得られ得る。

また、偏波保持ファイバが、条件3の(3)及び(4)の少なくとも一方を満たすことで、アクセスネットワークや一般的なトランスポートネットワーク等をサポートするために十分小さなマクロベンドロスとし得る。

[0079] 以上説明した本発明の態様の一部を以下に列挙する。

[0080] 本発明の態様1は、コア11と、コア11を挟む位置に配置された一对の応力付与部12a、12bと、コア11及び一对の応力付与部12a、12bを内包するクラッド13と、を備え、波長1.55 μ mにおけるモードフ

ィールド径が $10.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、ファイバ長が $2\ \text{m}$ で曲げ半径が $140\ \text{mm}$ である場合のカットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満であり、以下の(1)及び(2)の少なくとも一方を満たすことを特徴とする偏波保持ファイバである。

(1) 曲げ半径が $7.5\ \text{mm}$ であり、ファイバ長 $47.1\ \text{mm}$ あたりの振れが1回転である場合において、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるマクロベンドロスが $0.67\ \text{dB}/1\ \text{turn}$ 以下である。

(2) 曲げ半径が $10\ \text{mm}$ であり、ファイバ長 $62.8\ \text{mm}$ あたりの振れが1回転である場合において、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるマクロベンドロスが $0.16\ \text{dB}/1\ \text{turn}$ 以下である。

[0081] 偏波保持ファイバ1のように、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.6\ \mu\text{m}$ 以下であることで、当該波長におけるモードフィールド径が $10.6\ \mu\text{m}$ より大きい場合と比べて、光の閉じ込め力を大きくすることができる。また、ファイバ長が $2\ \text{m}$ で曲げ半径が $140\ \text{mm}$ である場合のカットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ 以上であることで、当該波長におけるカットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ より小さい場合と比べて、光の閉じ込め力を大きくし得る。このため、コア11を伝搬する光の損失を抑制し得る。また、カットオフ波長が $1.55\ \mu\text{m}$ 未満であることで、使用波長が $1.55\ \mu\text{m}$ 以上の場合にシングルモード光伝送を実現し得る。従って、特に使用波長が $1.55\ \mu\text{m}$ 程度のコヒーレント光トランシーバ等や使用波長が $1.55\ \mu\text{m}$ 以上の光ファイバや光デバイスに適用可能な偏波保持ファイバを実現し得る。従って、本実施形態の偏波保持ファイバ1は、上記構成を満たさない偏波保持ファイバと比べて、各種光デバイス等への収納時等において、偏波保持ファイバに振れが印加される場合であっても、例えば、ユーザが偏波保持ファイバを当該光デバイスに適用できる程度にマクロベンドロス特性の低下が抑制され得る。

[0082] なお、カットオフ波長は、ファイバ長が $2\ \text{m}$ のファイバカットオフ波長で測定した場合の波長値であるが、屈折率の構造からLP11モードの各波長

の単位長さあたりの損失を計算する下記文献の手法を用いれば、ファイバ長が2 m未満であっても、任意の長さにおけるカットオフ波長を算出する事が可能である。したがって、本実施形態の偏波保持ファイバ1は、カットオフ波長を測定でき得るため、ファイバ長が2 m未満であっても成立し得る。

16th Opto-Electronics and Communications Conference “LP11 mode attenuation behavior of optical fibers with trench-cladding”

[0083] また、本実施形態の態様2は、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.32%以上であることを特徴とする態様1の偏波保持ファイバである。

[0084] また、本発明の態様3は、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.33%以上であることを特徴とする態様1または2の偏波保持ファイバである。

[0085] また、本発明の態様4は、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.40%以下であることを特徴とする態様1から3のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0086] また、本発明の態様5は、前記コアの中心軸から応力付与部までの距離が10 μm 以下であることを特徴とする態様1から4のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0087] また、本発明の態様6は、前記クラッドに対する前記応力付与部の比屈折率差が-0.78%以下であることを特徴とする態様1から5のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0088] また、本発明の態様7は、前記モードフィールド径が10.3 μm 以下であることを特徴とする態様1から6のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0089] また、本発明の態様8は、前記モードフィールド径が9.6 μm 以下であることを特徴とする態様1から7のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0090] また、本発明の態様9は、前記モードフィールド径が8.9 μm 以上であることを特徴とする態様1から8のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0091] また、本発明の態様10は、前記カットオフ波長が1.24 μm 以上1.

39 μm 以下であることを特徴とする態様1から9のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0092] また、本発明の態様11は、前記カットオフ波長が1.39 μm より大きく1.55 μm 未満であることを特徴とする態様1から10のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0093] また、本発明の態様12は、前記カットオフ波長が1.36 μm 以上1.55 μm 未満であることを特徴とする態様1から11のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0094] また、本発明の態様13は、前記カットオフ波長が1.36 μm 以上1.39 μm 以下であることを特徴とする態様1から12のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0095] また、本発明の態様14は、前記クラッドの直径が124 μm 以上126 μm 以下であり、前記モードフィールド径が10.2 μm 以上10.6 μm 以下であり、前記カットオフ波長が1.33 μm 以上1.39 μm 以下であり、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.32%以上0.34%以下であることを特徴とする態様1から13のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0096] また、本発明の態様15は、前記クラッドの直径が79 μm 以上81 μm 以下であり、前記モードフィールド径が8.9 μm 以上9.6 μm 以下であり、前記カットオフ波長が1.24 μm 以上1.39 μm 以下であり、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.33%以上0.40%以下であることを特徴とする態様1から14のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0097] また、本発明の態様16は、前記モードフィールド径が10.6 μm 以下であり、前記カットオフ波長が1.26 μm 以上1.41 μm 未満であることを特徴とする態様1から15のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0098] また、本発明の態様17は、前記モードフィールド径が9.2 μm より大きく10.6 μm 以下であり、前記カットオフ波長が1.26 μm 以上1.

55 μm 未満であることを特徴とする態様1から16のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0099] また、本発明の態様18は、以下の(A)～(C)のいずれかを満たすことを特徴とする態様1から17のいずれかの偏波保持ファイバである。

(A) 前記モードフィールド径が9.6 μm 以下であり、前記カットオフ波長が1.24 μm 以上1.55 μm 未満である。

(B) 前記モードフィールド径が9.6 μm より大きく10.5 μm 以下であり、前記カットオフ波長が1.33 μm 以上1.55 μm 未満である。

(C) 前記モードフィールド径が10.5 μm より大きく10.6 μm 以下であり、前記カットオフ波長が1.36 μm 以上1.55 μm 未満である。

[0100] また、本発明の態様19は、以下の(3)を満たすことを特徴とする態様1から18のいずれかの偏波保持ファイバである。

(3) 曲げ半径が7.5 mmであり、ファイバ長47.1 mmあたりの振れが1回転である場合の波長1.55 μm におけるマクロベンドロスが0.27 dB/turn以下である。

[0101] また、本発明の態様20は、以下の(4)を満たすことを特徴とする態様1から19のいずれかの偏波保持ファイバである。

(4) 曲げ半径が10 mmであり、ファイバ長62.8 mmあたりの振れが1回転である場合の波長1.55 μm におけるマクロベンドロスが0.07 dB/turn以下である。

[0102] また、本発明の態様21は、前記モードフィールド径が10 μm 未満であることを特徴とする態様1から20のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0103] また、本発明の態様22は、前記モードフィールド径が9.6 μm より大きいことを特徴とする態様1から21のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0104] また、本発明の態様23は、前記ファイバ長が47.1 mm以上であることを特徴とする態様1から22のいずれかの偏波保持ファイバである。

- [0105] また、本発明の態様24は、前記ファイバ長が50m未満であることを特徴とする態様1から23のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0106] また、本発明の態様25は、前記ファイバ長が10m未満であることを特徴とする態様1から24のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0107] また、本発明の態様26は、前記ファイバ長が300mm未満であることを特徴とする態様1から25のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0108] また、本発明の態様27は、前記クラッドに対する前記コアの屈折率分布がステップ状またはG1型分布状であることを特徴とする態様1から26のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0109] また、本発明の態様28は、前記応力付与部の直径が $24.8\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする態様1から27のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0110] また、本発明の態様29は、前記応力付与部の直径が $38.0\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする態様1から28のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0111] また、本発明の態様30は、前記応力付与部の直径が $34.4\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする態様1から29のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0112] また、本発明の態様31は、前記コアの半径が $4.4\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする態様1から30のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0113] また、本発明の態様32は、前記コアの半径が $4.1\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする態様1から31のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0114] また、本発明の態様33は、前記クラッドに対する前記応力付与部の比屈折率差が -1.0% 以上であることを特徴とする態様1から32のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0115] また、本発明の態様34は、前記コアの中心軸から応力付与部までの距離と前記モードフィールド径の半径との比が $1.05\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする態様1から33のいずれかの偏波保持ファイバである。

- [0116] また、本発明の態様35は、前記クラッドの直径が79 μm 以上126 μm 以下であることを特徴とする態様1から34のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0117] また、本発明の態様36は、前記クラッドの直径が124 μm 以上126 μm 以下であることを特徴とする態様1から35のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0118] また、本発明の態様37は、前記クラッドの直径が79 μm 以上81 μm 以下であることを特徴とする態様1から36のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0119] また、本発明の態様38は、前記コアの外周を構成する円の中心は、前記クラッドの中心部に含まれており、前記クラッドの中心部が半径0.6 μm の円であって、当該円の中心が前記クラッドの外周を構成する円の中心と一致する円の内部領域であることを特徴とする態様1から37のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0120] 以上説明したように、本発明によれば、偏波保持ファイバに振れが印加される場合であってもマクロバンドロス特性の低下が抑制される偏波保持ファイバが提供され得、光通信等の分野における通信用偏波保持ファイバや、増幅器等の分野におけるアンプ用偏波保持ファイバや、測定等の分野におけるセンサ用偏波保持ファイバとしての利用が期待される。

請求の範囲

- [請求項1] コアと、
前記コアを挟む位置に配置された一对の応力付与部と、
前記コア及び前記一对の応力付与部を内包するクラッドと、
を備え、
波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、
ファイバ長が $2\ \text{m}$ で曲げ半径が $140\ \text{mm}$ である場合のカットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満であり、
以下の(1)及び(2)の少なくとも一方を満たすことを特徴とする偏波保持ファイバ。
(1) 曲げ半径が $7.5\ \text{mm}$ であり、ファイバ長 $47.1\ \text{mm}$ あたりの振れが1回転である場合において、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるマクロバンドロスが $0.67\ \text{dB}/1\ \text{turn}$ 以下である。
(2) 曲げ半径が $10\ \text{mm}$ であり、ファイバ長 $62.8\ \text{mm}$ あたりの振れが1回転である場合において、波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるマクロバンドロスが $0.16\ \text{dB}/1\ \text{turn}$ 以下である。
- [請求項2] 前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が 0.32% 以上である
ことを特徴とする請求項1に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項3] 前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が 0.33% 以上である
ことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項4] 前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が 0.40% 以下である
ことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項5] 前記コアの中心軸から応力付与部までの距離が $10\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。

- [請求項6] 前記クラッドに対する前記応力付与部の比屈折率差が -0.78% 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項7] 前記モードフィールド径が $10.3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項8] 前記モードフィールド径が $9.6\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項9] 前記モードフィールド径が $8.9\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項10] 前記カットオフ波長が $1.24\mu\text{m}$ 以上 $1.39\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項11] 前記カットオフ波長が $1.39\mu\text{m}$ より大きく $1.55\mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項12] 前記カットオフ波長が $1.36\mu\text{m}$ 以上 $1.55\mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項13] 前記カットオフ波長が $1.36\mu\text{m}$ 以上 $1.39\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項14] 前記クラッドの直径が $124\mu\text{m}$ 以上 $126\mu\text{m}$ 以下であり、前記モードフィールド径が $10.2\mu\text{m}$ 以上 $10.6\mu\text{m}$ 以下であり、前記カットオフ波長が $1.33\mu\text{m}$ 以上 $1.39\mu\text{m}$ 以下であり、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が 0.32% 以上 0.34% 以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。
- [請求項15] 前記クラッドの直径が $79\mu\text{m}$ 以上 $81\mu\text{m}$ 以下であり、前記モードフィールド径が $8.9\mu\text{m}$ 以上 $9.6\mu\text{m}$ 以下であり、前記カットオフ波長が $1.24\mu\text{m}$ 以上 $1.39\mu\text{m}$ 以下であり、

前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.33%以上0.40%以下である

ことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項16]

前記モードフィールド径が10.6 μ m以下であり、

前記カットオフ波長が1.26 μ m以上1.41 μ m未満である

ことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項17]

前記モードフィールド径が9.2 μ mより大きく10.6 μ m以下であり、

前記カットオフ波長が1.26 μ m以上1.55 μ m未満である

ことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。

[請求項18]

以下の(A)～(C)のいずれかを満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。

(A) 前記モードフィールド径が9.6 μ m以下であり、前記カットオフ波長が1.24 μ m以上1.55 μ m未満である。

(B) 前記モードフィールド径が9.6 μ mより大きく10.5 μ m以下であり、前記カットオフ波長が1.33 μ m以上1.55 μ m未満である。

(C) 前記モードフィールド径が10.5 μ mより大きく10.6 μ m以下であり、前記カットオフ波長が1.36 μ m以上1.55 μ m未満である。

[請求項19]

以下の(3)を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。

(3) 曲げ半径が7.5mmであり、ファイバ長47.1mmあたりの振れが1回転である場合の波長1.55 μ mにおけるマクロベンドロスが0.27dB/1turn以下である。

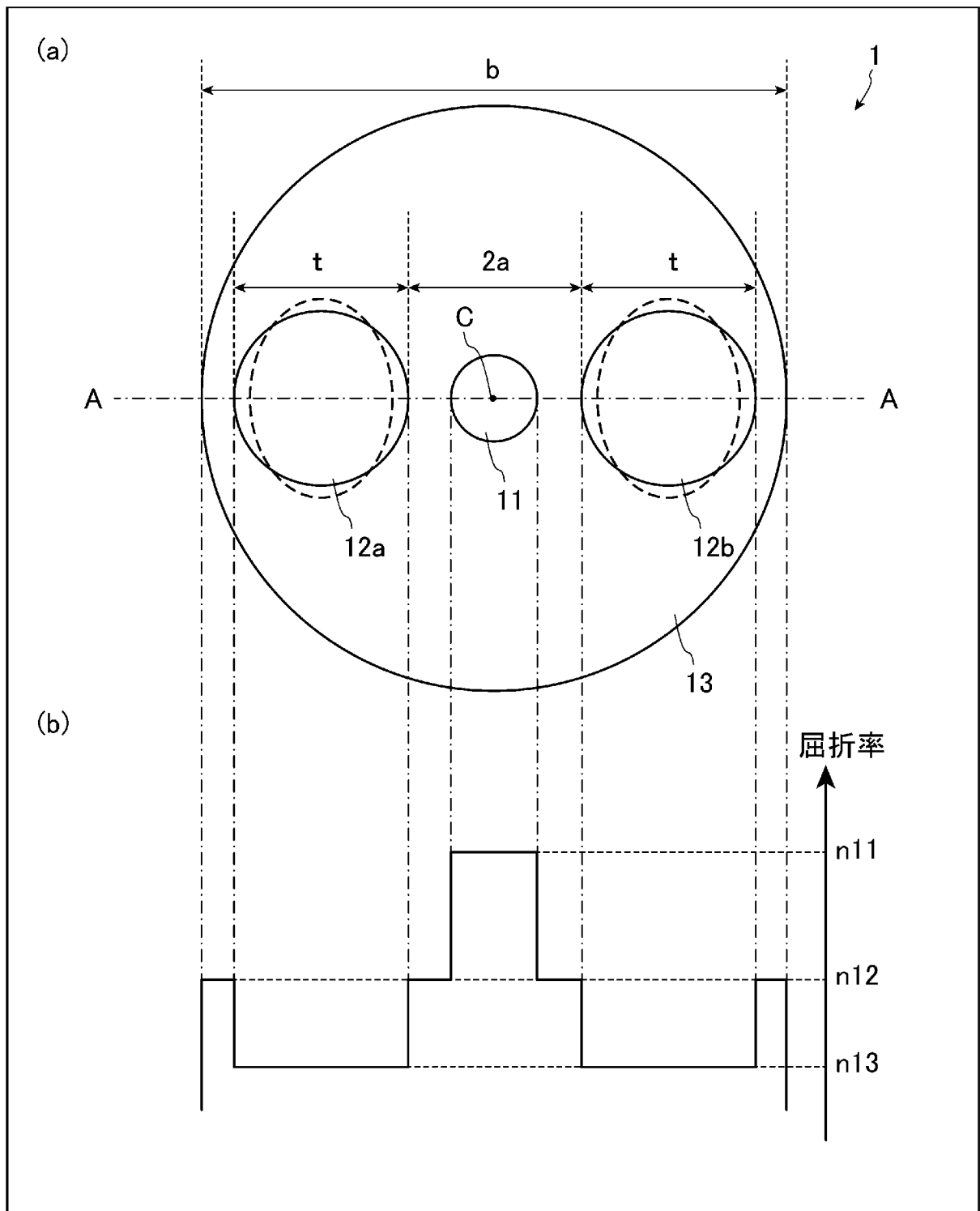
[請求項20]

以下の(4)を満たすことを特徴とする請求項1または2に記載の偏波保持ファイバ。

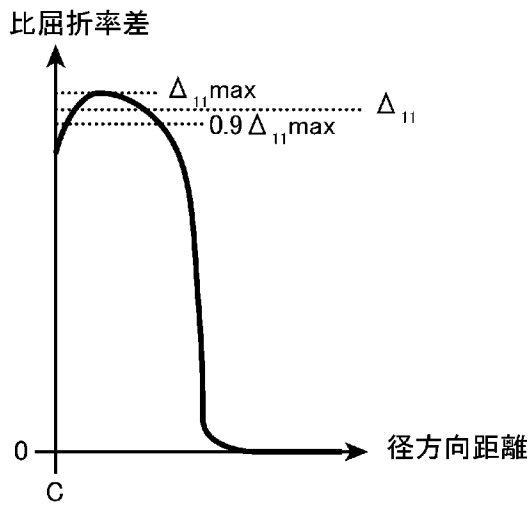
(4) 曲げ半径が10mmであり、ファイバ長62.8mmあた

りの振れが1回転である場合の波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるマクロバンドロスが $0.07\text{dB}/1\text{turn}$ 以下である。

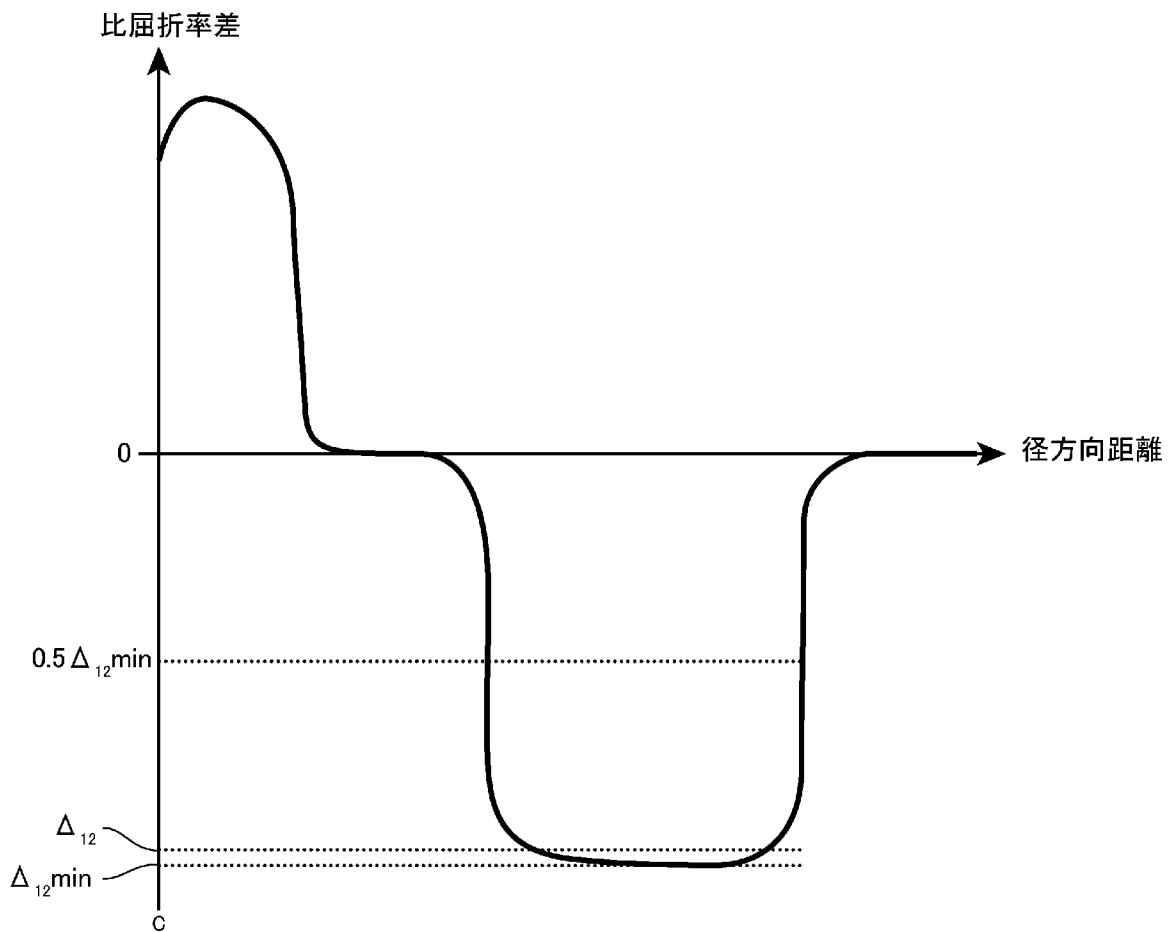
[図1]



[圖2]



[圖3]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/027621

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
G02B 6/024(2006.01)i FI: G02B6/024 301		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G02B6/02-6/10; G02B6/44		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Published examined utility model applications of Japan 1922-1996 Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2024 Registered utility model specifications of Japan 1996-2024 Published registered utility model applications of Japan 1994-2024		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JSTChina/JST7580 (JDreamIII); IEEE Xplore; Scopus		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	JP 2015-184371 A (FUJIKURA LTD.) 22 October 2015 (2015-10-22) paragraphs [0022]-[0027], [0038], fig. 1-3, table 1	1-9, 11-12, 18-20 10, 13-17
X A	EP 3715924 A1 (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECH CO., LTD.) 30 September 2020 (2020-09-30) paragraphs [0023]-[0026], [0043]-[0046], fig. 1, table 3	1-4, 7-8, 10-12, 16, 18-20 5-6, 9, 13-15, 17
X A	CN 102351415 A (WUHAN FENGHUO RUIGUANG TECHNOLOGY CO., LTD.) 15 February 2012 (2012-02-15) paragraphs [0031]-[0042], fig. 2-5, table 1	1, 9-10, 12-13, 16-20 2-8, 11, 14-15
X A	JP 2003-337238 A (FUJIKURA LTD.) 28 November 2003 (2003-11-28) paragraphs [0011], [0047]-[0059], fig. 1, table 1	1-5, 7-13, 15-20 6, 14
<input type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "D" document cited by the applicant in the international application "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 24 September 2024		Date of mailing of the international search report 08 October 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No. PCT/JP2024/027621

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2015-184371 A	22 October 2015	US 2015/0268413 A1 paragraphs [0042]-[0066], [0095]-[0096], fig. 1-3, table 1	
		EP 2921889 A1	
		CN 104932052 A	

EP 3715924 A1	30 September 2020	WO 2019/223160 A1	
		CN 108845389 A	

CN 102351415 A	15 February 2012	(Family: none)	

JP 2003-337238 A	28 November 2003	US 2005/0031280 A1 paragraphs [0028], [0076]- [0090], fig. 1, table 1	
		WO 2003/079075 A1	
		EP 1486804 A1	
		CN 1643418 A	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/024(2006.01)i FI: G02B6/024 301		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G02B6/02-6/10; G02B6/44		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2024年 日本国実用新案登録公報 1996-2024年 日本国登録実用新案公報 1994-2024年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JSTPlus/JSTChina/JST7580 (JDreamIII); IEEE Xplore; Scopus		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2015-184371 A (株式会社フジクラ) 22.10.2015 (2015-10-22) 段落[0022]-[0027], [0038], 図1-3, 表1	1-9, 11- 12, 18-20 10, 13-17
X A	EP 3715924 A1 (FIBERHOME TELECOMMUNICATION TECHNOLOGIES CO., LTD) 30.09.2020 (2020-09-30) 段落[0023]-[0026], [0043]-[0046], 図1, 表3	1-4, 7-8, 10-12, 1 6, 18-20 5-6, 9, 1 3-15, 17
X A	CN 102351415 A (WUHAN FENGHUO RUIGUANG TECHNOLOGY CO., LTD.) 15.02.2012 (2012-02-15) 段落[0031]-[0042], 図2-5, 表1	1, 9-10, 12 -13, 16-20 2-8, 1 1, 14-15
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “D” 国際出願で出願人が先行技術文献として記載した文献 “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に 公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若し くは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を 付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の 後に公表された文献	“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵 触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引 用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性 又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献 との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がな いと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 24.09.2024	国際調査報告の発送日 08.10.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 山本 元彦 2L 2647 電話番号 03-3581-1101 内線 3255	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	JP 2003-337238 A (株式会社フジクラ) 28.11.2003 (2003 - 11 - 28) 段落[0011], [0047]-[0059], 図1, 表1	1 - 5, 7 - 1 3, 15 - 20 6, 14

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
 PCT/JP2024/027621

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2015-184371 A	22.10.2015	US 2015/0268413 A1 段落[0042]-[0066], [0095]-[0096], 図1-3, 表1 EP 2921889 A1 CN 104932052 A	
EP 3715924 A1	30.09.2020	WO 2019/223160 A1 CN 108845389 A	
CN 102351415 A	15.02.2012	(ファミリーなし)	
JP 2003-337238 A	28.11.2003	US 2005/0031280 A1 段落[0028], [0076]- [0090], 図1, 表1 WO 2003/079075 A1 EP 1486804 A1 CN 1643418 A	