

(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

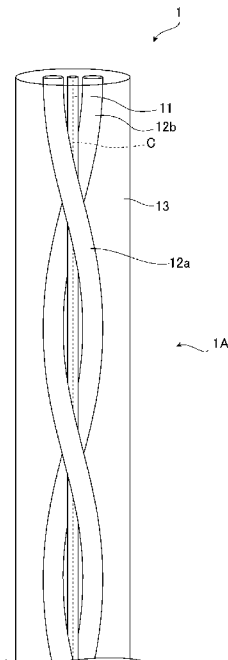
WO 2025/028628 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/024 (2006.01) G02B 6/02 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2024/027623
- (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 2023-126628 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,
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.

(54) Title: POLARIZATION-MAINTAINING FIBER

(54) 発明の名称: 偏波保持ファイバ

[図2]



(57) Abstract: A polarization-maintaining fiber (1) is characterized by: being provided with a core (11), a pair of stress impartment parts (12a), (12b) which are disposed at positions holding the core (11) therebetween, and a cladding (13) which surrounds the core (11) and the pair of stress impartment parts (12a), (12b); and having a torsion section (1A) where the stress impartment parts (12a), (12b) rotationally extends in a helical shape permanently around the core (11). In the torsion section (1A): helical torsion of the stress impartment parts (12a), (12b) per fiber length of 47.1 mm consists of not more than one round of turn; the mode field diameter at a wavelength of 1.55 μm is 10.6 μm or less; and the cutoff wavelength is 1.24 μm or more and less than 1.55 μm when the fiber length is 2 m and the bending radius is 140 mm.

(57) 要約: 偏波保持ファイバ(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、応力付与部(12a), (12b)がコア(11)の周りを恒久的に螺旋状に回転する捩れ区間(1A)を有し、捩れ区間(1A)では、ファイバ長47.1mmあたりにおける応力付与部(12a), (12b)の螺旋状の捩れが1回転以内であり、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 μm 以上1.55 μm 未満であることを特徴とする。

(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))

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ものが知られている。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、例えば酸化ボロン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。このような偏波保持ファイバは、例えば、ユーザが偏波保持ファイバを当該光デ

バイスに適用する場合にマクロバンドロス特性が低下する場合がある。このため、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す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求められている。

[0007] そこで、本発明は、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す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、前記応力付与部が前記コアの周りを恒久的に螺旋状に回転する捩れ区間を有し、前記捩れ区間では、ファイバ長47.1mmあたりにおける前記応力付与部の螺旋状の捩れが1回転以内であり、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 μm 以上1.55 μm 未満であることを特徴とする偏波保持ファイバである。

[0009] この偏波保持ファイバのように、波長1.55 μm におけるモードフィールド径が10.6 μm 以下であることで、当該波長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 μm 以上であることで、当該カットオフ波長が1.24 μm 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。

[0010] また、この偏波保持ファイバは、上記のようなモードフィールド径やカットオフ波長の構成を有するため、上記のように光の閉じ込め力を大きくし得る。このため、当該構成を有さない偏波保持ファイバと比べて、上記のような捩れの回転数である捩れ区間であっても、光の漏れを抑制し得、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す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得る。

[0011] 以上のように、本発明によれば、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す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る。

図面の簡単な説明

[0012] [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]偏波保持ファイバの捩れ区間を示す図である。

[図3]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4]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

[0013] 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。

[0014] 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。

[0015] 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、P

A N D A型偏波保持ファイバと称される場合がある。

- [0016] 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。
- [0017] 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。

る。

[0018] 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。

[0019] 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、 $4.4\ \mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。また、コア11の半径は、 $4.1\ \mu\text{m}$ 以上であることが好ましい。また、コア11の半径は、 $4.1\ \mu\text{m}$ 以上 $4.4\ \mu\text{m}$ 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。

[0020] 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。なお、後述の通り、一对の応力付与部12a, 12bは、コア11の周りを恒久的に螺旋状に回転する長手方向に沿った捩れ区間を少なくとも一部に有していてもよい。また、一对の応力付与部12a, 12bは、偏波保持ファイバ1の長手方向全域にわたって、コア11の周りを恒久的に螺旋状に回転する長手方向に沿った捩れ区間を有していてもよい。本実施形態では、応力付与部12a, 12bの屈折率 n_{12} は、クラッドの屈折率 n_{13} よりも低い。応力付与部12a, 12bは、例えば、酸化硼素(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12a, 12b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12a, 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12a, 12b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。

[0021] クラッドに対する応力付与部12a, 12b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、応力付与部が並ぶ方向に沿ったS軸方向において、応力付与部12a, 12b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、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12a, 12b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。

[0022] 本実施形態の応力付与部12a, 12b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12a, 12b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12a, 12b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12a, 12b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 $125\mu\text{m} \pm 1\mu\text{m}$ 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、 $24.8\mu\text{m}$ 以上であることが好ましく、 $30.0\mu\text{m}$ 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、 $40.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $38.0\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $34.4\mu\text{m}$ 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、 $24.8\mu\text{m}$ 以上 $40.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $24.8\mu\text{m}$ 以上 $38.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $24.8\mu\text{m}$ 以上 $34.4\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、また、 $30.0\mu\text{m}$ 以上 $40.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $30.0\mu\text{m}$ 以上 $38.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $30.0\mu\text{m}$ 以上 $34.4\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0023] 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、 $22.0\mu\text{m}$ 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、 $27.0\mu\text{m}$ 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、 $22.0\mu\text{m}$ 以上 $27.0\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。

[0024] 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。

[0025] 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、 $10\mu\text{m}$ 以下であることが好ましい。距離 a が $10\mu\text{m}$ 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。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(1)、(2)、(3)または(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。

[0026] 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。

[0027] 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。

[0028] 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、光トランシーバに収容する際、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。或いは、クラッド13の直径bは、125 μ m \pm 1

μm 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。

[0029] 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 $79\ \mu\text{m}$ 以上 $126\ \mu\text{m}$ 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 $0.6\ \mu\text{m}$ 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。

[0030] なお、偏波保持ファイバ1のファイバ長は、 $50\ \text{m}$ 未満であることが好ましく、 $10\ \text{m}$ 未満であってもよく、 $300\ \text{mm}$ 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、 $47.1\ \text{mm}$ 以上であることが好ましく、例えば、 $2\ \text{m}$ 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 $50\ \text{m}$ 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、23.55mm以上10m未満であることが好ましく、23.55mm以上300mm以下であることが好ましく、31.4mm以上50m未満であることが好ましく、31.4mm以上10m未満であることが好ましく、31.4mm以上300mm以下であることが好ましく、47.1mm以上50m未満であることが好ましく、47.1mm以上10m未満であることが好ましく、47.1mm以上300mm以下であることが好ましく、2m以上50m未満であることが好ましく、2m以上10m未満であることが好ましく、300mmより大きく10m未満であることが好ましい。

[0031] また、偏波保持ファイバ1は、応力付与部12a, 12bがコア11の周りを恒久的に螺旋状に回転する長手方向に沿った捩れ区間を有する。図2は、偏波保持ファイバ1の捩れ区間1Aを示す図である。捩れ区間1Aでは、

応力付与部12aと応力付与部12bとは、コア11の中心軸Cを中心として概ね螺旋平行である。

[0032] 恒久的に螺旋状に回転するとは、偏波保持ファイバ1に何ら外力が印加されない状態であっても、応力付与部12a, 12bがコア11の周りを螺旋状に回転することを言う。このような捩れ区間1Aは、偏波保持ファイバ1を線引きにより製造する際に、偏波保持ファイバ1となる母材を回転させることで形成することができ得る。つまり、偏波保持ファイバ1となるガラスが熔融して線引きされる際に、応力付与部12a, 12bにおける未固化のガラスが捩られて、捩られた状態のガラスが固化することで捩れ区間1Aが形成される。このように、捩れ区間1Aは、応力付与部12a, 12bにおける恒久的な捩れが付与された区間である。

[0033] 捩れ区間1Aでは、偏波保持ファイバ1のファイバ長47.1mmあたりにおける応力付与部12a, 12bの螺旋状の捩れが1回転以内である。また、捩れ区間1Aでは、偏波保持ファイバ1のファイバ長62.8mmあたりにおける応力付与部12a, 12bの螺旋状の捩れが1回転以内であることがより好ましい。また、捩れ区間1Aでは、偏波保持ファイバ1のファイバ長1mあたりにおける応力付与部12a, 12bの螺旋状の捩れが1/50回転より大きいことが好ましい。つまり、偏波保持ファイバ1のファイバ長50mあたりにおける応力付与部12a, 12bの螺旋状の捩れが1回転より大きいことが好ましい。また、捩れ区間1Aでは、当該捩れがファイバ長1m当たり1/25回転より大きいことが好ましい。なお、図2では、図を分かり易くするため、偏波保持ファイバ1の長手方向の縮尺を実際と変えている。

[0034] 捩れ区間1Aにおいてファイバ長1mあたりにおける応力付与部12a, 12bの螺旋状の捩れが1/50回転より大きい場合、応力付与部12a, 12bが螺旋状に回転することから、例えば、F軸方向といった特定の曲げ方向のみに集中してコアを伝搬する光が漏れ出る事を防ぐ事が出来得る為、マクロバンドロスが極端に大きくなる事を抑制し得る。このように、マクロ

バンドロスの曲げ方向依存性が強くなる事を抑制し得、偏波保持ファイバ1の使用時に曲げ方向に注意する必要を抑止し得、1 mあたり1 / 50回転以内で振れている場合と比べ、取り扱いが容易になり得る。

[0035] また、偏波保持ファイバ1は、振れ区間1 Aにおける応力付与部1 2 a, 1 2 bの振れ方向と反対方向に応力付与部1 2 a, 1 2 bがコア1 1の周りを螺旋状に回転する他の振れ区間を有することが好ましい。振れ区間1 Aでは、上記のように恒久的な振れが付与され、当該振れによるわずかな応力が残存している。このため、偏波保持ファイバ1に何ら外力が加わらない場合、偏波保持ファイバ1は、振れ区間1 Aにおいて僅かに湾曲し得る。しかし、上記構成によれば、他の振れ区間では、振れ区間1 Aと反対方向に振れているため、偏波保持ファイバ1に何ら外力が加わらない場合、偏波保持ファイバ1は、他の振れ区間において、振れ区間1 Aの僅かな湾曲と逆側に僅かに湾曲し得る。従って、上記のように、偏波保持ファイバ1が振れ区間1 Aと他の振れ区間とを有することで、振れ区間1 Aのみを有する場合と比べて、偏波保持ファイバ1に何ら外力が加わらない場合、偏波保持ファイバ1は、全体として直線に近づき得る。従って、振れ区間と他の振れ区間との長さが概ね同じであることが好ましく、同じであることが好ましい。また、単位長さ当たりにおける応力付与部1 2 a, 1 2 bの螺旋状の振れの量の絶対値が、振れ区間1 Aと他の振れ区間とで概ね同じであることが好ましく、同じであることが好ましい。また、振れ区間1 Aと他の振れ区間とが交互に設けられることが好ましい。また、振れ区間1 Aと他の振れ区間では、振れの周期が異なっても良い。また、偏波保持ファイバ1に上記の振れ区間1 Aと上記他の振れ区間とを備えた構成であっても、当該振れ区間1 Aと当該他の振れ区間とが同じ周期で設けられている場合は、光学特性を測定した場合に互いに同等の構成とみなし得る。このため、当該振れ区間1 Aを備えた偏波保持ファイバ1と当該他の振れ区間を備えた偏波保持ファイバ1は、マクロバンドロス等の光学的な特性が互いに概ね同等となり得る。

[0036] なお、螺旋状の振れの量は、例えば、偏波保持ファイバ1をマッチングオ

イルに浸して偏波保持ファイバ1の横側から観測したり、偏波保持ファイバ1の両端面を観察したりすることで求めることができる。後者の場合、偏波保持ファイバ1の両端面における応力付与部12a, 12bの位置をそれぞれ観察することにより、両者の相対的な応力付与部の位置のずれ量から、振れの回転数を見積ることで、螺旋状の振れの量を求め得る。

[0037] 以上の構成の偏波保持ファイバ1は、次の条件1, 2を満たす。

[0038] <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。

[0039] 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。

[0040] <条件2>

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 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2mで曲げ半径が140mmである場合のLP11モードの光のカットオフ波長である。

[0041] 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。

[0042] 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。

[0043] また、偏波保持ファイバ1は、<条件1>及び<条件2>を備える事により次の(1)、(2)の少なくとも一方を満たすことが好ましい。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7.5 mmであり、波長1.55 μm におけるマクロベンドロスが0.67 dB/turn以下である。

(2) 曲げ半径が10 mmであり、波長1.55 μm におけるマクロベンドロスが0.16 dB/turn以下である。

[0044] なお、上記の曲げ半径等に用いられる「曲げ」という語は、特に説明が無い限り、偏波保持ファイバ1に恒久的な捩れ以外の捩れが付与されずに曲げられている状態を意味する。以下においても、同様である。ファイバ長47.1 mmは、曲げ半径7.5 mmで1巻きされる場合のファイバ長であり、ファイバ長62.8 mmは、曲げ半径10 mm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10 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す。また、「1巻き」とは、1ターン(1 turn)と同義である。

[0045] 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7.5 mm程度以上の条件において、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する場合であって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1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0.5 turn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47.1 mm未満(例えば、23.55 mm)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。

[0046] 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、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する場合であって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。

[0047] 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満たし易くし得る。

[0048] 次に、偏波保持ファイバ1の実施例について説明する。

[0049] 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。

[0050] <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。

[0051] <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。

[0052] <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。

[0053] <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3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。

[0054] <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4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。

[0055] <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。

[0056] <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。

[0057] <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。

[0058] 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。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7.5mm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 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 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、実施例1から実施例12及び比較例1から比較例3の偏波保持ファイバは、振れ区間1Aを有さない。しかし、当該偏波保持ファイバに対して上記のように振りを加えた構成と応力付与部12a, 12bがコア11の周りを恒久的に螺旋状に回転する振れ区間1Aを有する構成とが光学特性を測定した場合に互いに同等の構成とみなし得る。このため、前者の偏波保持ファイバは、後者の偏波保持ファイバ1と、光学的な特性が概ね同等となり得る。測定した結果を表1から表3に示す。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。

[0059]

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=140mm)	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=7.5mm1巻き 1巻きあたり1回振り)	dB	0.16	0.15	0.16	0.10	0.02

[0060]

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

[0061]

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

[0062] 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及び条件

2を満たす。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を満たす場合には、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より確実に満たし得る。ここで、許容範囲とは、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する場合であっても、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。

[0063] 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。

[0064] 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。

[0065] 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

ドロスの大きな実施例 8 或いは実施例 1 2 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 1.9 倍であり、条件 3 の (2) のマクロバ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光デバイスに用いることが困難となり得る。

[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、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、よりマクロバンドロスを抑制することができる。

[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、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振れの条件でのマクロバ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 μm 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 μm 以上 9.6 μm 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 μm 以上 9.6 μm 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

ファイバ1のモードフィールド径は8.9 μm 以上9.6 μm 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 μm 以上9.6 μm 以下である事が好ましい。

[0068] 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 μm 未満であることが好ましい。モードフィールド径が10 μm 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 μm 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 μm 以上10 μm 未満であることが、より好ましい。

[0069] 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 μm 以上1.39 μm 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 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 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 μm 以上1.39 μm 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。

- [0070] 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、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する場合であっても、カットオフ波長が $1.39\ \mu\text{m}$ 以下の場合と比べて、マクロバンドロス値を低減し得る。
- [0071] 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。
- [0072] 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。
- [0073] 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。
- [0074] 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。

[0075] 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。

[0076] 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。

[0077] 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。

[0078] 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。

[0079] また、偏波保持ファイバ1は、(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 7.5mm であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるマクロベンドロスが $0.27\text{dB}/\text{turn}$ 以下である。

[0080] 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。

[0081] 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G657.A2がある。この規格では、波長 $1.55\mu\text{m}$ で曲げ半径が 7.5mm 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 0.5dB 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1は、捩れ区間1Aを有するにもかかわらず、当該規格の値以下の値が得られ得る。

[0082] また、偏波保持ファイバ1は、(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、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるマクロベンドロスが $0.07\text{dB}/\text{turn}$ 以下である。

[0083] また、(4)を満たす場合、モードフィールド径が $9.6\mu\text{m}$ 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 $1.24\mu\text{m}$ 以上 $1.55\mu\text{m}$ 未満であることが好ましい。

[0084] 上記ITU-T規格G657.A2には、波長 $1.55\mu\text{m}$ 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1は、捩れ区間1Aを有するにもかかわらず、当該ITU-T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 $1.55\mu\text{m}$ 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1は、捩れ区間1Aを有するにもかかわらず、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。

[0085] 以上説明した本発明の態様の一部を以下に列挙する。

[0086] 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、前記応力付与部が前記コアの周りを恒久的に螺旋状に回転する捩れ区間を有し、前記捩れ区間では、ファイバ長 47.1mm あたりにおける前記応力付与部の螺旋状の捩れが1回転以内であり、波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるモードフィールド径が $10.6\mu\text{m}$ 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 $1.55\mu\text{m}$ 未満であることを特徴とする偏波保持ファイバである。

[0087] 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。また、偏波保持ファイバ1は、上記のようなモードフィールド径やカットオフ波長を有するため、上記のように光の閉じ込め力を大きくし得る。このため、上記のような捩れの回転数である捩れ区間であっても、光の漏れを抑制し得、例えば、ユーザが偏波保持ファイバを各種光デバイスに適用でき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得る。これは、応力付与部12a、12bがコア11の周りを恒久的に螺旋状に回転する捩れ区間1Aを有し、捩れ区間1Aにおいてファイバ長 $47.1\ \text{mm}$ あたりにおける応力付与部12a、12bの螺旋状の捩れが1回転以内である場合、応力付与部12a、12bの捩れが緩くなる傾向になり、この場合、S軸方向に曲げた場合にコアを伝搬する光が応力付与部12a、12bにより漏れ出る事を防ぐ事が出来得る。このため、本来大きな曲げ損となるF軸方向の曲げによる曲げ損を抑制でき得、多くともS軸方向とF軸方向の平均的な曲げ損失に抑えることができ得る為、マクロバンドロスが極端に大きくなる事を抑制し得ることに起因し得るためである。

[0088] 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 $2\ \text{m}$ 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”

[0089] また、本実施形態の態様2は、前記捩れ区間では、ファイバ長62.8 mあたりにおける前記応力付与部の螺旋状の捩れが1回転以内であることを特徴とする態様1に記載の偏波保持ファイバである。

[0090] また、本実施形態の態様3は、前記クラッドに対する前記コアの比屈折率差が0.32%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。

[0091] 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0.33%以上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。

[0092] また、本発明の態様5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4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6は、前記コアの中心軸から前記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5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7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6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8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7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9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8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10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9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11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10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12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11のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0100] 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1.55 μm 未満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。
- [0101] また、本発明の態様14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13のいずれかの偏波保持ファイバである。
- [0102] また、本発明の態様15は、前記捩れ区間では、ファイバ長1mあたりにおける前記応力付与部の螺旋状の捩れが1/50回転より大きい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。
- [0103] また、本発明の態様16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15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17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16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 $9.6\ \mu\text{m}$ 以下であり、前記カットオフ波長が $1.24\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満である。

(B) 前記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、前記カットオフ波長が $1.33\ \mu\text{m}$ 以上 $1.55\ \mu\text{m}$ 未満である。

(C) 前記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、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。

。

[0106] また、本発明の態様19は、曲げ半径が $7.5\ \text{mm}$ であり波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるマクロバンドロスが $0.67\ \text{dB}/\text{turn}$ 以下である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。

[0107] また、本発明の態様20は、曲げ半径が $10\ \text{mm}$ であり波長 $1.55\ \mu\text{m}$ におけるマクロバンドロスが $0.16\ \text{dB}/\text{turn}$ 以下である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。

[0108] また、本発明の態様21は、前記モードフィールド径が $10\ \mu\text{m}$ 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。

[0109] また、本発明の態様22は、前記モードフィールド径が $9.6\ \mu\text{m}$ 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。

。

[0110] また、本発明の態様23は、前記ファイバ長が $47.1\ \text{m}$ 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。

[0111] また、本発明の態様24は、前記ファイバ長が $50\ \text{m}$ 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。

[0112] また、本発明の態様25は、前記ファイバ長が $10\ \text{m}$ 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。

[0113] また、本発明の態様26は、前記ファイバ長が $300\ \text{m}$ 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。

[0114] 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G I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。

[0115] 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。

[0116] 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。

[0117] 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。

[0118] 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。

[0119] 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。

[0120] 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。

[0121] 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。

[0122] また、本発明の態様35は、前記クラッドの直径が $79\mu\text{m}$ 以上 $126\mu\text{m}$ 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。

[0123] また、本発明の態様36は、前記クラッドの直径が $124\mu\text{m}$ 以上 $126\mu\text{m}$ 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。

[0124] また、本発明の態様37は、前記クラッドの直径が $79\mu\text{m}$ 以上 $81\mu\text{m}$

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。

[0125] また、本発明の態様 38 は、前記捩れ区間と他の捩れ区間を有し、前記他の捩れ区間では、捩れの周期が前記捩れ区間と異な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。

[0126] また、本発明の態様 39 は、前記捩れ区間と前記他の捩れ区間との長さが概ね同じであることを特徴とする態様 1 から 38 のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0127] また、本発明の態様 40 は、前記捩れ区間と前記他の捩れ区間とが交互に設けられることを特徴とする態様 1 から 39 のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0128] また、本発明の態様 41 は、前記捩れ区間では、ファイバ長 1 m あたりにおける前記応力付与部の螺旋状の捩れが 1 / 25 回転より大きいことを特徴とする態様 1 から 40 のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0129] また、本発明の態様 42 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 41 のいずれかの偏波保持ファイバである。

[0130] 以上説明したように、本発明によれば、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、光通信等の分野における通信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、
前記応力付与部が前記コアの周りを恒久的に螺旋状に回転する振れ
区間を有し、
前記振れ区間では、ファイバ長47.1mmあたりにおける前記応
力付与部の螺旋状の振れが1回転以内であり、
波長1.55 μ mにおけるモードフィールド径が10.6 μ 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 μ m以上1.55 μ m未満である
ことを特徴とする偏波保持ファイバ。
- [請求項2] 前記振れ区間では、ファイバ長62.8mmあたりにおける前記応
力付与部の螺旋状の振れが1回転以内である
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0.32%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0.33%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5] 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6] 前記コアの中心軸から前記応力付与部までの距離が10 μ 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7] 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8] 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9] 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10] 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11] 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12] 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13] 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14] 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15] 前記捩れ区間では、ファイバ長 1m あたりにおける前記応力付与部の螺旋状の捩れが $1/50$ 回転より大きい

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17]

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 $9.6\mu\text{m}$ 以下であり、前記カットオフ波長が $1.24\mu\text{m}$ 以上 $1.55\mu\text{m}$ 未満である。

(B) 前記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、前記カットオフ波長が $1.33\mu\text{m}$ 以上 $1.55\mu\text{m}$ 未満である。

(C) 前記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、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。

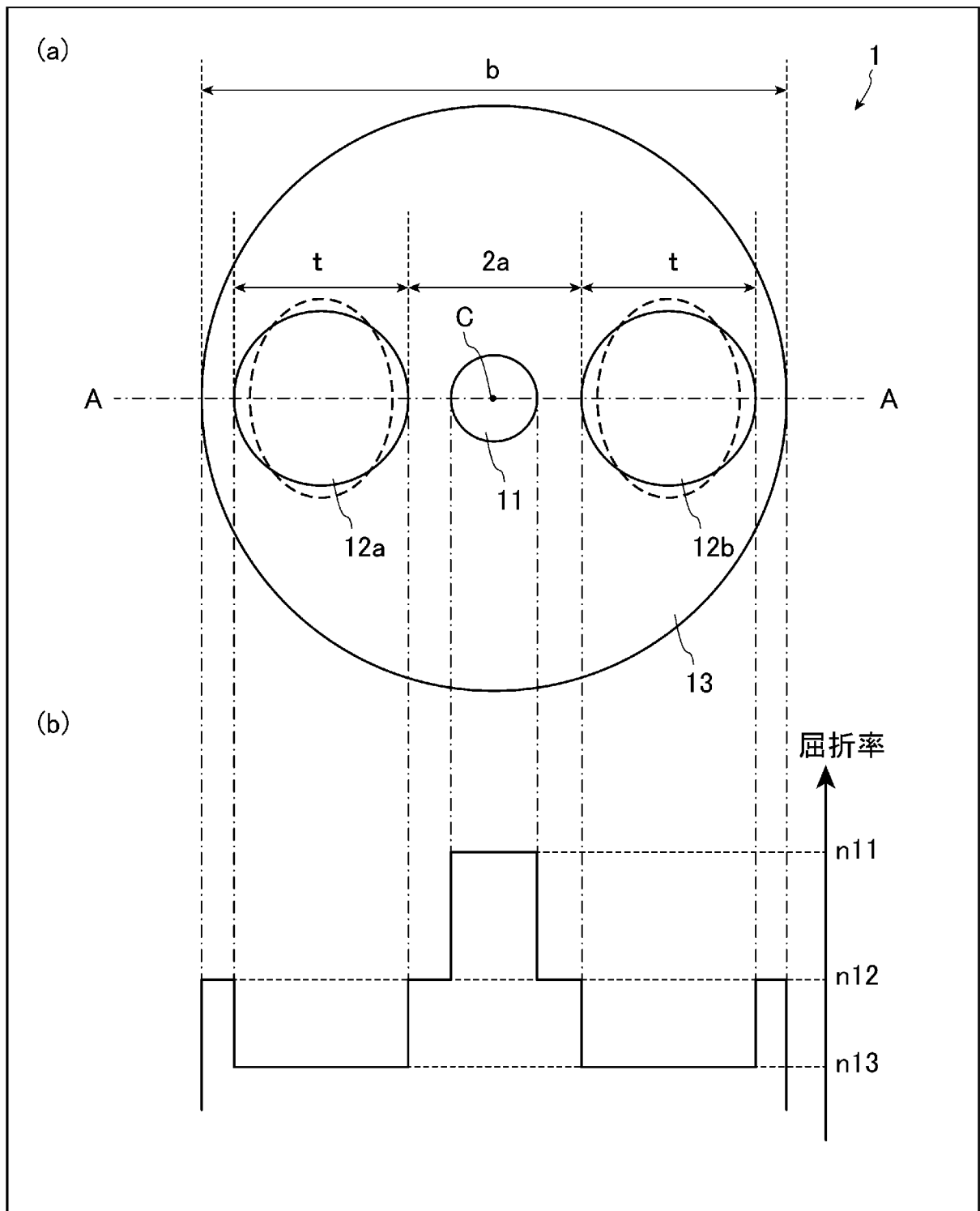
[請求項19]

曲げ半径が 7.5mm であり波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるマクロバンドロスが $0.67\text{dB}/\text{turn}$ 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。

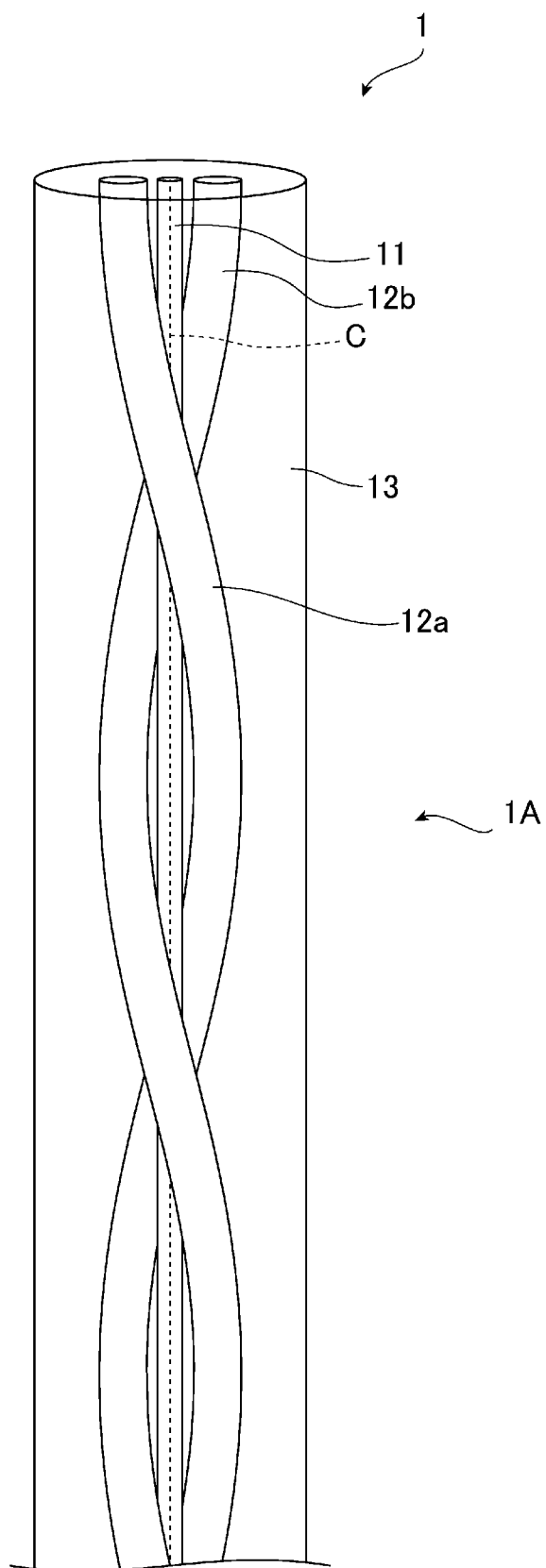
[請求項20]

曲げ半径が 10mm であり波長 $1.55\mu\text{m}$ におけるマクロバンドロスが $0.16\text{dB}/\text{turn}$ 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。

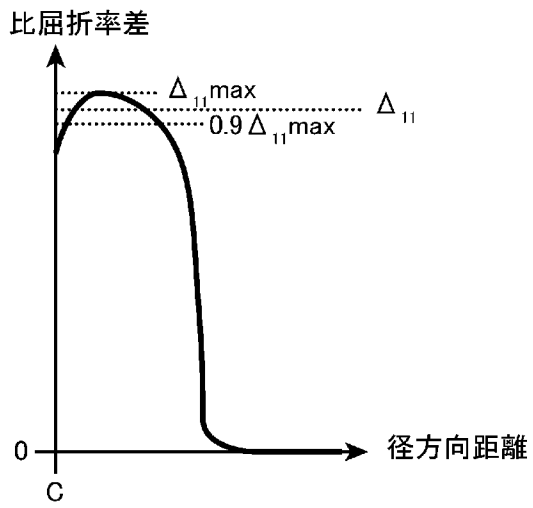
[図1]



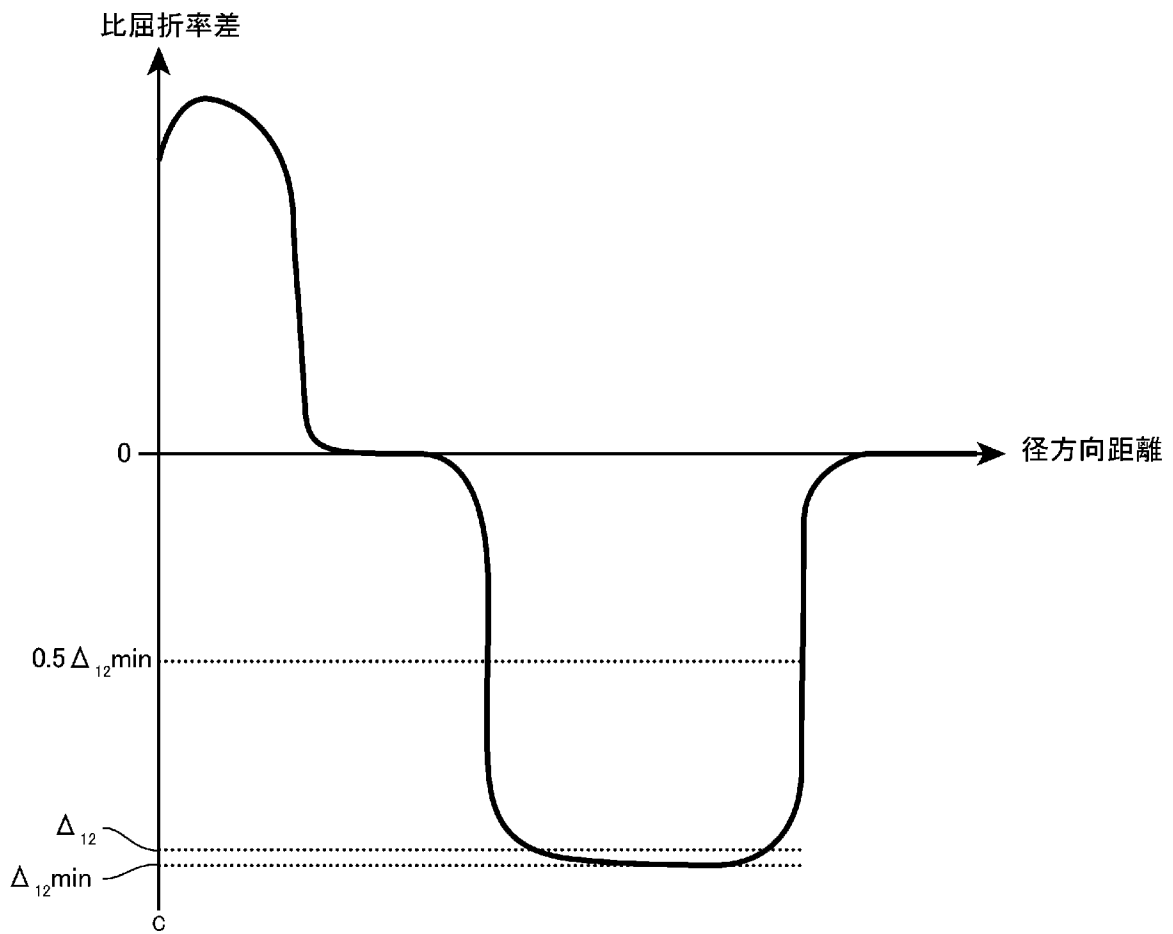
[図2]



[圖3]



[圖4]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2024/027623

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G02B 6/024</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/02</i> (2006.01)i FI: G02B6/024 301; G02B6/02 411		
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		
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)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2015-184371 A (FUJIKURA LTD.) 22 October 2015 (2015-10-22) paragraphs [0022]-[0034], [0038], [0042]-[0044], fig. 1-3	1-15, 18-20 16-17
Y	JP 2006-124219 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 18 May 2006 (2006-05-18) paragraphs [0023]-[0025]	1-14, 17-20
Y	WO 2023/119925 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 29 June 2023 (2023-06-29) paragraphs [0049]-[0052], fig. 1, 5	1-14, 17-20
Y	CN 112147739 A (COMCORE OPTICAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES CO., LTD.) 29 December 2020 (2020-12-29) paragraphs [0033]-[0041], fig. 5-6	1-15, 17-20
<input checked="" 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

International application No.

PCT/JP2024/027623

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-337238 A (FUJIKURA LTD.) 28 November 2003 (2003-11-28) paragraphs [0011]-[0013], [0038], [0053]-[0054], fig. 1	1-15, 17-18
A		16, 19-20
A	US 2017/0235049 A1 (INSTITUT NATIONAL D'OPTIQUE) 17 August 2017 (2017-08-17) entire text, all drawings	1-20
A	JP 2012-113234 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 14 June 2012 (2012-06-14) entire text, all drawings	1-20
A	JP 2018-512618 A (CORNING INC.) 17 May 2018 (2018-05-17) entire text, all drawings	1-20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2024/027623

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]-[0083], [0095], [0103], fig. 1-3 EP 2921889 A1 CN 104932052 A	
JP	2006-124219	A	18 May 2006	(Family: none)	
WO	2023/119925	A1	29 June 2023	TW 202334681 A	
CN	112147739	A	29 December 2020	(Family: none)	
JP	2003-337238	A	28 November 2003	US 2005/0031280 A1 paragraphs [0027]-[0034], [0061], [0083]-[0084], fig. 1 WO 03/079075 A1 EP 1486804 A1 CN 1643418 A	
US	2017/0235049	A1	17 August 2017	CA 2956941 A1	
JP	2012-113234	A	14 June 2012	US 2012/0195560 A1 entire text, all drawings WO 2012/070295 A1 EP 2631688 A1	
JP	2018-512618	A	17 May 2018	US 2016/0274299 A1 entire text, all drawings WO 2016/153845 A1 KR 10-2017-0129237 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; G02B 6/02(2006.01)i FI: G02B6/024 301; G02B6/02 411		
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 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）		
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
Y A	JP 2015-184371 A (株式会社フジクラ) 22.10.2015 (2015 - 10 - 22) 段落[0022]-[0034], [0038], [0042]-[0044], 図1-3	1-15, 18-20 16-17
Y	JP 2006-124219 A (古河電気工業株式会社) 18.05.2006 (2006 - 05 - 18) 段落[0023]-[0025]	1-14, 17-20
Y	WO 2023/119925 A1 (住友電気工業株式会社) 29.06.2023 (2023 - 06 - 29) 段落[0049]-[0052], 図1, 5	1-14, 17-20
Y	CN 112147739 A (COMCORE OPTICAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES CO., LTD.) 29.12.2020 (2020 - 12 - 29) 段落[0033]-[0041], 図5-6	1-15, 17-20
Y A	JP 2003-337238 A (株式会社フジクラ) 28.11.2003 (2003 - 11 - 28) 段落[0011]-[0013], [0038], [0053]-[0054], 図1	1-15, 17-18 16, 19-20
<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、一般的技術水準を示すもの “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） 堀部 修平 2L 9215 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

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
A	US 2017/0235049 A1 (INSTITUT NATIONAL D'OPTIQUE) 17.08.2017 (2017 - 08 - 17) 全文, 全図	1-20
A	JP 2012-113234 A (古河電気工業株式会社) 14.06.2012 (2012 - 06 - 14) 全文, 全図	1-20
A	JP 2018-512618 A (コーニング インコーポレイテッド) 17.05.2018 (2018 - 05 - 17) 全文, 全図	1-20

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/JP2024/027623

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]-[0083], [0095], [0103], 図1-3 EP 2921889 A1 CN 104932052 A	
JP 2006-124219 A	18.05.2006	(ファミリーなし)	
WO 2023/119925 A1	29.06.2023	TW 202334681 A	
CN 112147739 A	29.12.2020	(ファミリーなし)	
JP 2003-337238 A	28.11.2003	US 2005/0031280 A1 段落[0027]-[0034], [0061], [0083]-[0084], 図1 WO 03/079075 A1 EP 1486804 A1 CN 1643418 A	
US 2017/0235049 A1	17.08.2017	CA 2956941 A1	
JP 2012-113234 A	14.06.2012	US 2012/0195560 A1 全文, 全図 WO 2012/070295 A1 EP 2631688 A1	
JP 2018-512618 A	17.05.2018	US 2016/0274299 A1 全文, 全図 WO 2016/153845 A1 KR 10-2017-0129237 A	