(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
2024年3月14日(14.03.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/053252 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/024 (2006.01) *G02B 6/02* (2006.01)
C03B 37/012 (2006.01) *G02B 6/036* (2006.01)
C03B 37/027 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/026095

(22) 国際出願日： 2023年7月14日(14.07.2023)

(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 2022-142279 2022年9月7日(07.09.2022) JP

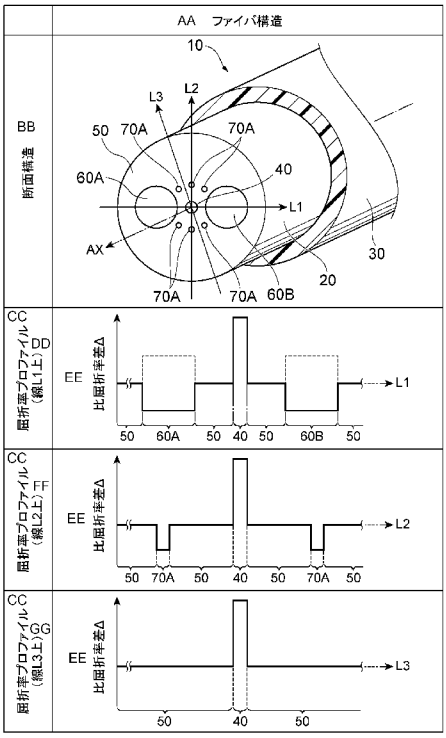
(71) 出願人: 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 Osaka (JP).

(72) 発明者: 北尾 陽輝(KITAO Haruki); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 中西 哲也(NAKANISHI Tetsuya); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 豊川 修平(TOYOKAWA Shuhei); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ

(54) **Title:** POLARIZATION MAINTAINING OPTICAL FIBER AND METHOD FOR MANUFACTURING POLARIZATION MAINTAINING OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称： 偏波保持光ファイバおよび偏波保持光ファイバの製造方法



(57) **Abstract:** One embodiment of the present disclosure provides a polarization maintaining optical fiber having an easy-to-manufacture structure for making it possible to reduce a bending loss when bent into a small radius. A polarization maintaining optical fiber of the present disclosure comprises: a core that extends along a fiber axis; a pair of stress application portions; one or more low refractive index portions; and a common cladding that surrounds the core, the stress application portions, and the low refractive index portions. On the cross-section of the polarization maintaining optical

WO 2024/053252 A1

［続葉有］

（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 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.

(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)）

fiber, the common cladding is disposed between the stress application portions and the core, the stress application portions are disposed on both sides of the core in a state of being away from the core, the common cladding is disposed between the low refractive index portions, the low refractive index portions are disposed away from each other, the common cladding is disposed between the low refractive index portions and the core, the common cladding is disposed between the low refractive index portions and the stress application portions, and the low refractive index portions are disposed around the core in a state of being away from both of the core and the stress application portions.

(57) 要約：本開示の一実施形態は、小半径に曲げたときの曲げロスを低減可能にするための製造容易な構造を備えた偏波保持光ファイバを提供する。本開示の偏波保持光ファイバは、ファイバ軸に沿って伸びるコアと、一対の応力付与部と、１または複数の低屈折率部と、コア、応力付与部、および低屈折率部を取り囲む共通クラッドと、を備える。当該偏波保持光ファイバの断面上において、応力付与部とコアの間には共通クラッドが配置され、応力付与部は、コアから離れた状態で該コアの両側に配置され、低屈折率部の間には共通クラッドが配置され、低屈折率部は、互いに離れた状態で配置され、低屈折率部とコアの間には共通クラッドが配置され、低屈折率部と応力付与部の間には共通クラッドが配置され、低屈折率部は、コアおよび応力付与部の双方から離れた状態で該コアの周囲に配置される。

明　細　書

発明の名称 ：

偏波保持光ファイバおよび偏波保持光ファイバの製造方法

技術分野

[0001]　本開示は、偏波保持光ファイバおよび偏波保持光ファイバの製造方法に関するものである。

本願は、２０２２年９月７日に出願された日本特許出願第２０２２－１４２２７９号による優先権を主張するものであり、その内容に依拠すると共に、その全体を参照して本明細書に組み込む。

背景技術

[0002]　偏波保持光ファイバは、光送受信システムにおいて偏波依存性を有する光デバイス同士を接続するために使用される。近年では、光デバイスを含むモジュール等の小型化のニーズが高まっており、小さい曲げ半径での偏波保持光ファイバの使用が求められている。

[0003]　例えば、特許文献１に開示された偏波保持光ファイバは、コアと、該コアを取り囲む第一クラッドコートと、該第一クラッドコートを取り囲み、トレンチとして機能する低屈折率の第二クラッドコートと、該第二クラッドコートを取り囲む第三クラッドコートと、コアを挟むように配置された一対の応力付与部と、を備える。第一クラッドコートと第二クラッドコートの半径比ｒ２／ｒ１は、２．５以上４．５以下である。第二クラッドコートの屈折率体積Ｖは、２５μｍ^2・％以上１１０μｍ^2・％以下である。一対の応力付与部は、それぞれが第二クラッドコートを物理的に分断するように配置されている。特許文献１の偏波保持光ファイバでは、トレンチとして機能するようＦ（フッ素）が添加された第二クラッドコートが設けられることにより、第二クラッドコートの屈折率と、モードフィールド径（以下、「ＭＦＤ」と記す）の外縁における屈折率と、の差が大きくなる。そのため、特許文献１の偏波保持光ファイバは、第二クラッドコートに相当するトレンチが適用され

ていない偏波保持光ファイバと比較して、小半径に曲げたときにＭＦＤを小さくすることなく、曲げ損失を低減することができる。

先行技術文献

特許文献

[0004] 特許文献1：ＵＳ２０１５／０２６８４１３Ａ１号公報

発明の概要

[0005] 本開示の偏波保持光ファイバは、ファイバ軸に沿って伸びるコアと、一対の応力付与部と、１または複数の低屈折率部と、コア、一対の応力付与部、および１または複数の低屈折率部のそれぞれを取り囲む共通クラッドと、を備える。特に、ファイバ軸に直交する当該偏波保持光ファイバの断面上において、一対の応力付与部とコアの間には、共通クラッドが配置されている。一対の応力付与部は、コアから離れた状態で該コアの両側に配置されている。複数の低屈折率部のそれぞれの間には、共通クラッドが配置されている。複数の低屈折率部は、互いに離れた状態で配置されている。１または複数の低屈折率部とコアの間には、共通クラッドが配置されている。１または複数の低屈折率部と一対の応力付与部の間には、共通クラッドが配置されている。１または複数の低屈折率部は、コアおよび一対の応力付与部の双方から離れた状態で前記コアの周囲に配置されている。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、本開示の偏波保持光ファイバの構造を説明するための図である。

[図2]図２は、本開示の偏波保持光ファイバの断面上における低屈折率部の種々の配置パターンを示す図である。

[図3]図３は、本開示の偏波保持光ファイバの断面上における低屈折率部の配置条件を説明するための図である。

[図4]図４は、本開示の偏波保持光ファイバを得るための光ファイバ母材の製造方法を説明するための図である。

[図5]図５は、本開示の偏波保持光ファイバを得るための線引き装置の構成を示す図である。

[図6]図６は、本開示の偏波保持光ファイバにおけるカットオフ波長λｃｃおよび曲げロスの、屈折率体積Ｖに対する依存性を示すグラフである。

[図7]図７は、本開示の偏波保持光ファイバの曲げロスおよびカットオフ波長の、波長１．３１μｍにおける種々のＭＦＤに対する依存性を示すグラフである。

[図8]図８は、本開示の偏波保持光ファイバのコアの半径および比屈折率差の、波長１．３１μｍにおける種々のＭＦＤに対する依存性を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0007] ［本開示が解決しようとする課題］

発明者らは、上述の従来技術について検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、特許文献１の偏波保持光ファイバは、コアと、第一クラッドコートと、Ｆが添加された第二クラッドコートと、第三クラッドコートと、一対の応力付与部と、を備える。この偏波保持光ファイバにおいて、一対の応力付与部は、それぞれが第二クラッドコートを物理的に分断するように配置される。母材製造工程では、まず、線引き後に第二クラッドコートとなるべきＦ添加ロッドの中心部に貫通孔が形成され、線引き後にコアおよび第一クラッドコートとなるべきコア部および第一クラッド部で構成されたコアロッドが該Ｆ添加ロッドの貫通孔に挿入され、さらに、これらが一体化されることにより、コア部、第一クラッド部および第二クラッド部で構成された第一中間母材が得られる。次に、線引き後に第三クラッドコートとなるべきジャケット材としての第三クラッド部の中央部に貫通孔が形成され、第一中間母材が該第三クラッド部の貫通孔に挿入され、さらに、これらが一体化されることにより、コア部および第一から第三クラッド部で構成された第二中間母材が得られる。得られた第二中間母材には所定の箇所に一対の貫通孔が形成され、線引き後に一対の応力付与部となるべき一対の応力付与ロッ

ドが該一対の貫通孔にそれぞれ挿入され、さらに、これらが一体化されることにより、偏波保持光ファイバを得るための光ファイバ母材が得られる。このように、特許文献１の偏波保持光ファイバを得るためには、光ファイバ母材の完成までの工程数が多く複雑な上に、高価なＦ添加ロッソの大部分は第一中間母材を製造する工程および一対の応力付与ロッドを挿入する工程で廃棄されるので、材料の有効利用の妨げとなる。このことは、製造コストの増加および生産効率の低下につながる可能性があった。

[0008] 本開示は、上述のような課題を解決するためになされたものであり、小半径に曲げたときの曲げロスを低減可能にするための製造容易な構造を備えた偏波保持光ファイバおよびその製造方法を提供することを目的としている。

[0009] ［本開示の効果］

本開示によれば、小半径に曲げたときの曲げロスを低減可能にするための構造を備えた偏波保持光ファイバが得られる。

[0010] ［本開示の実施形態の説明］

最初に本開示の実施形態の内容をそれぞれ個別に列挙して説明する。

[0011] 本開示の偏波保持光ファイバは、

（１）ファイバ軸に沿って伸びるコアと、一対の応力付与部と、１または複数の低屈折率部と、コア、一対の応力付与部、および１または複数の低屈折率部のそれぞれを取り囲む共通クラッドと、を備える。特に、ファイバ軸に直交する当該偏波保持光ファイバの断面上において、一対の応力付与部とコアの間には、共通クラッドが配置されている。一対の応力付与部は、コアから離れた状態で該コアの両側に配置されている。複数の低屈折率部のそれぞれの間には、共通クラッドが配置されている。複数の低屈折率部は、互いに離れた状態で配置されている。１または複数の低屈折率部とコアの間には、共通クラッドが配置されている。１または複数の低屈折率部と一対の応力付与部の間には、共通クラッドが配置されている。１または複数の低屈折率部は、コアおよび一対の応力付与部の双方から離れた状態で前記コアの周囲に配置されている。

[0012] 上述のように、コアの周囲に間隔をあけて配置されるとともに一対の応力付与部それぞれとも間隔をあけて配置される１または複数の低屈折率部は、コア周囲に配置されるトレンチ層として機能する。これにより、低屈折率部が設けられた偏波保持光ファイバは、小半径に曲げられたときの曲げ損失の低減を実現する。また、各低屈折率部は一対の応力付与部に接していないため、ファイバ断面における要素配置の複雑化が回避され、製造工程が少なく、かつ、製造の低コスト化が可能になる。

[0013] （２）上記（１）において、当該偏波保持光ファイバの断面上において１または複数の低屈折率部それぞれの輪郭は、直線のみ、曲線のみ、および直線と曲線の組み合わせのいずれかにより構成された形状を有してもよい。具体的には、各低屈折率部の輪郭は、円形、楕円形、四角形、三角形など、直線および曲線の少なくともいずれかで構成された全ての図形により構成される。このように、本開示の偏波保持光ファイバでは、各低屈折率部の断面は応力付与部と接していない限り、形状の制限はない。

[0014] （３）上記（１）または上記（２）において、１または複数の低屈折率部として、当該偏波保持光ファイバは、２個以上６個以下の低屈折率部を有してもよい。この場合、断面上において２個以上６個以下の低屈折率部は、コアの中心からの中心間距離がそれぞれ等しくなる位置に配置され、かつ、一対の応力付与部のいずれとも重ならないように配置されてもよい。ここで、各低屈折率部の断面が円形の場合、円柱状の低屈折率ロッドが貫通孔内に挿入された共通クラッドロッドをコラプスすることで母材製造が可能になる。そのため、本開示の偏波保持光ファイバの製造が低コストで可能になる。なお、低屈折率ロッドは、線引き後に低屈折率部となるべき部材であり、共通クラッドロッドは、線引き後に共通クラッドとなる部材である。低屈折率部の数が少ない場合、低屈折率ロッドそれぞれが挿入される貫通孔の形成に伴う製造コストが低減される一方で、基底モードの閉じ込めが弱くなることから曲げロスを増加させる一因となる。そのため、本開示の偏波保持光ファイバによれば、所望のカットオフ波長、および曲げロス特性が得られるよう、

低屈折率部の個数を調整することが重要である。

[0015] なお、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３の最新バージョンは２０１６年１１月に発行されている。Ｇ６５７．Ｂ３は、この最新バージョン９ページ目に記載されており、波長１３１０ｎｍ（＝１．３１μｍ）におけるＭＦＤは、８．６μｍ以上９．２μｍ以下ある。ただし、トレランスが±０．４μｍであるため、波長１３１０ｎｍにおけるＭＦＤは、実質８．２μｍ以上９．６μｍ以下である。カットオフ波長は、１２６０ｎｍ（＝１．２６μｍ）以下である。曲げ半径５ｍｍで１回曲げた場合の曲げロスは、波長１５５０ｎｍ（＝１．５５μｍ）において０．１５ｄＢ以下である。

[0016] （４）上記（１）から上記（３）のいずれかにおいて、当該偏波保持光ファイバの断面上において一対の応力付与部それぞれは、３０μｍ以上４０μｍ以下の外径を有してもよい。共通クラッドに対する一対の応力付与部それぞれの比屈折率差は、０．０％以下であってもよい。すなわち、一対の応力付与部それぞれの屈折率は、共通クラッドの屈折率以下であってもよい。また、コアの中心から一対の応力付与部それぞれの輪郭までの最短距離ｂ＿ＳＡＰに対する該コアの半径ａの比ａ／ｂ＿ＳＡＰ（以下、「Ｒａ＿ＳＡＰ」と記す）は、０．４以上０．６以下であってもよい。各応力付与部の外径が３０μｍ未満である場合または４０μｍより大きい場合、コアにおける複屈折が小さくなり偏波保持特性が劣化する。また、Ｒａ＿ＳＡＰが０．４未満であってコアの中心から各応力付与部の輪郭までの最短間隔が大きい場合も同様に、コアにおける複屈折が低下する。一方、Ｒａ＿ＳＡＰが０．６より大きい場合、母材製造時に共通クラッドとなるべき共通クラッドロッドに設けられる応力付与ロッドの挿入用の貫通孔とコアロッドの挿入用の貫通孔が接近し、製造上困難になる。なお、応力付与ロッドは、線引き後に一対の応力付与部のいずれかとなる部材であり、コアロッドは、線引き後にコアとなる部材である。さらに、各応力付与部は曲げロス低減にも貢献し、特に、各応力付与部の中心が０度方向、すなわち、各応力付与部が曲げ平面と平行になるように当該偏波保持光ファイバが曲げられた場合、曲げロスが大きく低

下される。ここで、曲げ平面は、当該偏波保持光ファイバの曲げ方向を示すための平面であって、曲げられた状態の当該偏波保持光ファイバの中心軸を含む。

[0017] （５）上記（１）から上記（４）のいずれかにおいて、当該偏波保持光ファイバの断面上において１または複数の低屈折率部の総面積と、該１または複数の低屈折率部の比屈折率差の平均値の絶対値と、の積で定義される屈折率体積Ｖは、２０μｍ^2・％以上１２０μｍ^2・％以下であってもよい。屈折率体積Ｖが適切に選択されることによりＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３に準拠する偏波保持光ファイバが得られる。

[0018] （６）上記（１）から上記（５）のいずれかにおいて、当該偏波保持光ファイバは、波長１．３１μｍにおいて８．２μｍ以上１０．２μｍ以下のＭＦＤと、波長１．５５μｍにおいて０．１５ｄＢ未満の曲げロスと、１．２６μｍ未満のカットオフ波長と、を有してもよい。ここで、曲げロスは、一対の応力付与部それぞれが曲げ平面と平行になるように当該偏波保持光ファイバを曲げ半径５ｍｍで１回曲げた状態で測定される。屈折率体積Ｖが２０μｍ^2・％未満である場合、耐曲げ特性が低く、波長１．５５μｍにおける曲げロスが０．１５ｄＢを上回る。一方、屈折率体積Ｖが１２０μｍ^2・％を超える場合、６つの低屈折率部が配置された場合における低屈折率部同士の間隔が狭く、母材製造工程における貫通孔の形成が困難になる。なお、カットオフ波長および曲げロスはトレードオフの関係にあり、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３を満たす構造の許容幅（トレランス）はＭＦＤに依存する。

[0019] （７）上記（１）かた上記（６）のいずれかにおいて、当該偏波保持光ファイバの断面上においてコアは、３μｍ以上５μｍ以下の半径を有してもよく、また、共通クラッドに対するコアの比屈折率差は、０．２％以上０．５％以下であってもよい。なお、共通クラッドに対する１または複数の低屈折率部の比屈折率差は、－１．０％以上－０．５％以下であればよい。これら範囲内からコア半径およびコアの比屈折率差が適切に選択されることにより、上記（６）に記載されたＭＦＤが実現される。

[0020] 本開示の偏波保持光ファイバの製造方法は、

（８）上記（１）から上記（７）のいずれかに記載の偏波保持光ファイバを製造する。具体的に、当該製造方法は、当該偏波保持光ファイバを得るための光ファイバ母材を製造する母材製造工程と、母材製造工程により製造された前記光ファイバ母材を線引きする線引き工程と、を備える。母材製造工程は、第一サブ工程から第四サブ工程と、を含む。第一サブ工程では、線引き後に共通クラッドの一部となるべき共通クラッドロッドが準備される。第二サブ工程では、線引き後にコアとなるべき部分を含むコアロッドの準備、線引き後に１または複数の低屈折率部となるべき１または複数の低屈折率ロッドの準備、および線引き後に一対の応力付与部となるべき一対の応力付与ロッドの準備が個別に実施される。すなわち、コアロッドのための第二サブ工程、１または複数の低屈折率ロッドのための第二サブ工程、および一対の応力付与ロッドのための第二サブ工程は、同時並行で実施される必要はない。第三サブ工程では、共通クラッドロッドに対して、コアロッドが挿入される第一貫通孔の形成、１または複数の低屈折率ロッドがそれぞれ個別に挿入される１または複数の第二貫通孔の形成、および一対の応力付与ロッドがそれぞれ個別に挿入される一対の第三貫通孔の形成が個別に実施される。すなわち、第一貫通孔のための第三サブ工程、第二貫通孔のための第三サブ工程、第三貫通孔のための第三サブ工程も、同時並行で実施される必要はない。第四サブ工程では、共通クラッドロッドとコアロッドの一体化、共通クラッドロッドと１または複数の低屈折率ロッドの一体化、および共通クラッドロッドと一対の応力付与ロッドの一体化が個別に実施される。すなわち、コアロッド一体化のための第四サブ工程、低屈折率ロッド一体化のための第四サブ工程、および応力付与ロッド一体化のための第四サブ工程も、同時並行で実施される必要はない。

[0021] なお、上記第一サブ工程から第四サブ工程を経て得られた光ファイバ母材において、コアロッド、１または複数の低屈折率ロッドそれぞれ、および一対の応力付与ロッドぞれぞれの間には、共通クラッドロッドが配置されてい

る。特許文献１の製造方法では、一対の応力付与部を設けるため、先に形成されたトレンチ層の一部を除去する必要がある。一方、本開示の製造方法によれば、特許文献１の製造方法と比較して、製造工程が簡易になるとともに一旦形成されたトレンチ層を除去する必要がなく、製造工程の観点から低コスト化が期待される。さらに、本開示の製造方法によれば、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３に準拠する低曲げ損失偏波保持光ファイバを得ることができる。

[0022] 以上、この[本開示の実施形態の説明]の欄に列挙された各態様は、残りの全ての態様のそれぞれに対して、または、これら残りの態様の全ての組み合わせに対して適用可能である。

[0023] ［本開示の実施形態の詳細］

以下、本開示の偏波保持光ファイバおよび偏波保持光ファイバの製造方法の具体的な構造を、添付図面を参照しながら詳細に説明する。なお、本開示は、これらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味および範囲内での全ての変更が含まれることが意図される。また、図面の説明において同一の要素には同一符号を付して重複する説明を省略する。

[0024] 図１は、本開示の偏波保持光ファイバの構造を説明するための図である（図１中、「ファイバ構造」と記す）。図１の最上段（図１中、「断面構造」と記す）には、本開示の偏波保持光ファイバ１０の断面構造の一例が示されている。図１の二段目（図１中、「屈折率プロファイル（線Ｌ１上）」と記す）には、最上段の偏波保持光ファイバ１０の断面における、線Ｌ１に沿った屈折率プロファイルが示されている。図１の三段目（図１中、「屈折率プロファイル（線Ｌ２上）」と記す）には、最上段の偏波保持光ファイバ１０の断面における、線Ｌ２に沿った屈折率プロファイルが示されている。図１の最下段（図１中、「屈折率プロファイル（線Ｌ３上）」と記す）には、最上段の偏波保持光ファイバ１０の断面における、線Ｌ３に沿った屈折率プロファイルが示されている。

[0025] 図１の最上段に示されたように、本開示の偏波保持光ファイバ１０は、シリカガラスを主成分とするガラス光ファイバ２０と、該ガラス光ファイバ２０の外周面上に設けられた樹脂被覆３０と、を備える。ガラス光ファイバ２０は、ファイバ軸ＡＸに沿って伸びたコア４０と、共通クラッド５０と、コア４０から間隔をあけて該コア４０を挟むように配置された一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂと、コア４０を取り囲むとともに該コア４０および一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂのいずれからも間隔をあけて配置された１または複数の低屈折率部７０Ａと、を備える。

[0026] 図１の二段目に示された屈折率プロファイルは、ファイバ軸ＡＸに直交する偏波保持光ファイバ１０の断面において、図１の最上段に示されたように、コア４０の中心と一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂそれぞれの中心を通過する線Ｌ１に沿った各部に比屈折率差により与えられる。コア４０は、３μｍ以上５μｍ以下の半径を有する。また、共通クラッド５０に対するコア４０の比屈折率差は、０．２％以上０．５％以下である。一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂそれぞれは、３０μｍ以上４０μｍ以下の外径を有する。共通クラッド５０に対する一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂそれぞれの比屈折率差は、０．０％以下である。なお、一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂそれぞれは、破線で示されたように、共通クラッド５０に対して正の比屈折率差を有してもよい。

[0027] 図１の三段目に示された屈折率プロファイルは、偏波保持光ファイバ１０の断面において、図１の最上段に示されたように、コア４０の中心といずれかの低屈折率部７０Ａの中心を通過する線Ｌ２に沿った各部に比屈折率差により与えられる。共通クラッド５０に対する各低屈折率部７０Ａの比屈折率差は、－１．０％以上－０．５％以下である。このように、コア４０を取り囲む１または複数の低屈折率部７０Ａは、低屈折率部７０Ａ全体でトレンチ層として機能する。このような構造により、１または複数の低屈折率部７０Ａが設けられた偏波保持光ファイバ１０は、小半径に曲げたときの曲げ損失の低減を実現する。

[0028] 図１の最下段に示された屈折率プロファイルは、偏波保持光ファイバ１０の断面において、図１の最上段に示されたように、コア４０の中心と隣接する２個の低屈折率部７０Ａの中間位置を通過する線Ｌ３に沿った各部に比屈折率差により与えられる。

[0029] 以上のように、本開示の偏波保持光ファイバ１０では、その断面において、コア４０、一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂ、および１または複数の低屈折率部７０Ａのそれぞれが、共通クラッド５０の一部を挟んで物理的に離れた位置に配置されている。そのため、図１の第二段目から最下段に示されたように、偏波保持光ファイバ１０の屈折率プロファイルは、その断面において、互いにコア４０の中心を通過する直線を該コア４０の周方向に回転させたときに異なる形状を有する。また、各低屈折率部７０Ａは一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂに接していないため、断面における要素配置の複雑化が回避され、製造工程が少なく、かつ、製造の低コスト化が可能になる。

[0030] さらに、上述のような構造を有する偏波保持光ファイバ１０によれば、低屈折率部を設けることにより、上述の特許文献１におけるトレンチ層と同様に、各低屈折率部７０Ａの屈折率と、ＭＦＤの外縁で得られる実効的な屈折率と、の差が大きくなり、低屈折率部を有しない偏波保持光ファイバと比較して、小半径に曲げたときの曲げ損失を低減することができる。加えて、ＭＦＤ、曲げロス、およびカットオフ波長は、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３を満たすように設計することが容易になる。コア４０直径、各低屈折率部７０Ａおよび一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂの位置や大きさを適切に選べば、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３に準拠しつつ製造コストを下げることが可能になる。

[0031] 図２は、本開示の偏波保持光ファイバの断面上における低屈折率部の種々の配置パターンを示す図である（図２中、「低屈折率部の配置パターン」と記す）。なお、図２中に示されたパターンＡからパターンＨは、いずれもファイバ軸ＡＸに直交するガラス光ファイバ２０の断面上における配置パターンである。

[0032] 本開示の偏波保持光ファイバ１０の断面上において、各低屈折率部の輪郭は、直線のみ、曲線のみ、および直線と曲線の組み合わせのいずれかにより構成された形状を有してもよい。なお、本開示の偏波保持光ファイバ１０に適用される低屈折率部の、該偏波保持光ファイバ１０の断面上の輪郭で定義される断面形状は、図２に例示されたように、応力付与部と接していない限り、輪郭で定義される形状に制限はない。

[0033] 具体的に、図２に示されたパターンＡは、コア４０を挟んで一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂに接しないように、２つの低屈折率部のグループが配置されている。各低屈折率部のグループは、それぞれの輪郭が円形形状を有する３個の低屈折率部７０Ａにより構成されている。図２に示されたパターンＢも、パターンＡと同様に、２つの低屈折率部のグループが配置されている。ただし、各低屈折率部のグループは、それぞれの輪郭が円形形状を有する２個の低屈折率部７０Ｂにより構成されている。図２に示されたパターンＣも、上述のパターンＡおよびパターンＢと同様に、２つの低屈折率部のグループが配置されている。ただし、各低屈折率部のグループは、輪郭が円形形状を有する１個の低屈折率部７０Ｃにより構成されている。

[0034] 図２に示されたパターンＤは、パターンＡと同様に、２つの低屈折率部のグループが配置されているが、各低屈折率部７０Ｄの輪郭の形状は非円形である。すなわち、各低屈折率部のグループは、それぞれの輪郭が楕円形状を有する３個の低屈折率部７０Ｄにより構成されている。また、図２に示されたパターンＥの２つの低屈折率部のグループは、それぞれ３個の低屈折率部７０Ｅにより構成されている。各低屈折率部７０Ｅの輪郭の形状は、長方形である。図２に示されたパターンＦの２つの低屈折率部のグループは、それぞれ１個の低屈折率部７０Ｆにより構成されている。各低屈折率部７０Ｆの輪郭の形状は、三角形である。図２に示されたパターンＧの２つの低屈折率部のグループは、それぞれ１個の低屈折率部７０Ｇにより構成されている。各低屈折率部７０Ｇの輪郭の形状は、台形である。さらに、図２に示されたパターンＨの２つの低屈折率部のグループは、それぞれ２個の低屈折率部７

０Ｈにより構成されている。各低屈折率部７０Ｈの輪郭の形状は、星形である。

[0035] 図３は、本開示の偏波保持光ファイバ１０の断面上における低屈折率部の配置条件を説明するための図である。以下の説明では、低屈折率部の代表例として、図２に示されたパターンＡの低屈折率部７０Ａについて説明する。また、図３に示されたように、本開示の偏波保持光ファイバ１０の断面上において、コア４０、各低屈折率部７０Ａ、および一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂの配置は、コア４０の中心を原点とする直交座標系（ｘ－ｙ座標系）により定義される。なお、図３中、ｘ軸は、図１の最上段に示された線Ｌ１に一致しており、ｙ軸は、線Ｌ２に一致している。

[0036] コア４０の半径はａである。コア４０の中心から各低屈折率部７０Ａの輪郭までの最短距離はｂ＿Ａである。コア４０の中心から各低屈折率部７０Ａの輪郭までの最長距離はｃ＿Ａである。また、コア４０の中心から一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂそれぞれの輪郭までの最短距離はｂ＿ＳＡＰである。本開示の偏波保持光ファイバ１０において、最短距離ｂ＿ＳＡＰに対する該コア４０の半径ａの比Ｒａ＿ＳＡＰ（=ａ／ｂ＿ＳＡＰ）は、０．４以上０．６以下である。一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂそれぞれの外径が３０μｍ未満である場合または４０μｍより大きい場合、コア４０における複屈折が小さくなり偏波保持特性が劣化する。また、Ｒａ＿ＳＡＰが０．４未満であってコア４０の中心から一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂの輪郭までの最短間隔が大きい場合も同様に、コア４０における複屈折が低下する。一方、Ｒａ＿ＳＡＰが０．６より大きい場合、母材製造時に共通クラッド５０となるべき共通クラッドロッドに設けられる応力付与ロッドの挿入用の貫通孔とコアロッドの挿入用の貫通孔が接近し、製造上困難になる。なお、応力付与ロッドは、線引き後に応力付与部６０Ａ、６０Ｂのいずれかとなる部材であり、コアロッドは、線引き後にコア４０となる部材である。さらに、一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂは、曲げロス低減にも貢献する。特に、一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂの中心が０度方向、すなわち、一対の応力付与部６

０Ａ、６０Ｂそれぞれが曲げ平面と平行になるように当該偏波保持光ファイバ１０が曲げられた場合、当該偏波保持光ファイバ１０の長手方向に沿った各部位において一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂの中心を通過する線Ｌ１は曲げ平面と直交する状態となり、このとき曲げロスが大きく低下される。

[0037] 加えて、本開示の偏波保持光ファイバ１０は、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３を満たすため、図２に示された低屈折率部７０Ａから低屈折率部７０Ｈのように、２個以上６個以下の低屈折率部を有する。この場合、断面上において２個以上６個以下の低屈折率部は、コア４０の中心からの中心間距離がそれぞれ等しくなる位置に配置され、かつ、一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂのいずれとも重ならないように配置される。なお、低屈折率部７０Ａから低屈折率部７０Ｃそれぞれのようにその断面形状が円形の場合、偏波保持光ファイバ１０の製造が低コストで可能になる。また、光ファイバ母材の製造過程において、線引き後に共通クラッド５０となるべき共通クラッドロッドへの貫通孔の形成に伴う製造コストが低減される。一方、低屈折率部の数が少ない場合、基底モードの閉じ込めが弱くなることから曲げロスを増加させる一因となる。そのため、本開示の偏波保持光ファイバ１０によれば、所望のカットオフ波長、および曲げロス特性が得られるよう、低屈折率部の個数調整が重要である。

[0038] 図４は、本開示の偏波保持光ファイバ１０を得るための光ファイバ母材１００Ｃの製造方法を説明するための図である（図４中、「母材製造」と記す）。また、図５は、本開示の偏波保持光ファイバ１０を得るための線引き装置の構成を示す図である。図４の上段（図４中、「ステップＳＴ１」と記す）には、中間母材１００Ｂを構成する部材を準備する準備工程が示されている。図４の中段（図４中、「ステップＳＴ２」と記す）には、中間母材１００Ｂを得るための、開孔、挿入、および焼結が実施される中間母材製造工程が示されている。図４の下段（図４中、「ステップＳＴ３」と記す）には、中間母材１００Ｂから光ファイバ母材１００Ｃを得るための、部材準備、開孔、挿入、および焼結が実施される光ファイバ母材製造工程が示されている

。なお、以下の説明でも、図３の例と同様に、低屈折率部の代表例として、図２に示されたパターンＡの低屈折率部７０Ａについて説明する。

[0039] 本開示の偏波保持光ファイバ１０の製造方法は、図４に例示された母材製造工程と、図５に例示された線引き工程と、を備える。母材製造工程は、光ファイバ母材１００Ｃを得るため、第一サブ工程から第四サブ工程と、を含む。第一サブ工程では、共通クラッドロッド１００Ａが準備される。共通クラッドロッド１００Ａは、線引き後に共通クラッド５０の物理クラッド層となるべきクラッド外側部４０３を残すように加工される。この物理クラッド層は、ジャケット層と呼ばれる。

[0040] 第二サブ工程では、コアロッド４００Ａの準備、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａの準備、および一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂの準備が個別に実施される。コアロッド４００Ａは、純シリカロッドの中央部に線引き後にコア４０になるべきコア部４０１を含み、該コア部４０１と、該コア部４０１を取り囲むクラッド内側部４０２によって構成される。クラッド内側部４０２は、線引き後に共通クラッド５０の光学クラッド層となる部分である。１または複数の低屈折率ロッド７００Ａは、線引き後に１または複数の低屈折率部７０Ａとなるべき部材である。一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂは、線引き後に一対の応力付与部６０Ａ、６０Ｂとなるべき部材である。なお、コアロッド４００Ａのための第二サブ工程、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａのための第二サブ工程、および一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂのための第二サブ工程は、同時並行で実施される必要はない。

[0041] 第三サブ工程では、共通クラッドロッド１００Ａに対して、コアロッド４００Ａが挿入される第一貫通孔４００Ｂの形成、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａがそれぞれ個別に挿入される１または複数の第二貫通孔７００Ｂの形成、および一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂがそれぞれ個別に挿入される一対の第三貫通孔６１０Ａ、６１０Ｂの形成が個別に実施される。なお、第一貫通孔４００Ｂが形成された共通クラッドロッド１００Ａが

クラッド外側部４０３に相当する。第一貫通孔４００Ｂのための第三サブ工程、第二貫通孔７００Ｂのための第三サブ工程、第三貫通孔６１０Ａ、６１０Ｂのための第三サブ工程も、同時並行で実施される必要はない。

[0042] 第四サブ工程では、共通クラッドロッド１００Ａとコアロッド４００Ａの一体化、共通クラッドロッド１００Ａと１または複数の低屈折率ロッド７００Ａの一体化、および共通クラッドロッド１００Ａと一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂの一体化が個別に実施される。コアロッド一体化のための第四サブ工程、低屈折率ロッド一体化のための第四サブ工程、および応力付与ロッド一体化のための第四サブ工程も、同時並行で実施される必要はない。なお、共通クラッドロッド１００Ａとコアロッド４００Ａの一体化は、コアロッド４００Ａを第一貫通孔４００Ｂに挿入した状態で、該共通クラッドロッド１００Ａをコラプスすることにより実現される。また、一体化により、コアロッド４００Ａのクラッド内側部４０２と共通クラッドロッド１００Ａのクラッド外側部４０３が、線引き後に共通クラッド５０となるべき部分を構成する。共通クラッドロッド１００Ａと１または複数の低屈折率ロッド７００Ａの一体化は、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａをそれぞれ１または複数の第二貫通孔７００Ｂに挿入した状態で、共通クラッドロッド１００Ａをコラプスすることにより実現される。さらに、共通クラッドロッド１００Ａと一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂは、一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂを一対の第三貫通孔６１０Ａ、６１０Ｂに挿入した状態で、共通クラッドロッド１００Ａをコラプスすることにより実現される。

[0043] なお、第一サブ工程が実施された後、コアロッド４００Ａのための第二サブ工程から第四サブ工程、低屈折率ロッド７００Ａのための第二サブ工程から第四サブ工程、および一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂのための第二サブ工程から第四サブ工程が順に実施されてもよい。一例として図４の母材製造工程では、まず、第一サブ工程に続いてコアロッド４００Ａのための第二サブ工程から第四サブ工程が実施された後、低屈折率ロッド７００Ａ

および一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂの双方のための第二サブ工程から第四サブ工程が実施される。

[0044] 具体的に、図４の上段に示されたステップＳＴ１では、共通クラッドロッド１００Ａのための第一サブ工程と、コアロッド４００Ａのための第二サブ工程が実施される。すなわち、ステップＳＴ１では、共通クラッドロッド１００Ａと、コア部４０１とクラッド内側部４０２で構成されたコアロッド４００Ａが用意される。続いて、図４の中段に示されたステップＳＴ２では、コアロッド４００Ａのための第三サブ工程および第四サブ工程が実施され、最終的に中間母材１００Ｂが得られる。この中間母材１００Ｂは、コアロッド４００Ａが一体化された共通クラッドロッド１００Ａであり、クラッド内側部４０２と第三サブ工程後のクラッド外側部４０３により構成されている。

[0045] 図４の下段に示されたステップＳＴ３では、第二サブ工程として、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａと一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂがさらに準備される。続いて、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａのための第三サブ工程および第四サブ工程と、一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂのための第三サブ工程および第四サブ工程が同時並行で実施され、最終的に光ファイバ母材１００Ｃが得られる。この光ファイバ母材１００Ｃは、コアロッド４００Ａの他、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａおよびと一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂが一体化された共通クラッドロッド１００Ａである。なお、上記第一サブ工程から第四サブ工程を経て得られた光ファイバ母材１００Ｃにおいて、コアロッド４００Ａ、１または複数の低屈折率ロッド７００Ａそれぞれ、および一対の応力付与ロッド６００Ａ、６００Ｂぞれぞれの間には、共通クラッドロッド１００Ａが配置されている。

[0046] 上述のように製造された光ファイバ母材１００Ｃは、図５に示された線引き装置にセットされ、本開示の偏波保持光ファイバ１０が得られる。線引き装置は、ヒータ２００と、樹脂塗布装置３００と、ローラ４１０と、巻き取

り装置４２０と、を備える。巻き取り装置４２０が矢印Ｓで示された方向に回転すると、ヒータ２００により加熱された光ファイバ母材１００Ｃの一端からガラス光ファイバが引き出される。このガラス光ファイバは、樹脂塗布装置３００により、その外周面上に樹脂が被覆され、最終的に、樹脂が塗布された偏波保持光ファイバ１０がローラ４１０を介して巻き取り装置４２０のドラムに巻き取られる。図５中に示されたＩ－Ｉ線に沿った偏波保持光ファイバ１０の断面構造は、図１の上段に示された断面構造に一致している。

[0047] 続いて、本開示の偏波保持光ファイバの光学特性として、図２に示されたパターンＡの断面構造を有する偏波保持光ファイバ１０の光学特性について、図６から図８を用いて説明する。なお、図６は、本開示の偏波保持光ファイバにおけるカットオフ波長λｃｃおよび曲げロスの、屈折率体積Ｖに対する依存性を示すグラフである。図７は、本開示の偏波保持光ファイバの曲げロスおよびカットオフ波長の、波長１．３１μｍにおける種々のＭＦＤに対する依存性を示すグラフである（図７中、「ＭＦＤ依存性」と記す）。図７の上段（図７中、「ＭＦＤを変更したときの曲げロス－λｃｃ特性」と記す）には、λｃｃに対する曲げロスの変化が、種々のＭＦＤについて示されている。図７の下段（図７中、「λｃｃ_ｍｉｎ－ＭＦＤ特性」と記す）には、波長１．３１μｍにおけるＭＦＤに対するカットオフ波長λｃｃ_ｍｉｎの変化が示されている。また、図８は、本開示の偏波保持光ファイバのコアの半径および比屈折率差の、ＭＦＤに対する依存性を示すグラフである。

[0048] まず、図６において、横軸は、屈折率体積Ｖ（μｍ^2・％）である。この屈折率体積Ｖは、図２に示された種々の低屈折率部７０Ａから７０Ｈのうち、パターンＡとして示された６個の低屈折率部７０Ａの総断面積と、該６個の低屈折率部７０Ａの平均比屈折率差の絶対値と、の積の値である。なお、共通クラッド５０に対する各低屈折率部７０Ａの比屈折率差は、－１．０％以上－０．５％以下に設定されている。縦軸の上段は、カットオフ波長λｃｃ（μｍ）である。縦軸の下段は、曲げロス（ｄＢ）である。この曲げロスは、一対の応力付与部それぞれが曲げ平面と平行になるように測定対象となる

偏波保持光ファイバを曲げ半径５ｍｍで１回曲げた状態で、波長１．５５μｍの光を入力したときに測定される伝送損失である。

[0049] 図６から分かるように、カットオフ波長λｃｃおよび波長１．５５μｍでの曲げロスは、屈折率体積Ｖに対して依存性を示している。各低屈折率部７０Ａは、トレンチ層として機能するため、曲げロスの低減に貢献する。加えて、屈折率体積Ｖが大きくなるほど、曲げロスは減少する一方でカットオフ波長λｃｃは長くなる。したがって、曲げロスの増加を制限するためには、屈折率体積Ｖは２０μｍ^2・％以上であればよい。一方、屈折率体積Ｖが１２０μｍ^2・％を超えると、母材製造時における低屈折率ロッド７００Ａのための第二貫通孔７００Ｂの形成が困難になるため、屈折率体積Ｖは１２０μｍ^2・％以下であればよい。このように、屈折率体積Ｖが適切に選択されることによりＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３に準拠する偏波保持光ファイバ１０が得られる。

[0050] 次に、図７の上段において、横軸は、カットオフ波長λｃｃ（ｄＢ）である。縦軸は、図６の縦軸の下段と同じ曲げロス（ｄＢ）である。図７中、グラフＧ７１０は、波長１．３１μｍにおけるＭＦＤが１０．２μｍであるサンプルの曲げロス－λｃｃ特性を示す。グラフＧ７２０は、ＭＦＤが９．６μｍのときの曲げロス－λｃｃ特性を示す。グラフＧ７３０は、上記ＭＦＤが８．８μｍであるサンプルの曲げロス－λｃｃ特性を示す。グラフＧ７４０は、上記ＭＦＤが８．２μｍであるサンプルの曲げロス－λｃｃ特性を示す。また、図７の上段に示された破線は、曲げロス＝０．１５ｄＢ、λｃｃ＝１．２６μｍのそれぞれを示している。また、図７の下段において、横軸は、波長１．３１μｍにおけるＭＦＤ（μｍ）である。縦軸は、波長１．５５μｍにおける曲げロスが０．１５ｄＢであるときのカットオフ波長λｃｃ_ｍｉｎ（μｍ）である。図７の下段に示された破線は、カットオフ波長λｃｃ_ｍｉｎ＝１．２６μｍを示している。

[0051] 図７の上段および下段から分かるように、カットオフ波長λｃｃおよび波長１．５５μｍでの曲げロスは、波長１．３１μｍにおけるＭＦＤに対して

依存性を示している。すなわち、ＭＦＤが小さいほど光の閉じ込めが強くトレランスが増大するため、該ＭＦＤが小さいほどトレランスが大きい。特に、図７の上段に示されたように、上記ＭＣＦが８．２μｍ以上１０．２μｍ以下であれば、波長１．５５μｍにおいて０．１５ｄＢ未満の曲げロスと、１．２６μｍ未満のカットオフ波長λｃｃを実現可能である。また、図７の下段に示されたように、波長１．５５μｍにおける曲げロスが０．１５ｄＢであるときのカットオフ波長λｃｃ_ｍｉｎ（μｍ）が１．２６μｍ未満であれば、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３を満たす。このように、波長１．３１μｍにおけるＭＦＤが８．２μｍ以上１０．２μｍ以下であれば、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３を満たすカットオフ波長λｃｃと曲げロスが実現できる。ただし、このことは、カットオフ波長λｃｃと曲げロスはトレードオフの関係にあるため、ＩＴＵ－Ｔ規格Ｇ．６５７．Ｂ３を満たす許容範囲（トレランス）はＭＦＤに依存することを意味している。

[0052] 図８において、横軸は、共通クラッド５０に対するコア４０の比屈折率差（図８中、「コアΔ」と記す）である。縦軸は、コア４０の半径ａである。図８中、グラフＧ８１０は、波長１．３１μｍにおけるＭＦＤが７μｍのときのコアΔ－コア半径の関係を示す。グラフＧ８２０は、上記ＭＦＤが８μｍのときのコアΔ－コア半径の関係を示す。グラフＧ８３０は、上記ＭＦＤが９μｍのときのコアΔ－コア半径の関係を示す。グラフＧ８４０は、上記ＭＦＤが１０μｍのときのコアΔ－コア半径の関係を示す。グラフＧ８５０は、上記ＭＦＤが１１μｍのときのコアΔ－コア半径の関係を示す。グラフＧ８６０は、上記ＭＦＤが１２μｍのときのコアΔ－コア半径の関係を示す。グラフＧ８７０は、ＭＦＤが１３μｍのときのコアΔ－コア半径の関係を示す。

[0053] これらグラフＧ８１０からＧ８７０のうち、基準ラインとしてグラフＧ８３０についてコアΔおよびコア半径の許容範囲を選択する場合、図８から分かるように、偏波保持光ファイバ１０の断面上においてコア４０の半径は、３μｍ以上５μｍ以下の入内に収まればよい。また、共通クラッド５０に対

するコア４０の比屈折率差は、０．２％以上０．５％以下の範囲内に収まればよい。

[0054] 上述した実施形態の記載から把握されるとおり、本明細書では以下に示す態様の開示も含む。

［付記１］

ファイバ軸に沿って伸びるコアと、

一対の応力付与部と、

１またはそれ以上の低屈折率部と、

前記コア、前記一対の応力付与部、および前記１またはそれ以上の低屈折率部を取り囲む共通クラッドと、

を備えた偏波保持光ファイバであって、

前記ファイバ軸に直交する前記偏波保持光ファイバの断面上において、

前記一対の応力付与部は、前記共通クラッドの一部を挟んで前記コアから離れた状態で前記コアの両側に配置され、

前記１またはそれ以上の低屈折率部は、前記共通クラッドの一部を挟んで互いに離れた状態で、かつ、前記共通クラッドの一部を挟んで前記コアおよび前記一対の応力付与部の双方から離れた状態で、前記コアの周囲に配置された、

偏波保持光ファイバ。

［付記２］

請求項１から請求項７のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバの製造方法であって、

前記偏波保持光ファイバを得るための光ファイバ母材を製造する母材製造工程と、

前記母材製造工程により製造された前記光ファイバ母材を線引きする線引き工程と、

を備え、

前記母材製造工程は、

線引き後に前記共通クラッドの一部となるべき共通クラッドロッドを準備する第一サブ工程と、

線引き後に前記コアとなるべき部分を含むコアロッドの準備、線引き後に前記１またはそれ以上の低屈折率部となるべき１またはそれ以上の低屈折率ロッドの準備、および線引き後に前記一対の応力付与部となるべき一対の応力付与ロッドの準備を個別に実施する第二サブ工程と、

前記共通クラッドロッドに対して、前記コアロッドが挿入される第一貫通孔の形成、前記１またはそれ以上の低屈折率ロッドがそれぞれ個別に挿入される１またはそれ以上の第二貫通孔の形成、および前記一対の応力付与ロッドがそれぞれ個別に挿入される一対の第三貫通孔の形成を個別に実施する第三サブ工程と、

前記共通クラッドロッドと前記コアロッドの一体化、前記共通クラッドロッドと前記１またはそれ以上の低屈折率ロッドの一体化、および前記共通クラッドと前記一対の応力付与ロッドの一体化を個別に実施する第四サブ工程と、

を含み、

前記光ファイバ母材において、前記コアロッド、前記１またはそれ以上の低屈折率ロッドそれぞれ、および前記一対の応力付与ロッドぞれぞれは、前記共通クラッドロッドの一部を挟んで物理的に離れた状態で配置されている、

偏波保持光ファイバの製造方法。

符号の説明

[0055] １０…偏波保持光ファイバ

２０…ガラス光ファイバ

３０…樹脂被覆

４０…コア

５０…共通クラッド

６０Ａ、６０Ｂ…応力付与部

７０Ａから７０Ｈ…低屈折率部

１００Ａ…共通クラッドロッド

１００Ｂ…中間母材

１００Ｃ…光ファイバ母材

２００…ヒータ

３００…樹脂塗布装置

４００Ａ…コアロッド

４００Ｂ…第一貫通孔

４０１…コア部

４０２…クラッド内側部

４０３…クラッド外側部

４１０…ローラ

４２０…巻き取り装置

６００Ａ、６００Ｂ…応力付与ロッド

６１０Ａ、６１０Ｂ…第三貫通孔

７００Ａ…低屈折率ロッド

７００Ｂ…第二貫通孔

Ｓ…矢印

請求の範囲

[請求項1] ファイバ軸に沿って伸びるコアと、

一対の応力付与部と、

１または複数の低屈折率部と、

前記コア、前記一対の応力付与部、および前記１または前記複数の低屈折率部のそれぞれを取り囲む共通クラッドと、

を備えた偏波保持光ファイバであって、

前記ファイバ軸に直交する前記偏波保持光ファイバの断面上において、

前記一対の応力付与部と前記コアの間には前記共通クラッドが配置され、

前記一対の応力付与部は、前記コアから離れた状態で前記コアの両側に配置され、

前記複数の低屈折率部のそれぞれの間には前記共通クラッドが配置され、

前記複数の低屈折率部は、互いに離れた状態で配置され、

前記１または前記複数の低屈折率部と前記コアの間には、前記共通クラッドが配置され、

前記１または前記複数の低屈折率部と前記一対の応力付与部の間には、前記共通クラッドが配置され、

前記１または前記複数の低屈折率部は、前記コアおよび前記一対の応力付与部の双方から離れた状態で前記コアの周囲に配置された、

偏波保持光ファイバ。

[請求項2] 前記断面上において、前記１または前記複数の低屈折率部それぞれの輪郭は、

直線のみ、曲線のみ、および直線と曲線の組み合わせのいずれかにより構成された形状を有する、

請求項１に記載の偏波保持光ファイバ。

[請求項3] 前記１または前記複数の低屈折率部として、当該偏波保持光ファイバは、２個以上６個以下の低屈折率部を有し、

前記断面上において、前記２個以上６個以下の低屈折率部は、前記コアの中心からの中心間距離がそれぞれ等しくなる位置に配置され、かつ、前記一対の応力付与部のいずれとも重ならないように配置されている、

請求項１または請求項２に記載の偏波保持光ファイバ。

[請求項4] 前記断面上において、前記一対の応力付与部それぞれは、３０μｍ以上４０μｍ以下の外径を有し、

前記共通クラッドに対する前記一対の応力付与部それぞれの比屈折率差は、０．０％以下であり、

前記コアの中心から前記一対の応力付与部それぞれの輪郭までの最短距離ｂ＿ＳＡＰに対する前記コアの半径ａの比ａ／ｂ＿ＳＡＰは、０．４以上０．６以下である、

請求項１から請求項３のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバ。

[請求項5] 前記断面上において、前記１または前記複数の低屈折率部の総面積と、前記１または前記複数の低屈折率部の比屈折率差の平均値の絶対値と、の積で定義される屈折率体積Ｖは、２０μｍ^2・％以上１２０μｍ^2・％以下である、

請求項１から請求項４のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバ。

[請求項6] 波長１．３１μｍにおいて８．２μｍ以上１０．２μｍ以下のモードフィールド径と、

前記一対の応力付与部それぞれが曲げ平面と平行になるように前記偏波保持光ファイバを曲げ半径５ｍｍで１回曲げた状態で測定される曲げロスであって、波長１．５５μｍにおいて０．１５ｄＢ未満の曲げロスと、

１．２６μｍ未満のカットオフ波長と、を有する、

請求項１から請求項５のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバ。

[請求項7] 前記断面上において、前記コアは、３μｍ以上５μｍ以下の半径を有し、

前記共通クラッドに対する前記コアの比屈折率差は、０．２％以上０．５％以下である、

請求項１から請求項６のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバ。

[請求項8] 請求項１から請求項７のいずれか一項に記載の偏波保持光ファイバを製造するための偏波保持光ファイバの製造方法であって、

前記偏波保持光ファイバを得るための光ファイバ母材を製造する母材製造工程と、

前記母材製造工程により製造された前記光ファイバ母材を線引きする線引き工程と、

を備え、

前記母材製造工程は、

線引き後に前記共通クラッドの一部となるべき共通クラッドロッドを準備する第一サブ工程と、

線引き後に前記コアとなるべき部分を含むコアロッドの準備、線引き後に前記１または前記複数の低屈折率部となるべき１または複数の低屈折率ロッドの準備、および線引き後に前記一対の応力付与部となるべき一対の応力付与ロッドの準備を個別に実施する第二サブ工程と、

前記共通クラッドロッドに対して、前記コアロッドが挿入される第一貫通孔の形成、前記１または前記複数の低屈折率ロッドがそれぞれ個別に挿入される１または複数の第二貫通孔の形成、および前記一対の応力付与ロッドがそれぞれ個別に挿入される一対の第三貫通孔の形

成を個別に実施する第三サブ工程と、

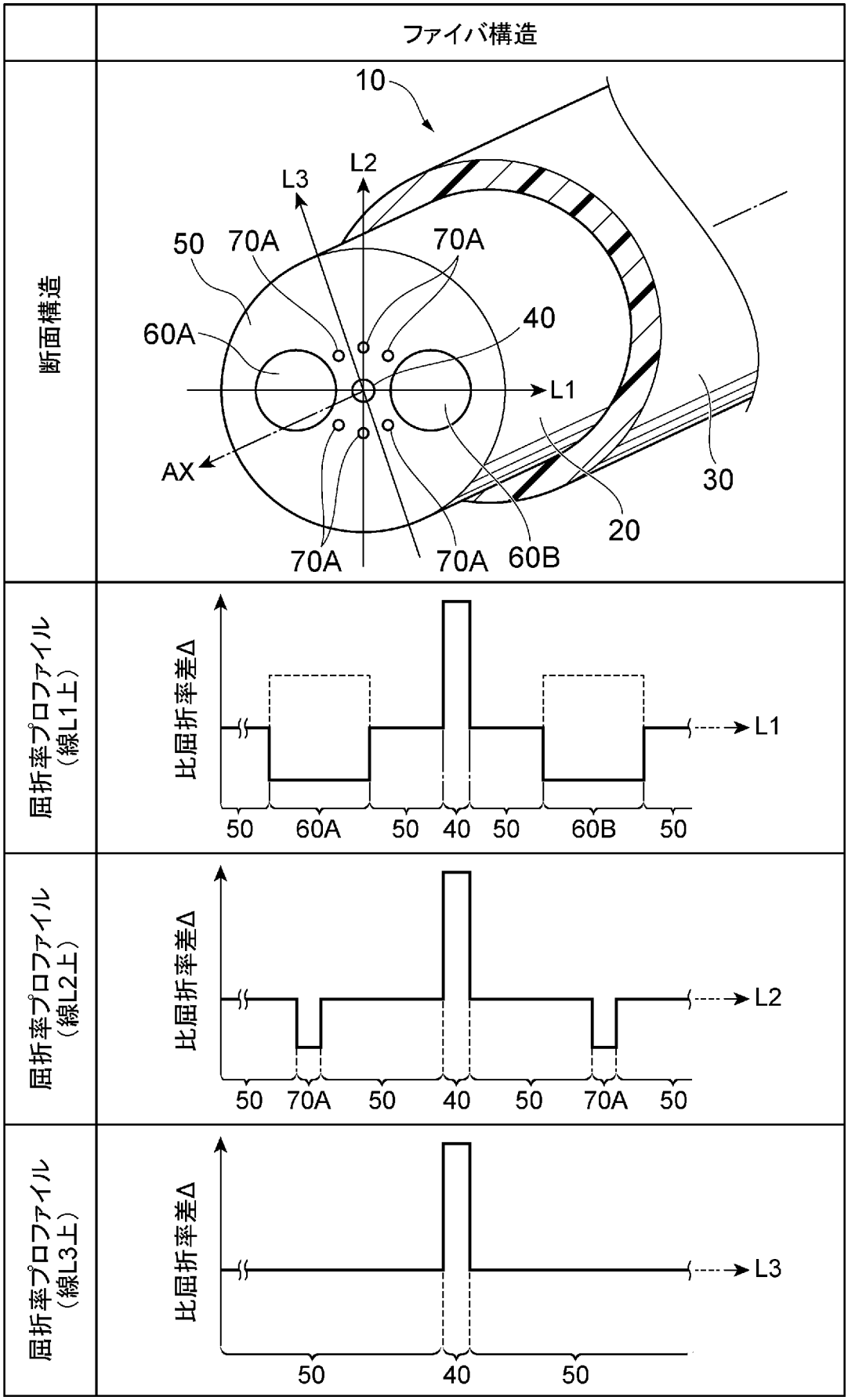
前記共通クラッドロッドと前記コアロッドの一体化、前記共通クラッドロッドと前記１または前記複数の低屈折率ロッドの一体化、および前記共通クラッドロッドと前記一対の応力付与ロッドの一体化を個別に実施する第四サブ工程と、

を含み、

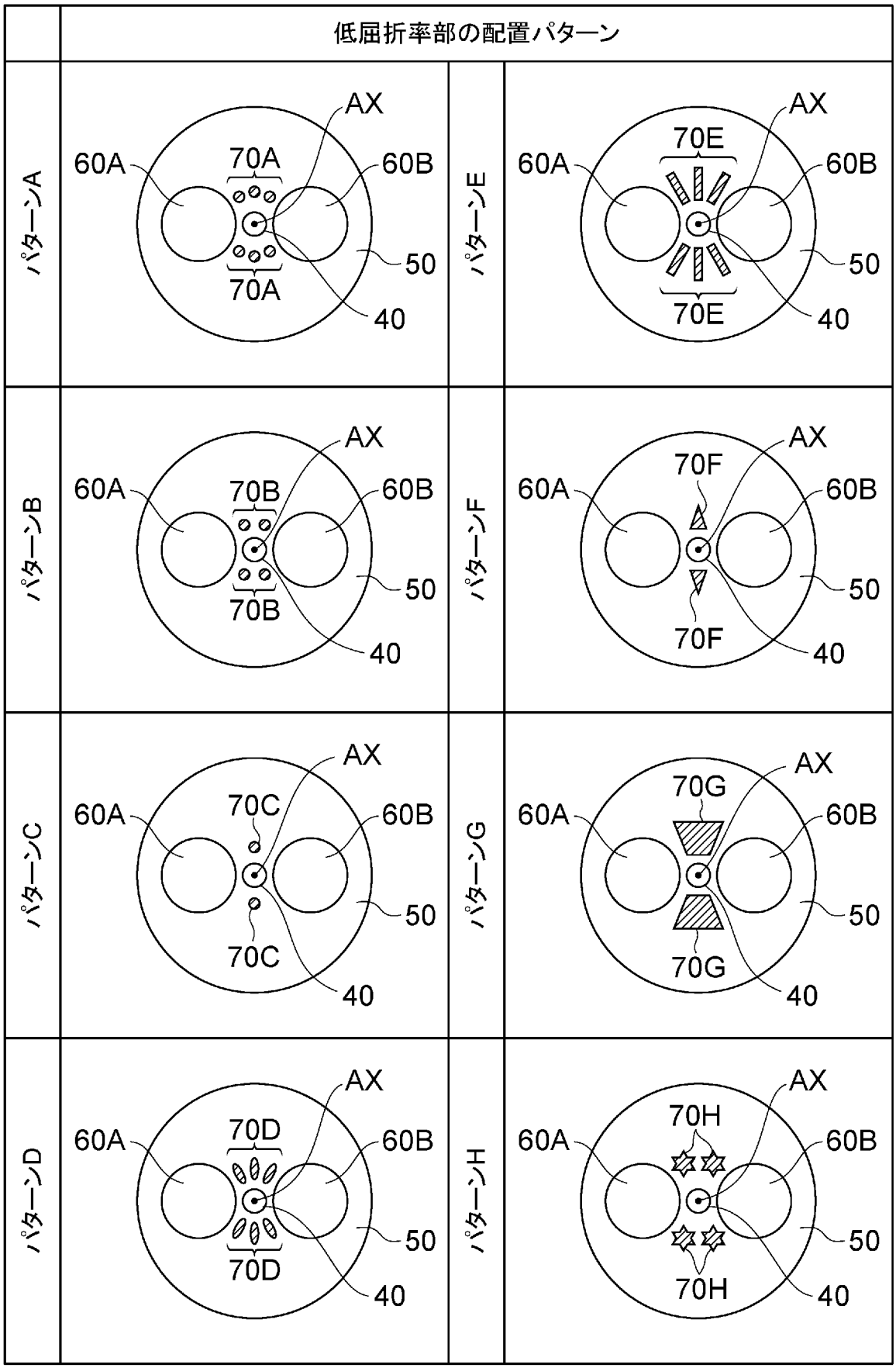
前記光ファイバ母材において、前記コアロッド、前記１または前記複数の低屈折率ロッドそれぞれ、および前記一対の応力付与ロッドぞれぞれの間には、前記共通クラッドロッドが配置されている、

偏波保持光ファイバの製造方法。

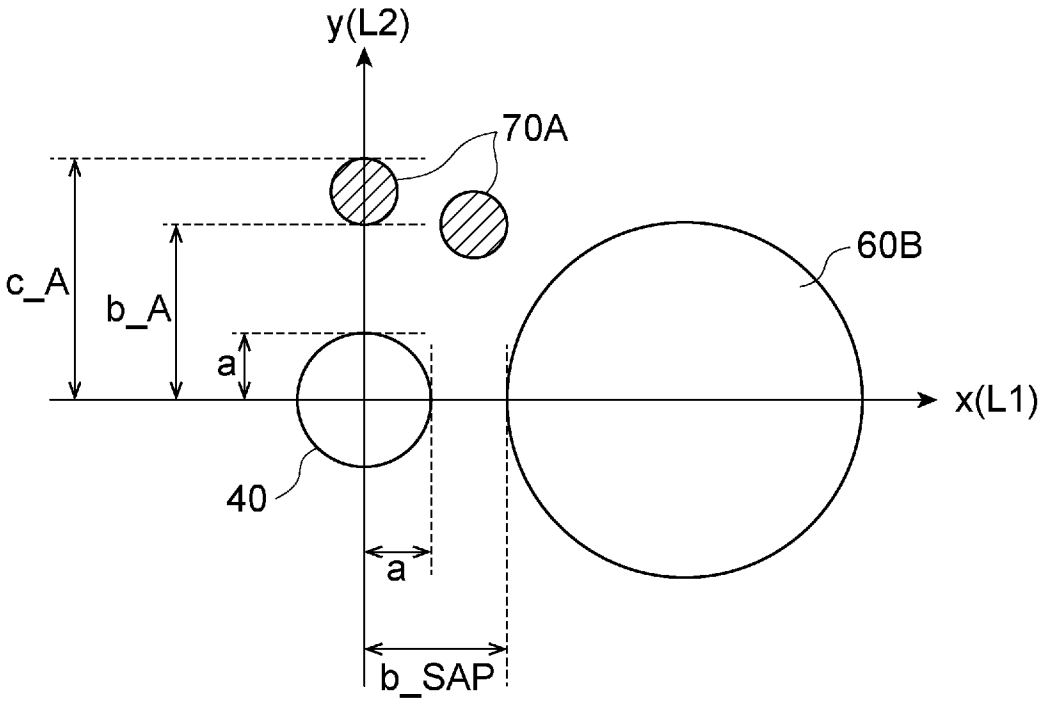
[図1]


ファイバ構造
断面構造
10
L2
L3
50
70A
70A
40
60A
L1
AX
30
20
70A
70A
60B
屈折率プロファイル（線L1上）
比屈折率差Δ
L1
50
60A
50
40
50
60B
50
屈折率プロファイル（線L2上）
比屈折率差Δ
L2
50
70A
50
40
50
70A
50
屈折率プロファイル（線L3上）
比屈折率差Δ
L3
50
40
50

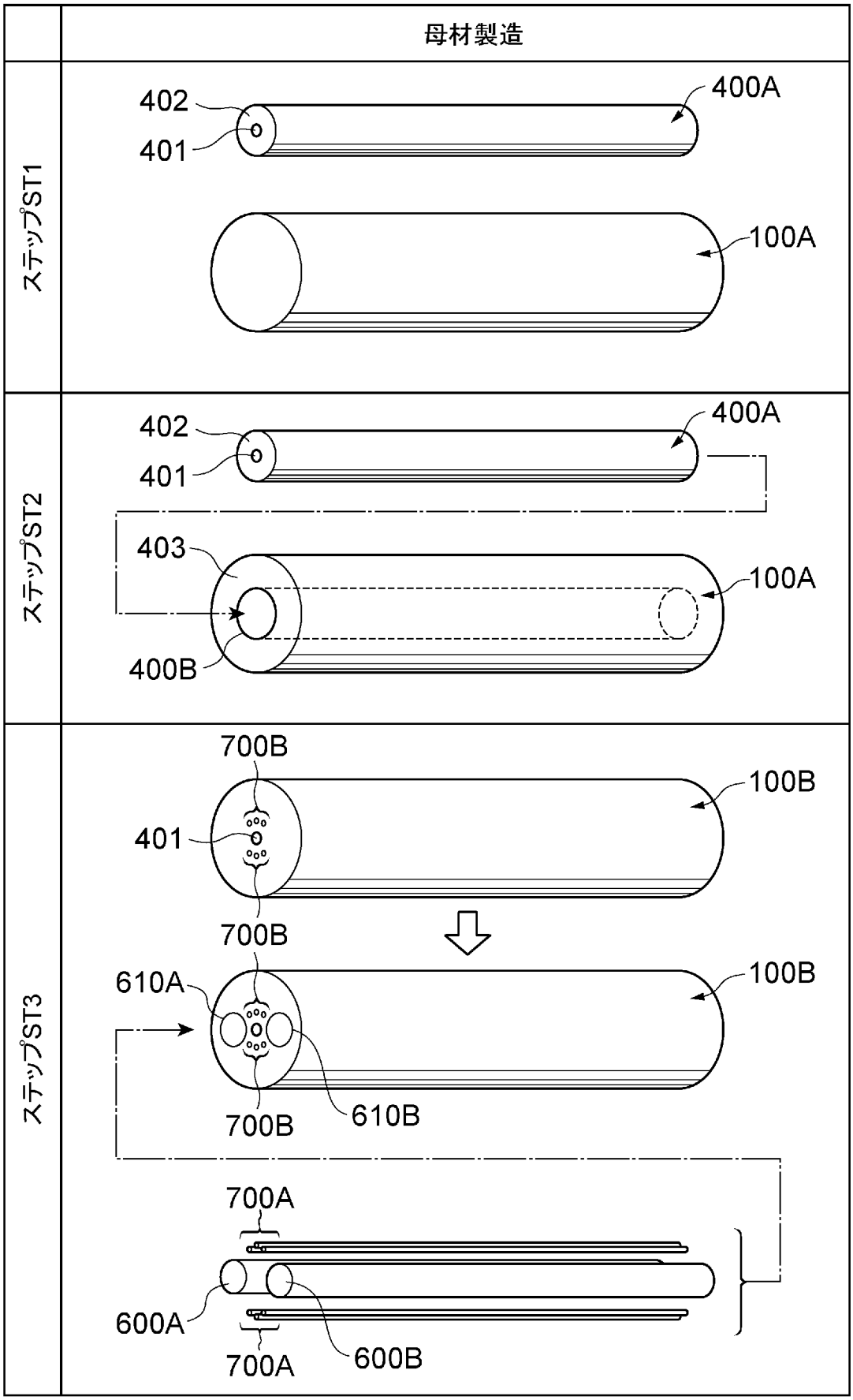
[図2]


低屈折率部の配置パターン
パターンA
60A
70A
AX
60B
50
70A
40
パターンE
60A
70E
AX
60B
50
70E
40
パターンB
60A
70B
AX
60B
50
70B
40
パターンF
60A
70F
AX
60B
50
70F
40
パターンC
60A
70C
AX
60B
50
70C
40
パターンG
60A
70G
AX
60B
50
70G
40
パターンD
60A
70D
AX
60B
50
70D
40
パターンH
60A
70H
AX
60B
50
70H
40

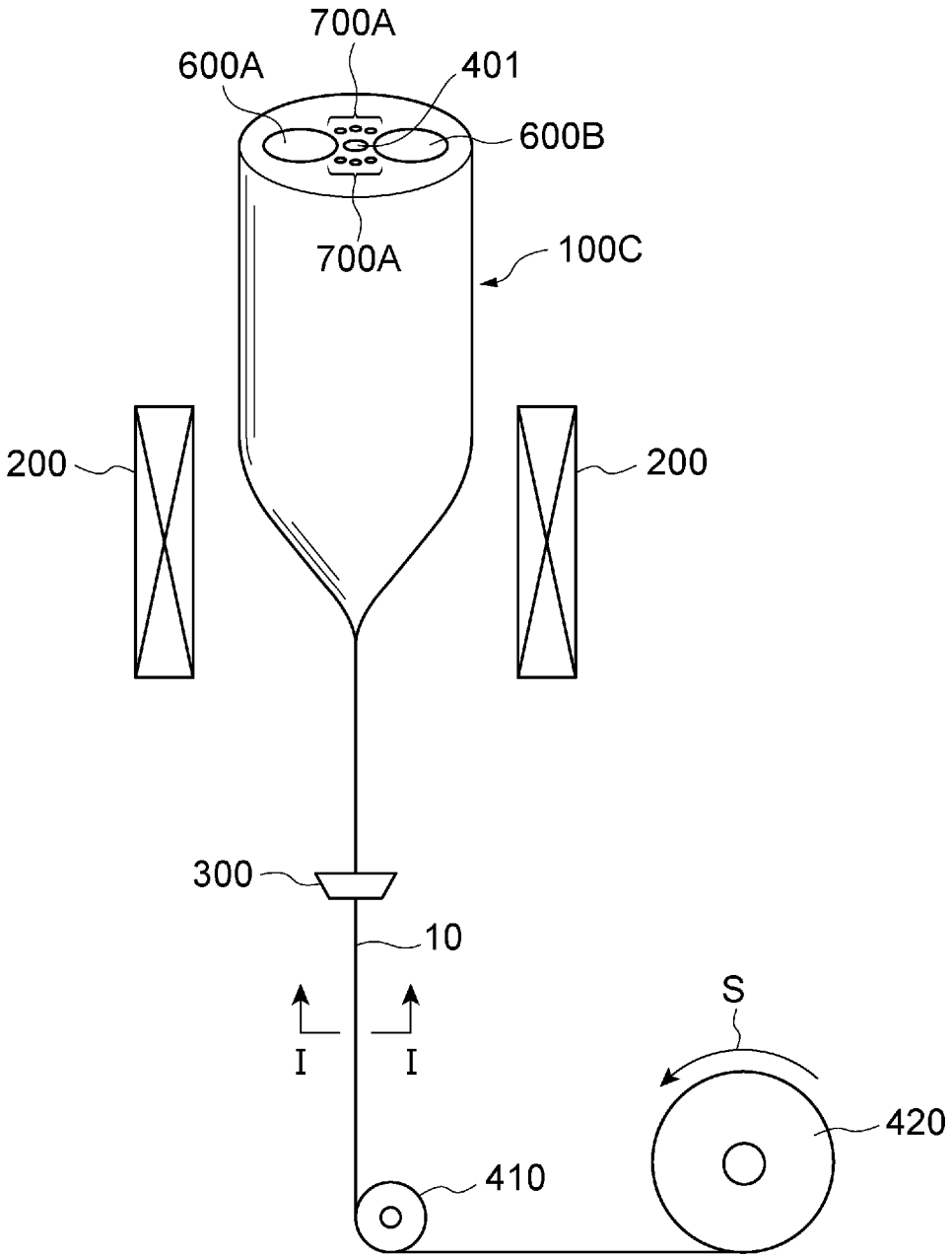
[図3]



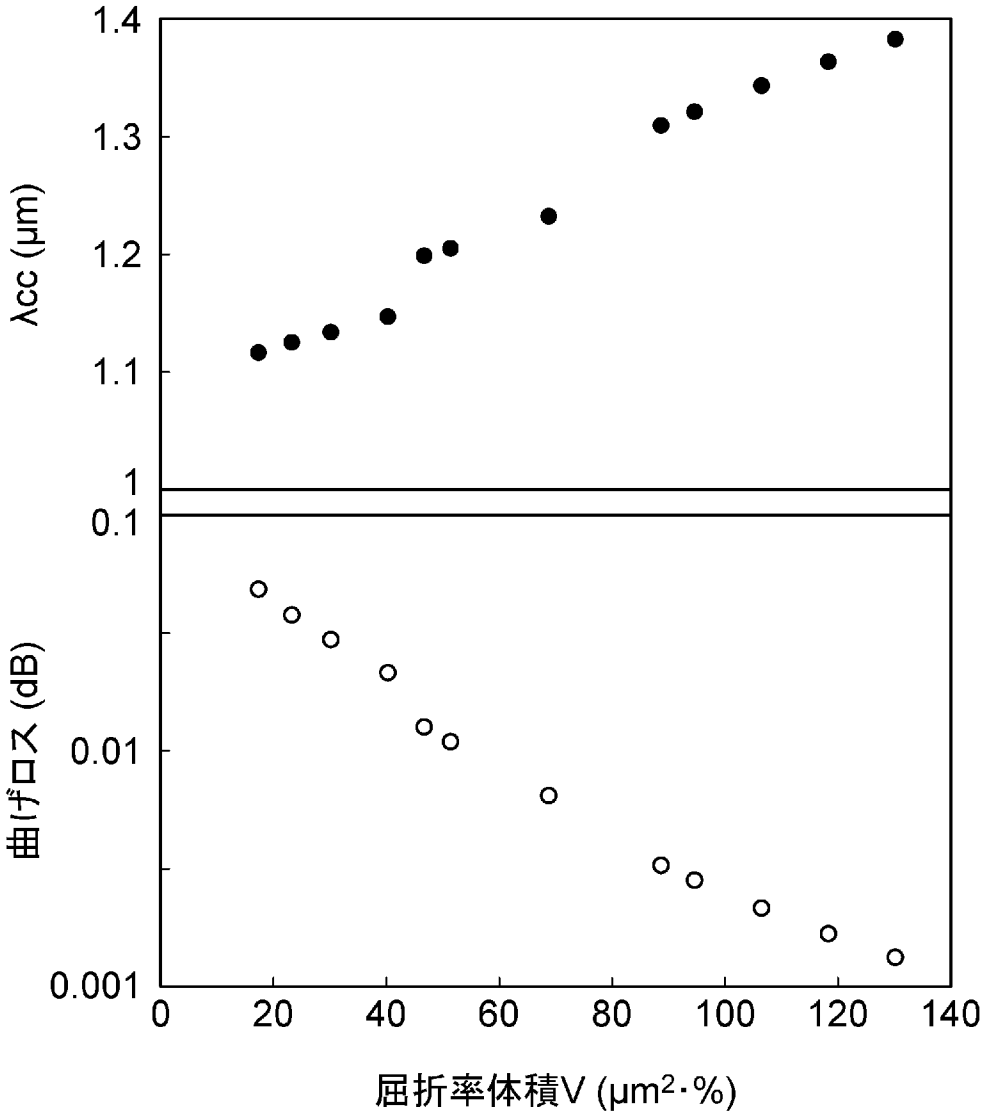
[図4]


母材製造
ステップST1
402
401
400A
100A
ステップST2
402
401
400A
403
100A
400B
ステップST3
700B
401
100B
700B
610A
100B
700B
610B
700A
600A
700A
600B

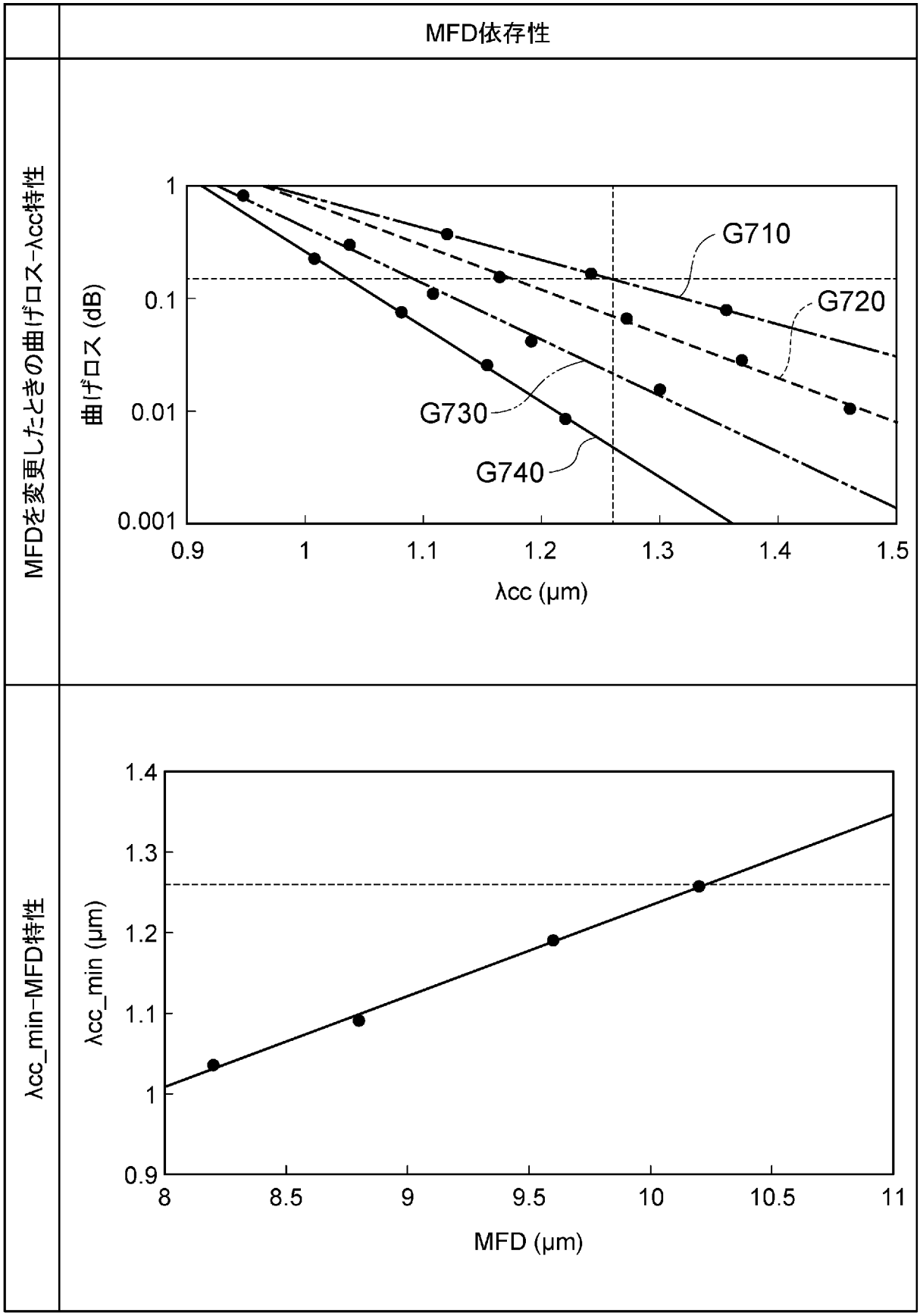
[図5]



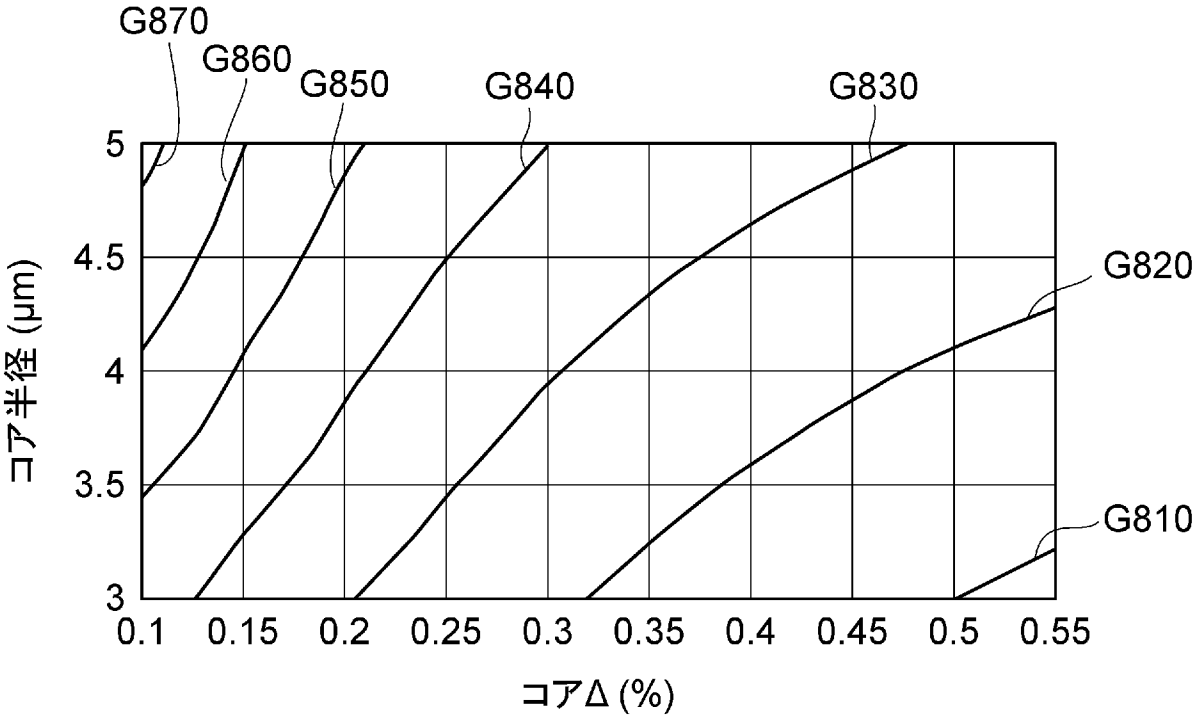
[図6]


1.4
1.3
1.2
1.1
1
λcc (μm)
0.1
0.01
0.001
曲げロス (dB)
0
20
40
60
80
100
120
140
屈折率体積V (μm²·%)

[図7]


MFD依存性
MFDを変更したときの曲げロス−λcc特性
曲げロス (dB)
1
0.1
0.01
0.001
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
λcc (μm)
G710
G720
G730
G740
λcc_min−MFD特性
λcc_min (μm)
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
8
8.5
9
9.5
10
10.5
11
MFD (μm)

[図8]


G870
G860
G850
G840
G830
G820
G810
5
4.5
4
3.5
3
コア半径 (μm)
0.1
0.15
0.2
0.25
0.3
0.35
0.4
0.45
0.5
0.55
コアΔ (%)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/026095

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/024(2006.01)i; ***C03B 37/012***(2006.01)i; ***C03B 37/027***(2006.01)i; ***G02B 6/02***(2006.01)i; ***G02B 6/036***(2006.01)i
FI: G02B6/024 301; G02B6/036; G02B6/02 356; C03B37/027 Z; C03B37/012 A

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)

G02B6/02-6/036; C03B37/012; C03B37/027

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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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.
X	JP 2017-503189 A (IMRA AMERICA, INC.) 26 January 2017 (2017-01-26) paragraphs [0044]-[0059], fig. 1C	1-7
X	WO 2008/126472 A1 (FUJIKURA LTD.) 23 October 2008 (2008-10-23) paragraphs [0038], [0041], [0042], fig. 6	1-2, 4
Y	JP 2015-184371 A (FUJIKURA LTD.) 22 October 2015 (2015-10-22) paragraphs [0022]-[0041], fig. 1-3	1-8
Y	JP 2011-170061 A (NIPPON TELEGR. & TELEPH. CORP.) 01 September 2011 (2011-09-01) paragraphs [0025]-[0051], fig. 1-6	1-8
A	JP 63-6507 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LTD.) 12 January 1988 (1988-01-12) entire text, all drawings	1-8
A	JP 2011-503636 A (CORNING INC.) 27 January 2011 (2011-01-27) entire text, all drawings	1-8

☑ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ 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
"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	Date of mailing of the international search report
17 August 2023	**05 September 2023**
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/JP2023/026095

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2006/0291789 A1 (CRYSTAL FIBRE A/S) 28 December 2006 (2006-12-28) entire text, all drawings	1-8
A	JP 2007-108642 A (THE FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 26 April 2007 (2007-04-26) entire text, all drawings	1-8
A	WO 2012/046696 A1 (FUJIKURA LTD.) 12 April 2012 (2012-04-12) entire text, all drawings	1-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/026095

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2017-503189 A	26 January 2017	US 2016/0245989 A1 paragraphs [0060]-[0075], fig. 1C WO 2015/077021 A1 EP 3072002 A1	
WO 2008/126472 A1	23 October 2008	US 2009/0207483 A1 paragraphs [0073], [0078]-[0082], fig. 6 EP 2082462 A1	
JP 2015-184371 A	22 October 2015	US 2015/0268413 A1 paragraphs [0043]-[0101], fig. 1-3 EP 2921889 A1 CN 104932052 A	
JP 2011-170061 A	01 September 2011	(Family: none)	
JP 63-6507 A	12 January 1988	(Family: none)	
JP 2011-503636 A	27 January 2011	US 2009/0060435 A1 WO 2009/038614 A1 EP 2174172 A1 CN 101809476 A	
US 2006/0291789 A1	28 December 2006	WO 2005/059612 A1 EP 1700146 A1	
JP 2007-108642 A	26 April 2007	US 2008/0124036 A1 WO 2007/043277 A1 EP 1936411 A1	
WO 2012/046696 A1	12 April 2012	US 2013/0308914 A1 EP 2626730 A1 CN 103154790 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/026095

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; C03B 37/012(2006.01)i; C03B 37/027(2006.01)i; G02B 6/02(2006.01)i; G02B 6/036(2006.01)i
FI: G02B6/024 301; G02B6/036; G02B6/02 356; C03B37/027 Z; C03B37/012 A

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））

G02B6/02-6/036; C03B37/012; C03B37/027

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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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
X	JP 2017-503189 A (イムラ アメリカ インコーポレイテッド) 26.01.2017 (2017-01-26) 段落 [0044] - [0059], 第1C図	1-7
X	WO 2008/126472 A1 (株式会社フジクラ) 23.10.2008 (2008-10-23) 段落 [0038], [0041] - [0042], 第6図	1-2, 4
Y	JP 2015-184371 A (株式会社フジクラ) 22.10.2015 (2015-10-22) 段落 [0022] - [0041], 第1-3図	1-8
Y	JP 2011-170061 A (日本電信電話株式会社) 01.09.2011 (2011-09-01) 段落 [0025] - [0051], 第1-6図	1-8
A	JP 63-6507 A (住友電気工業株式会社) 12.01.1988 (1988-01-12) 全文, 全図	1-8
A	JP 2011-503636 A (コーニング インコーポレイテッド) 27.01.2011 (2011-01-27) 全文, 全図	1-8

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ 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
"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	国際調査報告の発送日
17.08.2023	05.09.2023

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 3914

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/026095

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 2006/0291789 A1 (CRYSTAL FIBRE A/S) 28.12.2006 (2006-12-28) 全文，全図	1-8
A	JP 2007-108642 A (古河電気工業株式会社) 26.04.2007 (2007-04-26) 全文，全図	1-8
A	WO 2012/046696 A1 (株式会社フジクラ) 12.04.2012 (2012-04-12) 全文，全図	1-8

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/JP2023/026095

引用文献			公表日	パテントファミリー文献			公表日
JP	2017-503189	A	26.01.2017	US	2016/0245989	A1	
				段落［0060］－［0075］，第1C図			
				WO	2015/077021	A1	
				EP	3072002	A1	
WO	2008/126472	A1	23.10.2008	US	2009/0207483	A1	
				段落［0073］，［0078］－［0082］，第6図			
				EP	2082462	A1	
JP	2015-184371	A	22.10.2015	US	2015/0268413	A1	
				段落［0043］－［0101］，第1-3図			
				EP	2921889	A1	
				CN	104932052	A	
JP	2011-170061	A	01.09.2011	（ファミリーなし）			
JP	63-6507	A	12.01.1988	（ファミリーなし）			
JP	2011-503636	A	27.01.2011	US	2009/0060435	A1	
				WO	2009/038614	A1	
				EP	2174172	A1	
				CN	101809476	A	
US	2006/0291789	A1	28.12.2006	WO	2005/059612	A1	
				EP	1700146	A1	
JP	2007-108642	A	26.04.2007	US	2008/0124036	A1	
				WO	2007/043277	A1	
				EP	1936411	A1	
WO	2012/046696	A1	12.04.2012	US	2013/0308914	A1	
				EP	2626730	A1	
				CN	103154790	A	