

(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
2020年9月3日(03.09.2020)



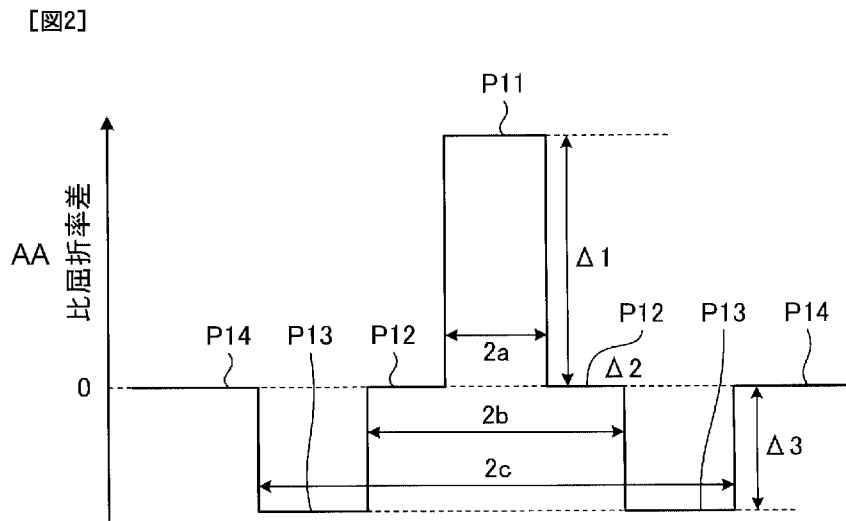
(10) 国際公開番号

WO 2020/175259 A1

- (51) 国際特許分類:
C03B 37/075 (2006.01) G02B 6/036 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2020/006410
- (22) 国際出願日: 2020年2月19日(19.02.2020)
- (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 2019-032023 2019年2月25日(25.02.2019) JP
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 武笠 和則 (MUKASA, Kazunori); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).
- (74) 代理人: 特許業務法人酒井国際特許事務所 (SAKAI INTERNATIONAL PATENT OFFICE); 〒1000013 東京都千代田区霞が関3丁目8番1号 虎の門三井ビルディング 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, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, KE, KG, KH,

(54) Title: OPTICAL FIBER AND METHOD FOR MANUFACTURING OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光ファイバおよび光ファイバの製造方法



AA Specific refractive index difference

(57) Abstract: The purpose of the present invention is to provide: an optical fiber which has low bending loss characteristics and low transmission loss characteristics and which can be manufactured with high efficiency; and a method for manufacturing the optical fiber. This optical fiber is provided with: an intermediate layer composed of quartz glass and formed on the outer circumference of a center core part that is composed of germanium-containing quartz glass; a trench layer composed of quartz glass and formed on the outer circumference of the



WO 2020/175259 A1

KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,
 MA, MD, ME, MG, MK, MN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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)）

intermediate layer; and a clad part composed of quartz glass and formed on the outer circumference of the trench layer. When $\Delta 1$, $\Delta 2$, and $\Delta 3$ respectively represent the specific refractive index differences of the center core part, the intermediate layer, and the trench layer with respect to the clad part, $\Delta 1 > \Delta 2 > \Delta 3$ and $0 > \Delta 3$ are satisfied, $\Delta 1$ is 0.34-0.37%, $|\Delta 3|$ is 0.1-0.25%, and $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ is not more than 0.08%². The mode field diameter at a wavelength of 1310 nm is not less than 8.8 μm , and the transmission loss at a wavelength of 1550 nm is not more than 0.195 dB/km.

(57) 要約：低曲げ損失特性かつ低伝送損失特性を有し、さらに製造性が高い光ファイバおよび光ファイバの製造方法を提供することを目的とする。光ファイバは、ゲルマニウムを含む石英系ガラスからなる中心コア部の外周に形成された石英系ガラスからなる中間層と、石英系ガラスからなり、中間層の外周に形成されたトレンチ層と、石英系ガラスからなり、トレンチ層の外周に形成されたクラッド部と、を備え、クラッド部に対する、中心コア部の比屈折率差を $\Delta 1$ 、中間層の比屈折率差を $\Delta 2$ 、トレンチ層の比屈折率差を $\Delta 3$ とすると、 $\Delta 1 > \Delta 2 > \Delta 3$ かつ $0 > \Delta 3$ が成り立ち、 $\Delta 1$ が0.34%以上0.37%以下であり、 $|\Delta 3|$ が0.1%以上0.25%以下であり、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が0.08%²以下であり、波長1310nmにおけるモードフィールド径が8.8 μm 以上であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.195dB/km以下である。

明 細 書

発明の名称：光ファイバおよび光ファイバの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバおよび光ファイバの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、たとえばITU-T（国際電気通信連合）G. 657. A2などで定義される、低曲げ損失特性を有するシングルモード光ファイバを実現するために、トレンチ構造を備える3層構造の光ファイバが開示されている（特許文献1～6）。3層構造の光ファイバは、たとえば、中心コア部と、中心コア部の外周に形成された中間層と、中間層の外周に形成されたトレンチ層と、トレンチ層の外周に形成されたクラッド部と、を備えている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特許第4833071号公報
特許文献2：特開2008-139887号公報
特許文献3：特開2010-181641号公報
特許文献4：特開2012-212115号公報
特許文献5：特開2013-242545号公報
特許文献6：特開2013-235261号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 3層構造の光ファイバの光学特性は、中心コア部の比屈折率差 $\Delta 1$ 、中間層の比屈折率差 $\Delta 2$ 、トレンチ層の比屈折率差 $\Delta 3$ 、中心コア部のコア径 $2a$ 、トレンチ層の内径（すなわち中間層の外径） $2b$ 、外径 $2c$ などの構造パラメータの設定によって設計される。なお、通常、 $\Delta 3$ は負値であり、 $\Delta 2$ は $\Delta 1$ よりも小さい値である。特許文献1～6においても、これらの構造パラメータの値について様々な組み合わせが開示されている。

[0005] しかしながら、開示されている光ファイバにおいても、製造性の観点から改善の余地がある。たとえば、 $\Delta 1$ が高い設計であると、製造の際に屈折率を高めるドーパントの使用量が多くなる。同様に、 $\Delta 3$ の絶対値が高い設計や、中間層の幅（外径と内径との差）が高い設計であると、製造の際に屈折率を低めるドーパントの使用量が多くなる。一方、特に $\Delta 1$ については、低すぎる設計であると、ドーパントの使用量の緻密な制御が必要となり、また外乱の影響を受けやすくなるので、製造誤差が大きくなるおそれがある。

[0006] また、光ファイバについては、伝送損失（損失係数）が低いことが常に望まれている。

[0007] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、その目的は、低曲げ損失特性かつ低伝送損失特性を有し、さらに製造性が高い光ファイバおよび光ファイバの製造方法を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明の一態様に係る光ファイバは、ゲルマニウム（Ge）を含む石英系ガラスからなる中心コア部と、石英系ガラスからなり、前記中心コア部の外周に形成された中間層と、石英系ガラスからなり、前記中間層の外周に形成されたトレンチ層と、石英系ガラスからなり、前記トレンチ層の外周に形成されたクラッド部と、を備え、前記クラッド部に対する、前記中心コア部の比屈折率差を $\Delta 1$ 、前記中間層の比屈折率差を $\Delta 2$ 、前記トレンチ層の比屈折率差を $\Delta 3$ とすると、 $\Delta 1 > \Delta 2 > \Delta 3$ かつ $0 > \Delta 3$ が成り立ち、 $\Delta 1$ が0.34%以上0.37%以下であり、 $|\Delta 3|$ が0.1%以上0.25%以下であり、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が0.08%²以下であり、波長1310nmにおけるモードフィールド径が $8.8\mu\text{m}$ 以上であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.195dB/km以下であることを特徴とする。

[0009] 本発明の一態様に係る光ファイバは、 $|\Delta 3|$ が0.1%以上0.20%以下であることを特徴とする。

[0010] 本発明の一態様に係る光ファイバは、 $\Delta 2$ が-0.04%以上0.04%

以下であり、前記中心コア部のコア径を $2a$ 、前記トレンチ層の内径を $2b$ 、外径を $2c$ としたときに、 b/a が 1.8 以上 3.6 以下であり、 c/a が 3.2 以上 5.2 以下であることを特徴とする。

[0011] 本発明の一態様に係る光ファイバは、実効カットオフ波長が 1260 nm 以下であることを特徴とする。

[0012] 本発明の一態様に係る光ファイバは、前記中心コア部のコア径は、実効カットオフ波長が 1150 nm 以上 1260 nm 以下になるように設定されていることを特徴とする。

[0013] 本発明の一態様に係る光ファイバは、波長 1310 nm におけるモードフィールド径が $9.5\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

[0014] 本発明の一態様に係る光ファイバは、直径 20 mm で曲げた場合の波長 1550 nm における曲げ損失が 1.59 dB/m 以下であることを特徴とする。

[0015] 本発明の一態様に係る光ファイバは、零分散波長が 1300 nm 以上 1324 nm 以下あり、前記零分散波長での分散スロープが $0.092\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。

[0016] 本発明の一態様に係る光ファイバの製造方法は、前記光ファイバの製造方法であって、光ファイバ母材を製造する工程と、前記光ファイバ母材を加熱溶融して線引きして前記光ファイバを製造する工程と、を含み、前記光ファイバ母材を製造する工程において、気相軸付法を用いて、少なくとも前記中心コア部、前記中間層、前記トレンチ層、および前記クラッド部の一部となる部分を形成することを特徴とする。

発明の効果

[0017] 本発明によれば、低曲げ損失特性かつ低伝送損失特性を有し、さらに製造性が高い光ファイバを実現できるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0018] [図1] 図1は、実施形態1に係る光ファイバの模式的な断面図である。

[図2] 図2は、図1に示す光ファイバの屈折率プロファイルを示す図である。

[図3]図3は、 $\Delta 1$ とMFDとの関係を示す図である。

[図4]図4は、 $|\Delta 3|$ とMFDとの関係を示す図である。

[図5]図5は、 $\Delta 3$ とMFDとの関係を示す図である。

[図6]図6は、 b/a または c/a とMFDとの関係を示す図である。

[図7]図7は、 $\Delta 1$ と伝送損失との関係を示す図である。

発明を実施するための形態

[0019] 以下に、図面を参照しながら、本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、以下に説明する実施形態により本発明が限定されるものではない。また、各図面において、同一または対応する構成要素には適宜同一の符号を付し、適宜説明を省略している。また、本明細書においては、カットオフ (Cut off) 波長とは、実効カットオフ波長であり、ITU-T (国際電気通信連合) G. 650. 1で定義するケーブルカットオフ波長を意味する。また、その他、本明細書で特に定義しない用語についてはG. 650. 1およびG. 650. 2における定義、測定方法に従うものとする。

[0020] (実施形態1)

図1は、実施形態1に係る光ファイバの模式的な断面図である。光ファイバ10は、石英系ガラスからなり、中心コア部11と、中心コア部11の外周に形成された中間層12と、中間層12の外周に形成されたトレンチ層13と、トレンチ層13の外周に形成されたクラッド部14と、を備える。

[0021] 図2は、光ファイバ10の屈折率プロファイルを示す図である。プロファイルP11は中心コア部11の屈折率プロファイルであり、いわゆるステップインデックス型を有する。プロファイルP12は中間層12の屈折率プロファイルである。プロファイルP13はトレンチ層13の屈折率プロファイルである。プロファイルP14はクラッド部14の屈折率プロファイルである。

[0022] 光ファイバ10の構造パラメータについて説明する。まず、中心コア部11のコア径は $2a$ である。また、中間層12の外径すなわちトレンチ層13の内径は $2b$ であり、トレンチ層13の外径は $2c$ である。したがって、ト

レンチ層13の幅（トレンチ幅）は（ $c - b$ ）である。また、クラッド部14の屈折率に対する中心コア部11の最大屈折率の比屈折率差は $\Delta 1$ である。クラッド部14の屈折率に対する中間層12の屈折率の比屈折率差は $\Delta 2$ である。クラッド部14の屈折率に対するレンチ層13の屈折率の比屈折率差は $\Delta 3$ である。 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ については、 $\Delta 1 > \Delta 2 > \Delta 3$ かつ $0 > \Delta 3$ が成り立つ。すなわち、 $\Delta 3$ は負値であり、これによりレンチ層13は光ファイバ10の低曲げ損失特性を向上させる。

[0023] 光ファイバ10の構成材料について説明する。中心コア部11は、屈折率を高める屈折率調整用のドーパントであるゲルマニウム（Ge）を含む石英ガラスからなる。レンチ層13は、たとえば、フッ素（F）などの屈折率を低めるドーパントが添加された石英ガラスからなる。クラッド部14は、たとえば、GeやFなどの屈折率調整用のドーパントを含まない純石英ガラスからなる。中間層12は、純石英ガラスからなってもよいし、屈折率調整用のドーパントがある程度添加されていてもよい。ただし、構成材料やドーパントは、上述した $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ に関する不等式が成立すれば、特に限定はされない。

[0024] この光ファイバ10では、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、Geによって $\Delta 1$ が0.34%以上0.37%以下となっており、 $\Delta 3$ の絶対値である $|\Delta 3|$ が0.1%以上0.25%以下であり、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が0.08%²以下である。このように、 $\Delta 1$ が0.34%以上0.37%以下であることによって、製造の際に屈折率を高めるドーパントであるGeの使用量を抑制でき、かつドーパントの使用量の制御が容易であり、外乱に対しても比較的強くなるので製造誤差を抑制できる。さらには、Geの使用量を抑制できることで、後に詳述するように、中心コア部11における光損失が低減され、波長1550nmにおける伝送損失を0.195dB/km以下とできる。また、 $|\Delta 3|$ が0.25%以下であることによって、屈折率を低めるドーパントの使用量を抑制できる。 $|\Delta 3|$ が、0.10%以上であることによって、屈折率を低めるドーパントの使用量の制御が容易であり、製造誤差を抑制できる。

その結果、光ファイバ10は一層製造性が高いものとなる。さらには、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が $0.08\%^2$ 以下であることによって、ドーパントの使用量の抑制の効果と制御の容易性の効果と製造誤差の抑制の効果とを効果的に高めることができるので、光ファイバ10は製造性が高いものとなる。さらには、光ファイバ10の波長 1310 nm におけるモードフィールド径(MFD)を $8.8\ \mu\text{m}$ 以上と大きい値にでき、様々な使用用途に対応するものとする。

[0025] $|\Delta 3|$ については、 0.25% 未満、さらには 0.20% 以下であれば、ドーパントの使用量を一層抑制できる。なお、 $|\Delta 3|$ が 0.10% 以上の場合、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ は $0.034\%^2$ 以上である。したがって、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ は $0.034\%^2$ 以上であることがより好ましい。

[0026] 後に詳述するが、その他の構造パラメータに関して、好ましい範囲を例示すると、 $\Delta 2$ は、たとえば -0.04% 以上 0.04% 以下である。 b/a は、たとえば 1.8 以上 3.6 以下である。 c/a は、たとえば 3.2 以上 5.2 以下である。

[0027] これらの構造パラメータの値を適宜組み合わせることによって、後に詳述するように、光ファイバ10の実効カットオフ波長を 1260 nm 以下とできる。光ファイバ10の波長 1310 nm におけるMFDを $9.5\ \mu\text{m}$ 以下とできる。また、光ファイバ10を直径 20 mm で曲げた場合の波長 1550 nm における曲げ損失（以下、直径 20 mm で曲げた場合の波長 1550 nm における曲げ損失を、単にマクロバンド損失と記載する場合がある）を 1.59 dB/m 以下とできる。さらには、光ファイバ10の零分散波長を 1300 nm 以上 1324 nm 以下、かつ零分散波長での分散スロープを $0.092\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下とできる。その結果、光ファイバ10を、たとえばITU-T G.652に規定される規格（以下、G.652規格と記載する場合がある）を満たすものとする。さらに、MFDを $9.2\ \mu\text{m}$ 以下とすれば、光ファイバ10を、G.657A規格、特にG.657A2規格を満たすものとする。なお、マクロバンド損失の 1.59 dB/m と

いう値は、G. 657 A2規格における0.1 dB/turnの値を、単位を変換して表したものである。また、構造パラメータの値を適宜組み合わせ、実効カットオフ波長が1530 nm以下になるようにし、G. 654規格を満たすものにしてもよい。

[0028] 以下、シミュレーション計算結果を用いて具体的に説明する。図3は、シミュレーション計算に基づく、 $\Delta 1$ と波長1310 nmにおけるMFDとの関係を示す図である。なお、データ点は、構造パラメータである $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、2a、2b、2cを、G. 657 A規格を満たすように様々に設定して計算した結果を示す。図3に示すように、 $\Delta 1$ とMFDの間には高い相関があり、8.8 μm 以上のMFDを得るには、 $\Delta 1$ が0.34%以上0.37%以下であることが必要である。なお、上述したように、このような比較的低い $\Delta 1$ とすれば、伝送損失の低減の上でも好ましい。

[0029] 図4は、 $|\Delta 3|$ とMFDとの関係を示す図である。なお、データ点は、 $\Delta 1$ を0.37%に固定して、 $|\Delta 3|$ 、 $\Delta 2$ 、2a、2b、2cを、G. 657 A規格を満たすように様々に設定して計算した結果を示す。図4に示すように、 $|\Delta 3|$ は0.25%以下が好ましく、0.20%以下がより好ましいことが確認された。

[0030] 図5は、 $|\Delta 2|$ とMFDとの関係を示す図である。なお、データ点は、 $|\Delta 3|$ を0.2%に固定して、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 1$ 、2a、2b、2cを、G. 657 A規格を満たすように様々に設定して計算した結果を示す。図5に示すように、 $\Delta 2$ は-0.02%以上0.04%以下が好ましいことが確認された。なお、図5では $|\Delta 3|$ を0.2%に固定しているが、本発明者が、 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ 、 $\Delta 3$ 、2a、2b、2cを適宜組み合わせて計算を行ったところ、G. 657 A規格を満たしながら8.8 μm 以上のMFDを得るには、 $\Delta 2$ が-0.04%以上0.04%以下であることが好ましいことを確認した。

[0031] 以上のような計算結果の検討に基づいて、光ファイバ10の構造パラメータの最適化を行ったところ、 $\Delta 1$ が0.34%以上0.37%以下であり、

$\Delta 2$ が -0.04% 以上 0.04% 以下であり、 $|\Delta 3|$ が 0.25% 以下（さらには 0.20% 以下 0.1% 以上）であり、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が $0.08\%^2$ 以下の場合に、波長 1310 nm におけるMFDが $8.8\ \mu\text{m}$ 以上であり、マクロバンド損失、零分散波長、分散スロープ、カットオフ波長についても良好な特性（たとえば、G. 657 A 2規格を満たす特性）が得られることが確認された。

[0032] 図6は、 b/a または c/a とMFDとの関係を示す図である。図6は、 $\Delta 1$ が 0.34% 以上 0.37% 以下、 $\Delta 2$ が -0.04% 以上 0.04% 以下、 $|\Delta 3|$ が 0.25% 以下、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が $0.08\%^2$ 以下であり、かつマクロバンド損失、零分散波長、分散スロープ、カットオフ波長が、G. 657 A 2規格を満たす場合を示している。四角のデータ点は b/a についてのデータ点であり、右上から左下に延びる斜線で示す領域が、MFDが $8.8\ \mu\text{m}$ 以上を満たすデータ点の存在領域である。また、菱形のデータ点は c/a についてのデータ点であり、左上から右下に延びる斜線で示す領域が、MFDが $8.8\ \mu\text{m}$ 以上を満たすデータ点の存在領域である。

[0033] 図6に示すように、MFDが $8.8\ \mu\text{m}$ 以上を満たすには、 b/a が 1.8 以上 3.6 以下であり、 c/a が 3.2 以上 5.2 以下であることが好ましいことが確認された。

[0034] なお、 b/a が 1.8 以上 3.6 以下、 c/a が 3.2 以上 5.2 以下という範囲は、好ましい一例あって、本発明がこれに限定されるものではない。たとえば、図5から解るように、 b/a および c/a とMFDとは高い相関性が見られない。したがって、上記範囲以外の b/a 、 c/a として、 $\Delta 1$ が 0.34% 以上 0.37% 以下であり、 $|\Delta 3|$ が 0.1% 以上 0.25% 以下であり、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が $0.08\%^2$ 以下であり、波長 1310 nm におけるモードフィールド径が $8.8\ \mu\text{m}$ 以上であり、波長 1550 nm における伝送損失が 0.195 dB/km 以下であるという特性を実現してもよい。ただし、 b/a が 1.8 以上 3.6 以下、 c/a が 3.2 以上 5.2 以下という範囲は、製造上実施が容易な値であるので、製造性を考慮して

も好ましい値である。

- [0035] なお、本発明者の検討によれば、中心コア部11のコア径である2aについては、実効カットオフ波長が1260nm以下になる範囲でなるべく大きくにすることが、MFDの拡大やマクロバンド損失低減の側面から望ましいことが確認された。たとえば、実効カットオフ波長が1150nm以上1260nm以下になるような2aの値を選択することが望ましい。このような2aの範囲を用いることによって、G. 657A2規格を満たすような特性、あるいはそれに近い良好な特性を、大きなMFD(波長1310nmにて8.8 μ m以上)と両立して実現できることが確認された。
- [0036] なお、本実施形態に係る光ファイバ10は、光ファイバ母材を製造する工程と、光ファイバ母材を加熱溶融して線引きして光ファイバを製造する工程とを含む公知の製造方法にて製造できる。
- [0037] このとき、光ファイバ母材は、光ファイバ10の中心コア部11、中間層12、トレンチ層13、およびクラッド部14となる部分を含むものである。光ファイバ母材は、気相軸付(VAD)法、内付気相堆積(MCVD)法、プラズマ気相堆積(PCVD)法、ゾルゲル法などを用いて製造できる。たとえば、VAD法を用いて、光ファイバ10の中心コア部11、中間層12、トレンチ層13、およびクラッド部14の一部となる部分を形成し、これにクラッド部14の残りの部分となるガラス層をたとえば外側気相堆積(OVD)法を用いて形成することで、光ファイバ母材を製造できる。
- [0038] また、この光ファイバから線引して光ファイバを製造する際には、公知の方法によってUV硬化樹脂からなる被覆層を形成する。このような被覆層は2層構造であるものが好ましい。また、クラッド部14の外径(クラッド径)はたとえば125 μ mであり、被覆層の外径(被覆径)は250 μ mであるが、特に限定されない。たとえば、伝送損失、マイクロバンド損失、ハンドリング性、機械強度などの特性が問題なければこれよりも細いものや太いものとしても問題ない。また、被覆層も2層構造には限定されない。たとえば、公知のように、高密度な光ファイバケーブルを実現するために、被覆径

を $200\mu\text{m}$ よりも細くしてもよいし、クラッド径を $125\mu\text{m}$ よりも細くしてもよい。

[0039] 本発明者は、本発明の実施形態に係る光ファイバの伝送損失について調べるために、VAD法を用いて光ファイバ母材を製造し、さらにこの光ファイバ母材を線引きし、UV硬化樹脂からなる2層構造の被覆層を有し、クラッド径が $125\mu\text{m}$ 、被覆径が $250\mu\text{m}$ のファイバを試作した。試作した光ファイバは、 $\Delta 1$ が 0.34% 以上 0.37% 以下、 $\Delta 2$ が -0.04% 以上 0.04% 以下、 $|\Delta 3|$ が 0.25% 以下、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が $0.08\%^2$ 以下、 b/a が 1.8 以上 3.6 以下、 c/a が 3.2 以上 5.2 以下、かつ波長 1310nm におけるMFDが $8.8\mu\text{m}$ となる様々な構造パラメータを設定し、かつ $\Delta 1$ だけを 0.33% から 0.44% の範囲の様々な値に設定しものである。そして、これらの光ファイバの波長 1550nm における伝送損失を確認した。

[0040] 図7は、 $\Delta 1$ と伝送損失との関係を示す図である。図5に示すように、他の構造パラメータの影響によるばらつきはあるものの、 $\Delta 1$ は波長 1550nm における伝送損失との間には高い相関がある。たとえば、 $\Delta 1$ を 0.42% と高くすると、伝送損失も増大した。この理由は、 $\Delta 1$ を高くするためにドーパントとしてGeの添加量を多くしたので、レイリー散乱損失や構造不整損失が増大したためと考えられる。逆に、 $\Delta 1$ を小さくすると、レイリー散乱損失は下げられても、屈折率プロファイルの設計によってはマイクロバンド損失が大きくなり、たとえばポビンに巻き付けただけで伝送損失が増大してしまうという問題が起こる。また、 $\Delta 1$ をたとえば 0.33% と低くすると、伝送損失のばらつきが大きくなった。この理由は、 $\Delta 1$ が低いと、光ファイバの特性の変化が、屈折率プロファイルの形状の変化に対して、より敏感になるためと考えられる。この場合、製造誤差などによる屈折率プロファイルのばらつきによって光ファイバの特性もばらつきやすいので、製造性の低下の可能性もある。

[0041] これに対して、本発明の実施形態に係る光ファイバ10は、Geによって

$\Delta 1$ が 0.34%以上0.37%以下となっているので、波長1310nmでのMFDを8.8 μm と大きくできるとともに、0.195dB/km以下の低伝送損失が安定して得られるという利点がある。

[0042] つづいて、構造パラメータを変化させたときの光ファイバ10の光学特性の変化の具体例について、シミュレーション計算結果を用いて説明する。まず、表1に示すNo.1~No.9までの構造パラメータの組み合わせについて、その光学特性の変化を計算した。No.1からNo.9では、 $\Delta 1$ は0.34%~0.37%で変化させている。 $\Delta 2$ は0%~0.04%で変化させている。 $|\Delta 3|$ は0.12%~0.20%、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ は0.0444%²~0.0740%²で変化させている。 b/a は2.2~3.4で変化させている。 c/a は4.0~5.0で変化させている。 $2a$ は7.9 μm ~8.5 μm で変化させている。

[0043] [表1]

(表1)

	$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$	$\Delta 1 \times \Delta 3 $	b/a	c/a	$2a$
	[%]	[%]	[%]	[% ²]			[μm]
No.1	0.34	0	-0.20	0.0680	3.0	5.0	8.2
No.2	0.35	0	-0.20	0.0700	2.2	4.0	8.5
No.3	0.35	0	-0.20	0.0700	3.0	5.0	8.1
No.4	0.36	0	-0.20	0.0720	2.2	4.0	8.4
No.5	0.37	0.04	-0.20	0.0740	2.2	4.0	7.9
No.6	0.37	0	-0.20	0.0740	2.6	4.0	8.3
No.7	0.37	0	-0.20	0.0740	3.4	5.0	8.1
No.8	0.37	0	-0.16	0.0592	2.2	4.0	8.4
No.9	0.37	0	-0.12	0.0444	3.0	5.0	8.2

[0044] つづいて、表1の構造パラメータの組み合わせについて光学特性を計算した。さらに、各組み合わせを設計値として、VAD法を用いて光ファイバ母材を製造し、光ファイバ母材を線引きし、UV硬化樹脂からなる2層構造の被覆層を有し、クラッド径が125 μm 、被覆径が250 μm のファイバを

試作した。

[0045] 表2は、No. 1～No. 9についてシミュレーション計算した結果 (Simulation) としての光学特性のうち、零分散波長、分散スロープ、MFD、Cut off 波長、マクロバンド損失の値を示す。また、表2では、試作したNo. 1～No. 9の光ファイバについて、上記光学特性に加え、伝送損失も示している。なお、表2では、規格として、G. 657 A2規格の規格値も合わせて示してある。表2から解るように、No. 1～No. 9のいずれも、シミュレーション計算結果がG. 657 A2規格を満たすことが確認された。さらに、MFDについては $8.8\mu\text{m}$ 以上、伝送損失については 0.195 dB/km 以下であることが確認された。また、零分散波長、分散スロープ、MFD、Cut off 波長、マクロバンド損失については、シミュレーション計算による光学特性と、試作した光ファイバの光学特性とが殆ど一致していることも確認した。

[0046]

[表2]

(表2)

	零分散波長	分散スロープ	MFD	Cutoff 波長	マクロバンド 損失	伝送損失
	[nm]	[ps/nm ² /km] @零分散波長	[μ m] @1310nm	[nm] @22m	[dB/m@20mm] @1550nm	[dB/km] @1550nm
G.657 A2規格	1300-1324	≤ 0.092	8.6-9.2	≤ 1260	≤ 1.59	
No.1 Simulation	1316	0.087	9.09	1259	1.29	
No.1 試作	1314	0.088	9.11	1252	1.12	0.185
No.2 Simulation	1305	0.091	9.05	1255	1.46	
No.2 試作	1303	0.091	9.03	1249	1.38	0.187
No.3 Simulation	1317	0.087	8.96	1249	1.18	
No.3 試作	1319	0.089	8.93	1241	1.28	0.188
No.4 Simulation	1306	0.091	8.94	1255	1.12	
No.4 試作	1309	0.091	8.95	1249	1.20	0.190
No.5 Simulation	1313	0.091	8.95	1246	1.40	
No.5 試作	1311	0.090	8.97	1250	1.30	0.194
No.6 Simulation	1311	0.089	8.86	1248	1.56	
No.6 試作	1313	0.089	8.88	1251	1.55	0.192
No.7 Simulation	1316	0.086	8.80	1259	1.08	
No.7 試作	1315	0.087	8.81	1254	1.02	0.191
No.8 Simulation	1306	0.091	8.87	1256	1.45	
No.8 試作	1305	0.092	8.84	1251	1.52	0.192
No.9 Simulation	1314	0.087	8.84	1250	1.49	
No.9 試作	1312	0.088	8.81	1253	1.43	0.191

[0047] さらに、試作した光ファイバはMFDが8.8 μ m以上であるため、光ファイバ中の非線形光学効果の発生を抑制でき、かつ接続性もよい。試作した光ファイバと、G.652規格を満たす標準シングルモード光ファイバとを融着接続する実験を行ったところ、いずれの試作した光ファイバについても、問題なく0.1dB以下の接続損失が安定して得られた。

[0048] なお、上記実施形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせる構成したものも本発明に含まれる。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

産業上の利用可能性

[0049] 本発明に係る光ファイバは、データコムやテレコムなどの光通信の分野に

好適に利用できる。

符号の説明

[0050] 10 光ファイバ

11 中心コア部

12 中間層

13 トレンチ層

14 クラッド部

P11、P12、P13、P14 プロファイル

請求の範囲

- [請求項1] ゲルマニウム（Ge）を含む石英系ガラスからなる中心コア部と、石英系ガラスからなり、前記中心コア部の外周に形成された中間層と、
- 石英系ガラスからなり、前記中間層の外周に形成されたトレンチ層と、
- 石英系ガラスからなり、前記トレンチ層の外周に形成されたクラッド部と、
- を備え、前記クラッド部に対する、前記中心コア部の比屈折率差を $\Delta 1$ 、前記中間層の比屈折率差を $\Delta 2$ 、前記トレンチ層の比屈折率差を $\Delta 3$ とすると、 $\Delta 1 > \Delta 2 > \Delta 3$ かつ $0 > \Delta 3$ が成り立ち、 $\Delta 1$ が0.34%以上0.37%以下であり、 $|\Delta 3|$ が0.1%以上0.25%以下であり、 $\Delta 1 \times |\Delta 3|$ が0.08%²以下であり、波長1310nmにおけるモードフィールド径が $8.8\mu\text{m}$ 以上であり、波長1550nmにおける伝送損失が0.195dB/km以下である
- ことを特徴とする光ファイバ。
- [請求項2] $|\Delta 3|$ が0.1%以上0.20%以下であることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。
- [請求項3] $\Delta 2$ が-0.04%以上0.04%以下であり、前記中心コア部のコア径を $2a$ 、前記トレンチ層の内径を $2b$ 、外径を $2c$ としたときに、 b/a が1.8以上3.6以下であり、 c/a が3.2以上5.2以下であることを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ。
- [請求項4] 実効カットオフ波長が1260nm以下であることを特徴とする請求項1～3のいずれか一つに記載の光ファイバ。
- [請求項5] 前記中心コア部のコア径は、実効カットオフ波長が1150nm以上1260nm以下になるように設定されていることを特徴とする請

求項 1～4 のいずれか一つに記載の光ファイバ。

[請求項6] 波長 1310 nm におけるモードフィールド径が $9.5 \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 1～4 のいずれか一つに記載の光ファイバ。

[請求項7] 直径 20 mm で曲げた場合の波長 1550 nm における曲げ損失が 1.59 dB/m 以下であることを特徴とする請求項 1～6 のいずれか一つに記載の光ファイバ。

[請求項8] 零分散波長が 1300 nm 以上 1324 nm 以下あり、前記零分散波長での分散スロープが $0.092 \text{ ps}^2/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする請求項 1～7 のいずれか一つに記載の光ファイバ。

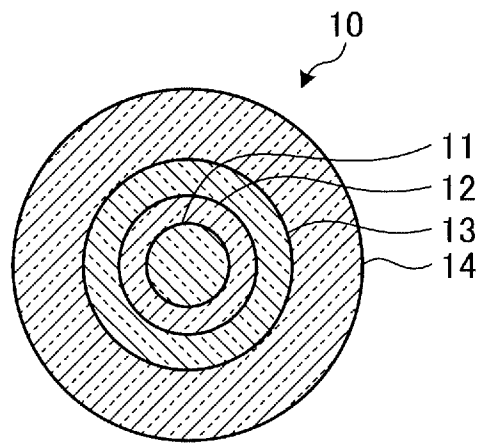
[請求項9] 請求項 1～8 のいずれか一つに記載の光ファイバの製造方法であって、

光ファイバ母材を製造する工程と、

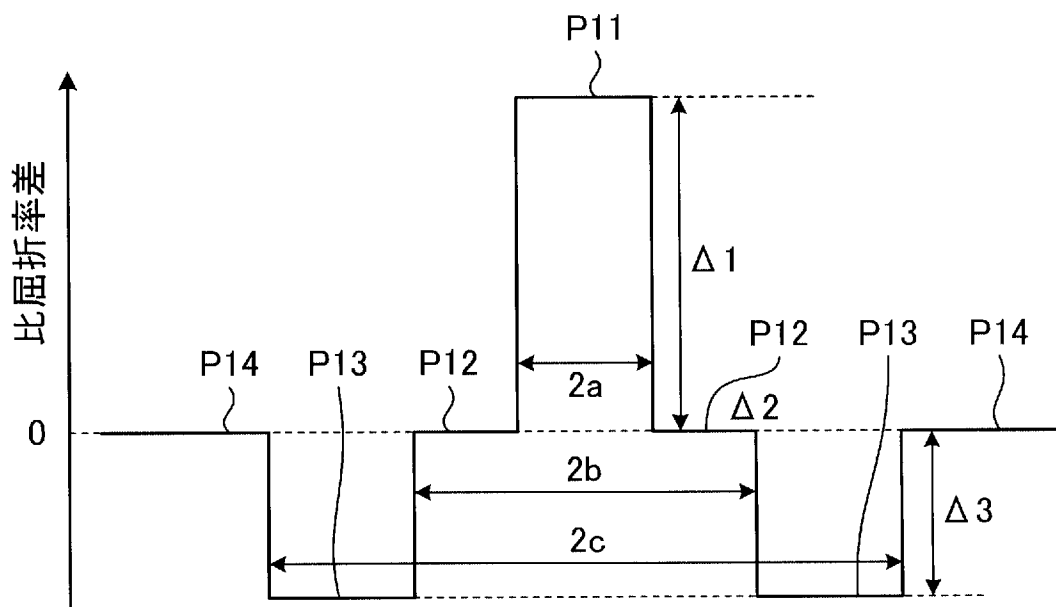
前記光ファイバ母材を加熱溶融して線引きして前記光ファイバを製造する工程と、

を含み、前記光ファイバ母材を製造する工程において、気相軸付法を用いて、少なくとも前記中心コア部、前記中間層、前記トレンチ層、および前記クラッド部の一部となる部分を形成することを特徴とする光ファイバの製造方法。

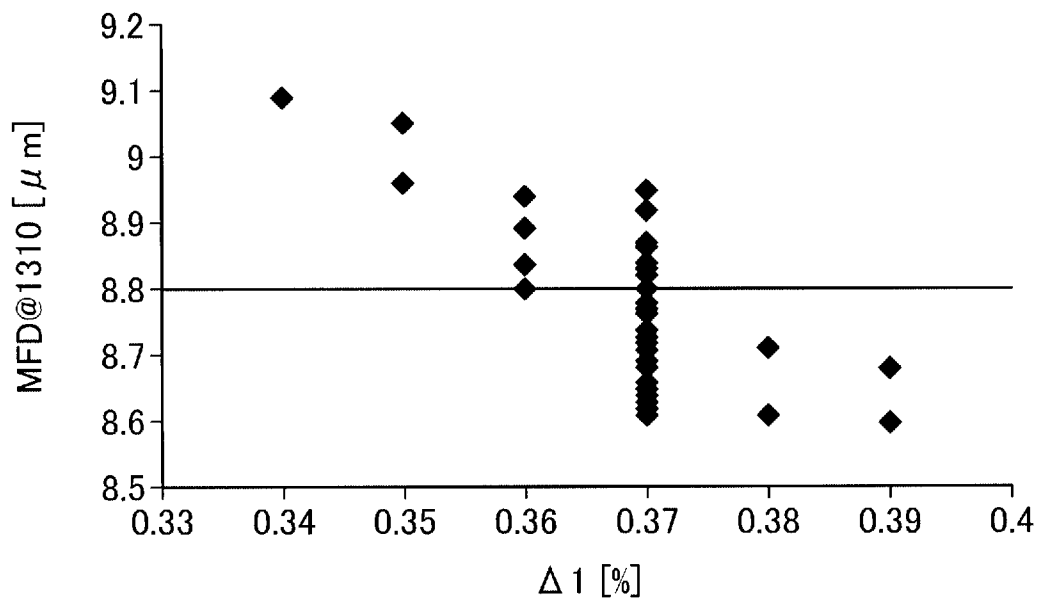
[图1]



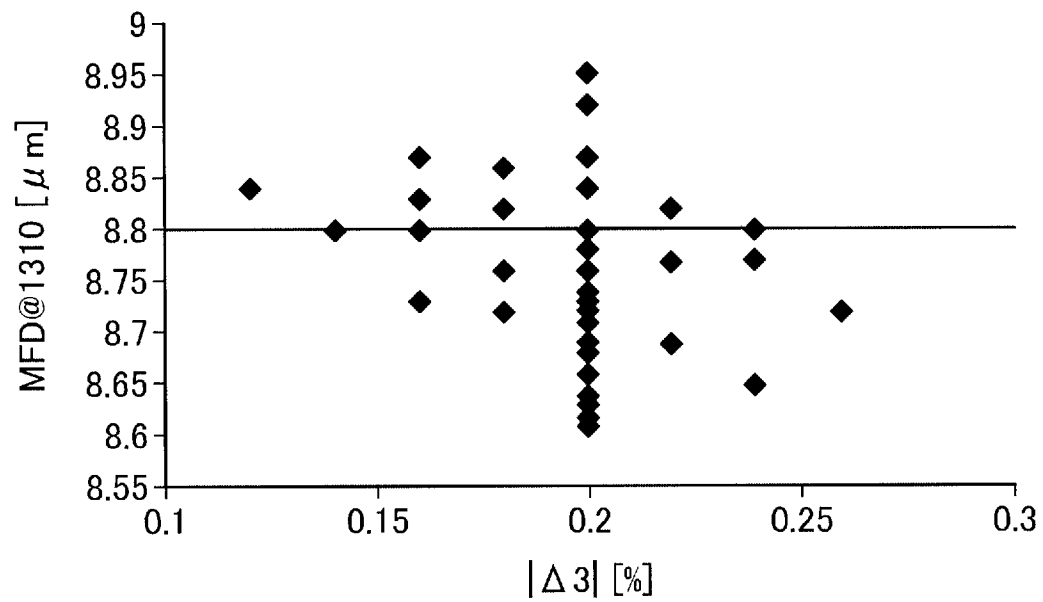
[图2]



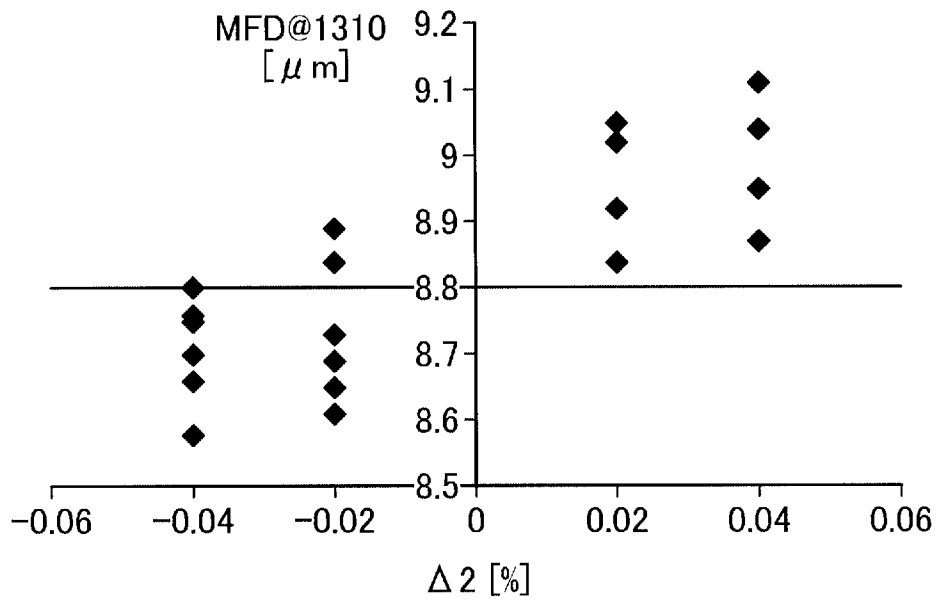
[図3]



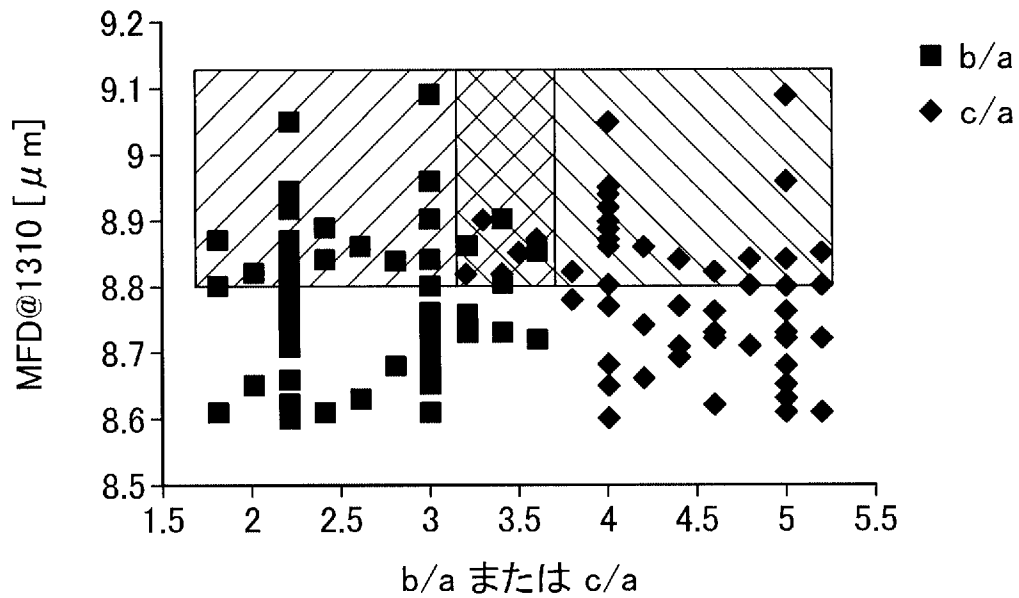
[図4]



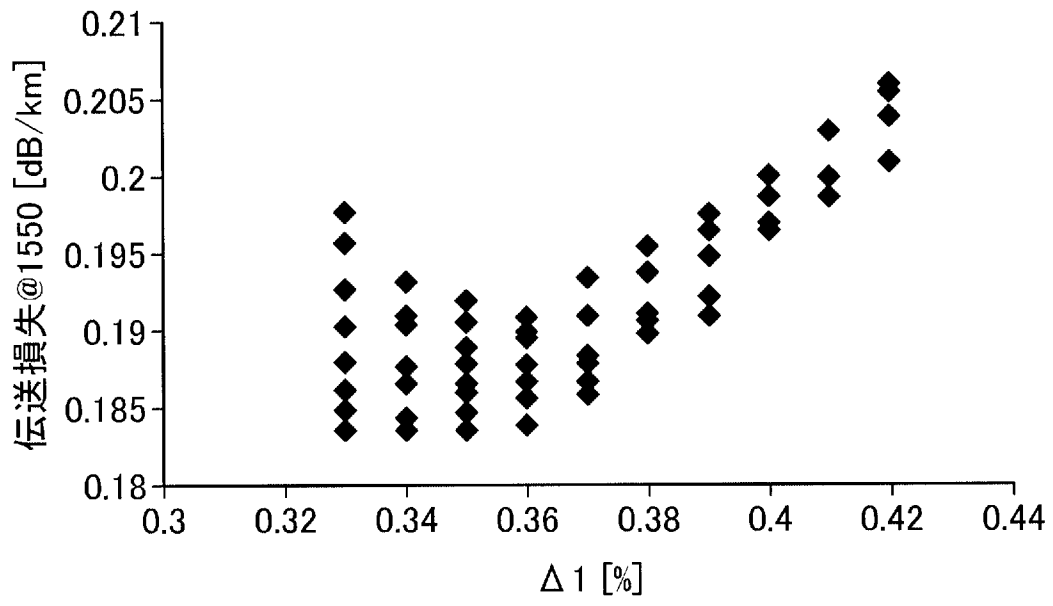
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/006410

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 C03B 37/075 (2006.01) i; G02B 6/036 (2006.01) i
 FI: G02B6/036; C03B37/075 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)
 C03B37/075; G02B6/036

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	1971-2020
Registered utility model specifications of Japan	1996-2020
Published registered utility model applications of Japan	1994-2020

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.
A	JP 2010-503019 A (CORNING INC.) 28.01.2010 (2010-01-28) paragraphs [0055]-[0056], [0062], fig. 1	1-9
A	WO 2004/092794 A1 (FUJIKURA LTD.) 28.10.2004 (2004-10-28) page 14, line 6 to page 21, line 16, fig. 1	1-9
A	WO 2017/172714 A1 (CORNING INCORPORATED) 05.10.2017 (2017-10-05) paragraph [0058], fig. 3-5	1-9
A	JP 2014-10412 A (HITACHI CABLE, LTD.) 20.01.2014 (2014-01-20) entire text, all drawings	1-9
A	JP 2011-203552 A (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORP.) 13.10.2011 (2011-10-13) entire text, all drawings	1-9
A	WO 2010/093187 A2 (LS CABLE LTD.) 19.08.2010 (2010-08-19) entire text, all drawings	1-9

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 10 April 2020 (10.04.2020)	Date of mailing of the international search report 28 April 2020 (28.04.2020)
---	--

Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/006410

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 104316994 A (YANGTZE OPTICAL FIBRE AND CABLE JOINT STOCK UNITED COMPANY) 28.01.2015 (2015-01-28) entire text, all drawings	1-9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/006410

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
JP 2010-503019 A	28 Jan. 2010	US 2008/0056654 A1 paragraphs [0058]- [0059], [0065], fig. 1 WO 2008/027351 A2 EP 2057494 A2 KR 10-2009-049612 A CN 101523259 A	
WO 2004/092794 A1	28 Oct. 2004	US 2006/0039665 A1 paragraphs [0079]- [0092], fig. 1 EP 1657575 A1 KR 10-2006-0009839 A CN 1768282 A	
WO 2017/172714 A1	05 Oct. 2017	JP 2019-511751 A US 2017/0285260 A1 EP 3436856 A1 CN 109121432 A	
JP 2014-10412 A	20 Jan. 2014	CN 103529511 A	
JP 2011-203552 A	13 Oct. 2011	(Family: none)	
WO 2010/093187 A2	19 Aug. 2010	KR 10-2010-0091710 A CN 102317826 A	
CN 104316994 A	28 Jan. 2015	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） C03B 37/075(2006.01)i; G02B 6/036(2006.01)i FI: G02B6/036; C03B37/075 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）） C03B37/075; G02B6/036 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 - 2020年 日本国実用新案登録公報 1996 - 2020年 日本国登録実用新案公報 1994 - 2020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 2010-503019 A (コーニング インコーポレイテッド) 28.01.2010 (2010 - 01 - 28) 段落 [0055] - [0056] , [0062] , 第1図	1-9
A	WO 2004/092794 A1 (株式会社フジクラ) 28.10.2004 (2004 - 10 - 28) 第14頁第6行-第21頁16行, 第1図	1-9
A	WO 2017/172714 A1 (CORNING INCORPORATED) 05.10.2017 (2017 - 10 - 05) 段落 [0058] , 第3-5図	1-9
A	JP 2014-10412 A (日立電線株式会社) 20.01.2014 (2014 - 01 - 20) 全文, 全図	1-9
A	JP 2011-203552 A (日本電信電話株式会社) 13.10.2011 (2011 - 10 - 13) 全文, 全図	1-9
A	WO 2010/093187 A2 (LS CABLE LTD.) 19.08.2010 (2010 - 08 - 19) 全文, 全図	1-9
A	CN 104316994 A (YANGTZE OPTICAL FIBRE AND CABLE JOINT STOCK LIMITED COMPANY) 28.01.2015 (2015 - 01 - 28) 全文, 全図	1-9
<input 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 “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 10.04.2020	国際調査報告の発送日 28.04.2020	
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
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/006410

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
JP	2010-503019	A	28.01.2010	US 2008/0056654	A1	
				段落 [0058] - [0059] , [0065] , 第1図		
				WO 2008/027351	A2	
				EP 2057494	A2	
				KR 10-2009-0049612	A	
				CN 101523259	A	

WO	2004/092794	A1	28.10.2004	US 2006/0039665	A1	
				段落 [0079] - [0092] , 第1図		
				EP 1657575	A1	
				KR 10-2006-0009839	A	
				CN 1768282	A	

WO	2017/172714	A1	05.10.2017	JP 2019-511751	A	
				US 2017/0285260	A1	
				EP 3436856	A1	
				CN 109121432	A	

JP	2014-10412	A	20.01.2014	CN 103529511	A	

JP	2011-203552	A	13.10.2011	(ファミリーなし)		

WO	2010/093187	A2	19.08.2010	KR 10-2010-0091710	A	
				CN 102317826	A	

CN	104316994	A	28.01.2015	(ファミリーなし)		
