

(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
2012年9月20日(20.09.2012)

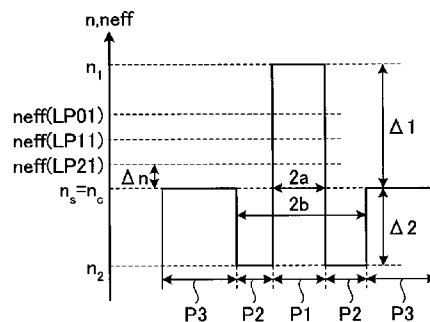


(10) 国際公開番号
WO 2012/124816 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/036 (2006.01) G01M 11/02 (2006.01)
 - (21) 国際出願番号: PCT/JP2012/057039
 - (22) 国際出願日: 2012年3月19日(19.03.2012)
 - (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 2011-059580 2011年3月17日(17.03.2011) JP
 - (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 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; および
 - (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 武笠 和則(MUKASA, Kazunori) [JP/JP]; 〒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: 酒井 宏明, 外(SAKAI, Hiroaki et al.); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目2番5号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).
- 添付公開書類:
— 国際調査報告(条約第21条(3))

(54) Title: OPTICAL FIBER, LIGHT TRANSMISSION SYSTEM, AND MEASUREMENT METHOD FOR OPTICAL FIBER
(54) 発明の名称: 光ファイバ、光伝送システム、および光ファイバの測定方法

[図2]



(57) Abstract: Provided is an optical fiber which comprises a core part and a cladding part that is formed on the exterior periphery of the core part and has a lower refractive index than the maximum refractive index of the core part. At a wavelength of 1550 nm the optical fiber has the following characteristics: an effective core cross-sectional area in a base propagation mode of at least 120 μm²; an effective core cross-sectional area in a first higher-order propagation mode of at least 150 μm²; an effective core cross-sectional area in a second higher-order propagation mode of at least 180 μm²; an effective refractive index in the second higher-order propagation mode that is at least 0.0002 greater than the refractive index of the cladding part; and an effective refractive index in a third higher-order propagation mode that is less than the refractive index of the cladding part.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2012/124816 A1



コア部と、前記コア部の外周に形成され該コア部の最大屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とを備え、波長1550nmにおける特性は、基底伝搬モードの有効コア断面積が $120\ \mu\text{m}^2$ 以上であり、第1高次伝搬モードの有効コア断面積が $150\ \mu\text{m}^2$ 以上であり、第2高次伝搬モードの有効コア断面積が $180\ \mu\text{m}^2$ 以上であり、かつ該第2高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも0.0002以上大きく、第3高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも小さい光ファイバである。

明 細 書

発明の名称：

光ファイバ、光伝送システム、および光ファイバの測定方法

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバ、光伝送システム、および光ファイバの測定方法に関するものである。

背景技術

[0002] 近年のインターネットトラヒックの劇的な増大に伴い、将来的な伝送容量の不足が予想されている。これを解決する方法として、従来用いられていた光ファイバの基底伝搬モードに加え、より高次の伝搬モードを光伝送に用いるモード多重伝送技術が開示されている（非特許文献1、2参照）。また、より高品質な光伝送のために、光ファイバの有効コア断面積（ A_{eff} ）を拡大して、光ファイバ中での非線形光学現象の発生を抑制することも重要である（非特許文献3、4参照）。

先行技術文献

非特許文献

[0003] 非特許文献1：C.Koebele, M.Salsi, G.Charlet, S.Bigo "Nonlinear Effects in Long-Haul Transmission over Bimodal Optical Fiber," ECOC2010、Mo.2.C.6

非特許文献2：Bernd Franz, Detlef Suikat, Roman Dischler, Fred Buchali, Henning Buelow "High Speed OFDM Data Transmission Over 5 km GI-Multimode Fiber Using Spatial Multiplexing With 2x4 MIMO Processing," ECOC2010、Tu.3.C.4

非特許文献3：Marianne Bigot-Astruc, Frans Gooijer, Nelly Montaigne, Pierre Sillard, "Trench-Assisted Profiles for Large-Effective-Area Single-Mode Fibers," ECOC2008、Mo.4.B.1

非特許文献4：Yoshinori Yamamoto, Masaaki Hirano, Kazuya Kuwahara

, Takashi Sasaki "OSNR-Enhancing Pure-Silica-Core Fiber with Large Effective Area and Low Attenuation," OFC/NFOEC2010, OTuI2

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、光ファイバの有効コア断面積を拡大すると、曲げ損失が大きくなってしまふという問題がある。特に、光ファイバの基底および高次の伝搬モードを光伝送に用いる場合においては、使用する各伝搬モードに対して曲げ損失の問題が生じることになる。

[0005] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、光ファイバの基底および高次の伝搬モードを光伝送に用いる場合においても、使用する各伝搬モードにおいて有効コア断面積が大きくかつ曲げ損失が小さい光ファイバ、光伝送システム、および光ファイバの測定方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明に係る光ファイバは、コア部と、前記コア部の外周に形成され該コア部の最大屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とを備え、波長1550nmにおける特性は、基底伝搬モードの有効コア断面積が $120\mu\text{m}^2$ 以上であり、第1高次伝搬モードの有効コア断面積が $150\mu\text{m}^2$ 以上であり、第2高次伝搬モードの有効コア断面積が $180\mu\text{m}^2$ 以上であり、かつ該第2高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも0.0002以上大きく、第3高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも小さいことを特徴とする。

[0007] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記第2高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも0.0005以上大きいことを特徴とする。

[0008] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記第1高次伝搬モードはLP11モードであることを特徴とする。

[0009] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記第2高次伝

搬モードはLP21モードであることを特徴とする。

[0010] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記第3高次伝搬モードはLP02モードであることを特徴とする。

[0011] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記コア部は、前記最大屈折率を有する中心コア部と、前記中心コア部の外周に形成され前記クラッド部の屈折率よりも低い屈折率を有する外周コア部とからなることを特徴とする。

[0012] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記クラッド部に対する前記中心コア部の比屈折率差 $\Delta 1$ が0.36%以上であり、前記クラッド部に対する前記外周コア部の比屈折率差 $\Delta 2$ が-0.05%以下であり、前記中心コア部の直径が14.90 μm ~17.30 μm であり、前記中心コア部の直径に対する前記外周コア部の外径の比が2.0以上であることを特徴とする。

[0013] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記比屈折率差 $\Delta 1$ が0.41%以上であることを特徴とする。

[0014] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記比屈折率差 $\Delta 1$ が0.48%以下であることを特徴とする。

[0015] また、本発明に係る光ファイバは、上記の発明において、前記クラッド部の外径が125 μm より大きいことを特徴とする。

[0016] また、本発明に係る光伝送システムは、上記の発明の光ファイバを備えることを特徴とする。

[0017] また、本発明に係る光ファイバの測定方法は、所定の波長の測定光をマルチモードで伝搬する被測定光ファイバの一方の端部に、前記測定光をシングルモードで伝搬する測定用光ファイバを、前記被測定光ファイバのコア部の中心軸と前記測定用光ファイバのコア部の中心軸とが所定のオフセットだけずれた状態になるように接続する接続工程と、前記測定用光ファイバから前記測定光を前記被測定光ファイバに入力して伝搬させ、前記被測定光ファイバのもう一方の端部から出力された前記測定光の特性を測定する測定工程と

、を含み、前記測定光が前記被測定光ファイバを所定の伝搬モードで伝搬するように前記オフセットを設定することを特徴とする。

[0018] また、本発明に係る光ファイバの測定方法は、上記の発明において、前記測定用光ファイバのモードフィールド径は前記被測定光ファイバの基底伝搬モードのモードフィールド径の $1/2$ 以下であることを特徴とする。

[0019] また、本発明に係る光ファイバの測定方法は、上記の発明において、前記測定用光ファイバのモードフィールド径は $4\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする。

発明の効果

[0020] 本発明によれば、使用する各伝搬モードにおいて有効コア断面積が大きくかつ曲げ損失が小さ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

[0021] [図1]図1は、実施の形態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分布を示す図である。

[図3A]図3Aは、図1に示す光ファイバの基底モード(LP01モード)のフィールド分布(電界のE_x成分の強度分布)を示す図である。

[図3B]図3Bは、図1に示す光ファイバの基底モード(LP01モード)のフィールド分布(ベクトル電界分布)を示す図である。

[図4A]図4Aは、図1に示す光ファイバの第1高次モード(LP11モード)のフィールド分布(電界のE_x成分の強度分布)を示す図である。

[図4B]図4Bは、図1に示す光ファイバの第1高次モード(LP11モード)のフィールド分布(ベクトル電界分布)を示す図である。

[図5A]図5Aは、図1に示す光ファイバの第1高次モード(LP21モード)のフィールド分布(電界のE_x成分の強度分布)を示す図である。

[図5B]図5Bは、図1に示す光ファイバの第1高次モード(LP21モード)のフィールド分布(ベクトル電界分布)を示す図である。

[図6A]図6Aは、図1に示す光ファイバの第1高次モード(LP02モード)のフィールド分布(電界のE_x成分の強度分布)を示す図である。

[図6B]図6Bは、図1に示す光ファイバの第1高次モード（LP02モード）のフィールド分布（ベクトル電界分布）を示す図である。

[図7]図7は、計算例1-1~1-6、2-1~2-4、3-1~3-8に係る光ファイバの構造パラメータを示す図である。

[図8]図8は、計算例1-1~1-6、2-1~2-4、3-1~3-8に係る光ファイバの基底（LP01モード）およびLP11モードの光学特性を示す図である。

[図9]図9は、計算例1-1~1-6、2-1~2-4、3-1~3-8に係る光ファイバのLP21モードの光学特性およびLP02モードの実効屈折率を示す図である。

[図10]図10は、 $\Delta 2$ の値を変えた場合の $\Delta 1$ とLP21モード、LP02モードの実効屈折率との関係を示す図である。

[図11]図11は、 $\Delta 2$ と、LP21モードの実効屈折率とLP02モードの実効屈折率との差との関係、および、 $\Delta 2$ とLP21モードの曲げ損失との関係を示す図である。

[図12]図12は、実施例1の光ファイバの構造パラメータの測定値を示す図である。

[図13]図13は、実施例1の光ファイバの各伝搬モードの光学特性の計算値を示す図である。

[図14]図14は、光ファイバの光学特性の測定方法を説明する図である。

[図15]図15は、実施例1の光ファイバの光学特性の測定結果を示す図である。

[図16]図16は、オフセットを $0\mu\text{m}$ とした場合の、実施例1の光ファイバから出力された光のフィールド分布を示す図である。

[図17]図17は、オフセットを $5\mu\text{m}$ とした場合の、実施例1の光ファイバから出力された光のフィールド分布を示す図である。

[図18]図18は、オフセットを $9\mu\text{m}$ とした場合の、実施例1の光ファイバから出力された光のフィールド分布を示す図である。

[図19]図19は、実施の形態2に係る光伝送システムの模式的な構成図である。

発明を実施するための形態

[0022] 以下に、図面を参照して本発明に係る光ファイバの実施の形態を詳細に説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、曲げ損失とは、所定の直径（曲げ径）で曲げたときのマクロの曲げ損失を意味する。また、本明細書において特に定義しない用語については、ITU-T（国際電気通信連合）G.650.1における定義、測定方法に従うものとする。

[0023]（実施の形態1）

図1は、本発明の実施の形態1に係る光ファイバの模式的な断面図である。図1に示すように、この光ファイバ10は、中心に位置するコア部11と、コア部11の外周に形成されたクラッド部12とを備える。

[0024] コア部11は、中心コア部111と、中心コア部111の外周に形成された外周コア部112とを備える。中心コア部111は、ゲルマニウム（Ge）等の屈折率を高めるドーパントを含む石英ガラスからなる。外周コア部112は、フッ素（F）等の屈折率を低めるドーパントを含む石英ガラスからなる。クラッド部12は、屈折率を調整するドーパントを含まない純石英ガラスからなる。その結果、中心コア部111はコア部11における最大屈折率を有し、かつクラッド部12よりも屈折率が高くなっている。また、外周コア部112はクラッド部12よりも屈折率が低くなっている。

[0025] 図2は、図1に示す光ファイバ10の屈折率分布を示す図である。図2において、領域P1は中心コア部111の屈折率分布を示している。領域P2は外周コア部112の屈折率分布を示している。領域P3はクラッド部12の屈折率分布を示している。このように、この光ファイバ10は、外周コア部112の屈折率がクラッド部12の屈折率よりも低い、いわゆるW型の屈折率分布を有している。

[0026] ここで、図2に示すように、クラッド部12に対する中心コア部111の

比屈折率差を $\Delta 1$ とし、クラッド部12に対する外周コア部112の比屈折率差を $\Delta 2$ とする。比屈折率差 $\Delta 1$ 、 $\Delta 2$ は、以下の式(1)、(2)によって定義する。

$$[0027] \quad \Delta 1 = \{ (n_1 - n_c) / n_c \} \times 100 \quad [\%] \quad \dots \quad (1)$$

$$\Delta 2 = \{ (n_2 - n_c) / n_c \} \times 100 \quad [\%] \quad \dots \quad (2)$$

ただし、 n_1 は中心コア部111の最大屈折率を示し、 n_2 は外周コア部112の屈折率を示し、 n_c はクラッド部12の屈折率を示す。なお、本実施の形態1では、クラッド部12は純石英ガラスからなるので、 n_c は石英ガラスの屈折率 n_s (波長1550nmで1.44439)に等しい。

[0028] また、図2に示すように、中心コア部111の直径を $2a$ 、外周コア部112の外径を $2b$ とする。また、外周コア部外径 $2b$ と中心コア部直径 $2a$ との比である b/a を R_{a2} とする。なお、中心コア部直径 $2a$ は、中心コア部111と外周コア部112との境界において比屈折率差 $\Delta 1$ が0%となる位置での径とする。また、外周コア部外径 $2b$ は、外周コア部112とクラッド部12との境界において、比屈折率差が比屈折率差 $\Delta 2$ の $1/2$ の値となる位置での径とする。

[0029] ここで、図2に示すように、本実施の形態1に係る光ファイバ10の基底伝搬モードであるLP01モードの実効屈折率を $n_{eff}(LP01)$ とし、第1高次伝搬モードであるLP11モードの実効屈折率を $n_{eff}(LP11)$ とし、第2高次伝搬モードであるLP21モードの実効屈折率を $n_{eff}(LP21)$ とする。この光ファイバ10では、 $n_{eff}(LP21)$ とクラッド部12の屈折率 n_c との差を Δn とすると、 Δn を0.0002以上となるようにしている。

[0030] このように、この光ファイバ10では、第2高次伝搬モードであるLP21モードの実効屈折率 $n_{eff}(LP21)$ を、クラッド部12の屈折率 n_c よりも0.0002以上大きくしている。これによって、この光ファイバ10は、波長1550nmの特性として、LP01モードの有効コア断面積が $120 \mu m^2$ 以上、かつLP11モードの有効コア断面積が $150 \mu m^2$ 以上、

LP21モードの有効コア断面積が $180\mu\text{m}^2$ 以上と大きくなり、かつLP01モード、LP11モード、およびLP21モードの曲げ損失が小さくなる。

[0031] なお、 $n_{\text{eff}}(\text{LP21})$ を n_c よりも0.0002以上大きくするには、たとえば $\Delta 1$ を0.42%、 $\Delta 2$ を-0.10%、 $2a$ 、 $2b$ をそれぞれ $16.20\mu\text{m}$ 、 $64.80\mu\text{m}$ （すなわち $Ra2$ を4.0）にすればよい。このように光ファイバ10の構造パラメータを設定すると、 $n_{\text{eff}}(\text{LP21})$ は1.44492となり、 n_c よりも0.0005大きくなる。このとき、波長 1550nm の特性として、LP01モードの有効コア断面積が $150.4\mu\text{m}^2$ 、曲げ損失が $4.16 \times 10^{-8}\text{dB/m}$ 、LP11モードの有効コア断面積が $213.9\mu\text{m}^2$ 、曲げ損失が $3.12 \times 10^{-6}\text{dB/m}$ 、LP21モードの有効コア断面積が $248.1\mu\text{m}^2$ 、曲げ損失が 2.25dB/m となり、所望の特性が得られる。なお、曲げ損失は曲げ径が 20mm の場合である。

[0032] また、光ファイバ10の構造パラメータを上記のように設定した場合には、第3高次モードであるLP02の波長 1550nm における実効屈折率 $n_{\text{eff}}(\text{LP02})$ は、1.44427と石英ガラスの屈折率(1.44439)よりも小さくなる。その結果、光ファイバ10では、波長 1550nm においてLP02モードは漏洩モードとなり、LP01モード、LP11モード、LP21モードの3モードのみが伝搬モードとなる。

[0033] ここで、図3A、Bは、光ファイバ10の基底モード(LP01モード)のフィールド分布を示す図である。図4A、Bは、光ファイバ10の第1高次モード(LP11モード)のフィールド分布を示す図である。図5A、Bは、光ファイバ10の第1高次モード(LP21モード)のフィールド分布を示す図である。図6A、Bは、光ファイバ10の第1高次モード(LP02モード)のフィールド分布を示す図である。たとえば、図3Aは電界のE_x成分の強度分布を示しており、図3Bは、ベクトル電界分布を示している。他の図4A、B~図6A、Bについても同様である。

[0034] 図3 A、Bに示すように、LP01モードは中心に高強度のフィールド分布を有するガウシアン形状となっている。また、図4 A、B、図5 A、Bに示すように、LP11モードとLP21モードは、中心にフィールド分布を有さず、その周囲で高強度のフィールド分布となっている。ただし、LP11モードとLP21モードとでは、フィールド分布の形状は互いに異なっている。したがって、LP01モード、LP11モード、およびLP21モードは、お互いの干渉が抑制される。一方、図6 A、Bに示すように、LP02モードは中心およびその周囲の両方でフィールドの強度が高いため、他のLP01モード、LP11モード、LP21モードの全てと干渉するおそれがある、また、これらの4つのモードが光ファイバを伝搬してきた場合でも、LP02モードだけを選択的に取り出すことは困難である。

[0035] これに対して、本実施の形態1の光ファイバ10では、LP01モード、LP11モード、LP21モードの3モードのみが伝搬し、LP02モードは漏洩モードであるので、伝搬モード間の干渉が複雑にならず好ましい。したがって、光ファイバ10に3つの信号光を入射する際に、3つの信号光が3つの伝搬モードの各々で伝搬するように入射して伝搬させれば、互いに干渉が少ない3モード光伝送が可能になる。また、LP11、LP21の2モードを1つのモード群として取り扱っても良い。

[0036] 以上説明したように、本実施の形態1に係る光ファイバ10は、使用するLP01モード、LP11モード、LP21モードについて、有効コア断面積が大きくかつ曲げ損失が小さく、かつ各伝搬モード間の干渉がきわめて少ないものとなる。

[0037] つぎに、有限要素法によるシミュレーションを用いた計算結果を参照して、本実施の形態1に係る光ファイバの好ましい設計についてより具体的に説明する。

[0038] 図7は、計算例1-1~1-6、2-1~2-4、3-1~3-8に係る光ファイバの構造パラメータを示す図である。図8は、計算例1-1~1-6、2-1~2-4、3-1~3-8に係る光ファイバの基底（LP01モ

ード) およびLP11モードの光学特性を示す図である。図9は、計算例1-1~1-6、2-1~2-4、3-1~3-8に係る光ファイバのLP21モードの光学特性およびLP02モードの実効屈折率を示す図である。

[0039] 計算例1-1~1-6は、 $\Delta 2$ を-1.0%に固定し、 $R a 2$ および $\Delta 1$ を変化させて計算したものである。計算例2-1~2-4は、 $R a 2$ を3.0に固定し、 $\Delta 1$ および $\Delta 2$ を変化させて計算したものである。計算例3-1~3-8は、 $R a 2$ および $\Delta 1$ をそれぞれ2.0、0.43%に固定し、 $\Delta 2$ を変化させて計算したものである。

[0040] 図8、図9において、「MFD」はモードフィールド径を意味し、「 n_{eff} 」は実効屈折率を意味し、「 Δn 」はLP21モードの n_{eff} とクラッド部の屈折率である n_c との差を意味し、「 A_{eff} 」は有効コア断面積を意味する。また、曲げ損失等の値において、「E」は10のべき乗を表す記号であり、たとえば「 $2.73E-06$ 」は「 2.73×10^{-6} 」を意味する。また、光学特性については、いずれも波長1550nmでの値である。

[0041] 図7~図9に示すように、光ファイバの比屈折率差 $\Delta 1$ が0.36%以上であり、比屈折率差 $\Delta 2$ が-0.5%以下であり、中心コア部直径 $2a$ が $14.90 \mu m \sim 17.30 \mu m$ であり、比 $R a 2$ が2.0以上であれば、LP21モードの n_{eff} はクラッド部の屈折率である n_c (=1.44439)よりも0.0002以上大きくなる。その結果、LP01モードの有効コア断面積が $120 \mu m^2$ 以上であり、LP11モードの有効コア断面積が $150 \mu m^2$ 以上であり、LP21モードの有効コア断面積が $180 \mu m^2$ 以上であり、かつ各伝搬モードでの曲げ損失が小さい光ファイバを実現できる。なお、曲げ損失については、LP01モードの曲げ損失が1dB/m以下であり、および/またはLP11モードの曲げ損失が10dB/m以下であり、および/またはLP21モードの曲げ損失が200dB/m以下であるような構造パラメータの組み合わせを選択することがより好ましい。

[0042] また、計算例1-1、1-6、2-3、3-1~3-8に示すように、比屈折率差 $\Delta 1$ が0.41%以上であれば、LP21モードの n_{eff} をクラッド

部の n_c よりも 0.0005 以上大きくできる。これによって、LP21 モードはより強く光ファイバのコア部に閉じ込められるので、曲げ損失をより小さくすることができるのでより好ましい。さらに、 $\Delta 1$ が 0.48% 以下であれば、LP02 モードの n_{eff} をクラッド部の n_c よりも小さくできる。LP02 モードの n_{eff} が n_c よりも小さくなると、漏れ損失が急激に増加する。これによって、光が LP02 モードで光ファイバを伝搬することをより確実に抑制でき、より確実に 3 モードでの光伝送を実現できるので好ましい。

[0043] つぎに、光ファイバの比屈折率差 $\Delta 2$ が LP21 モードおよび LP01 モードに与える影響について説明する。図 10 は、比屈折率差 $\Delta 2$ の値を変えた場合の比屈折率差 $\Delta 1$ と LP21 モードおよび LP02 モードの実効屈折率 n_{eff} との関係を示す図である。 $\Delta 2$ は、-0.2%、-0.1%、または 0% としている。他の構造パラメータについては、 $Ra2$ を 3.0 に固定し、 $2a$ を $13.2 \mu\text{m} \sim 17.0 \mu\text{m}$ のいずれかの値、 $2b$ を $39.6 \mu\text{m} \sim 51.0 \mu\text{m}$ のいずれかの値、 $\Delta 1$ を 0.29%~0.51% のいずれかの値としている。図 10 の凡例において、たとえば「-0.2 LP21」とは、 $\Delta 2$ が -0.2% の場合の LP21 モードを意味する。

[0044] 図 10 に示すように、いずれの伝搬モード、 $\Delta 2$ の場合においても、 $\Delta 1$ を大きくするにつれて n_{eff} は大きくなる。また、同じ $\Delta 2$ の場合の LP21 モードと LP02 モードとの n_{eff} の差を比較すると、 $\Delta 2$ を小さくするにつれてその差は大きくなる。

[0045] 図 11 は、 $\Delta 2$ と、LP21 モードの実効屈折率と LP02 モードの実効屈折率との差 ($n_{eff}(\text{LP21}) - n_{eff}(\text{LP02})$) との関係、および、 $\Delta 2$ と LP21 モードの曲げ損失との関係を示す図である。なお、他の構造パラメータについては、 $Ra2$ を 2.0 に、 $\Delta 1$ を 0.43% に固定し、 $2a$ を $16.3 \mu\text{m} \sim 17.3 \mu\text{m}$ のいずれかの値、 $2b$ を $32.6 \mu\text{m} \sim 34.6 \mu\text{m}$ のいずれかの値としている。

[0046] 図 11 に示すように、 $\Delta 2$ が小さいほうが $n_{eff}(\text{LP21}) - n_{eff}(\text{LP02})$ が大きい。 $n_{eff}(\text{LP21}) - n_{eff}(\text{LP02})$ が大きい場合、

LP21モードの光をより強く光ファイバのコア部に閉じ込めて伝搬させるとともにLP02モードの光を漏洩させることが、より容易に実現でき、かつこれを実現するための他の構造パラメータの許容範囲も広がる。また、LP21モードの曲げ損失についても、 $\Delta 2$ が小さいほうが光の閉じ込めが強くなるため曲げ損失が小さくなる。

[0047] したがって、 $\Delta 2$ は小さいほうが好ましい。ただし、 $\Delta 2$ を小さくすると伝送損失が増加する場合があります、また $\Delta 2$ を小さくする効果が飽和するので、これを考慮して $\Delta 2$ を適切な値に設定することが好ましい。

[0048] 上記では光ファイバの比屈折率差 $\Delta 2$ がLP21モードおよびLP01モードに与える影響について説明したが、 $R a 2$ についても同様の説明が成り立つ。すなわち、 $R a 2$ が大きい方が、 $n_{\text{eff}}(\text{LP}21) - n_{\text{eff}}(\text{LP}02)$ が大きくなる。その結果、LP21モードの光をより強く光ファイバのコア部に閉じ込めて伝搬させるとともにLP02モードの光を漏洩させることが、より容易に実現でき、かつこれを実現するための他の構造パラメータの許容範囲も広がる。また、LP21モードの曲げ損失についても、 $R a 2$ が大きい方が光の閉じ込めが強くなるため曲げ損失が小さくなる。ただし、 $R a 2$ を大きくすると伝送損失が増加する場合があります、また $R a 2$ を大きくする効果が飽和するので、これを考慮して $R a 2$ を適切な値に設定することが好ましい。

[0049] つぎに、本発明の実施例1として、図7の計算例3-2の構造パラメータを設計値として、実施の形態1に従う光ファイバを製造した。図12は、製造した実施例1の光ファイバの構造パラメータの測定値を示す図である。図12に示すように、実施例1の光ファイバは、ほぼ設計通りの構造パラメータを有していた。

[0050] つぎに、図12に示した構造パラメータの測定値を用いて、実施例1の光ファイバの各伝搬モードの特性を計算した。図13は、実施例1の光ファイバの各伝搬モードの光学特性の計算値を示す図である。図13に示すように、LP01モード、LP11モード、LP21モードについては、その実効

屈折率 n_{eff} がクラッド部の屈折率 n_c (波長 1550 nm で 1.44439) よりも大きかった。一方、LP02モードの実効屈折率 n_{eff} はクラッド部の屈折率 n_c よりも小さかった。その結果、LP01モード、LP11モード、LP21モードの漏れによる光損失はきわめて小さいことが推定される。また、LP02モードの漏れによる光損失は他の3モードと比較してきわめて大きいことが推定される。また、LP01モード、LP11モード、LP21モードについては、曲げ損失がきわめて小さいことが確認された。

[0051] つぎに、実施例1の光ファイバの光学特性を測定するために、実施例1の光ファイバに光を入力して伝搬させ、伝搬後に出力された光の特性を測定した。

[0052] 図14は、光ファイバの光学特性の測定方法を説明する図である。本測定方法では、所定の波長の測定光をマルチモードで伝搬する被測定光ファイバである光ファイバ10の一方の端部に、測定光をシングルモードで伝送する測定用光ファイバ20を接続する。測定用光ファイバ20はコア部21とクラッド部22とを備えるものである。接続の際は、光ファイバ10のコア部11の中心軸X1と測定用光ファイバ20のコア部21の中心軸X2とが所定のオフセットOFだけずれた状態になるように接続する。つぎに、測定用光ファイバ20の他の端部に光源を接続する。また、光ファイバ10の他の端部に所望の光学特性を測定するための測定装置を接続する。この状態で、測定用光ファイバ20側から光ファイバ10に光源から出力された測定光L1を入力する。そして、光ファイバ10を伝搬して出力された測定光L2を測定装置にて測定する。

[0053] このとき、オフセットOFをゼロとした場合は、光ファイバ10においては、中心軸X1上にフィールド分布を有するLP01モードが主に励起される。オフセットOFを所定の値にすると、光ファイバ10においては、中心軸X1の周辺にフィールド分布を有するLP11モードおよびLP21モードが主に励起される。また、オフセットOFをゼロと前記所定の値との間の値にすると、光ファイバ10においては、LP01モード、LP11モード

、およびLP21モードが励起される。このように、オフセットOFを適当に設定することによって、光ファイバ10の所望の伝搬モードを励起して光をその伝搬モードで伝搬させることができる。その結果、所望の伝搬モードの光学特性を測定することができる。

[0054] なお、測定用光ファイバ20としては、測定用光ファイバ20のモードフィールド径が、被測定光ファイバである光ファイバ10の基底伝搬モード（LP01モード）のモードフィールド径の1/2以下であれば、基底伝搬モードと高次伝搬モードとを別個に励起することが容易になるので好ましい。測定用光ファイバ20のモードフィールド径としては、たとえば4 μ m以下であることが好ましい。このようなモードフィールド径が小さい光ファイバとしては、公知の高非線形光ファイバを用いることができる。

[0055] 図15は、実施例1の光ファイバの光学特性の測定結果を示す図である。図16は、オフセットを0 μ mとした場合の、実施例1の光ファイバから出力された光のフィールド分布を示す図である。図17は、オフセットを5 μ mとした場合の、実施例1の光ファイバから出力された光のフィールド分布を示す図である。図18は、オフセットを9 μ mとした場合の、実施例1の光ファイバから出力された光のフィールド分布を示す図である。図16～図18において、横軸はコア部の中心軸からの位置を示し、縦軸は任意単位の光強度を示している。また、本測定において実施例1の光ファイバの長さは2mとした。

[0056] 測定用光ファイバとして、モードフィールド径が約4 μ mの高非線形光ファイバを用いた。光学特性として、伝送損失、曲げ損失、有効コア断面積（ A_{eff} ）、偏波モード分散（Polarization Mode Dispersion：PMD）、および波長分散を測定した。伝送損失、有効コア断面積については、波長1.55 μ m、波長1.31 μ mの測定光で測定した。その他の光学特性については波長1.55 μ mの測定光で測定した。また、図16～図18は、波長1.55 μ mの測定光を使用した場合を示している。

[0057] 図16～図18のフィールド分布の形状が示すように、オフセットが0 μ

mの場合は、コア部の中心軸付近に高強度のフィールドを有するLP01モードが主に励起されている。また、オフセットが9 μ mの場合は、コア部の中心軸の周囲に高強度のフィールドを有するLP11モードとLP21モードが主に励起されている。また、オフセットが5 μ mの場合は、LP01モード、LP11モード、およびLP21モードのすべてが励起されている可能性が高いと考えられる。なお、オフセットが5 μ m、9 μ mの場合は高次モードの混在モードとなっていると考えられる。このように、オフセットの大きさを適切に設定することで、所望の伝搬モードを励起させることができる。

[0058] また、実施例1の光ファイバの長さを2.6kmとして、上記のオフセットが9 μ mの状態では波長1.55 μ m(1550nm)の測定を入力し、全長2.6kmを伝搬させた後に出力された光のフィールド分布を測定した。その結果、図18と同様にLP11、LP21モードのフィールド分布のピークが観測された。すなわち、実施例1の光ファイバで3モードの光伝送が可能であることが確認された。

[0059] なお、本実施の形態1に係る光ファイバ10において、クラッド部12の外径を125 μ mより大きくすることによって、マイクロバンド損失を低減することも可能である。ここで、マイクロバンド損失とは、光ファイバに側圧が加えられたときに、光ファイバに微小な曲げが加えられることによる伝送損失の増加量として定義される。クラッド部12の外径を通常の光ファイバのクラッド部の外径である125 μ mより大きくすることで、側圧の影響が光の閉じ込めに与える影響が小さくなるので、マイクロバンド損失を低減することができる。なお、有効コア断面積を拡大した場合に、曲げ損失とともにマイクロバンド損失も大きくなっていく。したがって、曲げ損失が小さい光ファイバ10において、このようにマイクロバンド損失を低減することによって、マイクロバンド損失による有効コア断面積の制限が緩和されるので、有効コア断面積をさらに拡大することができる。

[0060] また、光ファイバ10において、LP01モードは2つの偏波モードが縮

退しており、LP01モードとLP21モードはそれぞれ4つの偏波モードが縮退している。上記の計算は、2つまたは4つの縮退したモードからそれぞれ偏波モードを1つずつ選択して計算を行ったものである。ただし、縮退した偏波モードの光学特性はほぼ同じである。したがって、上記の計算結果は、他の縮退した偏波モードに対しても適用できるので、この計算結果を利用すれば、モード多重だけでなく偏波モード多重をも利用した伝送方式に適した光ファイバを実現することが可能である。

[0061] (実施の形態2)

つぎに、本発明の実施の形態2である光伝送システムについて説明する。図19は、実施の形態2に係る光伝送システムの模式的な構成図である。図19に示すように、この光伝送システム100は、光ファイバ101と、光送信装置102と、光増幅器103と、光受信装置104とを備えている。

[0062] 光ファイバ101は、光送信装置102と光受信装置104とを接続する光伝送路である。光ファイバ101は、たとえば上記実施の形態1に係る光ファイバであり、所定の使用波長帯域の光を複数の伝搬モードで伝搬するものである。

[0063] 光送信装置102は、たとえば半導体レーザ素子である信号光源を備え、光ファイバ101の複数の伝搬モード(たとえばLP01モード、LP11モード、LP21モード)を用いて信号伝送を行うための信号光を出力する。

[0064] 光増幅器103は、光ファイバ101と光ファイバ101の間に介挿されている。光増幅器103は、光ファイバ101の複数の伝搬モードを伝搬する信号光を各伝搬モードごとに増幅することができるように構成されている。なお、各伝搬モードの光のフィールドパターンは、それぞれ異なる。したがって、光増幅器103は、信号光の各伝搬モードを個別に、あるいは同時に増幅することができる。なお、光増幅器103は、伝送距離(使用される光ファイバ101の総距離)によっては設けなくてもよい。

[0065] 光受信装置104は、光ファイバ101を各伝搬モードで伝搬してきた信号光を受信し、信号光を各伝搬モードごとに電気信号に変換する複数の受光

素子と、受光素子に変換した電気信号を処理する信号処理装置とを備えている。

[0066] この光伝送システム100では、複数モードを伝搬することが可能な光ファイバ101を用いて、信号光をモード多重伝送する。したがって、光送信装置102の送信部および光受信装置104の受信部には、各伝搬モードに信号光を結合させるため、あるいは信号光を各伝搬モードに分離して各伝搬モードごとに信号光を受け取るためのモード合分波器が備えられている。この光伝送システム100によれば、伝送容量が大きく、かつ光伝送路を構成する光ファイバにおける非線形光学現象の発生と曲げ損失の影響とが抑制された光伝送システムを実現することができる。

[0067] なお、上記実施の形態では、コア部11近傍の屈折率分布がW型であるが、本発明に係る光ファイバの屈折率分布はこれに限定されず、単峰型プロファイル、階段型プロファイル、セグメントコア型プロファイル、トレンチ型プロファイル、W+サイドコア型プロファイル、リング型プロファイルなどのあらゆる屈折率分布を利用できる。

[0068] また、上記実施の形態では、クラッド部が純石英ガラスからなるが、たとえば中心コア部を純石英ガラスで構成し、外周コア部およびクラッド部を、屈折率を低めるドーパントを含む石英ガラスで構成してもよい。また、上記実施の形態では、光ファイバは石英系ガラス材料からなるが、本発明に係る光ファイバの構成材料はこれに限定されず、他のガラス材料やプラスチック材料等の光ファイバを構成することができる光学材料を適宜利用できる。

[0069] すなわち、波長1550nmにおいて、基底伝搬モードの有効コア断面積が $120\mu\text{m}^2$ 以上であり、第1高次伝搬モードの有効コア断面積が $150\mu\text{m}^2$ 以上であり、第2高次伝搬モードの有効コア断面積が $180\mu\text{m}^2$ 以上かつ実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも0.0002以上大きく、第3高次伝搬モードの実効屈折率がクラッド部の屈折率よりも小さい光ファイバであれば、その屈折率プロファイル、構成材料にかかわらず、本発明の効果を奏するものとなる。

[0070] また、本発明に係る光ファイバで伝送すべき信号光の波長としては、1550nmを含む波長帯、または光ファイバ通信に使用される所望の波長帯を使用することができる。

[0071] また、上記実施の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、上記の実施の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

[0072] 以上のように、本発明に係る光ファイバは、光通信の分野に利用して好適なものである。

符号の説明

- [0073] 10 光ファイバ
11、21 コア部
12、22 クラッド部
20 測定用光ファイバ
100 光伝送システム
101 光ファイバ
102 光送信装置
103 光増幅器
104 光受信装置
111 中心コア部
112 外周コア部
L1、L2 測定光
OF オフセット
P1、P2、P3 領域
X1、X2 中心軸

請求の範囲

- [請求項1] コア部と、前記コア部の外周に形成され該コア部の最大屈折率よりも低い屈折率を有するクラッド部とを備え、
波長1550nmにおける特性は、
基底伝搬モードの有効コア断面積が $120\mu\text{m}^2$ 以上であり、第1高次伝搬モードの有効コア断面積が $150\mu\text{m}^2$ 以上であり、第2高次伝搬モードの有効コア断面積が $180\mu\text{m}^2$ 以上であり、かつ該第2高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも0.0002以上大きく、第3高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも小さいことを特徴とする光ファイバ。
- [請求項2] 前記第2高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも0.0005以上大きい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] 前記第1高次伝搬モードはLP11モード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] 前記第2高次伝搬モードはLP21モード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] 前記第3高次伝搬モードはLP02モード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6] 前記コア部は、前記最大屈折率を有する中心コア部と、前記中心コア部の外周に形成され前記クラッド部の屈折率よりも低い屈折率を有する外周コア部とからなることを特徴とする請求項1～5のいずれか一つに記載の光ファイバ。
- [請求項7] 前記クラッド部に対する前記中心コア部の比屈折率差 $\Delta 1$ が0.36%以上であり、前記クラッド部に対する前記外周コア部の比屈折率差 $\Delta 2$ が-0.05%以下であり、前記中心コア部の直径が $14.90\mu\text{m}$ ～ $17.30\mu\text{m}$ であり、前記中心コア部の直径に対する前記外周コア部の外径の比が2.0以上であることを特徴とする請求項6

に記載の光ファイバ。

[請求項8] 前記比屈折率差 $\Delta 1$ が0.41%以上であることを特徴とする請求項7に記載の光ファイバ。

[請求項9] 前記比屈折率差 $\Delta 1$ が0.48%以下であることを特徴とする請求項7または8に記載の光ファイバ。

[請求項10] 前記クラッド部の外径が $125\mu\text{m}$ より大きいことを特徴とする請求項1～9のいずれか一つに記載の光ファイバ。

[請求項11] 請求項1～10のいずれか一つに記載の光ファイバを備えることを特徴とする光伝送システム。

[請求項12] 所定の波長の測定光をマルチモードで伝搬する被測定光ファイバの一方の端部に、前記測定光をシングルモードで伝搬する測定用光ファイバを、前記被測定光ファイバのコア部の中心軸と前記測定用光ファイバのコア部の中心軸とが所定のオフセットだけずれた状態になるように接続する接続工程と、

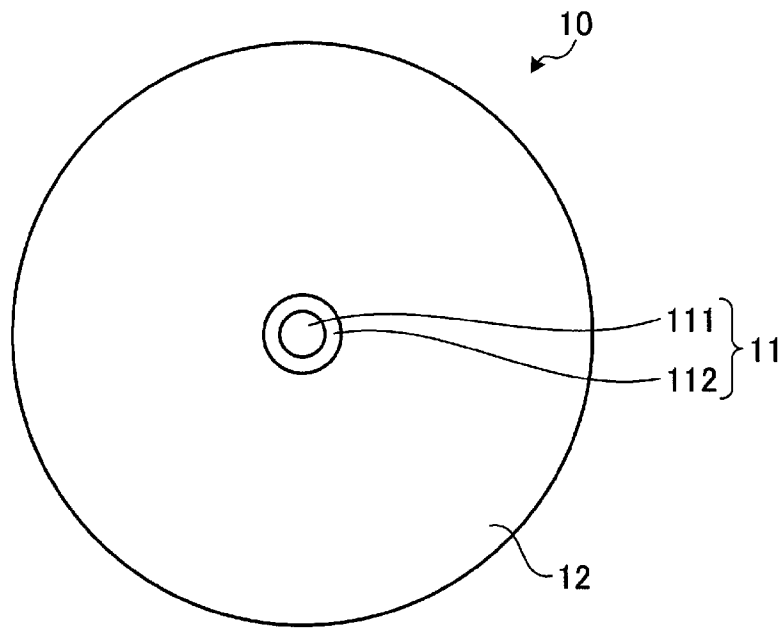
前記測定用光ファイバから前記測定光を前記被測定光ファイバに入力して伝搬させ、前記被測定光ファイバのもう一方の端部から出力された前記測定光の特性を測定する測定工程と、

を含み、前記測定光が前記被測定光ファイバを所定の伝搬モードで伝搬するように前記オフセットを設定することを特徴とする光ファイバの測定方法。

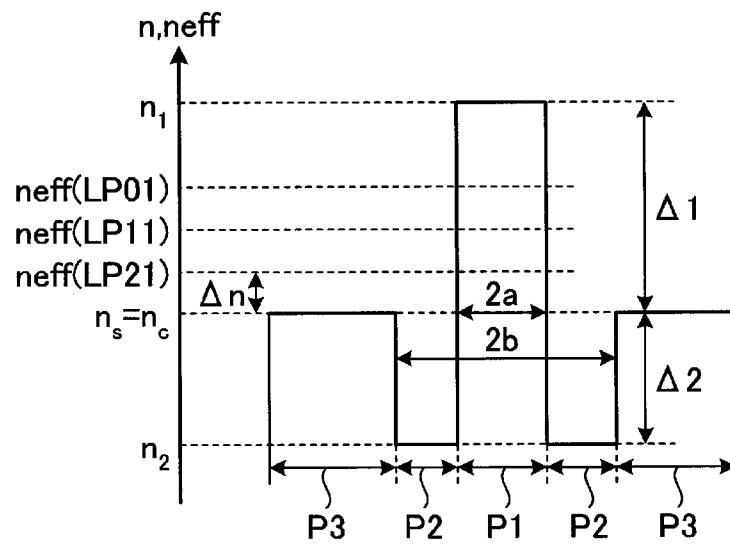
[請求項13] 前記測定用光ファイバのモードフィールド径は前記被測定光ファイバの基底伝搬モードのモードフィールド径の $1/2$ 以下であることを特徴とする請求項12に記載の光ファイバの測定方法。

[請求項14] 前記測定用光ファイバのモードフィールド径は $4\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項12または13に記載の光ファイバの測定方法。

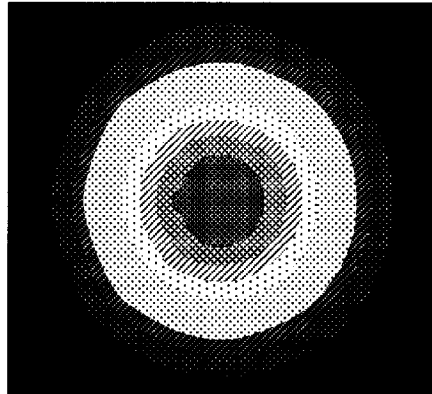
[図1]



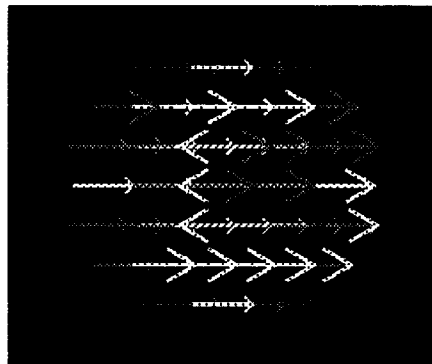
[図2]



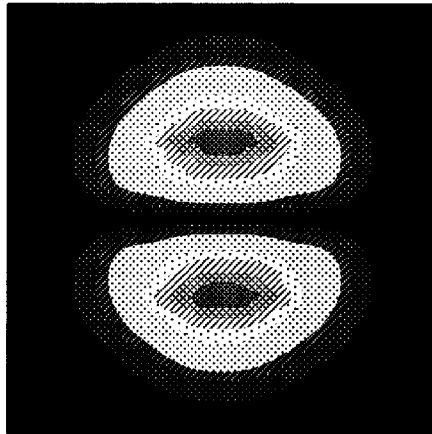
[図3A]



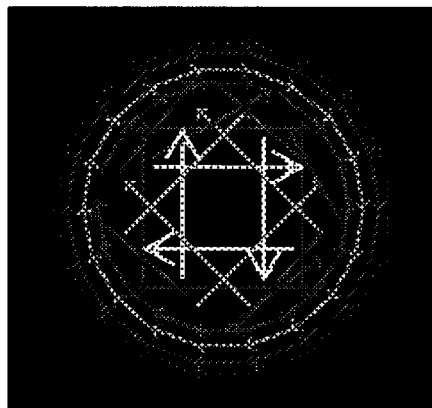
[図3B]



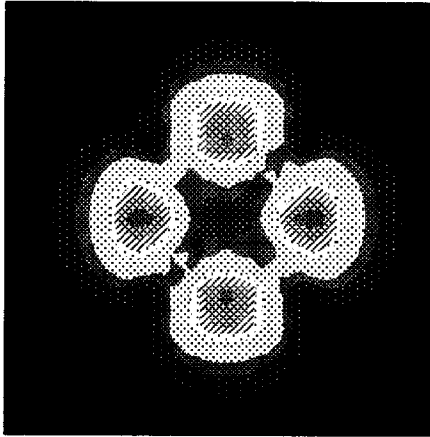
[図4A]



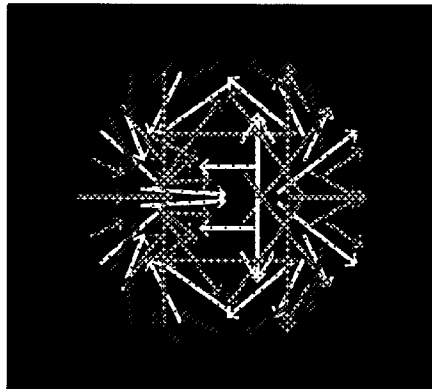
[図4B]



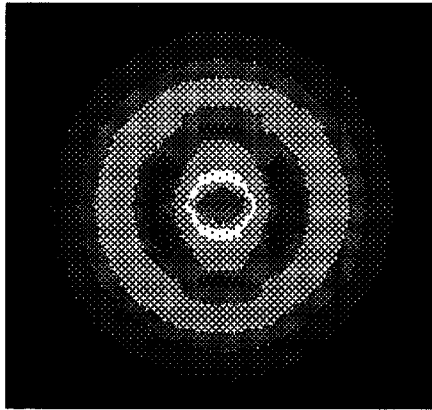
[図5A]



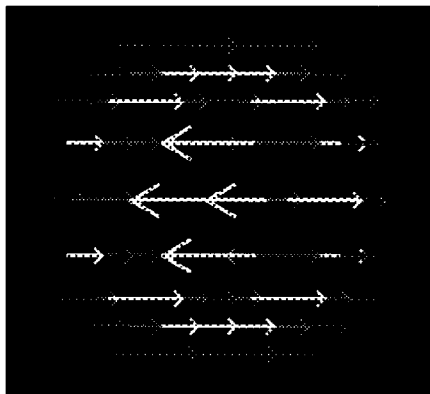
[図5B]



[図6A]



[図6B]



[図7]

番号	パラメータ				
	Ra2	$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	2b
		%	%	μm	μm
<u>1-1</u>	3.0	0.47	-0.10	15.20	45.60
1-2	4.0	0.46	-0.10	15.00	60.00
1-3	2.0	0.41	-0.10	16.30	32.60
1-4	3.0	0.39	-0.10	16.50	49.50
1-5	4.0	0.38	-0.10	16.55	66.20
<u>1-6</u>	4.0	0.42	-0.10	16.20	64.80
2-1	3.0	0.46	-0.05	14.90	44.70
2-2	3.0	0.39	-0.20	16.80	50.40
<u>2-3</u>	3.0	0.41	-0.05	16.10	48.30
2-4	3.0	0.36	-0.05	17.20	51.60
<u>3-1</u>	2.0	0.43	-0.50	17.30	34.60
<u>3-2</u>	2.0	0.43	-0.45	17.20	34.40
<u>3-3</u>	2.0	0.43	-0.40	17.20	34.40
<u>3-4</u>	2.0	0.43	-0.35	17.10	34.20
<u>3-5</u>	2.0	0.43	-0.30	17.00	34.00
<u>3-6</u>	2.0	0.43	-0.25	16.80	33.60
<u>3-7</u>	2.0	0.43	-0.20	16.70	33.40
<u>3-8</u>	2.0	0.43	-0.15	16.50	33.00

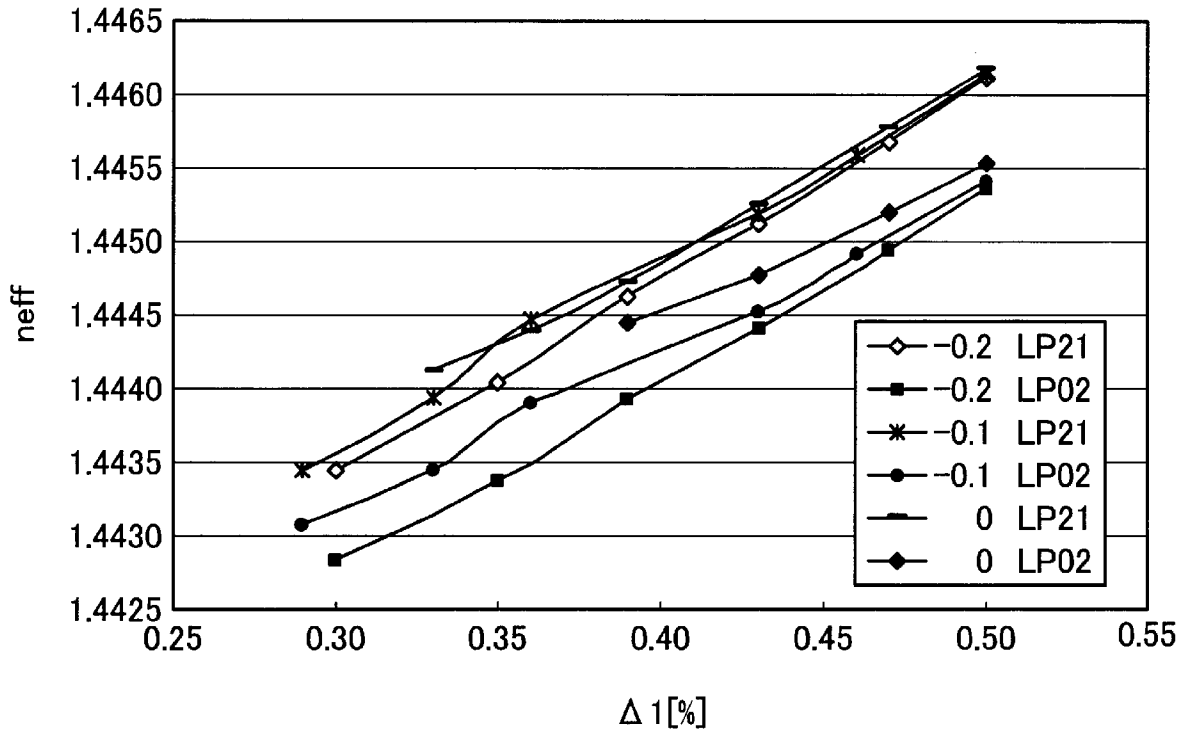
[図8]

番号	基底(LP01モード)						LP11モード					
	波長 分散	分散 スロープ	MFD	neff	Aeff	曲げ損失	波長 分散	分散 スロープ	MFD	neff	Aeff	曲げ損失
	ps/nm /km	ps/nm ² /km	μm		μm ²	dB/m	ps/nm /km	ps/nm ² /km	μm		μm ²	dB/m
<u>1-1</u>	21.4	0.0646	12.1	1.44971	130.9	2.18E-14	22.8	0.0588	9.8	1.44760	190.4	2.73E-06
1-2	21.4	0.0646	12.1	1.44957	131.2	1.66E-11	22.7	0.0586	9.8	1.44739	188.2	2.33E-06
1-3	21.4	0.0646	13.0	1.44905	151.4	6.05E-08	22.8	0.0597	10.4	1.44718	217.0	3.07E-04
1-4	21.5	0.0646	13.1	1.44878	154.5	5.66E-10	22.7	0.0597	10.6	1.44698	223.5	2.38E-04
1-5	21.5	0.0646	13.3	1.44864	155.9	4.27E-10	22.7	0.0599	10.8	1.44686	225.9	4.18E-05
<u>1-6</u>	21.4	0.0647	12.9	1.44918	150.4	4.16E-08	22.9	0.0601	10.4	1.44728	213.9	3.12E-06
2-1	21.2	0.0644	12.1	1.44955	130.2	5.49E-10	21.8	0.0572	9.9	1.44743	193.0	3.64E-05
2-2	21.7	0.0647	12.9	1.44877	152.4	1.65E-08	23.8	0.0611	10.3	1.44695	217.2	4.02E-04
<u>2-3</u>	21.3	0.0645	13.0	1.44903	150.2	6.05E-08	22.1	0.0588	10.6	1.44719	221.1	5.84E-03
2-4	21.3	0.0645	13.8	1.44846	170.7	7.52E-08	22.1	0.0596	11.3	1.44684	250.8	7.33E-02
<u>3-1</u>	22.1	0.0653	12.6	1.44934	150.3	7.49E-10	25.8	0.0640	9.8	1.44745	206.1	1.37E-05
<u>3-2</u>	22.0	0.0653	12.6	1.44934	150.0	1.69E-11	25.6	0.0637	9.8	1.44744	206.2	2.32E-05
<u>3-3</u>	22.0	0.0652	12.7	1.44935	151.4	4.88E-12	25.3	0.0635	9.9	1.44747	208.5	3.07E-05
<u>3-4</u>	21.9	0.0652	12.7	1.44935	151.3	1.66E-13	25.1	0.0631	9.9	1.44747	209.1	5.12E-05
<u>3-5</u>	21.8	0.0651	12.8	1.44935	151.5	5.45E-10	24.8	0.0627	10.0	1.44747	210.1	8.46E-05
<u>3-6</u>	21.7	0.0650	12.8	1.44933	150.3	5.38E-13	24.4	0.0621	10.0	1.44745	209.6	5.99E-06
<u>3-7</u>	21.6	0.0649	12.8	1.44934	150.9	3.48E-12	24.0	0.0616	10.1	1.44746	211.6	9.19E-06
<u>3-8</u>	21.5	0.0648	12.8	1.44933	150.3	1.43E-12	23.6	0.0609	10.2	1.44745	212.5	1.79E-05

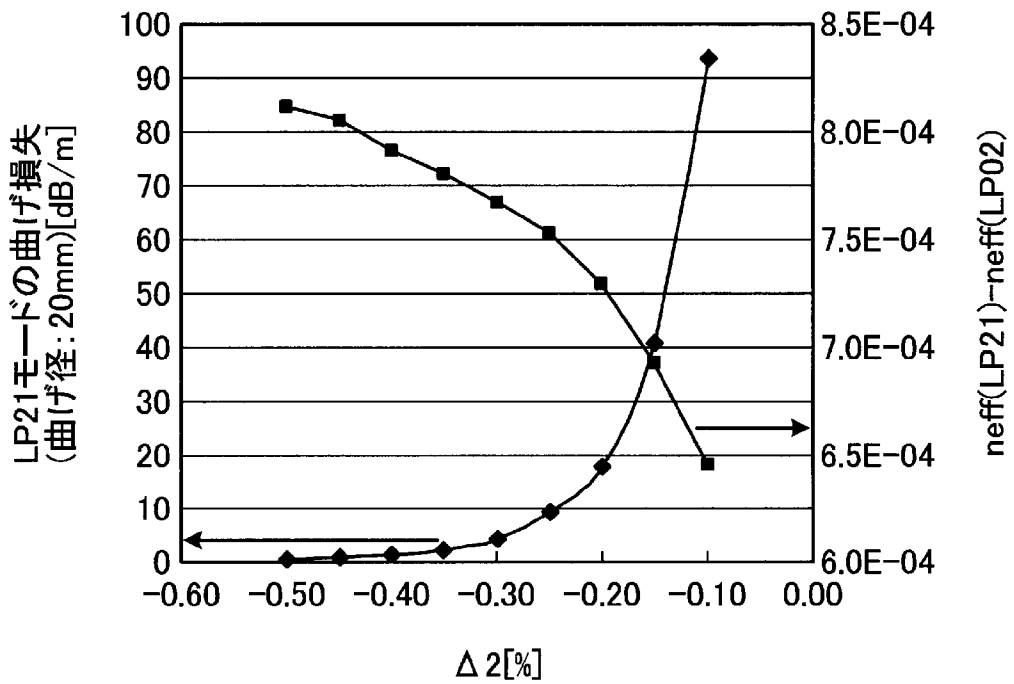
[図9]

番号	LP21モード						Δn	LP02 neff
	波長 分散	分散 スロープ	MFD	neff	Aeff	曲げ損失		
	ps/nm /km	ps/nm ² /km	μm		μm^2	dB/m		
<u>1-1</u>	17.0	0.0207	18.6	1.44495	223.5	1.08E+01	0.0006	1.44424
1-2	15.3	0.0144	18.6	1.44472	224.6	5.85E+00	0.0003	1.44403
1-3	16.5	-0.0024	19.9	1.44486	254.2	1.64E+02	0.0005	1.44424
1-4	18.0	0.0277	20.1	1.44472	261.1	1.72E+01	0.0003	1.44411
1-5	17.7	0.0281	20.3	1.44463	265.3	1.53E+01	0.0002	1.44403
<u>1-6</u>	18.6	0.0308	19.6	1.44492	248.1	2.25E+00	0.0005	1.44427
2-1	10.2	-0.0194	19.4	1.44483	242.4	1.39E+02	0.0004	1.44424
2-2	22.8	0.0439	19.3	1.44463	240.7	4.10E-01	0.0002	1.44393
<u>2-3</u>	14.2	0.0101	20.5	1.44491	269.8	1.10E+02	0.0005	1.44435
2-4	15.7	0.0196	21.7	1.44483	303.6	1.54E+02	0.0004	1.44432
<u>3-1</u>	29.2	0.0577	18.4	1.44501	216.6	4.18E-01	0.0006	1.44420
<u>3-2</u>	28.6	0.0562	18.5	1.44501	217.6	7.57E-01	0.0006	1.44420
<u>3-3</u>	27.9	0.0550	18.6	1.44506	220.9	1.19E+00	0.0007	1.44427
<u>3-4</u>	27.1	0.0530	18.7	1.44506	222.9	2.21E+00	0.0007	1.44428
<u>3-5</u>	26.1	0.0503	18.8	1.44508	225.6	4.17E+00	0.0007	1.44431
<u>3-6</u>	24.8	0.0456	18.9	1.44505	227.6	9.22E+00	0.0007	1.44429
<u>3-7</u>	23.3	0.0405	19.1	1.44508	232.7	1.79E+01	0.0007	1.44435
<u>3-8</u>	21.2	0.0312	19.3	1.44507	238.3	4.07E+01	0.0007	1.44438

[図10]



[図11]



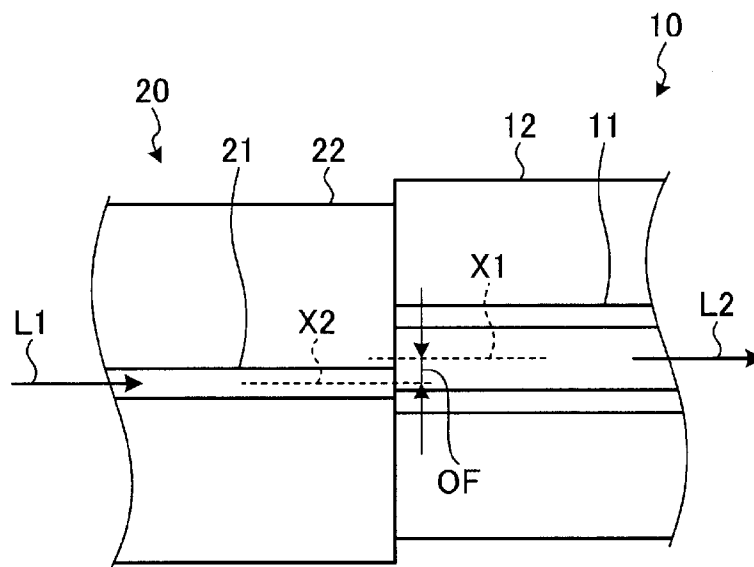
[図12]

$\Delta 1$	$\Delta 2$	2a	2b	Ra2
%	%	μm	μm	
0.43	-0.45	17	37	2.18

[図13]

モード	波長分散	分散 スロープ	Aeff	neff	曲げ損失	
					曲げ径 20mm	曲げ径 160mm
	ps/nm /mm	ps/nm ² /mm	μm^2		dB/m	dB/m
LP01	22.1	0.0653	145.8	1.44930	6.76E-14	5.15E-22
LP11	25.6	0.0635	201.8	1.44738	1.39E-05	4.60E-17
LP21	28.5	0.0559	213.8	1.44490	2.38E-01	8.10E-05
LP02	26.9	0.0417	124.0	1.44408	1.54E+00	7.65E-01

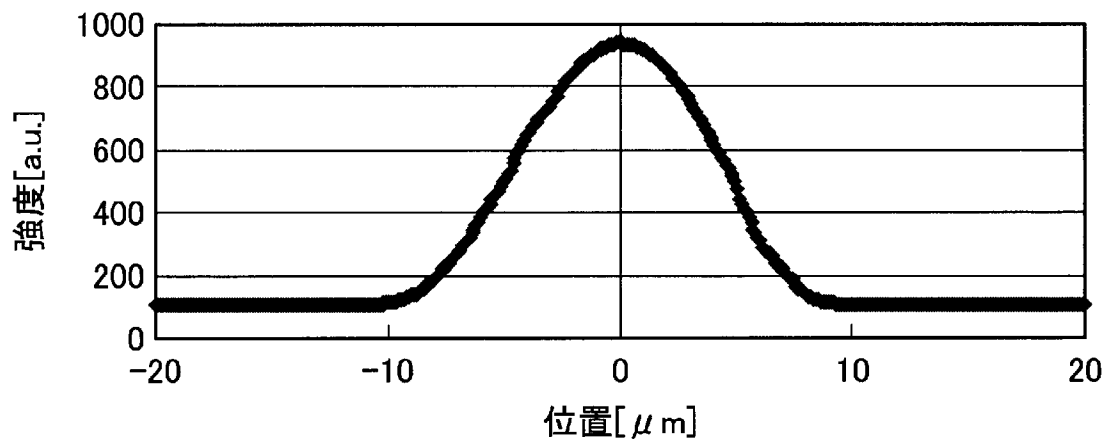
[図14]



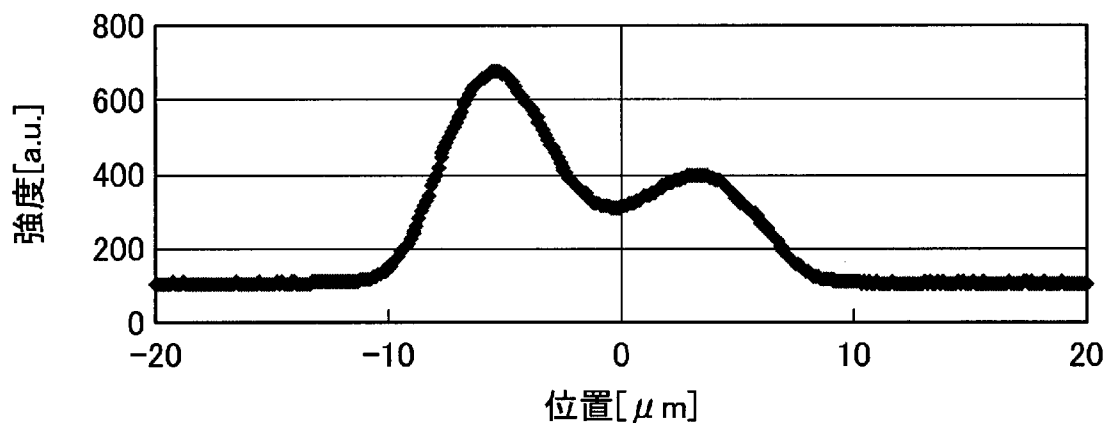
[図15]

測定項目			単位	オフセット		
				0 μm	5 μm	9 μm
伝送損失	波長	1.55 μm	dB/km	0.395	0.487	1.058
		1.31 μm		0.210	0.402	0.579
曲げ損失 @1.55 μm	曲げ径	10mm	dB/m	1.22	2.82	4.42
		20mm		0.07	0.90	2.32
Aeff	波長	1.55 μm	μm^2	151.0	220.2	277.7
		1.31 μm		152.1	192.2	196.9
PMD @1.55 μm			ps/rkm	0.696	0.884	1.224
波長分散 @1.55 μm			ps/nm/km	22.2	22.1	24.0

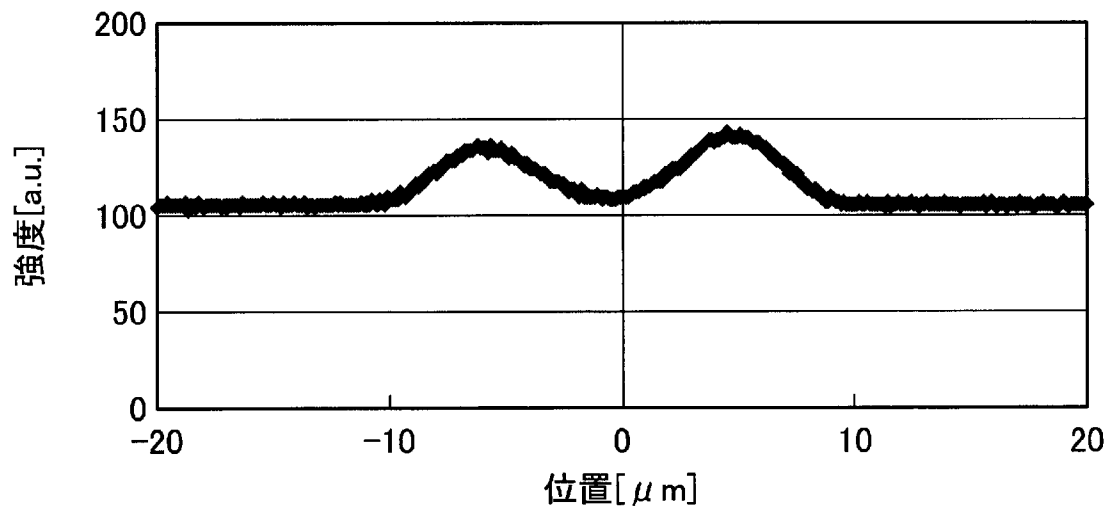
[図16]



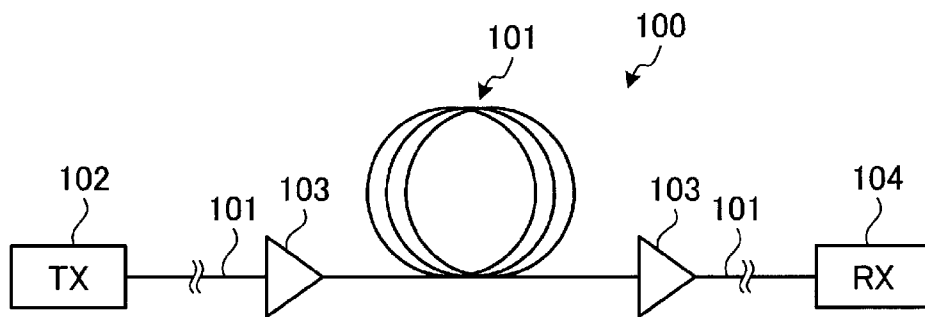
[図17]



[図18]



[図19]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057039

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G02B6/036(2006.01) i, G01M11/02(2006.01) i</i></p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>											
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) <i>G02B6/036</i></p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched <i>Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2012</i> <i>Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2012 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2012</i></p> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) <i>JSTPlus (JDreamII), JST7580 (JDreamII)</i></p>											
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align:center;">X A</td> <td>An Li, Abdullah Al Amin, Xi Chen and William Shieh, Reception of mode and polarization multiplexed 107-Gb/s CO-OFDM signal over a two-mode fiber, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference, 2011.03.06, pp. 1 - 3</td> <td style="text-align:center;">1-6, 10, 11 7-9</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">A</td> <td>JP 52-153453 A (Hitachi Cable, Ltd.), 20 December 1977 (20.12.1977), claims; fig. 1 (Family: none)</td> <td style="text-align:center;">6</td> </tr> </tbody> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	X A	An Li, Abdullah Al Amin, Xi Chen and William Shieh, Reception of mode and polarization multiplexed 107-Gb/s CO-OFDM signal over a two-mode fiber, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference, 2011.03.06, pp. 1 - 3	1-6, 10, 11 7-9	A	JP 52-153453 A (Hitachi Cable, Ltd.), 20 December 1977 (20.12.1977), claims; fig. 1 (Family: none)	6
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.									
X A	An Li, Abdullah Al Amin, Xi Chen and William Shieh, Reception of mode and polarization multiplexed 107-Gb/s CO-OFDM signal over a two-mode fiber, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference, 2011.03.06, pp. 1 - 3	1-6, 10, 11 7-9									
A	JP 52-153453 A (Hitachi Cable, Ltd.), 20 December 1977 (20.12.1977), claims; fig. 1 (Family: none)	6									
<p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p>											
<p>* Special categories of cited documents:</p> <table style="width:100%;"> <tr> <td style="width:50%;"> <p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </td> <td style="width:50%;"> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p> </td> </tr> </table>			<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>							
<p>“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>“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)</p> <p>“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>“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</p> <p>“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</p> <p>“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</p> <p>“&” document member of the same patent family</p>										
<p>Date of the actual completion of the international search 31 May, 2012 (31.05.12)</p>		<p>Date of mailing of the international search report 19 June, 2012 (19.06.12)</p>									
<p>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</p>		<p>Authorized officer</p>									
<p>Facsimile No.</p>		<p>Telephone No.</p>									

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057039

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 49-24441 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 04 March 1974 (04.03.1974), page 2, upper right column, line 19 to lower left column, line 1 (Family: none)	10
P,X	Kazunori MUKASA, Katsunori IMAMURA, Ryuichi SUGIZAKI, "Optimizing 3-mode fibers for Mode-division-multiplexing Transmission", IEICE Technical Report, 13 October 2011 (13.10.2011), vol.111, no.246, pages 11 to 14	1-11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057039

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The following two inventions (invention groups) are involved in claims.

(Invention 1) the invention of claims 1-11:

(Continued to extra sheet)

1. As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. As all searchable claims could be searched without effort justifying additional fees, this Authority did not invite payment of additional fees.
3. As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:
1-11

Remark on Protest

- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest and, where applicable, the payment of a protest fee.
- The additional search fees were accompanied by the applicant's protest but the applicable protest fee was not paid within the time limit specified in the invitation.
- No protest accompanied the payment of additional search fees.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/057039

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

"An optical fiber for a wavelength of 1550 nm, wherein an effective core cross-sectional area of a base propagation mode is $120 \mu\text{m}^2$ or greater, wherein an effective core cross-sectional area of a first higher-order propagation mode is $150 \mu\text{m}^2$ or greater, wherein an effective core cross-sectional area of a second higher-order propagation mode is $180 \mu\text{m}^2$ or greater, and wherein an effective refractive index of the second higher-order propagation mode is greater than a refractive index of the clad unit by 0.0002 or more, whereas an effective refractive index of a third higher-order propagation mode is smaller than the refractive index of the clad unit."

(Invention 2) the invention of claims 12-14:

"A method for measuring an optical fiber comprising: connecting a measurement optical fiber for propagating a measurement light in single mode to one end portion of an optical fiber to be measured for propagating the measurement light having a predetermined wavelength in multi-mode such that a central axis of a core unit of the optical fiber to be measured and a central axis of a core unit of the measurement optical fiber is misaligned by a predetermined offset; and setting the offset such that the measurement light is propagated in predetermined propagation mode through the optical fiber to be measured."

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G02B6/036(2006.01)i, G01M11/02(2006.01)i		
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)) Int.Cl. 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 1971-2012年 日本国実用新案登録公報 1996-2012年 日本国登録実用新案公報 1994-2012年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus(JDreamII), JST7580(JDreamII)		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X A	An Li, Abdullah Al Amin, Xi Chen and William Shieh, Reception of mode and polarization multiplexed 107-Gb/s CO-OFDM signal over a two-mode fiber, Optical Fiber Communication Conference and Exposition (OFC/NFOEC), 2011 and the National Fiber Optic Engineers Conference, 2011.03.06, pp. 1 - 3	1-6, 10, 11 7-9
A	JP 52-153453 A (日立電線株式会社) 1977.12.20, 特許請求の範囲, 第1図 (ファミリーなし)	6
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input 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矛盾するものではなく、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 31.05.2012	国際調査報告の発送日 19.06.2012	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 吉田 英一 電話番号 03-3581-1101 内線 3294	2X 9124

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	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	JP 49-24441 A (住友電気工業株式会社) 1974.03.04, 2頁右上欄1 9行-同頁左下欄1行 (ファミリーなし)	10
P, X	武笠和則、今村勝徳、杉崎隆一, モード多重伝送用3モードファイ バの最適化検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 2011.10.13, Vol. 111, No. 246, pp. 11 - 14	1-11

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. 請求項 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. 請求項 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. 請求項 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるときの国際調査機関は認めた。

請求の範囲には、以下に示す2の発明（群）が含まれる。

〔発明1〕請求項1-11に係る発明

「波長1550nmにおいて、
基底伝搬モードの有効コア断面積が $120\mu\text{m}^2$ 以上であり、
第1高次伝搬モードの有効コア断面積が $150\mu\text{m}^2$ 以上であり、
第2高次伝搬モードの有効コア断面積が $180\mu\text{m}^2$ 以上であり、
かつ該第2高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも0.0002以上大きく、
第3高次伝搬モードの実効屈折率が前記クラッド部の屈折率よりも小さい光ファイバ。」
(以下、特別ページに続く)

1. 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求項について作成した。
2. 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求項について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求項のみについて作成した。
4. 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったため、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求項について作成した。

請求項1-11

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- 追加調査手数料及び、該当する場合には、異議申立手数料の納付と共に、出願人から異議申立てがあった。
- 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあったが、異議申立手数料が納付命令書に示した期間内に支払われなかった。
- 追加調査手数料の納付はあったが、異議申立てはなかった。

(第Ⅲ欄の続き)

[発明2] 請求項12-14に係る発明

「所定の波長の測定光をマルチモードで伝搬する被測定光ファイバの一方の端部に、前記測定光をシングルモードで伝搬する測定用光ファイバを、前記被測定光ファイバのコア部の中心軸と前記測定用光ファイバのコア部の中心軸とが所定のオフセットだけずれた状態になるように接続し、

前記測定光が前記被測定光ファイバを所定の伝搬モードで伝搬するように前記オフセットを設定する光ファイバの測定方法。」