

(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6月6日(06.06.2024)



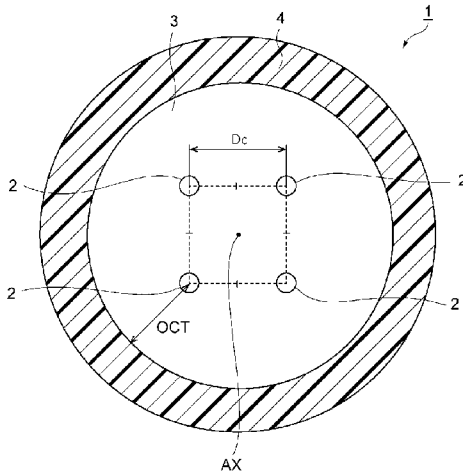
(10) 国際公開番号

WO 2024/116792 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/02 (2006.01) G02B 6/036 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2023/040553
- (22) 国際出願日: 2023年11月10日(10.11.2023)
- (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 2022-192004 2022年11月30日(30.11.2022) 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: 林 哲也(HAYASHI 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).
- (74) 代理人: 森田 剛史, 外(MORITA Takeshi et al.);
〒5540024 大阪府大阪市此花区島屋一丁目1番
3号 住友電気工業株式会社内 Osaka (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,

(54) Title: MULTICORE OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: マルチコア光ファイバ



$$\begin{aligned} A_{eff} &\leq -11.919\lambda_{cc}^2 + 153.67\lambda_{cc} - 105.98 \quad (1) \\ 70 &\leq A_{eff} \leq 101.2 \quad (2) \\ 1.270 &\leq \lambda_{cc} \leq 1.530 \quad (3) \\ D_c &\geq 62.67 - 44.75\lambda_{cc} + 0.2217A_{eff} + 9.911\lambda_{cc}^2 \\ &\quad - 8.461 \times 10^{-4}A_{eff}^2 + 3.981 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{eff} \quad (4) \\ OCT &\geq 76.53 - 70.55\lambda_{cc} + 0.3821A_{eff} + 19.56\lambda_{cc}^2 \\ &\quad - 6.480 \times 10^{-4}A_{eff}^2 + 7.279 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{eff} \quad (5) \end{aligned}$$

(57) Abstract: This multicore optical fiber comprises: four cores each extending along the central axis of the multicore optical fiber; a common cladding surrounding the four cores and having a lower refractive index than the refractive index of each of the four cores; and a coating resin surrounding the common cladding. The diameter of the common cladding is 124.5-125.5 μm inclusive. In each of the four cores, A_{eff} satisfies expression (1) and expression (2), and λ_{cc} satisfies expression (1) and expression (3). The four cores are disposed such that D_c satisfies expression (4) with respect to A_{eff} and λ_{cc} of each of the first core and the second core, and OCT, A_{eff} , and λ_{cc} of the first core satisfy expression (5).

(57) 要約: マルチコア光ファイバは、マルチコア光ファイバの中心軸に沿ってそれぞれ延びる4つのコアと、4つのコアを取り囲み、4つのコアそれぞれの屈折率よりも低い屈折率を有する共通クラッドと、共通クラッドを取り囲む被覆樹脂と、を備える。共通クラッドの直径は、124.5 μm 以上かつ125.5 μm 以下である。4つのコアのそれぞれにおいて、 A_{eff} は式(1)および式(2)を満たし、 λ_{cc} は式(1)および、式(3)を満たす。4つのコアは、 D_c が第1コアおよび第2コアのいずれの A_{eff} および λ_{cc} に対しても、式(4)を満たし、第1コアの OCT、 A_{eff} 、および、 λ_{cc} が式(5)を満たすように配置されている。

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))

明 細 書

発明の名称：マルチコア光ファイバ

技術分野

[0001] 本開示は、マルチコア光ファイバに関する。本出願は、2022年11月30日出願の日本出願第2022-192004号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。

背景技術

[0002] 特許文献1および非特許文献1には、4つのコアと、共通クラッドと、を備えるステップインデックス型のマルチコア光ファイバ（以下、MCF）が記載されている。特許文献2には、コアと共通クラッドとの間に低屈折率の第1クラッド領域を設けることにより、コア間のクロストーク（以下、XT）を抑制したMCFが記載されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2013-88458号公報
特許文献2：特開2020-86054号公報
特許文献3：特開2017-509171号公報

非特許文献

[0004] 非特許文献1：T. Matsui et al., "STEP-INDEX PROFILE MULTI-CORE FIBRE WITH STANDARD 125 μ M CLADDING TO FULL-BAND APPLICATION", ECOC 2019, M. 1. D. 3
非特許文献2：Y. Sagae et al., "Ultra-Low-XT Multi-Core Fiber with Standard 125- μ m Cladding for Long-Haul Transmission", OEC 2019, TuC3-4
非特許文献3：T. Hayashi et al., "Uncoupled Multi-core Fiber Design for Practical Bidirectional Optical Communications," OFC, M1E. 1

非特許文献4：R. J. Black and C. Pask, J. Opt. Soc. Am. A, JOSAA 1(11), p.1129-1131, 1984

非特許文献5：Y. Kobayashi and T. Hayashi, “Behavior and measurement method of inter-core crosstalk in multicore fibers with core-dependent loss,” Opt. Express 31(1), pp.502-508 (2023).

発明の概要

[0005] 本開示のMCFは、MCFの中心軸に沿ってそれぞれ延びる4つのコアと、4つのコアを取り囲み、4つのコアそれぞれの屈折率よりも低い屈折率を有する共通クラッドと、共通クラッドを取り囲む被覆樹脂と、を備える。共通クラッドの直径は、 $124.5\mu\text{m}$ 以上かつ $125.5\mu\text{m}$ 以下である。4つのコアのそれぞれにおいて、波長 1550nm における実効断面積を $A_{\text{eff}}[\mu\text{m}^2]$ とし、ケーブルカットオフ波長を $\lambda_{\text{cc}}[\mu\text{m}]$ とすると、 A_{eff} は式(1)および式(2)を満たし、 λ_{cc} は式(1)および、式(3)を満たす。

$$A_{\text{eff}} \leq -11.919\lambda_{\text{cc}}^2 + 153.67\lambda_{\text{cc}} - 105.98 \quad (1)$$

$$70 \leq A_{\text{eff}} \leq 101.2 \quad (2)$$

$$1.270 \leq \lambda_{\text{cc}} \leq 1.530 \quad (3)$$

4つのコアは、中心軸に直交する断面において、4つのコアのうちの1つである第1コアと、第1コアの最も近くに位置する第2コアとの間の中心間隔を $D_{\text{c}}[\mu\text{m}]$ とし、共通クラッドと被覆樹脂との界面と、第1コアの中心との間の最短距離を $\text{OCT}[\mu\text{m}]$ とすると、 D_{c} が第1コアおよび第2コアのいずれの A_{eff} および λ_{cc} に対しても、式(4)を満たし、第1コアの OCT 、 A_{eff} 、および、 λ_{cc} が式(5)を満たすように配置されている。

$$D_{\text{c}} \geq 62.67 - 44.75\lambda_{\text{cc}} + 0.2217A_{\text{eff}} + 9.911\lambda_{\text{cc}}^2 - 8.461 \times 10^{-4}A_{\text{eff}}^2 + 3.981 \times 10^{-2}\lambda_{\text{cc}}A_{\text{eff}} \quad (4)$$

$$\text{OCT} \geq 76.53 - 70.55\lambda_{\text{cc}} + 0.3821A_{\text{eff}} + 19.56\lambda_{\text{cc}}^2 - 6.480 \times 10^{-4}A_{\text{eff}}^2 + 7.279 \times 10^{-2}\lambda_{\text{cc}}A_{\text{eff}} \quad (5)$$

図面の簡単な説明

- [0006] [図1]図1は、実施形態に係るMCFの中心軸に直交する断面図である。
- [図2]図2は、波長1625nmにおいて対向伝搬時のXTが 10^{-4} /(100km)²以下となる隣接コア間隔の最小値と実効断面積との関係を複数のカットオフ周波数に関してプロットした図である。
- [図3]図3は、波長1625nmにおいて漏洩損失が0.001dB/km以下となる外クラッド厚の下限値と実効断面積との関係を複数のカットオフ周波数に関してプロットした図である。
- [図4]図4は、波長1625nmにおいて漏洩損失が0.0005dB/km以下となる外クラッド厚の下限値と実効断面積との関係を複数の λ_{cc} に関してプロットした図である。
- [図5]図5は、複数のクラッド径において、コアピッチが設計中心値から $\pm 1\mu\text{m}$ ばらついても、波長1625nmにおけるXTが -40dB/km 以下を満たし、漏洩損失が0.001dB/km以下となるコアピッチの設計中心値が存在する実効断面積の上限値とカットオフ波長との関係を示すグラフである。
- [図6]図6は、複数のクラッド径において、コアピッチが設計中心値から $\pm 1\mu\text{m}$ ばらついても、波長1625nmにおけるXTが -40dB/km 以下を満たし、漏洩損失が0.0005dB/km以下となるコアピッチの設計中心値が存在する実効断面積の上限値とカットオフ波長との関係を示すグラフである。
- [図7]図7は、第一変形例に係るMCFの中心軸に直交する断面図である。
- [図8]図8は、第二変形例に係るMCFの中心軸に直交する断面図である。
- [図9]図9は、本開示のMCFに適用可能なコア周辺の屈折率プロファイルを示す図である。
- [図10]図10は、本開示のMCFに適用可能なコア周辺の屈折率プロファイルを示す図である。

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]

非特許文献2には、特許文献2に記載のMCFでは1580nm以上の領域において損失が増加することが記載されている。このように従来技術では、波長1625nmにおける漏洩損失を抑えきれていない。よって、長距離伝送の際に、Lバンド（波長1565nmから1625nm）を用いた伝送を行うと伝送損失が大きくなり、信号伝送品質が劣化してしまう。

[0008] 本開示は、1530nm以上1625nm以下の波長範囲において信号伝送品質が劣化することを抑制可能なMCFを提供する。

[0009] [本開示の効果]

本開示のMCFによれば、1530nm以上1625nm以下の波長範囲において信号伝送品質が劣化することを抑制可能である。

[0010] [本開示の実施態様の説明]

最初に本開示の実施態様を列記して説明する。

(1) 本開示の一態様に係るMCFは、MCFの中心軸に沿ってそれぞれ延在する4つのコアと、4つのコアを取り囲み、4つのコアそれぞれの屈折率よりも低い屈折率を有する共通クラッドと、共通クラッドを取り囲む被覆樹脂と、を備え、共通クラッドの直径は、124.5 μ m以上かつ125.5 μ m以下であり、4つのコアのそれぞれにおいて、波長1550nmにおける実効断面積を A_{eff} [μ m²] とし、ケーブルカットオフ波長を λ_{cc} [μ m] とすると、 A_{eff} は式(1)および式(2)を満たし、 λ_{cc} は式(1)および、式(3)を満たす。

4つのコアは、中心軸に直交する断面において、4つのコアのうちの1つである第1コアと、第1コアの最も近くに位置する第2コアとの間の中心間隔を D_c [μ m] とし、共通クラッドと被覆樹脂との界面と、第1コアの中心との間の最短距離を OCT [μ m] とすると、 D_c が第1コアおよび第2コアのいずれの A_{eff} および λ_{cc} に対しても、式(4)を満たし、第1コアの OCT 、 A_{eff} 、および、 λ_{cc} が式(5)を満たすように配置さ

れている。

$$A_{\text{eff}} \leq -11.919\lambda_{\text{cc}}^2 + 153.67\lambda_{\text{cc}} - 105.98 \quad (1)$$

$$70 \leq A_{\text{eff}} \leq 101.2 \quad (2)$$

$$1.270 \leq \lambda_{\text{cc}} \leq 1.530 \quad (3)$$

$$D_c \geq 62.67 - 44.75\lambda_{\text{cc}} + 0.2217A_{\text{eff}} + 9.911\lambda_{\text{cc}}^2 \\ - 8.461 \times 10^{-4}A_{\text{eff}}^2 + 3.981 \times 10^{-2}\lambda_{\text{cc}}A_{\text{eff}} \quad (4)$$

$$OCT \geq 76.53 - 70.55\lambda_{\text{cc}} + 0.3821A_{\text{eff}} + 19.56\lambda_{\text{cc}}^2 \\ - 6.480 \times 10^{-4}A_{\text{eff}}^2 + 7.279 \times 10^{-2}\lambda_{\text{cc}}A_{\text{eff}} \quad (5)$$

このMCFでは、波長1625 nmにおける第1コアと第2コアとの間の並行伝搬時のXTが $10^{-4}/\text{km}$ 以下になる。また、波長1625 nmにおける漏洩損失が $0.001 \text{ dB}/\text{km}$ 以下になる。よって、波長1625 nmにおいて信号伝送品質が劣化することを抑制できる。このMCFによれば、少なくとも1530 nm以上1625 nm以下の波長範囲における対向伝搬による長距離伝送において、信号伝送品質が劣化することを抑制できる。

[0011] (2) 上記(1)では、4つのコアのそれぞれにおいて、 A_{eff} は式(6)を満たし、 λ_{cc} は式(7)を満たしてもよい。

$$70 \leq A_{\text{eff}} \leq 93.0 \quad (6)$$

$$1.270 \leq \lambda_{\text{cc}} \leq 1.460 \quad (7)$$

この場合、少なくとも1460 nm以上1625 nm以下の波長範囲における対向伝搬による長距離伝送において、信号伝送品質が劣化することを抑制できる。すなわち、1460 nm以上1625 nm以下の波長範囲、または、1530 nm以上1625 nm以下の波長範囲において信号伝送品質が劣化することを抑制できる。

[0012] (3) 上記(1)または(2)では、4つのコアのそれぞれにおいて、 λ_{cc} は式(8)を満たしてもよい。

$$1.360 \leq \lambda_{\text{cc}} \quad (8)$$

この場合、コアへの閉じ込めを強めることができるので、XTおよび漏洩

損失を更に抑制できる。

- [0013] (4) 上記(1)から(3)のいずれか一つにおいて、4つのコアは、第1コアのOCT、Aeff、および、 λ_{cc} が式(9)を満たすように配置されていてもよい。

$$\text{OCT} \geq 78.90 - 72.75\lambda_{cc} + 0.3936A_{\text{eff}} + 20.14\lambda_{cc}^2 - 6.704 \times 10^{-4}A_{\text{eff}}^2 + 7.480 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{\text{eff}} \quad (9)$$

この場合、波長1625nmにおける漏洩損失が0.0005dB/km以下になる。

- [0014] (5) 上記(1)から(4)のいずれか一つでは、断面において、4つのコアの中心は、一辺の長さを D_c とする正方形の4つの頂点に1つずつ配置されていてもよい。この場合、4つのコアが対称的に配置されているので、4つのコア間での光学特性を均一化することができる。

- [0015] (6) 上記(1)から(4)のいずれか一つでは、断面において、4つのコアの中心は、三辺の長さが D_c であり、一辺の長さが D_c より長い等脚台形の4つの頂点に1つずつ配置されていてもよい。この場合、マーカーを設けなくても、コアの識別を行うことができる。

- [0016] (7) 上記(1)から(6)のいずれか一つでは、共通クラッドは、4つのコアの外周面に接して設けられていてもよい。この場合、複雑な屈折率構造を用いないことにより、製造性を高めることができる。

- [0017] (8) 上記(7)では、共通クラッドの屈折率を基準とした4つのコアのそれぞれの比屈折率差は、0.50%以下であってもよい。この場合、深いディプレストクラッドあるいは屈折率トレンチを用いないことにより、製造性を高めることができる。また、コアと共通クラッドとの間において、屈折率差を過剰にしないことにより、伝送損失を抑えることができる。

- [0018] (9) 上記(1)から(6)のいずれか一つのMCFは、共通クラッドの内側において、4つのコアのそれぞれを取り囲む4つの個別クラッドを更に備え、共通クラッドの屈折率を基準とした4つの個別クラッドのそれぞれの比屈折率差を Δi_c [%] とすると、 Δi_c は式(10)を満たしてもよい

。

$$-0.20 \leq \Delta ic < 0 \quad (10)$$

この場合、深いディプレストクラッドあるいは屈折率トレンチを用いないことにより、製造性を高めることができる。

[0019] (10) 上記(1)から(6)のいずれか一つのMCFは、共通クラッドの内側において、4つのコアのそれぞれを取り囲む4つの個別クラッドを更に備え、各個別クラッドの屈折率を基準とした、その個別クラッドの内側のコアの比屈折率差は、それぞれ0.50%以下であってもよい。この場合、深いディプレストクラッドあるいは屈折率トレンチを用いないことにより、製造性を高めることができる。また、コアと個別クラッドとの間において、屈折率差を過剰にしないことにより、伝送損失を抑えることができる。

[0020] [本開示の実施形態の詳細]

本実施形態に係るMCFの具体例を、必要により図面を参照しつつ説明する。なお、本開示はこれらの例示に限定されず、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すべての変更が含まれることが意図される。図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

[0021] 図1は、実施形態に係るMCFの中心軸に直交する断面図である。図1に示されるように、実施形態に係るMCF1は、4つのコア2と、共通クラッド3と、被覆樹脂4と、を備える4コアファイバである。コア2は、シリカを主成分とするガラスで構成されている。中心軸AXに直交する断面において、4つのコア2は、互いに同じ円形状を有している。4つのコア2のそれぞれは、MCF1の中心軸AXに沿って延在している。

[0022] 中心軸AXに直交する断面において、4つのコア2のうちの1つである第1コアと、第1コアの最も近くに位置する第2コアとの間の中心間隔を D_c [μm] とすると、第1コアが4つのコア2のいずれであっても、 D_c が同じ値となる。すなわち、4つのコア2の中心は、一辺の長さを D_c [μm] とする正方形の4つの頂点に1つずつ配置されている。第1コアおよび第2

コアは隣接コアであり、 D_c は隣接コアの中心間隔である。MCF1では、4つのコア2が対称的に配置されているので、4つのコア2間での光学特性を均一化することができる。

[0023] 4つのコア2のそれぞれにおいて、波長 1550 nm における実効断面積を $A_{eff} [\mu\text{m}^2]$ とし、ケーブルカットオフ波長を $\lambda_{cc} [\mu\text{m}]$ とすると、 A_{eff} は式(1)および式(2)を満たし、 λ_{cc} は式(1)および式(3)を満たす。なお、4つのコア2の A_{eff} は互いに同一であってもよいし、互いに異なってもよい。また、4つのコア2の λ_{cc} は互いに同一であってもよいし、互いに異なってもよい。

$$A_{eff} \leq -11.919\lambda_{cc}^2 + 153.67\lambda_{cc} - 105.98 \quad (1)$$

$$70 \leq A_{eff} \leq 101.2 \quad (2)$$

$$1.270 \leq \lambda_{cc} \leq 1.530 \quad (3)$$

A_{eff} が $70\ \mu\text{m}^2$ 以上であることにより、非線形干渉による信号伝送品質の劣化を抑制できる。式(1)において、 A_{eff} が $70\ \mu\text{m}^2$ 以上であるためには、 λ_{cc} は 1270 nm 以上である必要がある。 λ_{cc} が 1530 nm 以下であることにより、Cバンド(波長 1530 nm から波長 1565 nm)およびLバンド(波長 1565 nm から波長 1625 nm)においてシングルモード動作を実現できる。よって、CバンドおよびLバンドにおける光信号伝送に適した光ファイバを実現できる。式(1)において、 λ_{cc} が 1530 nm 以下であるためには、 A_{eff} が $101.2\ \mu\text{m}^2$ 以下である必要がある。

[0024] 4つのコア2のそれぞれにおいて、 A_{eff} は式(6)を満たしてもよく、 λ_{cc} は式(7)を満たしてもよい。4つのコア2のそれぞれにおいて、 λ_{cc} は、式(8)を更に満たしてもよい。

$$70 \leq A_{eff} \leq 93.0 \quad (6)$$

$$1.270 \leq \lambda_{cc} \leq 1.460 \quad (7)$$

$$1.360 \leq \lambda_{cc} \quad (8)$$

式(1)において、 λ_{cc} が1460nm以下であるためには、 A_{eff} が $93.0\mu m^2$ 以下である必要がある。

[0025] 4つのコア2は、 D_c が第1コアおよび前記第2コアのいずれの A_{eff} および λ_{cc} に対しても、式(4)を満たすように配置されている。

$$D_c \geq 62.67 - 44.75\lambda_{cc} + 0.2217A_{eff} + 9.911\lambda_{cc}^2 - 8.461 \times 10^{-4}A_{eff}^2 + 3.981 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{eff} \quad (4)$$

これにより、波長1625nmにおける隣接コア間の並行伝搬時のXTが $10^{-4}/km$ 以下になる。よって、波長1625nmにおける隣接コア間の対向伝搬時のXT(対向XT)を $10^{-4}/(100km)^2$ 以下にすることができる。これにより対向伝搬時のXT起因の信号品質劣化を十分に抑えることができる。なお、並行伝搬では、隣接コア間で光信号の伝送方向が同じとなる。対向伝搬では、隣接コア間で光信号の伝送方向が異なる。

[0026] 特に対向伝搬を用いた長距離伝送において、隣接する増幅中継器間(スパン)での光ファイバの伝送損失(スパンロス)が小さい。このため、非特許文献3に基づけば、信号品質劣化抑制の観点から許容可能なXTとして支配的となるのは、並行伝搬する光信号が隣接コアを介してXTとなる間接XTである。間接XTは、各スパン内ではスパン長の2乗に比例する。よって、ここでは $1/(100km)^2$ を単位として用いている。 $10^{-4}/(100km)^2$ は $10^{-8}/km^2$ に等しい。複数のスパンにわたる間接XTの累積は、線形、すなわち、各スパンでの間接XTの単純な足し合わせとなる。このため、対向伝搬時のXTが $10^{-4}/(100km)^2$ 以下であれば、スパン長が平均で100km程度以下の対向伝搬型のマルチコア光ファイバ伝送システムにおいて、各スパンでの対向XTを概ね $10^{-4}/km$ 以下に抑えることができる。伝送システム全体としては、光ファイバ長(あるいはスパン数)によらずXTによる信号品質劣化を抑制できる。つまり、光増幅器起因の雑音や非線形干渉起因の雑音よりもXT起因の雑音を抑えることができる。

[0027] 並行伝搬時のXTについて、光信号伝送品質が劣化するレベル、すなわち

、 $10^{-4}/km$ 以下まで増加することを許容しつつも、対向伝搬時のXTについて、光信号伝送品質の劣化を抑えられるレベル以下とする。これにより、後述のOCTについて、漏洩損失を抑える値を実現できる。

[0028] 図2は、波長 $1625nm$ において対向伝搬時のXTが $10^{-4}/(100km)^2$ 以下となるDcの下限(Dmin)とAeffとの関係を複数の λ_{cc} に関してプロットした図である。複数の λ_{cc} は、 $1.26\mu m$ 、 $1.36\mu m$ 、 $1.46\mu m$ 、および $1.53\mu m$ である。図2の横軸はAeff [μm^2]を示し、縦軸はDmin [μm]を示す。例えば、 $\lambda_{cc}=1.53\mu m$ のとき、DminとAeffとの関係は、図2中の一番下の曲線よりも上の範囲になければいけない。

[0029] 図2に示される関係を整理したのが式(4)である。図2は、Aeff、 λ_{cc} およびDminの複数の組み合わせを作成することにより得たものである。具体的には、コア2の半径raおよびコアの比屈折率差 Δ を様々に変化させることにより、Aeffおよび λ_{cc} の複数の組み合わせを作成し、各組み合わせにおけるDminを算出した。

[0030] 共通クラッド3は、4つのコア2を取り囲んでいる。共通クラッド3は、4つのコア2の外周面に接して設けられている。コア2と共通クラッド3の間には、ディプレストクラッドが設けられていない。このようにMCF1は、複雑な屈折率構造を用いないので、製造性を高めることができる。

[0031] 共通クラッド3は、シリカを主成分とするガラスで構成されている。共通クラッド3は、4つのコア2それぞれの屈折率よりも低い屈折率を有している。コア2と共通クラッド3との間に屈折率差を生じさせるために、コア2にはゲルマニウム(Ge)が添加されていてもよい。または、共通クラッド3にフッ素(F)が添加されていてもよい。コア2および共通クラッド3に微量のFが添加されることにより、製造性よくDepressed型のプロファイルを実現できる。

[0032] 各コア2の比屈折率差 Δ_c は、コア2に接するクラッドの屈折率を基準として、 0.50% 以下である。本実施形態では、共通クラッド3が各コア2

と接しているので、屈折率の基準となるクラッドは、共通クラッド3である。共通クラッド3の屈折率を基準とした各コア2の比屈折率差 Δc は、 $\Delta 1$ で示される。すなわち、共通クラッド3の屈折率を基準とした4つのコア2のそれぞれの比屈折率差 $\Delta 1$ は、0.50%以下である。深いディプレストクラッドあるいは屈折率トレンチを用いないので、MCF1の製造性を高めることができる。コア2と共通クラッド3との間において、屈折率差を過剰にしないことにより、伝送損失を抑えることができる。

[0033] 共通クラッド3の直径（クラッド径）は、124.5 μm 以上125.5 μm 以下である。共通クラッド3は、広く普及している汎用シングルモード光ファイバのクラッド径と同じ直径（ $2rb$ ）を有しているので、同等の取り扱い性や機械的信頼性を実現することができる。

[0034] 被覆樹脂4は、共通クラッド3を取り囲んでいる。被覆樹脂4は、共通クラッド3の外周面に接して設けられている。被覆樹脂4は、例えば、紫外線硬化型樹脂により構成されている。

[0035] 4つのコア2は、中心軸AXに直交する断面において、共通クラッド3と被覆樹脂4との界面と、第1コアの中心との間の最短距離をOCT（外クラッド厚） $[\mu\text{m}]$ とすると、第1コアのOCT、 A_{eff} 、および、 λ_{cc} が式（5）を満たすように配置されている。

$$\text{OCT} \geq 76.53 - 70.55\lambda_{cc} + 0.3821A_{eff} + 19.56\lambda_{cc}^2 - 6.480 \times 10^{-4}A_{eff}^2 + 7.279 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{eff} \quad (5)$$

これにより、波長1625nmにおける漏洩損失を0.001dB/km以下にすることができる。

[0036] 4つのコア2は、第1コアのOCT、 A_{eff} 、および、 λ_{cc} が式（9）を満たすように配置されていてもよい。

$$\text{OCT} \geq 78.90 - 72.75\lambda_{cc} + 0.3936A_{eff} + 20.14\lambda_{cc}^2 - 6.704 \times 10^{-4}A_{eff}^2 + 7.480 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{eff} \quad (9)$$

これにより、波長1625nmにおける漏洩損失を0.0005dB/km以下にすることができる。

[0037] 図3は、波長1625nmにおいて漏洩損失が0.001dB/km以下となるOCTの下限値(OCTmin)とAeffとの関係を複数の λ_{cc} に関してプロットした図である。複数の λ_{cc} は、1.26 μm 、1.36 μm 、1.46 μm 、および1.53 μm である。図3の横軸はAeff [μm^2]を示し、縦軸はOCTmin [μm]を示す。例えば、 $\lambda_{cc}=1.53\mu\text{m}$ のとき、OCTminとAeffとの関係は、図3中の一番下の曲線よりも上の範囲になければいけない。

[0038] 図3に示される関係を整理したのが式(5)である。図3は、Aeff、 λ_{cc} およびOCTminの複数の組み合わせを作成することにより得たものである。具体的には、コア2の半径raと、共通クラッド3の屈折率を基準としたコア2の比屈折率差 $\Delta 1$ とを様々に変化させることにより、Aeffおよび λ_{cc} の複数の組み合わせを作成し、各組み合わせにおけるOCTminを算出した。

[0039] 図4は、波長1625nmにおいて漏洩損失が0.0005dB/km以下となるOCTの下限値(OCTmin)とAeffとの関係を複数の λ_{cc} に関してプロットした図である。複数の λ_{cc} は、1.26 μm 、1.36 μm 、1.46 μm 、および1.53 μm である。図4の横軸はAeff [μm^2]を示し、縦軸はOCTmin [μm]を示す。例えば、 $\lambda_{cc}=1.53\mu\text{m}$ のとき、OCTminとAeffとの関係は、図4中の一番下の曲線よりも上の範囲になければいけない。

[0040] 図4に示される関係を整理したのが式(9)である。図4は、Aeff、 λ_{cc} およびOCTminの複数の組み合わせを作成することにより得たものである。具体的には、コア2の半径raおよびコアの比屈折率差 Δ を様々に変化させることにより、Aeffおよび λ_{cc} の複数の組み合わせを作成し、各組み合わせにおけるOCTminを算出した。

[0041] 共通クラッド3の直径は124.5 μm 以上かつ125.5 μm であるから、漏洩損失が最も大きくなるのは、共通クラッド3の直径が124.5 μm のときである。共通クラッド3の直径が124.5 μm で、コアピッチ(

D c) が設計中心値から $\pm 1 \mu\text{m}$ ばらついても、波長 1625 nm において対向XTが $10^{-4} / (100 \text{ km})^2$ を満たし、漏洩損失が 0.001 dB/km 以下になるD c)の設計中心値が存在するA e f fと $\lambda \text{ cc}$ との関係は、式(1)で示される。すなわち、A e f fと $\lambda \text{ cc}$ との関係が式(1)を満たせば、共通クラッド3の直径が $124.5 \mu\text{m}$ 以上 $125.5 \mu\text{m}$ 以下のとき、コアピッチ(D c)が設計中心値から $\pm 1 \mu\text{m}$ ばらついても、波長 1625 nm において対向XTが $10^{-4} / (100 \text{ km})^2$ を満たし、漏洩損失が 0.001 dB/km 以下になるD c)の設計中心値が存在する。

[0042] 図5は、複数のクラッド径において、コアピッチが設計中心値から $\pm 1 \mu\text{m}$ ばらついても、波長 1625 nm における対向XTが $10^{-4} / (100 \text{ km})^2$ 以下を満たし、漏洩損失が 0.001 dB/km 以下となるA e f fの上限値と $\lambda \text{ cc}$ との関係を示すグラフである。複数のクラッド径は、 $124.5 \mu\text{m}$ 以上かつ $125.5 \mu\text{m}$ 以下の範囲で設定した。複数のクラッド径は、 $124.5 \mu\text{m}$ 、 $124.75 \mu\text{m}$ 、 $125 \mu\text{m}$ 、 $125.25 \mu\text{m}$ 、 $125.5 \mu\text{m}$ である。図5の横軸は $\lambda \text{ cc} [\mu\text{m}]$ を示し、縦軸はA e f fの上限値を示す。図5において、曲線および直線で示された略三角形の領域の一番内側が、式(1)、式(2)および式(3)をそれぞれ満たす範囲に相当する。

[0043] 図6は、 $124.5 \mu\text{m}$ 以上かつ $125.5 \mu\text{m}$ 以下の範囲の複数のクラッド径で、コアピッチが設計中心値から $\pm 1 \mu\text{m}$ ばらついても、波長 1625 nm において対向XTが $10^{-4} / (100 \text{ km})^2$ を満たし、漏洩損失が 0.0005 dB/km 以下となるA e f fの上限値と $\lambda \text{ cc}$ との関係を示すグラフである。図6の横軸は $\lambda \text{ cc} [\mu\text{m}]$ を示し、縦軸はA e f fの上限値を示す。図6において、曲線および直線で示された略三角形の領域の一番内側が、式(1)、式(6)および式(7)をそれぞれ満たす範囲に相当する。

[0044] 式(1)、式(2)、式(3)を満たし、かつ、式(5)を満たす場合、半径 25 mm 以上の曲げを付与したときの曲げ損失は、 100 巻き当たりで

0.1 dBを大きく下回る。よって、中継器や局舎において、MCF1の余長を半径25 mm以上で巻いて収納しても損失の増加を抑制できる。

[0045] 以上説明したように、本実施形態に係るMCF1では、波長1625 nmにおける隣接コア間の並行伝搬時のXTが $10^{-4}/\text{km}$ 以下になる。また、波長1625 nmにおける漏洩損失が0.001 dB/km以下になる。よって、波長1625 nmにおいて信号伝送品質が劣化することを抑制できる。MCF1によれば、少なくとも1530 nm以上1625 nm以下の波長範囲における対向伝搬による長距離伝送において、信号伝送品質が劣化することを抑制できる。

[0046] 以上、実施形態について説明してきたが、本開示は必ずしも上述した実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。

[0047] 図7は、第一変形例に係るMCFの中心軸に直交する断面図である。図8に示されるように、第一変形例に係るMCF1Aでは、中心軸AXに直交する断面において、4つのコア2の中心は、三辺の長さがDcであり、一辺の長さがDcより長い等脚台形の4つの頂点に1つずつ配置されている。MCF1Aでは、マーカーを設けなくても、コア2の識別を行うことができる。

[0048] 図8は、第二変形例に係るMCFの中心軸に直交する断面図である。図9に示されるように、第二変形例に係るMCF1Bは、4つの個別クラッド5を更に備える。4つの個別クラッド5は、共通クラッド3の内側において、4つのコア2のそれぞれを取り囲んでいる。共通クラッド3の屈折率を基準とした4つの個別クラッド5のそれぞれの比屈折率差を Δic [%] とすると、 Δic は式(10)を満たす。

$$-0.20 \leq \Delta ic < 0 \quad (10)$$

上述のように、各コア2の比屈折率差 Δc は、コア2に接するクラッドの屈折率を基準として、0.50%以下である。本変形例では、屈折率の基準となるクラッドは、対応する個別クラッド5、すなわちコア2を内側に取り囲む個別クラッド5である。MCF1Bにおいても深いディプレストクラッド

ドあるいは屈折率トレンチを用いないので、製造性を高めることができる。コア2と対応する個別クラッド5との間において、屈折率差を過剰にしないことにより、伝送損失を抑えることができる。

[0049] 図9は、本開示のMCFに適用可能なコア周辺の屈折率プロファイルを示す図である。本開示のMCFにおけるコア構造に関し、コアの屈折率プロファイルやそれに伴う光学特性については、用途に応じて適正な構造を選択することができる。例えば、図9に示されたパターン(A)からパターン(J)の屈折率プロファイルが適用可能である。なお、図9において、 Δ は、共通クラッドの屈折率を基準とした比屈折率差であり、 r は、各コア中心からの動径(radius)であり、各コア中心・ $\Delta = 0\%$ を原点Oとする局所座標系で示している。構造はコア間で一致していてもよく、また、異なってもよい。

[0050] 図9に示されたパターン(A)はステップ型の屈折率プロファイル、パターン(B)はリング型の屈折率プロファイル、パターン(C)は2重ステップ型の屈折率プロファイル、パターン(D)はグレーデッド型の屈折率プロファイル、パターン(E)は裾だれ型の屈折率プロファイルであり、これらは、本開示のMCFにおけるコア構造に適用可能である。さらに、コアの周囲にDepressed型の屈折率プロファイルが設けられたパターン(F)およびパターン(H)、コアの周囲にRaised型の屈折率プロファイルが設けられたパターン(G)、パターン(I)およびパターン(J)、コアの周囲にMatched型の屈折率プロファイルが設けられたパターン(E)についても、コア構造に適用可能である。

[0051] パターン(A)、パターン(B)、パターン(C)、およびパターン(D)は、実施形態に係るMCF1および第一変形例に係るMCF1Aに対応する。パターン(F)、およびパターン(H)において式(10)を満たす場合は、第二変形例に係るMCF1Bに対応する。

[0052] パターン(A)のステップ型の屈折率プロファイル以外の屈折率プロファイルにはESI(Equivalent-step-index)近似を用

いて、ステップ型で近似した場合のコアの半径 r_a や比屈折率差 Δ_1 を求めることができる（非特許文献4）。非特許文献4は、コアとクラッドの境界が明瞭な場合には容易に適用できる。コアと共通クラッドの境界が不明瞭なパターン（E）、パターン（H）、パターン（I）、およびパターン（J）の屈折率プロファイルの場合は、ES I 近似前の屈折率プロファイルの $d\Delta/d_r$ が最小（右下向きの傾きが最も急）になる r を近似前のコアのコア半径とみなしてES I 近似を行うことができる。個別クラッドの比屈折率差（ Δ_{ic} ）は、近似前のコアの比屈折率差の個別クラッド部分での平均値を用いることができる。すなわち、横軸（ r 軸）上の r_a から r_b の中央部での平均値 $(r_b - r_a) / 3 + r_a \leq r \leq 2(r_b - r_a) / 3 + r_a$ を用いることができる。

[0053] 図10は、本開示のMCFに適用可能なコア周辺の屈折率プロファイルを示す図である。図9において、 Δ は、共通クラッドの屈折率を基準とした比屈折率差であるのに対し、図10において、 Δ は、コアと接しているクラッドの屈折率を基準とした比屈折率差である。よって、図10では、コアの比屈折率差は Δ_c で示されている。図10に示されたパターン（A）から（E）では、屈折率の基準となるクラッドが共通クラッドであるため、図9に示されたパターン（A）から（E）と実質的に同じ屈折率プロファイルとなっている。図10に示されたパターン（F）から（J）では、共通クラッド以外のクラッドがコアに接して設けられているため、図9に示されたパターン（F）から（J）と異なる屈折率プロファイルとなっている。

[0054] コア周辺の屈折率プロファイルは、図9及び図10のそれぞれに示されたパターン（A）からパターン（J）の屈折率プロファイルに限定されない。

[0055] なお、本開示のMCFの特徴量や特性は、以下の方法で測定可能である。コア、共通クラッドおよび個別クラッドの屈折率は、例えば、屈折ニアフィールド法や横方向干渉法で測定できる。共通クラッドの直径は、例えば、屈折ニアフィールド法や横方向干渉法、またMCF断面の顕微鏡観察画像（透過ニアフィールド法）から測定できる。実効断面積 A_{eff} は、例えば、I

TU-T G. 650. 2 (08/2015) のAppendix IIIに記載の方法で測定できる。ケーブルカットオフ波長 λ_{cc} は、例えば、ITU-T G. 650. 1 (10/2020) の6. 3節に記載の方法で測定できる。第1コアと、第1コアの最も近くに位置する第2コアとの間の中心間隔を D_c は、例えば、屈折ニアフィールド法や横方向干渉法、MCF断面の顕微鏡観察画像（透過ニアフィールド法）から測定できる。共通クラッドと被覆樹脂との界面と、第1コアの中心との間の最短距離OCTは、例えば、屈折ニアフィールド法や横方向干渉法、MCF断面の顕微鏡観察画像（透過ニアフィールド法）から測定できる。並行伝搬時のXTは、非特許文献5に記載の方法で測定できる。対向伝搬時のXTは、非特許文献3に記載の式に基づいて並行伝搬時のXTから予測できる。漏洩損失は、特許文献3に記載の方法で測定できる。マルチコアファイバを構成する成分は、蛍光X線分析で測定できる。

[0056] 上記の式では単位を省略していたが、(1) から (10) の式の定数と係数の単位は次の通りである。ただし [-] は無次元量であることを表す。

式 (1) : $-11.919 [-]$, $153.67 [\mu\text{m}]$, $-105.98 [\mu\text{m}^2]$

式 (2) : $70 [\mu\text{m}^2]$, $101.2 [\mu\text{m}^2]$

式 (3) : $1.270 [\mu\text{m}]$, $1.530 [\mu\text{m}]$

式 (4) : $62.67 [\mu\text{m}]$, $-44.75 [-]$, $0.2217 [\mu\text{m}^{-1}]$, $9.911 [\mu\text{m}^{-1}]$, $-8.461 \times 10^{-4} [\mu\text{m}^{-3}]$, $3.981 \times 10^{-2} [\mu\text{m}^{-2}]$

式 (5) : $76.53 [\mu\text{m}]$, $-70.55 [-]$, $0.3821 [\mu\text{m}^{-1}]$, $19.56 [\mu\text{m}^{-1}]$, $-6.480 \times 10^{-4} [\mu\text{m}^{-3}]$, $7.279 \times 10^{-2} [\mu\text{m}^{-2}]$

式 (6) : $70 [\mu\text{m}^2]$, $93.0 [\mu\text{m}^2]$

式 (7) : $1.270 [\mu\text{m}]$, $1.460 [\mu\text{m}]$

式 (8) : $1.360 [\mu\text{m}]$

式 (9) : $78.90 [\mu\text{m}]$, $-72.75 [-]$, $0.3936 [\mu\text{m}^{-1}]$, $20.14 [\mu\text{m}^{-1}]$, $-6.704 \times 10^{-4} [\mu\text{m}^{-3}]$, $7.480 \times 10^{-2} [\mu\text{m}^{-2}]$

式 (10) : $-0.20 [\%]$, $0 [\%]$

[0057] また、上述の各物理量等のシンボルは単位を含まないと考え、シンボルはシンボルに併記した単位の場合の数値を表すとみなし、(1) から (10) の式も無次元であるとみなしても、式は成立する。その場合、式に用いられる λ_{cc} の数値は、単位が $[\mu\text{m}]$ の数値である。上記では、光信号の波長との比較のために、 λ_{cc} の数値が $[\text{nm}]$ の単位で記載されている場合がある。

符号の説明

[0058] 1, 1A, 1B...MCF

2...コア

3...共通クラッド

4...被覆樹脂

5...個別クラッド

AX...中心軸

Dc...隣接コアの中心間隔

OC T...外クラッド厚

Δ ...比屈折率差

Δ_c ...コアと接するクラッドを基準としたコアの比屈折率差

Δ_1 ...共通クラッドの屈折率を基準としたコアの比屈折率差

Δ_{ic} ...個別クラッドの比屈折率差

ra...コアの半径

rb...クラッドの半径

請求の範囲

[請求項1]

マルチコア光ファイバの中心軸に沿ってそれぞれ延びる4つのコアと、

前記4つのコアを取り囲み、前記4つのコアそれぞれの屈折率よりも低い屈折率を有する共通クラッドと、

前記共通クラッドを取り囲む被覆樹脂と、

を備え、

前記共通クラッドの直径は、 $124.5\mu\text{m}$ 以上 $125.5\mu\text{m}$ 以下であり、

前記4つのコアのそれぞれにおいて、波長 1550nm における実効断面積を $A_{\text{eff}}[\mu\text{m}^2]$ とし、ケーブルカットオフ波長を $\lambda_{\text{cc}}[\mu\text{m}]$ とすると、 A_{eff} は式(1)および式(2)を満たし、 λ_{cc} は式(1)および、式(3)を満たし、

前記4つのコアは、前記中心軸に直交する断面において、前記4つのコアのうちの1つである第1コアと、前記第1コアの最も近くに位置する第2コアとの間の中心間隔を $D_{\text{c}}[\mu\text{m}]$ とし、前記共通クラッドと前記被覆樹脂との界面と、前記第1コアの中心との間の最短距離を $OCT[\mu\text{m}]$ とすると、 D_{c} が前記第1コアおよび前記第2コアのいずれの A_{eff} および λ_{cc} に対しても、式(4)を満たし、前記第1コアの OCT 、 A_{eff} 、および、 λ_{cc} が式(5)を満たすように配置されている、

マルチコア光ファイバ。

$$A_{\text{eff}} \leq -11.919\lambda_{\text{cc}}^2 + 153.67\lambda_{\text{cc}} - 105.98 \quad (1)$$

$$70 \leq A_{\text{eff}} \leq 101.2 \quad (2)$$

$$1.270 \leq \lambda_{\text{cc}} \leq 1.530 \quad (3)$$

$$D_{\text{c}} \geq 62.67 - 44.75\lambda_{\text{cc}} + 0.2217A_{\text{eff}} + 9.911\lambda_{\text{cc}}^2 - 8.461 \times 10^{-4}A_{\text{eff}}^2 + 3.981 \times 10^{-2}\lambda_{\text{cc}}A_{\text{eff}} \quad (4)$$

$$\text{OCT} \geq 76.53 - 70.55\lambda_{cc} + 0.3821A_{eff} + 19.56\lambda_{cc}^2 - 6.480 \times 10^{-4}A_{eff}^2 + 7.279 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{eff} \quad (5)$$

[請求項2] 前記4つのコアのそれぞれにおいて、 A_{eff} は式(6)を満たし、 λ_{cc} は式(7)を満たす、
請求項1に記載のマルチコア光ファイバ。

$$70 \leq A_{eff} \leq 93.0 \quad (6)$$

$$1.270 \leq \lambda_{cc} \leq 1.460 \quad (7)$$

[請求項3] 前記4つのコアのそれぞれにおいて、 λ_{cc} は式(8)を満たす、
請求項1または請求項2に記載のマルチコア光ファイバ。

$$1.360 \leq \lambda_{cc} \quad (8)$$

[請求項4] 前記4つのコアは、前記第1コアのOCT、 A_{eff} 、および、 λ_{cc} が式(9)を満たすように配置されている、
請求項1から請求項3のいずれか一項に記載のマルチコア光ファイバ。

$$\text{OCT} \geq 78.90 - 72.75\lambda_{cc} + 0.3936A_{eff} + 20.14\lambda_{cc}^2 - 6.704 \times 10^{-4}A_{eff}^2 + 7.480 \times 10^{-2}\lambda_{cc}A_{eff} \quad (9)$$

[請求項5] 前記断面において、前記4つのコアの中心は、一辺の長さを D_c とする正方形の4つの頂点に1つずつ配置されている、
請求項1から請求項4のいずれか一項に記載のマルチコア光ファイバ。

[請求項6] 前記断面において、前記4つのコアの中心は、三辺の長さが D_c であり、一辺の長さが D_c より長い等脚台形の4つの頂点に1つずつ配置されている、
請求項1から請求項4のいずれか一項に記載のマルチコア光ファイバ。

[請求項7] 前記共通クラッドは、前記4つのコアの外周面に接して設けられている、

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のマルチコア光ファイバ。

[請求項8] 前記共通クラッドの屈折率を基準とした前記 4 つのコアのそれぞれの比屈折率差は、0.50%以下である、
請求項 7 に記載のマルチコア光ファイバ。

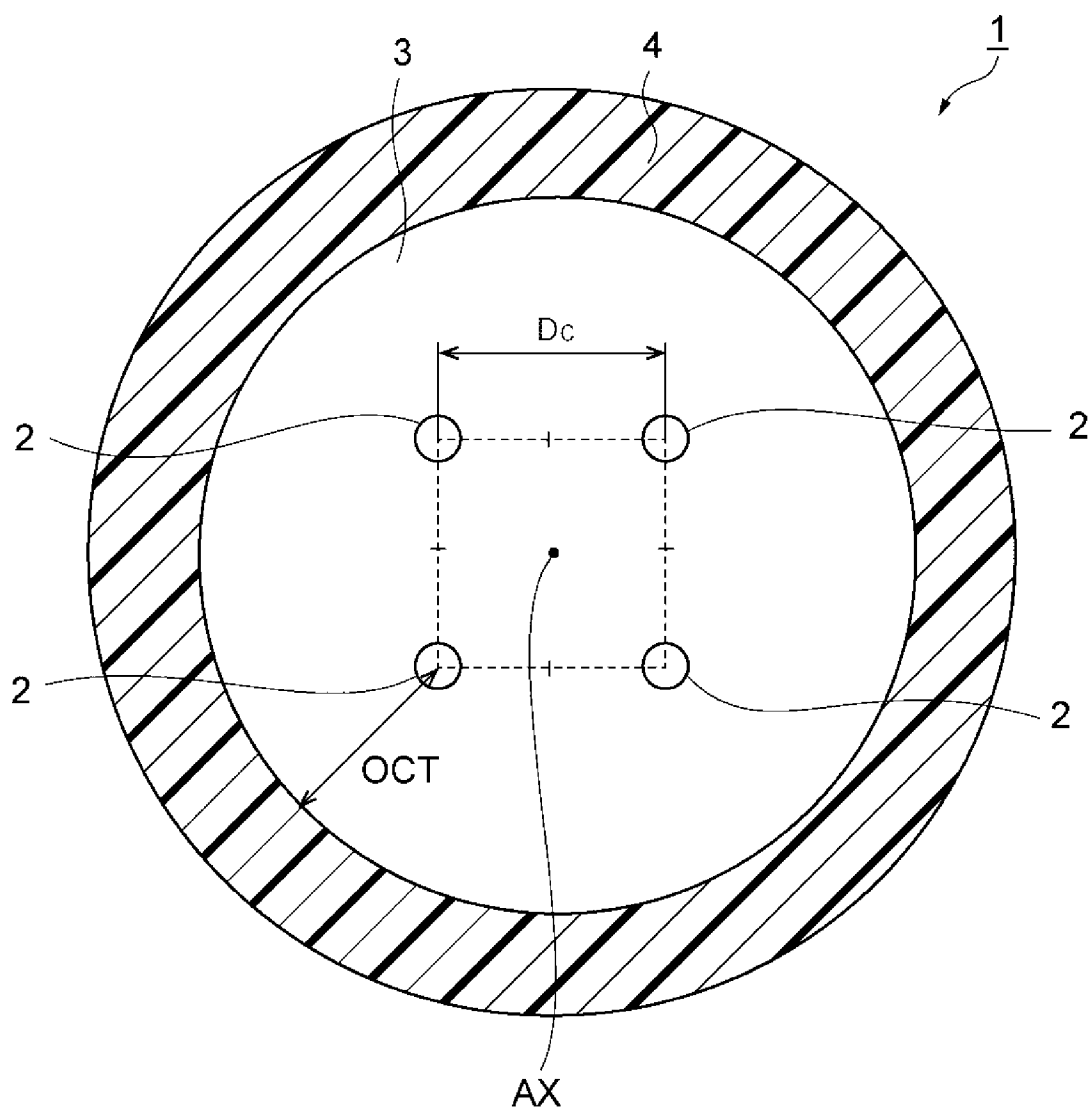
[請求項9] 前記共通クラッドの内側において、前記 4 つのコアのそれぞれを取り囲む 4 つの個別クラッドを更に備え、
前記共通クラッドの屈折率を基準とした前記 4 つの個別クラッドのそれぞれの比屈折率差を $\Delta i c$ [%] とすると、 $\Delta i c$ は式 (10) を満たす、

請求項 1 から請求項 6 のいずれか一項に記載のマルチコア光ファイバ。

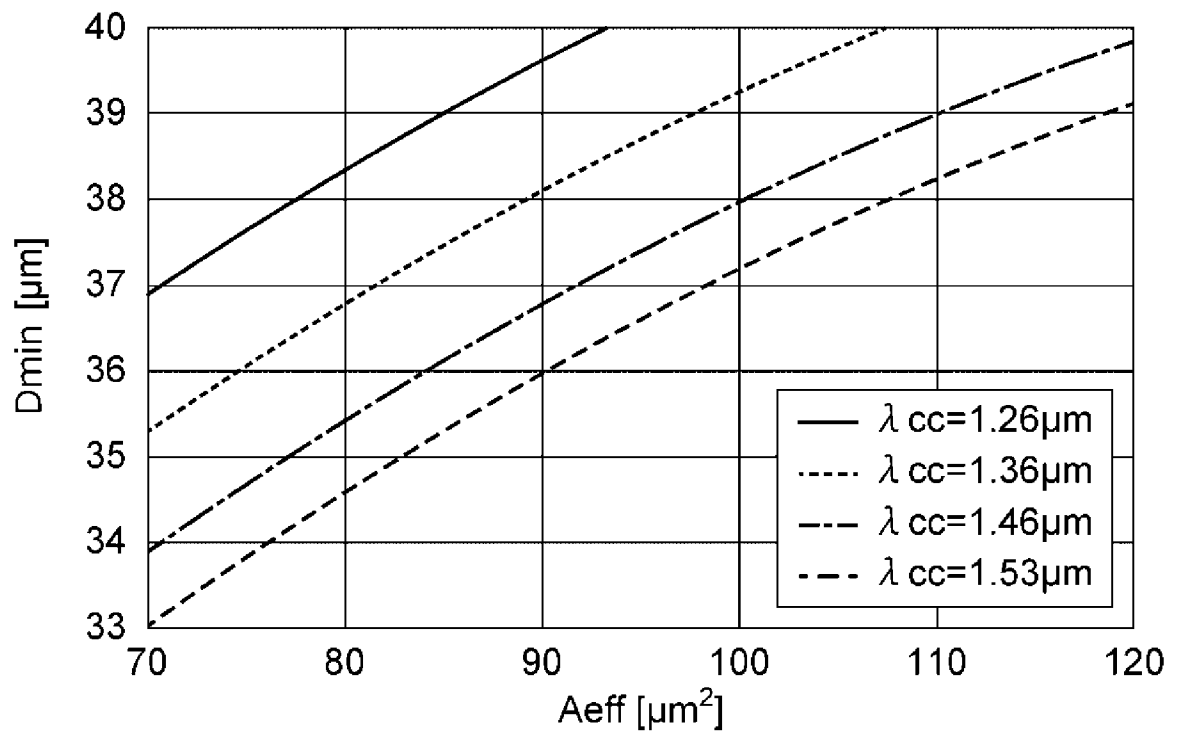
$$-0.20 \leq \Delta i c < 0 \quad (10)$$

[請求項10] 前記共通クラッドの内側において、前記 4 つのコアのそれぞれを取り囲む 4 つの個別クラッドを更に備え、
各個別クラッドの屈折率を基準とした、その個別クラッドの内側のコアの比屈折率差は、それぞれ 0.50%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マルチコア光ファイバ。

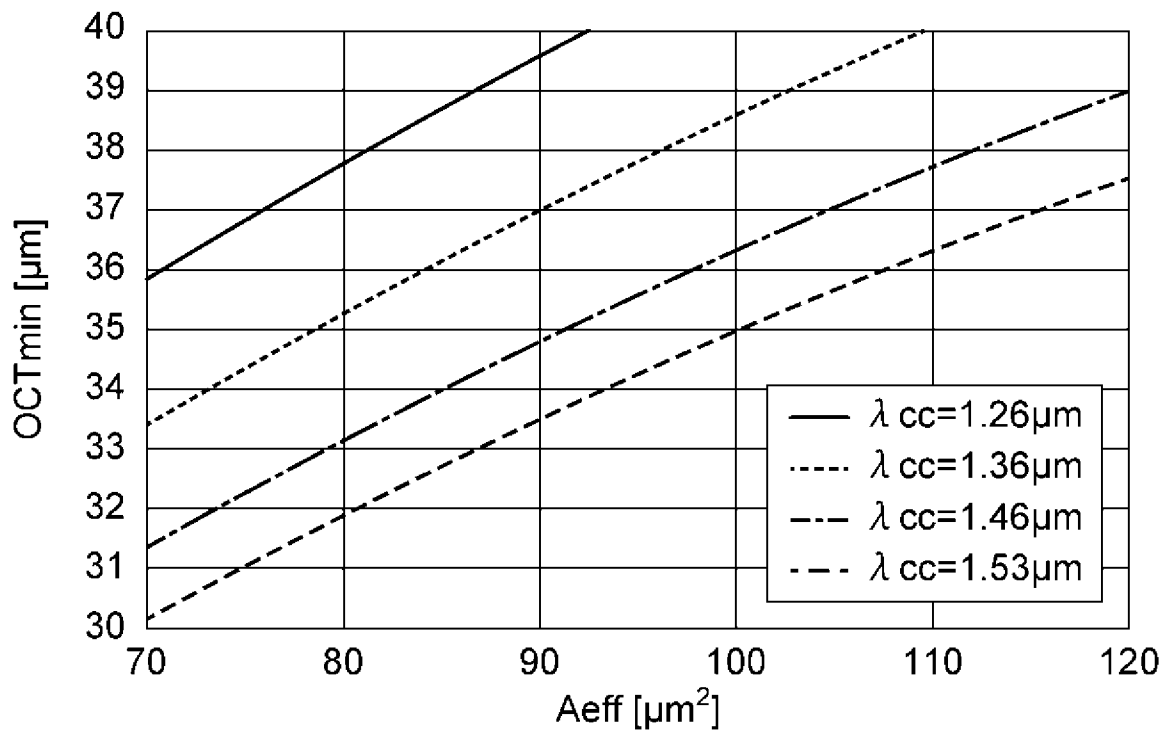
[図1]



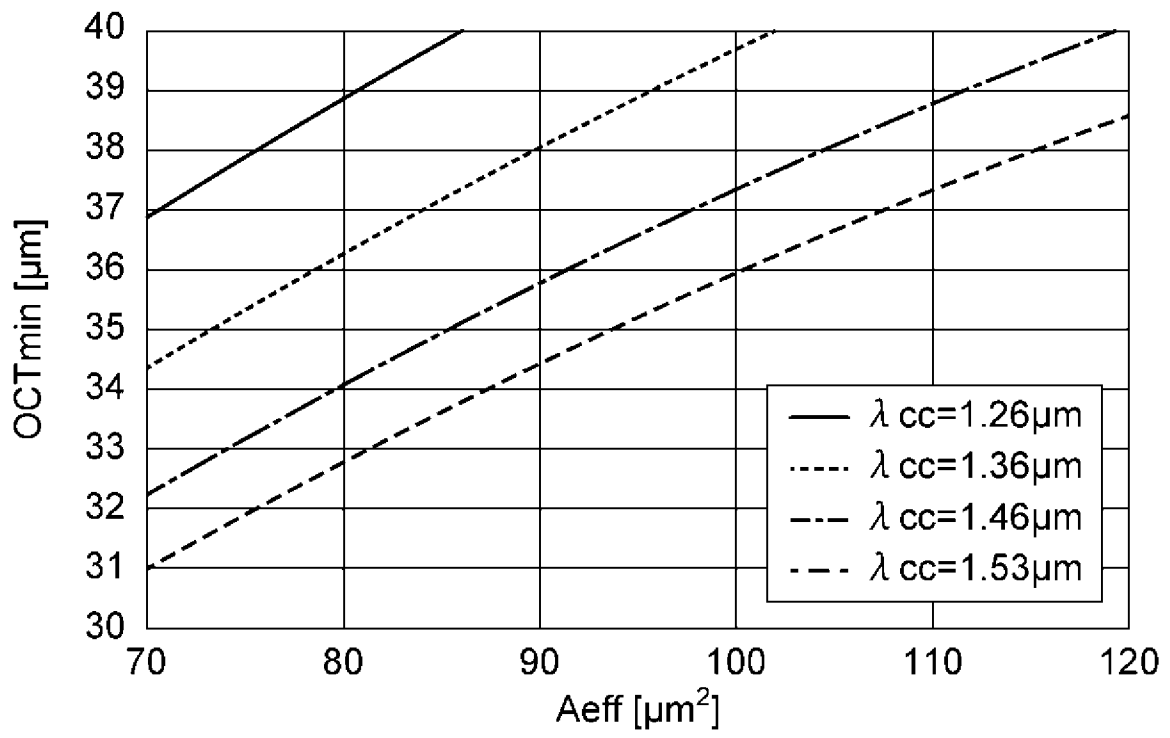
[図2]



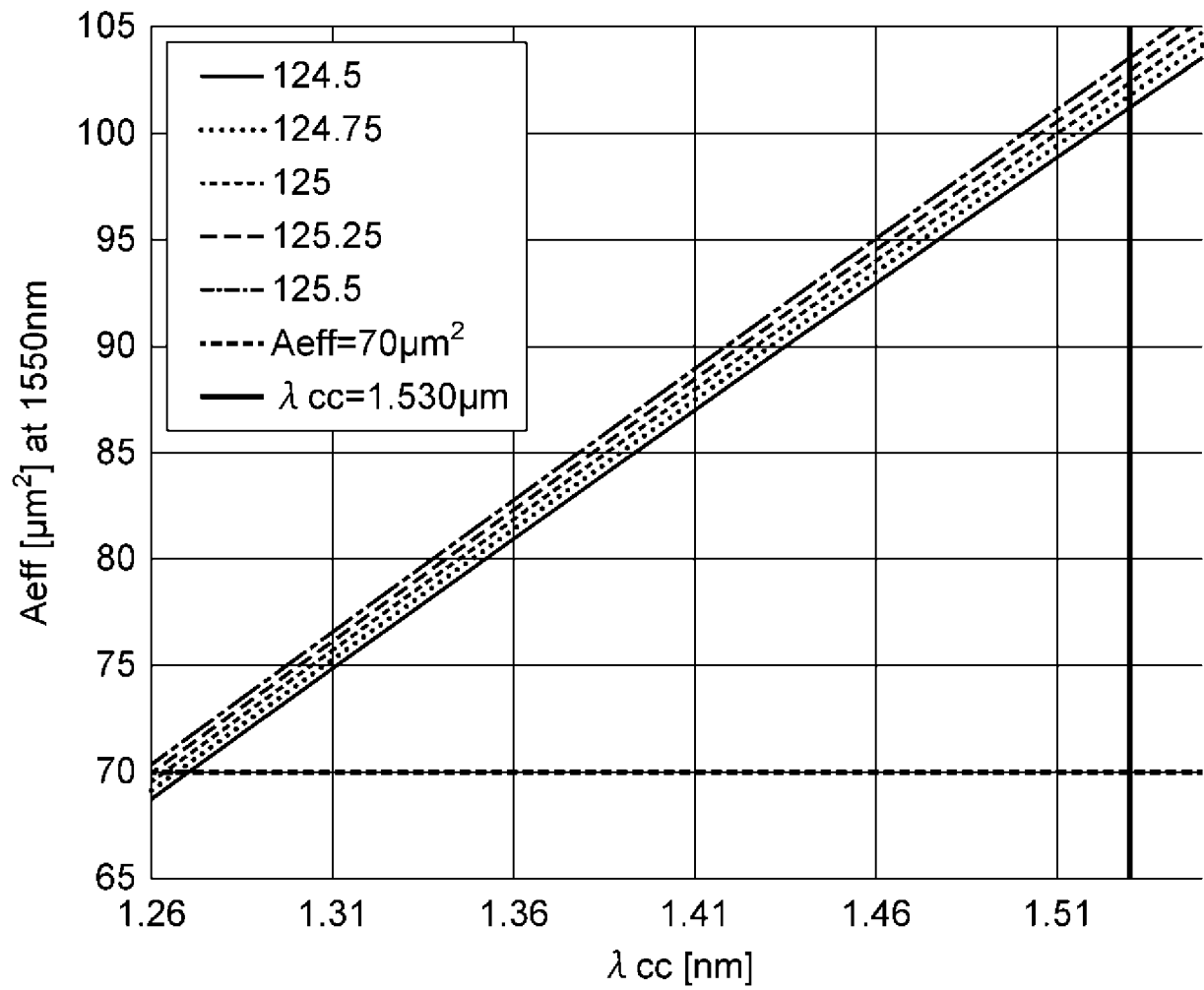
[図3]



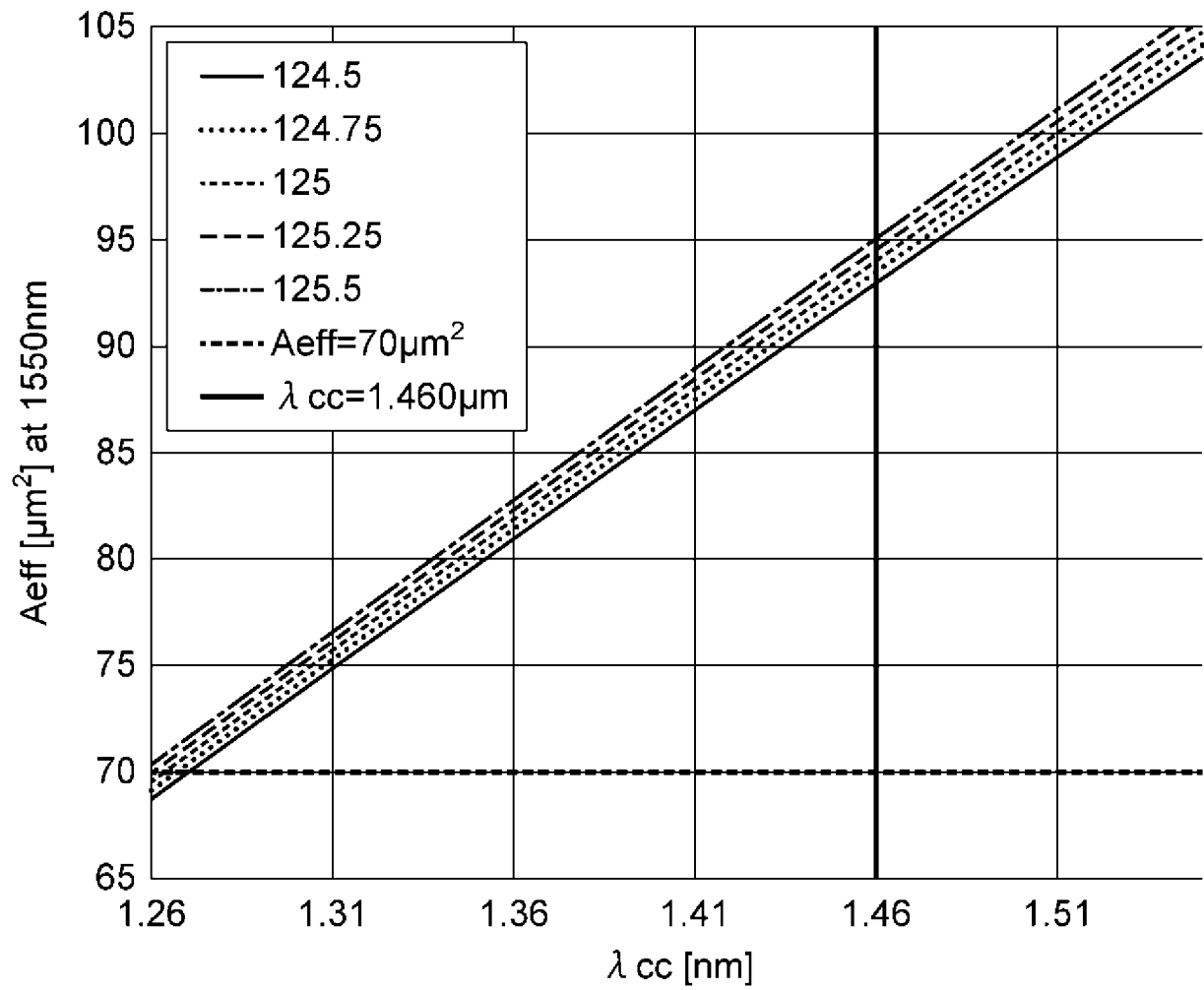
[図4]



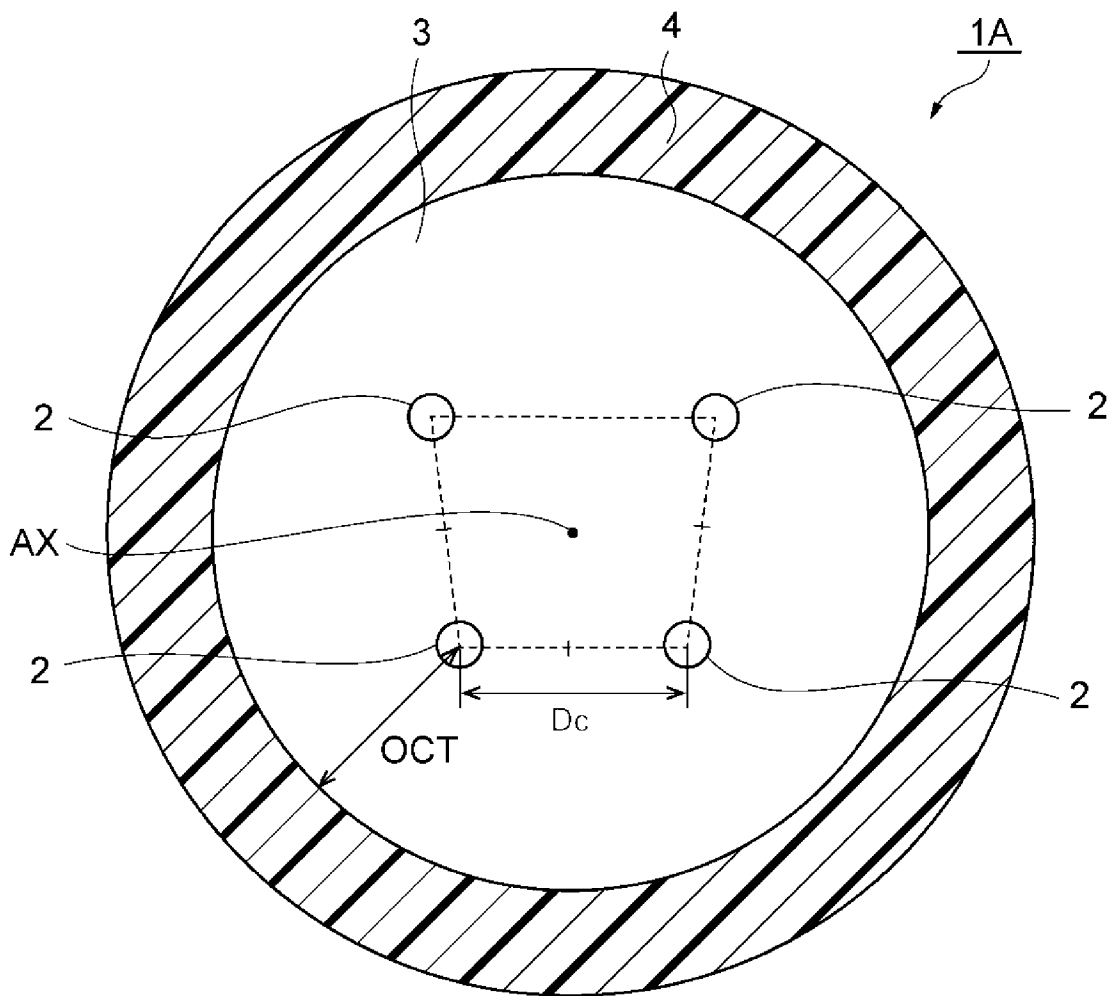
[図5]



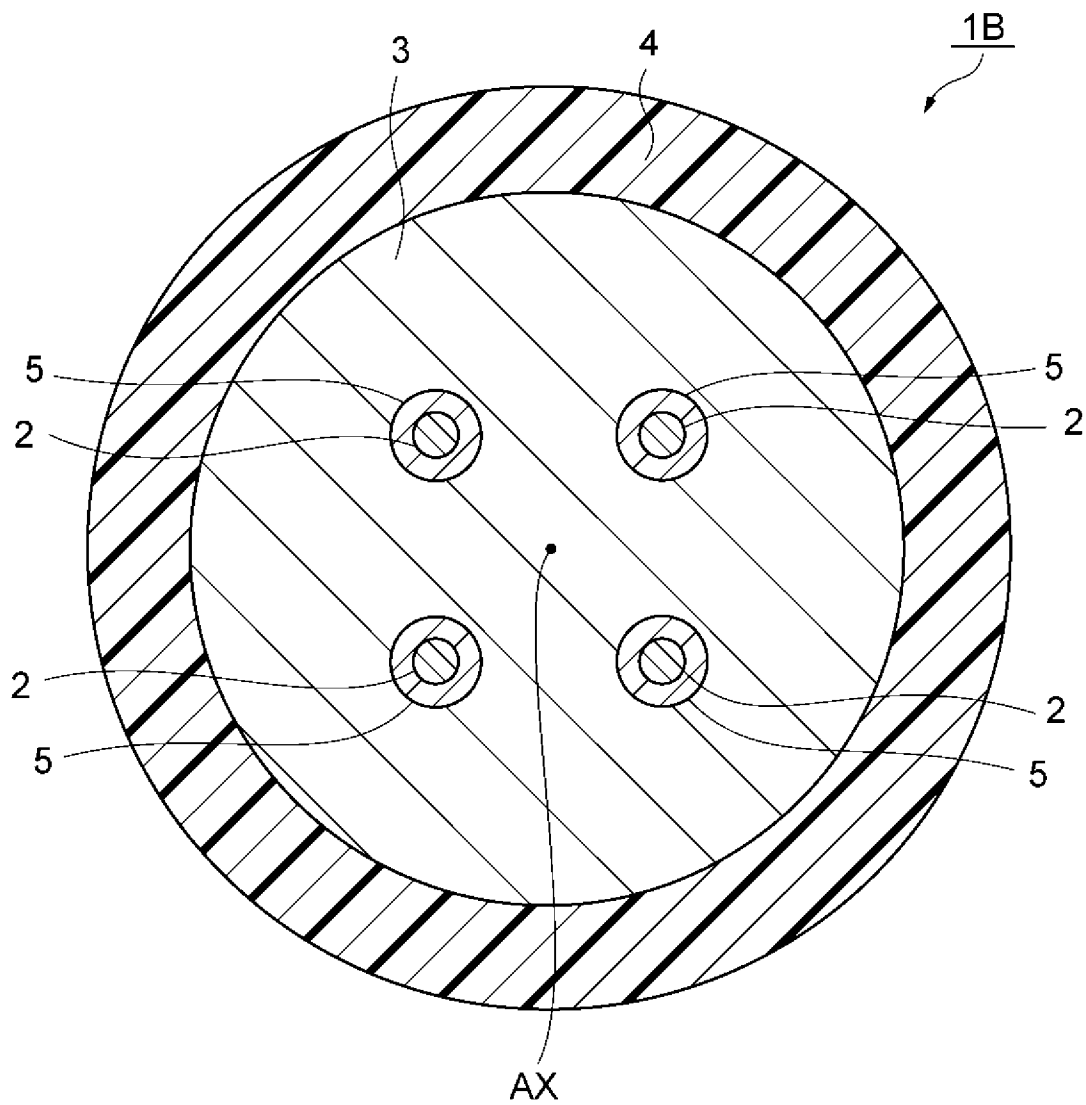
[図6]



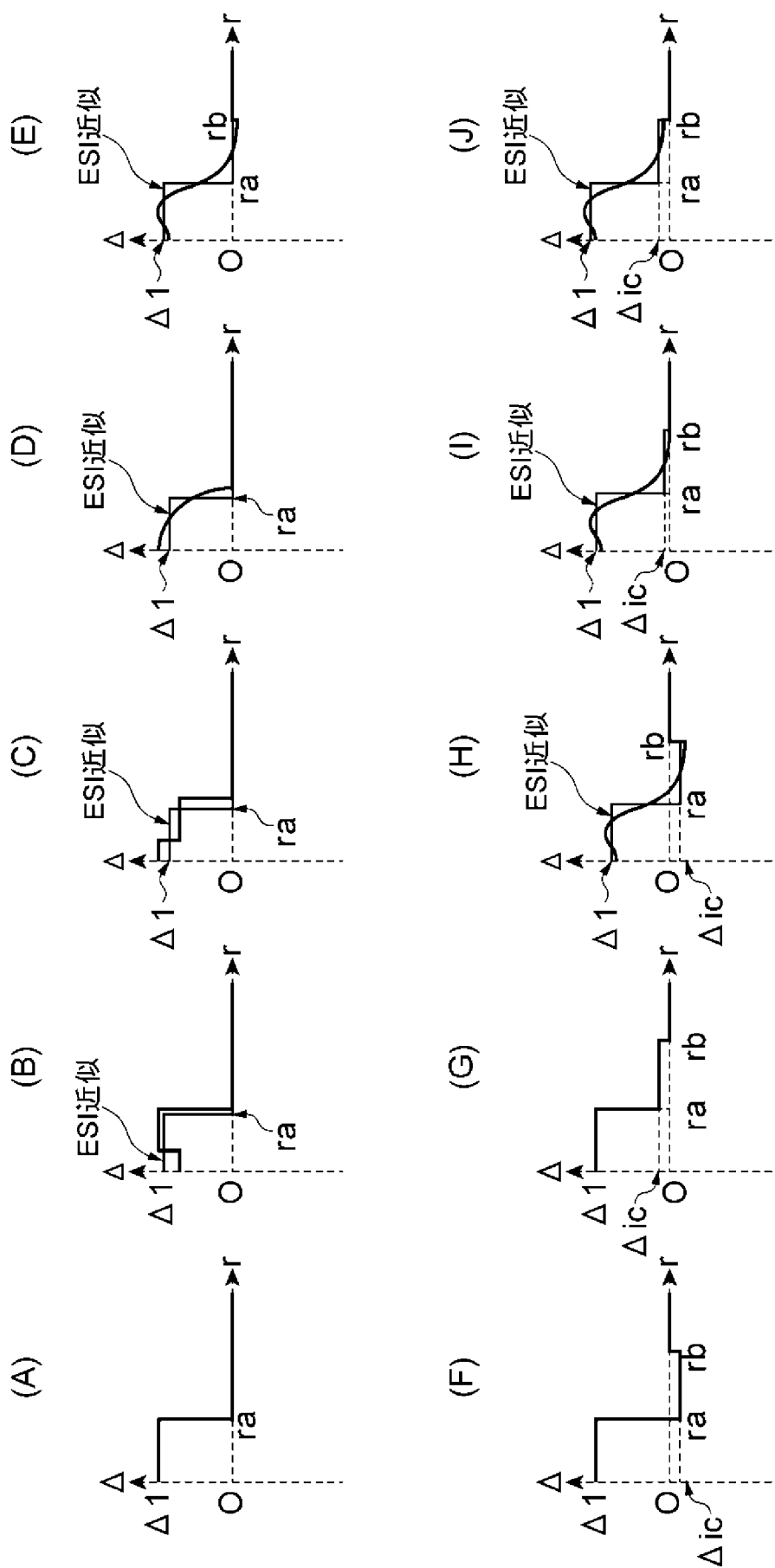
[図7]



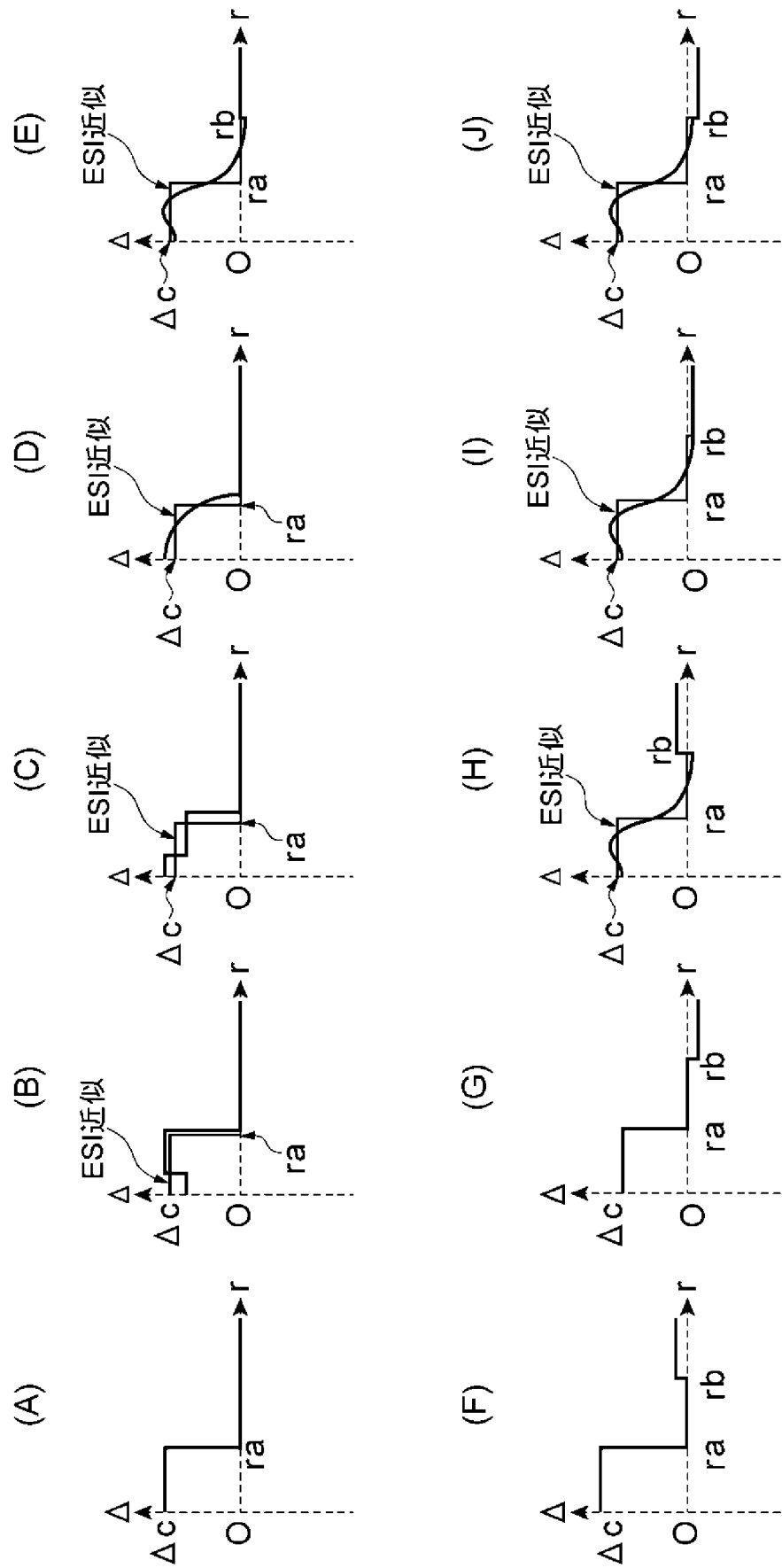
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/040553

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER <i>G02B 6/02</i> (2006.01)i; <i>G02B 6/036</i> (2006.01)i FI: G02B6/02 461; G02B6/036 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		
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) JSTPlus/JSTChina/JST7580 (JDreamIII); IEEE Xplore		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2020-86054 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 04 June 2020 (2020-06-04) paragraphs [0026]-[0059], fig. 1-20	1-5, 9-10
Y		6
X	WO 2022/034662 A1 (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 17 February 2022 (2022-02-17) paragraphs [0020]-[0050], [0054], fig. 1-13, 15-17	1-5, 7-10
Y		6
Y	JP 2022-66053 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES) 28 April 2022 (2022-04-28) paragraphs [0034]-[0037], fig. 2	6
A	JP 2020-115191 A (NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE) 30 July 2020 (2020-07-30) entire text, all drawings	1-10
A	US 2022/0283362 A1 (CORNING INCORPORATED) 08 September 2022 (2022-09-08) entire text, all drawings	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "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 12 December 2023		Date of mailing of the international search report 16 January 2024
Name and mailing address of the ISA/JP Japan Patent Office (ISA/JP) 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915 Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/040553

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2022/0043201 A1 (CORNING INCORPORATED) 10 February 2022 (2022-02-10) entire text, all drawings	1-10
A	SAGAE, Y. et al. Ultra-Low Crosstalk Multi-Core Fiber with Standard 125- μ m Cladding Diameter for 10000km-Class Long-Haul Transmission. IEICE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS. 08 June 2020, vol. E103-B, no. 11, pp. 1199-1205 entire text, all drawings	1-10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/040553

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP	2020-86054	A	04 June 2020	US 2022/0003920 A1 paragraphs [0092]-[0165], fig. 1-20	
				WO 2020/105470 A1	
				EP 3885804 A1	
				CN 112969941 A	
WO	2022/034662	A1	17 February 2022	US 2023/341618 A1 paragraphs [0060]-[0133], [0137], fig. 1-13, 15-17	
				EP 4198585 A1	
				CN 116171396 A	
JP	2022-66053	A	28 April 2022	US 2022/0120962 A1 paragraphs [0057]-[0060], fig. 2	
				EP 3995870 A2	
				CN 114384626 A	
JP	2020-115191	A	30 July 2020	US 2022/0120961 A1	
				WO 2020/149158 A1	
				EP 3913411 A1	
				CN 113272691 A	
US	2022/0283362	A1	08 September 2022	WO 2022/187199 A1	
				EP 4053606 A1	
				NL 2027829 B	
US	2022/0043201	A1	10 February 2022	WO 2022/035630 A1	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G02B 6/02(2006.01)i; G02B 6/036(2006.01)i FI: G02B6/02 461; G02B6/036		
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 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） JSTPlus/JSTChina/JST7580 (JDreamIII); IEEE Xplore		
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 Y	JP 2020-86054 A (日本電信電話株式会社) 04.06.2020 (2020-06-04) 段落 [0026] - [0059], 第1-20図	1-5, 9-10 6
X Y	WO 2022/034662 A1 (日本電信電話株式会社) 17.02.2022 (2022-02-17) 段落 [0020] - [0050], [0054], 第1-13, 15-17図	1-5, 7-10 6
Y	JP 2022-66053 A (住友電気工業株式会社) 28.04.2022 (2022-04-28) 段落 [0034] - [0037], 第2図	6
A	JP 2020-115191 A (日本電信電話株式会社) 30.07.2020 (2020-07-30) 全文, 全図	1-10
A	US 2022/0283362 A1 (CORNING INCORPORATED) 08.09.2022 (2022-09-08) 全文, 全図	1-10
A	US 2022/0043201 A1 (CORNING INCORPORATED) 10.02.2022 (2022-02-10) 全文, 全図	1-10
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input checked="" type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な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	
12.12.2023	16.01.2024	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 山本 元彦 2L 3914 電話番号 03-3581-1101 内線 3295	

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	SAGAE, Y. et al., Ultra-Low Crosstalk Multi-Core Fiber with Standard 125- μ m Cladding Diameter for 10000km-Class Long-Haul Transmission, IEICE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, 2020.06.08, Vol. E103-B, No. 11, pp. 1199-1205 全文, 全図	1-10

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/JP2023/040553

引用文献			公表日	パテントファミリー文献		公表日
JP	2020-86054	A	04.06.2020	US	2022/0003920 A1	
					段落 [0092] - [0165] , 第 1-20図	
				WO	2020/105470 A1	
				EP	3885804 A1	
				CN	112969941 A	
WO	2022/034662	A1	17.02.2022	US	2023/341618 A1	
					段落 [0060] - [0133] , [0137] , 第1-13, 15-17図	
				EP	4198585 A1	
				CN	116171396 A	
JP	2022-66053	A	28.04.2022	US	2022/0120962 A1	
					段落 [0057] - [0060] , 第 2図	
				EP	3995870 A2	
				CN	114384626 A	
JP	2020-115191	A	30.07.2020	US	2022/0120961 A1	
				WO	2020/149158 A1	
				EP	3913411 A1	
				CN	113272691 A	
US	2022/0283362	A1	08.09.2022	WO	2022/187199 A1	
				EP	4053606 A1	
				NL	2027829 B	
US	2022/0043201	A1	10.02.2022	WO	2022/035630 A1	