(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5月16日(16.05.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/101065 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 6/032 (2006.01) *G02B 6/02* (2006.01)
C03B 37/023 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/037065

(22) 国際出願日： 2023年10月12日(12.10.2023)

(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 2022-181193 2022年11月11日(11.11.2022) 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: 榎本 正 (**ENOMOTO Tadashi**); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP).

(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (**HASEGAWA Yoshiki** et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目１番１号丸の内 ＭＹ ＰＬＡＺＡ（明治安田生命ビル） ９階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU,

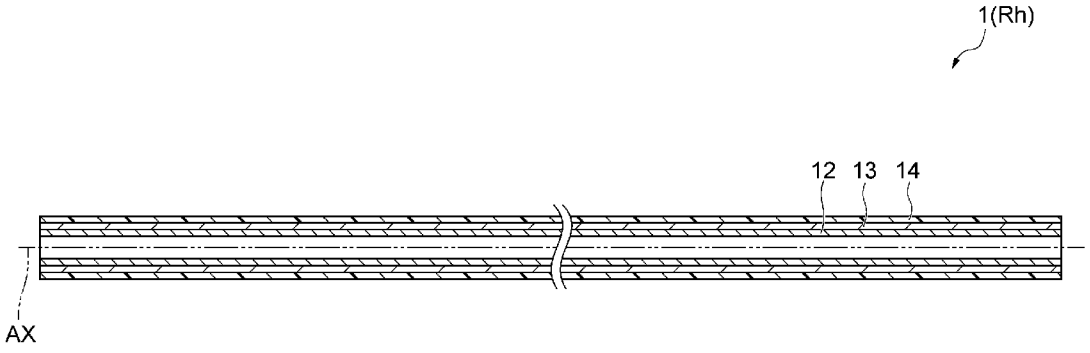
WO 2024/101065 A1

(54) **Title:** HOLLOW-CORE FIBER AND METHOD FOR MANUFACTURING HOLLOW-CORE FIBER

(54) 発明の名称： 中空コアファイバおよび中空コアファイバの製造方法

$$\Delta = \frac{n1^2 - n2^2}{2n1^2} \qquad (1)$$

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} an1\sqrt{2\Delta} \qquad (2)$$



(57) **Abstract:** This hollow-core fiber comprises a hollow region that extends in the longitudinal direction of the hollow-core fiber. The hollow region has a glass structure in which a hollow section is provided and that constitutes an optical transmission path, and an outer cladding that surrounds the glass structure. In equations (1) and (2), where the diameter of a circle having the same area as the total area of a cross section of the glass structure orthogonal to the longitudinal direction thereof is 2a, n1 is the average refractive index of the glass structure, n2 is the average refractive index of the outer cladding, λ is the wavelength of light propagated through the optical transmission path, and Δ is the relative refractive index difference between the glass structure and the outer cladding, n1 > n2, and the normalized frequency v

［続葉有］

LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能):ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告(条約第21条(3))

indicated by equation (2) is no less than 2.56.

(57) 要約:中空コアファイバは、長手方向に延びる領域である中空領域を備える。中空領域は、中空部が設けられた、光伝送路を構成するガラス構造体と、ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有する。ガラス構造体の長手方向に直交する断面の総面積と同じ面積を有する円の直径を２ａ、ガラス構造体の平均屈折率をｎ１、外クラッドの平均屈折率をｎ２、光伝送路を伝搬する光の波長をλ、ガラス構造体と外クラッドとの比屈折率差を式（１）で示されるΔとしたとき、ｎ１＞ｎ２であり、式（２）で示される正規化周波数ｖは、２．５６以上である。

明　細　書

発明の名称 ：

中空コアファイバおよび中空コアファイバの製造方法

技術分野

[0001] 本開示は、中空コアファイバおよび中空コアファイバの製造方法に関する。本出願は、２０２２年１１月１１日出願の日本出願第２０２２－１８１１９３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] 中空コアファイバとして、例えば、フォトニック結晶中空コアファイバ（Photonic Crystal Hollow-Core Fiber）および反共振中空コアファイバ（Anti-Resonant Hollow-Core Fiber）が知られている。特許文献１には、フォトニック結晶中空コアファイバが開示されている。特許文献２，３および非特許文献１，２には、反共振中空コアファイバが開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：国際公開第２００９／０４４１００号

特許文献2：特表２０１７－５２０８４号公報

特許文献3：国際公開第２０２０／２１７０５２号

非特許文献

[0004] 非特許文献1：W. Belardi et al., “Hollow antiresonant fibers with reduced attenuation”, OPTICS LETTERS, Vol. 39, No. 7, April 1, 2014, p. 1853-1856

非特許文献2：Jeff Hecht, “Is Nothing Better Than Something?”, OPTICS & PHOTONICS NEWS MARCH 2021, p. 28-34

発明の概要

[0005] 本開示の中空コアファイバは、長手方向に延びる領域である中空領域を備

える。中空領域は、中空部が設けられた、光伝送路を構成するガラス構造体と、ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有する。ガラス構造体の長手方向に直交する断面の総面積と同じ面積を有する円の直径を２ａ、ガラス構造体の平均屈折率をｎ１、外クラッドの平均屈折率をｎ２、光伝送路を伝搬する光の波長をλ、ガラス構造体と外クラッドとの比屈折率差を式（１）で示されるΔとしたとき、ｎ１＞ｎ２であり、式（２）で示される正規化周波数ｖは、２．５６以上である。

[数1]

$$\Delta = \frac{n1^2 - n2^2}{2n1^2} \qquad (1)$$

[数2]

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} an1\sqrt{2\Delta} \qquad (2)$$

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、第１実施形態に係る中空コアファイバの長手方向に沿う断面図である。

[図2]図２は、図１の中空コアファイバの長手方向に直交する断面図である。

[図3]図３は、第１実施形態に係る中空コアファイバの製造方法の線引き工程を説明するための図である。

[図4]図４は、第２実施形態に係る中空コアファイバの長手方向に沿う断面図である。

[図5]図５は、中実領域の断面図である。

[図6]図６は、中実化工程を含む線引き工程を説明するための図である。

[図7]図７は、ＯＴＤＲ測定による異常箇所の検出方法について説明する図である。

[図8]図８は、第３実施形態に係る中空コアファイバの中空領域の断面図である。

[図9]図９は、中空領域と汎用光ファイバとの接続部分を示す断面図である。

[図10]図１０は、中実領域と汎用光ファイバとの接続部分を示す断面図である。

[図11]図１１は、ｖ値と一つの接続部分に係る損失との関係を示すグラフである。

[図12]図１２は、ｖ値と一つの中実領域に係る損失との関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0007] ［本開示が解決しようとする課題］

発明者らは、上述の従来技術について検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、上述の従来技術では、中空コアファイバの端部が開放されたまま放置されると、開放された端部から空孔に大気や水分が侵入する。水分の侵入は、１．３８μｍの波長帯に損失増をもたらし、大気中の二酸化炭素（CO_2）の侵入は、１．５５μｍ帯に損失増をもたらす。大気とともにダストが侵入すると、特に金属粒子等の金属成分はガラスからのハロゲン成分と反応して、腐食性金属ハロゲン化物となり、浸食性、腐食性等を示すようになる。この結果、経時劣化により長期に安定して使用できなくなるおそれがある。

[0008] 中空コアファイバの開放された端部からの各種浸入を防ぐために、中空コアファイバの両端部に汎用光ファイバを接続し、端部を封止する手法がよく用いられる。しかしながら、中空コアファイバの中空部と汎用光ファイバの中実部との界面でフレネル反射が発生する。また、中空コアファイバと汎用の光ファイバとの間でモードフィールド径の差が大きい。モードフィールド径の差による接続損失は、ＴＥＣ（Thermal Expansion Core）技術によって抑制されるが、効果は限定的である。以上のことから、汎用光ファイバによる封止では、接続損失が発生してしまい、中空コアファイバの特性を十分に引き出すことができない。

[0009] 中空コアファイバの端部を中実化することが考えられる。しかしながら、中実化した部分では屈折率が通常一様になることから中心部分に光を閉じ込

める機能を有さず、したがって端部から光が漏れ、光を伝搬できなくなるおそれがある。

[0010] 本開示は、汎用光ファイバの接続による端部の封止に伴う接続損失を抑制しながら、光を伝搬可能な中空コアファイバおよび中空コアファイバの製造方法を提供することを目的とする。

[0011] ［本開示の効果］

本開示の中空コアファイバによれば、汎用光ファイバの接続による端部の封止に伴う接続損失を抑制しながら、光を伝搬することができる。

[0012] ［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中空コアファイバは、長手方向に延びる領域である中空領域を備える。中空領域は、中空部が設けられた、光伝送路を構成するガラス構造体と、ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有する。ガラス構造体の長手方向に直交する断面の総面積と同じ面積を有する円の直径を２ａ、ガラス構造体の平均屈折率をｎ１、外クラッドの平均屈折率をｎ２、光伝送路を伝搬する光の波長をλ、ガラス構造体と外クラッドとの比屈折率差を式（１）で示されるΔとしたとき、ｎ１＞ｎ２であり、式（２）で示される正規化周波数ｖは、２．５６以上である。

[数3]

$$\Delta = \frac{n1^2 - n2^2}{2n1^2} \qquad (1)$$

[数4]

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} an1\sqrt{2\Delta} \qquad (2)$$

上記中空コアファイバでは、中空領域の長手方向の一部を中実化したときでも、正規化周波数が上記の範囲であるため、中実領域が光を適切に中継できる。よって、切断による影響を抑制しながら、光を伝搬することができる。

[0013] （２）上記（１）の中空コアファイバは、長手方向に延びる領域である中実領域をさらに備える中空コアファイバであって、中実領域は、ガラス構造体の材料と同じ材料で構成されるコアと、外クラッドの材料と同じ材料で構成され、コアを取り囲むクラッドと、を有し、コアの長手方向に直交する断面の面積は、ガラス構造体の総面積と同じであり、クラッドの長手方向に直交する断面の面積は、外クラッドの長手方向に直交する断面の面積と同じであってもよい。この場合、中実領域は、中空領域を中実化した構造と同等の構造を有するので、切断による影響を抑制しながら、光を伝搬することができる。

[0014] （３）上記（２）において、一対の中実領域が、中空領域の両端に設けられていてもよい。この場合、中空領域に大気や水分等が侵入することを確実に抑制できる。

[0015] （４）上記（２）または（３）において、一対の中空領域が、中実領域の両端に設けられていてもよい。この場合、一対の中空領域のうちの、一方の中空領域に大気や水分等が侵入しても、他方の中空領域に影響が及ぶことを抑制できる。

[0016] （５）上記（２）から（４）のいずれか一つにおいて、中実領域は、中空コアファイバの端部に設けられ、コア及びクラッドを有する光ファイバと接続されていてもよい。この場合、端部でのいわゆる汎用光ファイバとの接続性を確保することができる。これにより、コネクタ等との接続性も確保することができる。

[0017] （６）上記（２）から（５）のいずれか一つにおいて、複数の中空領域及び複数の中実領域は、交互に設けられていてもよい。この場合、長距離にわたって切断による影響を抑制しながら、光を伝搬することができる。

[0018] （７）上記（２）から（６）のいずれか一つにおいて、最も近い２つの中実領域は、３ｋｍ以上２０ｋｍ以下の長さの中空領域を間に挟んで設けられていてもよい。この場合、中空領域の長さが３ｋｍ以上であるため、付加的損失の増加を抑制できる。また、中空領域の長さが２０ｋｍ以下であるため

、破断時の特性劣化領域を制限するという中実化による効果が薄くなることを抑制できる。

[0019] （８）上記（２）から（７）のいずれか一つにおいて、中実領域の長さは、０．５ｍｍ以上であってもよい。この場合、中実領域が光をさらに適切に中継できる。

[0020] （９）上記（２）から（８）のいずれか一つにおいて、中空領域および中実領域は、同軸に設けられていてもよい。

[0021] （１０）上記（２）から（９）のいずれか一つにおいて、正規化周波数ｖは、１１．０以下であってもよい。この場合、中空コアファイバを中実化した中実点一点あたりの損失を０．３ｄＢ以下とすることができる。

[0022] （１１）上記（２）から（９）のいずれか一つにおいて、正規化周波数ｖは、８．０以下であってもよい。この場合、中空コアファイバを中実化した中実点一点あたりの損失を０．２５ｄＢ以下とすることができる。

[0023] （１２）上記（２）から（９）のいずれか一つにおいて、正規化周波数ｖは、６．０以下であってもよい。この場合、中空コアファイバを中実化した中実点一点あたりの損失を０．２０ｄＢ以下とすることができる。

[0024] （１３）上記（２）から（１２）のいずれか一つにおいて、中実領域の外径は、中空領域の外径より小さくてもよい。

[0025] （１４）上記（１）から（１３）のいずれか一つにおいて、ガラス構造体は、複数の内クラッド要素を含んでもよい。

[0026] （１５）本開示の一態様に係る中空コアファイバの製造方法は、中空部が設けられた光伝送路を構成するガラス構造体と、ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有するガラスファイバの長手方向の一部を側面から加熱により溶融させて中実化する工程を含む。

上記中空コアファイバの製造方法では、中実領域を備える中空コアファイバを容易に製造することができる。

[0027] ［本開示の実施形態の詳細］

本実施形態に係る中空コアファイバの具体例を、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。

[0028] （第１実施形態）

図１は、第１実施形態に係る中空コアファイバの長手方向に沿う断面図である。図２は、図１の中空コアファイバの長手方向に直交する断面図である。図１及び図２に示されるように、第１実施形態に係る中空コアファイバ１は、反共振中空コアファイバの構造を有している。中空コアファイバ１の長手方向は、中空コアファイバ１の中心軸ＡＸに沿う方向である。中空コアファイバ１は、長手方向に延びる領域である中空領域Ｒｈを備える。中空コアファイバ１は、長手方向の全領域にわたる中空領域Ｒｈを備える。中空領域Ｒｈは、ガラス構造体１１と、外クラッド１２と、ジャケット層１３と、樹脂被覆１４と、を備える。なお、図１では、内部領域１２ｂの構造を省略して示す。

[0029] ガラス構造体１１は、コア領域１５となる空間を取り囲んでいる。コア領域１５は、中空光導波領域として機能する。コア領域１５は、中心軸ＡＸに沿って延びている。ガラス構造体１１は、光を中心に閉じ込める反共振層として機能する。ガラス構造体１１は、中空部が設けられた光伝送路を構成する伝送路構成部である。

[0030] ガラス構造体１１は、複数の第１内クラッド要素１６を含む。本実施形態では、ガラス構造体１１は、６つの第１内クラッド要素１６を含む。複数の第１内クラッド要素１６は、外クラッド１２の内周面１２ａに一点で溶着した状態で、コア領域１５となる空間を取り囲むように配置されている。複数の第１内クラッド要素１６は、互いに離隔して配置されている。複数の第１内クラッド要素１６は、等間隔で離隔して配置されている。第１内クラッド要素１６は、中心軸ＡＸに沿って延びたパイプ形状を有する薄肉管である。第１内クラッド要素１６の中心軸は、中心軸ＡＸからずれて配置されている

。

[0031] 外クラッド１２は、ガラス構造体１１を取り囲んでいる。外クラッド１２は、光学クラッドとして機能する。外クラッド１２は、中心軸ＡＸに沿って延びたパイプ形状を有する薄肉管である。外クラッド１２の中心軸は、中心軸ＡＸと一致している。外クラッド１２の内周面１２ａは、ガラス構造体１１を収容する内部領域１２ｂを画定している。内部領域１２ｂのうち、複数の第１内クラッド要素１６が占める部分を除いた残りの部分が光伝送路の中空部である。内部領域１２ｂは、中空部が設けられた光伝送路に相当する。

[0032] ジャケット層１３は、外クラッド１２を取り囲んでいる。ジャケット層１３は、外クラッド１２の外周面と接触している。ジャケット層１３は、外クラッド１２の外周面を覆っている。ジャケット層１３は、物理クラッドとして機能する。樹脂被覆１４は、ジャケット層１３を取り囲んでいる。樹脂被覆１４は、ジャケット層１３の外周面と接触している。樹脂被覆１４は、ジャケット層１３の外周面を覆っている。

[0033] ガラス構造体１１の長手方向に直交する断面の総面積と同じ面積を有する円の直径を２ａ、ガラス構造体１１の平均屈折率をｎ１、外クラッド１２の平均屈折率をｎ２としたとき、ｎ１＞ｎ２である。更に、光伝送路を伝搬する光の波長をλ、ガラス構造体１１と外クラッド１２との比屈折率差を式（１）で示されるΔとしたとき、式（２）で示される正規化周波数ｖは、２．５６以上１１．０以下である。ここで、ガラス構造体１１の断面の総面積は、複数の第１内クラッド要素１６の間の空間領域の面積や各第１内クラッド要素１６の内側の空間領域の面積を含まない、ガラス部分のみの面積である。

[数5]

$$\Delta = \frac{n1^2 - n2^2}{2n1^2} \qquad (1)$$

[数6]

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} an1\sqrt{2\Delta} \qquad (2)$$

正規化周波数ｖをこの範囲とすることにより、中空コアファイバ１を加熱等により中実化した際にも、その中心部分に信号光が伝搬しうる構造が形成される。これにより、中空コアファイバ１を中実化した中実点一点あたりの損失を０．３ｄＢ以下とすることができる。正規化周波数ｖは、２．５６以上８．０以下であってもよい。この場合、中実点一点あたりの損失を０．２５ｄＢ以下とすることができる。正規化周波数ｖは、２．５６以上６．０以下であってもよい。この場合、中実点一点あたりの損失を０．２０ｄＢ以下とすることができる。なお、波長とは、中空コアファイバ１の使用を想定する通信波長、すなわち、中空コアファイバ１により伝搬される光の波長であり、例えば、１．５５μｍである。

[0034] 次に、中空コアファイバ１の製造方法について説明する。中空コアファイバ１の製造方法は、線引き工程を含む。図３は、第１実施形態に係る中空コアファイバ１の製造方法の線引き工程を説明するための図である。

[0035] 図３に示された線引き装置１０は、加圧装置３００と、ヒーター４００と、樹脂塗布装置５００と、巻き取り装置６００と、ローラー６１０と、を備える。加圧装置３００は、線引き対象の光ファイバ母材１００の内部を加圧する。ヒーター４００は、光ファイバ母材１００の一端を加熱する。樹脂塗布装置５００は、線引きされたガラスファイバ２の表面に樹脂を塗布し、中空コアファイバ１を形成する。巻き取り装置６００は、中空コアファイバ１を巻き取る。ローラー６１０は、中空コアファイバ１の進行方向を調整する。

[0036] 光ファイバ母材１００は、パイプ形状を有し線引き後に外クラッド１２となる外クラッド部１２０と、パイプ形状を有し線引き後に第１内クラッド要素１６となる複数の第１内クラッド要素部１６０と、線引き後にジャケット層１３となるジャケット部１３０と、により構成される。外クラッド部１２０の内周面１２０ａに囲まれた内部領域１２０ｂには、複数の第１内クラッド要素部１６０のそれぞれが内周面１２０ａに接触した状態で外クラッド部１２０の中心を取り囲むように配置されている。また、外クラッド部１２０

の外周上にはジャケット部１３０が設けられている。

[0037] ヒーター４００により光ファイバ母材１００の一端が加熱により軟化される。巻き取り装置６００のドラムが矢印Ｓで示された方向に回転することにより、光ファイバ母材１００の一端から中空のガラスファイバ２が引き出される。その際、外クラッド部１２０の内部空間および複数の第１内クラッド要素部１６０のそれぞれの内部空間には、加圧装置３００により圧力制御用ガスや空気が供給されており、これらの内部空間はパイプ形状が変形しないように加圧状態になっている。ガラスファイバ２は、コア領域１５となる空間を取り囲み、ガラス構造体１１に相当するガラス構造体と、当該ガラス構造体を取り囲み、外クラッド１２に相当する外クラッドとを有する。

[0038] 光ファイバ母材１００から引き出されたガラスファイバ２の表面には、樹脂塗布装置５００により樹脂が塗布され、中空コアファイバ１が得られる。得られた中空コアファイバ１は、最終的に、ローラー６１０を介して巻き取り装置６００のドラムに巻き取られる。

[0039]（第２実施形態）

図４は、第２実施形態に係る中空コアファイバの長手方向に沿う断面図である。図４に示されるように、第２実施形態に係る中空コアファイバ１Ａは、長手方向に延びる領域である中空領域Ｒｈに加えて、長手方向に延びる領域である中実領域Ｒｓをさらに備える点で、中空コアファイバ１と相違している。中空領域Ｒｈは、中空コアファイバ１の中空領域Ｒｈと同じ構成を有している。中空領域Ｒｈおよび中実領域Ｒｓは、同軸に設けられている。なお、図４では、中空領域Ｒｈの内部領域１２ｂ（図２参照）の構造を省略して示す。

[0040] 図５は、中実領域Ｒｓの断面図である。図５に示されるように、中実領域Ｒｓは、コア２１と、クラッド２２と、ジャケット層２３と、樹脂被覆２４と、を備える。コア２１の中心軸は、中心軸ＡＸと一致している。コア２１は、ガラス構造体１１の材料と同じ材料で構成される。コア２１は、中空部を有さない中実体である。コア２１は、ガラス構造体１１に相当するガラス

構造体が加熱により溶融され、中実化されてなる。コア２１の長手方向に直交する断面の面積は、ガラス構造体１１の長手方向に直交する断面の総面積と同じである。ここで「同じ」には、±５％程度の誤差の範囲で異なる場合も含まれる。

[0041] コア２１の断面積は、例えば、屈折率プロファイルから求められる。すなわち、コア２１とクラッド２２との境界を屈折率の勾配が最大となる位置として求めた後、この境界に基づいて、コア２１の直径を求めれば、コア２１の断面積を求めることができる。ガラス構造体１１の総断面積は、例えば、中空領域Ｒｈの断面の画像解析により求めてもよいし、中空領域Ｒｈを加熱により中実化した後、屈折率プロファイルから求めてもよい。

[0042] クラッド２２は、コア２１を取り囲んでいる。クラッド２２は、コア２１の外周面と接触している。クラッド２２は、コア２１の外周面を覆っている。クラッド２２は、光学クラッドとして機能する。クラッド２２は、外クラッド１２の材料と同じ材料で構成される。クラッド２２の長手方向に直交する断面の面積は、外クラッド１２の長手方向に直交する断面の面積と同じである。ここで「同じ」には、±５％程度の誤差の範囲で異なる場合も含まれる。

[0043] ジャケット層２３は、クラッド２２を取り囲んでいる。ジャケット層２３は、クラッド２２の外周面と接触している。ジャケット層２３は、クラッド２２の外周面を覆っている。ジャケット層２３は、物理クラッドとして機能する。ジャケット層２３は、ジャケット層１３の材料と同じ材料で構成される。樹脂被覆２４は、ジャケット層２３を取り囲んでいる。樹脂被覆２４は、ジャケット層２３の外周面と接触している。樹脂被覆２４は、ジャケット層２３の外周面を覆っている。樹脂被覆２４は、樹脂被覆１４の材料と同じ材料で構成される。

[0044] 中空領域Ｒｈは、中空部を含むので、中実領域Ｒｓの外径は中空領域Ｒｈの外径より小さくなる。図４では、中空領域Ｒｈの外径と中実領域Ｒｓの外径とが簡易的に同等で示されている。

[0045] 中実領域Ｒｓの構造によれば、中空領域Ｒｈのモードフィールド径（以下、ＭＦＤ）と中実領域ＲｓのＭＦＤとのずれ幅は一定以下に抑えられているので、ＭＦＤのミスマッチによる増加損失が抑制される。ガラス構造体１１が中実化された場合の中空領域Ｒｈは、実質的に中実領域Ｒｓと同じ構成を有する。

[0046] 本実施形態では、中空コアファイバ１Ａは、複数の中空領域Ｒｈ及び複数の中実領域Ｒｓを備える。複数の中空領域Ｒｈおよび複数の中実領域Ｒｓは、長手方向に沿って交互に接続されている。中実領域Ｒｓは、中空コアファイバ１Ａの長手方向において、３ｋｍ以上２０ｋｍ以下の間隔で設けられている。間隔が短すぎると、付加的損失が増える。間隔が長すぎると、破断時の特性劣化領域を制限するという中実化による効果が薄くなる。

[0047] 中空領域Ｒｈを挟んで隣り合う一対の中実領域Ｒｓがなす間隔は、３ｋｍ以上２０ｋｍ以下であると言える。最も近い２つの中実領域Ｒｓは、３ｋｍ以上２０ｋｍ以下の長さの中空領域Ｒｈを間に挟んで設けられているとも言える。さらに言い換えると、１つの中空領域Ｒｈの長手方向の長さは、３ｋｍ以上２０ｋｍ以下である。中実領域Ｒｓの長手方向の長さは、０．５ｍｍ以上である。

[0048] 複数の中実領域Ｒｓは、一対の中実領域Ｒｓ１、および、一または複数の中実領域Ｒｓ２を含む。一対の中実領域Ｒｓ１は、中空コアファイバ１Ａの両端部に設けられている。各中実領域Ｒｓ１の一端には、中空領域Ｒｈが設けられている。中実領域Ｒｓ１の他端には、例えば、コア及びクラッドを有する光ファイバ（いわゆる汎用光ファイバ）が接続されている。各中空領域Ｒｈの両端には、中実領域Ｒｓ（中実領域Ｒｓ１または中実領域Ｒｓ２）が設けられている。中実領域Ｒｓ２の両端には、中空領域Ｒｈが設けられている。中実領域Ｒｓ２は、一対の中空領域Ｒｈの間に設けられている。なお、中空コアファイバ１Ａは、少なくとも中空領域Ｒｈ及び中実領域Ｒｓを備えればよく、中空領域Ｒｈの数及び中実領域Ｒｓの数は制限されない。中空コアファイバ１Ａは、例えば、１つの中空領域Ｒｈと、その両端に設けられた

一対の中実領域Ｒｓ１で構成されてもよい。

[0049] 次に、中空コアファイバ１Ａの製造方法について説明する。中空コアファイバ１Ａの製造方法は、線引き工程が中実化工程を含む点で、中空コアファイバ１の製造方法と相違している。図６は、中実化工程を含む線引き工程を説明するための図である。

[0050] 図６に示された線引き装置１０Ａは、加熱溶融装置４１０を備える点で、図３に示された線引き装置１０と相違している。加熱溶融装置４１０は、光ファイバ母材１００から引き出された中空のガラスファイバ２の長手方向の一部を側面から加熱し、中実化する。加熱溶融装置４１０によれば、ガラスファイバ２の長手方向に断続的に中実化された領域を形成することができる。加熱溶融装置４１０は、例えば、CO_2レーザの照射によりガラスファイバ２を加熱溶融する。CO_2レーザの照射パターンを調整することにより、中実領域Ｒｓの間隔および長さを調整することができる。加熱溶融装置４１０は、CO_2レーザの照射のかわりに、例えば、マイクロ波の照射またはアーク放電によりガラスファイバ２を加熱溶融してもよい。

[0051] 上述のように、加熱により軟化された光ファイバ母材１００の一端から中空のガラスファイバ２が引き出される。中実化工程は、引き出されたガラスファイバ２の長手方向の一部に対して行われる。中実化工程では、加熱溶融装置４１０によりガラスファイバ２の長手方向の一部を側面から加熱により溶融させて中実化する。中実化工程は、加熱溶融装置４１０を制御することにより、中実化された領域が所定の長さとなり、かつ、３ｋｍ以上２０ｋｍ以下の間隔で配置されるように実施される。長手方向の一部が中実化されたガラスファイバ２の表面には、上述のように、樹脂塗布装置５００により樹脂が塗布され、中空コアファイバ１Ａが得られる。得られた中空コアファイバ１Ａは、最終的に、ローラー６１０を介して巻き取り装置６００のドラムに巻き取られる。

[0052] 中空コアファイバ１Ａは、中実領域Ｒｓを備えるので、長手方向の一部に破断が生じ、破断箇所から中空領域Ｒｈに水分、CO_2、または、微粒子ダス

トが侵入しても、他の中空領域Ｒｈに影響が及ぶことが抑制される。したがって、破断箇所を含む中空領域Ｒｈのみを廃却すれば、それ以外を製品とすることができる。すでに敷設され、使用されている中空コアファイバ１Ａの場合は、破断箇所を含む中空領域Ｒｈのみを新しい中空コアファイバ１Ａと交換すればよい。

[0053] 図７は、中空コアファイバにおける異常発生箇所の特定方法を説明する図である。図７に示されるように、中実領域を備えない中空コアファイバの場合、ＯＴＤＲ（Optical Time Domain Reflectometer）で検出される光強度Ｐは、中空コアファイバの一端からの距離Ｌにかかわらず、略一定である。中実領域を備える中空コアファイバの場合も、中空領域の光強度Ｐは、距離Ｌにかかわらず略一定である。中実領域の光強度Ｐは、距離Ｌが増えるにつれて、直線状に低下する。異常が発生した場合、中実領域の光強度Ｐは、異常発生箇所の前後で大きく変化する。これにより、異常が発生した領域を特定することができる。

[0054] （第３実施形態）

図８は、第３実施形態に係る中空コアファイバの中空領域の断面図である。図８に示されるように、第３実施形態に係る中空コアファイバ１Ｂは、ガラス構造体１１が複数の第２内クラッド要素１７および複数の第３内クラッド要素１８を有している点で、第１実施形態に係る中空コアファイバ１、及び、第２実施形態に係る中空コアファイバ１Ａと相違している。図示を省略するが、中空コアファイバ１Ｂが中実領域Ｒｓを備える場合、中空コアファイバ１Ｂの中実領域Ｒｓは、中空コアファイバ１Ａの中実領域Ｒｓと同等の構造を有している。本実施形態では、ガラス構造体１１は、５つの第１内クラッド要素１６、５つの第２内クラッド要素１７、及び、５つの第３内クラッド要素１８を含む。

[0055] 第２内クラッド要素１７は、中心軸ＡＸに沿って延びたパイプ形状を有する薄肉管である。第２内クラッド要素１７は、第１内クラッド要素１６の内部に１つずつ配置されている。第２内クラッド要素１７の数は、第１内クラ

ッド要素１６の数と同じである。第２内クラッド要素１７は、例えば、第１内クラッド要素１６の材料と同じ材料（ガラス材料）で構成される。

[0056] 第３内クラッド要素１８は、中心軸ＡＸに沿って延びたパイプ形状を有する薄肉管である。第３内クラッド要素１８は、第２内クラッド要素１７の内部に１つずつ配置されている。第３内クラッド要素１８の数は、第２内クラッド要素１７の数と同じである。第３内クラッド要素１８は、例えば、第１内クラッド要素１６の材料と同じ材料（ガラス材料）で構成される。

[0057] 第２内クラッド要素１７及び第３内クラッド要素１８は、第１内クラッド要素１６と外クラッド１２との溶着部に溶着された状態で配置されている。すなわち、第１内クラッド要素１６、第２内クラッド要素１７及び第３内クラッド要素１８は、外クラッド１２の内周面１２ａに共通の一点で溶着した状態で配置されている。第２内クラッド要素１７及び第３内クラッド要素１８の直径や肉厚等の寸法は、通信波長帯の光を比較的低損失で伝搬可能なように設計されている。

[0058] 以下、実験例について説明する。なお、本開示は実施例に限定されない。

[0059]（実施例１）

実施例１として、第３実施形態に係る中空コアファイバ１Ｂに対応する構成を有する中空コアファイバを製造した。具体的には、第１実施形態に係る中空コアファイバ１の製造方法と同様にして、中空領域のみで構成される中空コアファイバを製造した。その後、得られた中空コアファイバの端部にCO_2レーザを照射して中実領域を形成した。中実領域の長さは１０ｍｍとした。外クラッドの外径を１５０μｍ、外クラッドの内径を７９．７μｍ、第１内クラッド要素の直径を２８．１μｍ、第１内クラッド要素の厚さを０．５μｍ、第２内クラッド要素の直径を２２．６μｍ、第２内クラッド要素の厚さを０．５μｍ、第３内クラッド要素の直径を７．６μｍ、第３内クラッド要素の厚さを０．５μｍとした。ガラス構造体の長手方向に直交する断面の総面積は４５８．６μm^2であり、これと同じ面積を有する円の直径は２４．２μｍであった。

[0060] 図９は、中空領域と汎用光ファイバとの接続部分を示す断面図である。図９に示されるように、実施例１の中空コアファイバ１Ｂの中実化される前の端部を融着により汎用光ファイバ６０と直接接続した。図１０は、中実領域と汎用光ファイバとの接続部分を示す断面図である。図１０に示されるように、実施例１の中空コアファイバ１Ｂの中実化された端部を融着により汎用光ファイバ６０と直接接続した。参考のため、図９及び図１０では、中空コアファイバ１Ｂについて、第３実施形態と同じ符号を示す。また、図９及び図１０では、中空コアファイバ１Ｂの内部領域の構造を省略して示すと共に、外クラッド、ジャケット、および、樹脂被覆を簡易的に一層で示す。

[0061] 中空コアファイバ１Ｂの中空領域ＲｈのＭＦＤは、波長１５５０ｎｍにおいて２５．０μｍであり、汎用光ファイバ６０のＭＦＤは、波長１５５０ｍｍにおいて１０．０μｍであった。図９の場合、一つの接続部分に係る損失は平均０．６ｄＢであった。図１０の場合、一つの接続部分に係る損失は式（２）のｖ値によって変化した。ｖ値は、ガラス構造体と外クラッドとの比屈折率差Δを調整することで、変化させた。

[0062] 表１に、比屈折率差Δ［％］、ｖ値、および、図１０の場合の一つの接続部分に係る損失［ｄＢ］を示す。

[表1]

Δ[%]	ｖ値	損失／接続部分[dB]
1.501	12.35	0.36
1.166	10.84	0.36
0.963	9.83	0.37
0.759	8.71	0.37
0.552	7.43	0.37
0.346	5.88	0.39
0.277	5.26	0.40
0.208	4.56	0.42
0.138	3.72	0.46
0.069	2.63	0.58
0.035	1.86	0.81

[0063] 図１１は、ｖ値と一つの接続部分に係る損失との関係を示すグラフである。図１１の横軸は、実施例１の中空コアファイバ１Ｂのｖ値を示す。図１１の縦軸は、図１０の場合の一つの接続部分に係る損失［ｄＢ］を示す。図１１のグラフに対して、近似曲線を求め、近似曲線が０．６ｄＢとなるｖ値を求めた。この結果、ｖ値が２．５６以上であれば、一つの接続部分に係る損失を０．６ｄＢより小さくできることが確認できた。

[0064]（実施例２）

実施例２として、第３実施形態に係る中空コアファイバ１Ｂに対応する構成を有する中空コアファイバを製造した。具体的には、第２実施形態に係る中空コアファイバ１Ａの製造方法と同様にして、線引き中にCO_2レーザを５ｋｍ間隔で照射し、５０ｋｍ長の中空コアファイバを製造した。中実領域の長さは１０ｍｍとした。外クラッドの外径及び内径、第１内クラッド要素の直径及び厚さ、第２内クラッド要素の直径及び厚さ、第３内クラッド要素の直径及び厚さ、及び、ガラス構造体の長手方向に直交する断面の総面積は、実施例１に係る中空コアファイバと同様にした。一つの中実領域（中実点）に係る損失は式（２）のｖ値によって変化した。ｖ値は、ガラス構造体と外クラッドとの比屈折率差Δを調整することで、変化させた。

[0065] 表２に、比屈折率差Δ［％］、ｖ値、および、一つの中実領域に係る損失［ｄＢ］を示す。

[表2]

Δ[%]	ν値	損失／中実領域[dB]
1.501	12.35	0.32
1.166	10.84	0.30
0.963	9.83	0.28
0.759	8.71	0.26
0.552	7.43	0.24
0.346	5.88	0.18
0.277	5.26	0.16
0.208	4.56	0.12
0.138	3.72	0.06
0.069	2.63	0.00
0.035	1.86	0.14

[0066] 図１２は、ν値と一つの中実領域に係る損失との関係を示すグラフである。図１２の横軸は、実施例２の中空コアファイバのν値を示す。図１２の縦軸は、一つの中実領域に係る損失（中実点一点あたりの損失）［ｄＢ］を示す。図１２によれば、ν値が１１以下であれば、損失が０．３０ｄＢ以下に抑制され、ν値が８．０以下であれば、損失が０．２５ｄＢ以下に抑制され、ν値が６．０以下であれば、損失が０．２０ｄＢ以下に抑制されることが確認できた。

[0067] 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。上記実施形態は、適宜組み合わせられてもよい。

[0068] 第２実施形態に係る中空コアファイバ１Ａの製造方法では、光ファイバ母材１００から引き出された中空のガラスファイバ２の長手方向の一部を加熱溶融装置４１０により中実化したが、ガラスファイバ２同士を融着し、融着点に中実領域Ｒｓを形成してもよい。

[0069] 中空領域Ｒｈは、中空部が設けられた光伝送路を構成するガラス構造体１１と、外クラッド１２とを有していればよく、上記実施形態以外の構成であってもよい。中空領域Ｒｈは、フォトニック結晶中空コアファイバでもよい

。

符号の説明

[0070] １，１Ａ，１Ｂ…中空コアファイバ

２…ガラスファイバ

１０，１０Ａ…線引き装置

１１…ガラス構造体

１２…外クラッド

１２ａ…内周面

１２ｂ…内部領域

１３…ジャケット層

１４…樹脂被覆

１５…コア領域

１６…第１内クラッド要素

１７…第２内クラッド要素

１８…第３内クラッド要素

２１…コア

２２…クラッド

２３…ジャケット層

２４…樹脂被覆

６０…汎用光ファイバ

１００…光ファイバ母材

１２０…外クラッド部

１２０ａ…内周面

１２０ｂ…内部領域

１３０…ジャケット部

１６０…第１内クラッド要素部

３００…加圧装置

４００…ヒーター

４１０…加熱溶融装置

５００…樹脂塗布装置

６００…巻き取り装置

６１０…ローラー

ＡＸ…中心軸

Ｌ…距離

Ｐ…光強度

Ｒｈ…中空領域

Ｒｓ，Ｒｓ１，Ｒｓ２…中実領域

Ｓ…矢印

請求の範囲

[請求項1] 長手方向に延びる領域である中空領域を備える中空コアファイバであって、

前記中空領域は、

中空部が設けられた、光伝送路を構成するガラス構造体と、

前記ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有し、

前記ガラス構造体の前記長手方向に直交する断面の総面積と同じ面積を有する円の直径を２ａ、前記ガラス構造体の平均屈折率をｎ１、前記外クラッドの平均屈折率をｎ２、前記光伝送路を伝搬する光の波長をλ、前記ガラス構造体と前記外クラッドとの比屈折率差を式（１）で示されるΔとしたとき、ｎ１＞ｎ２であり、式（２）で示される正規化周波数ｖは、２．５６以上である、中空コアファイバ。

[数1]

$$\Delta = \frac{n1^2 - n2^2}{2n1^2} \qquad (1)$$

[数2]

$$v = \frac{2\pi}{\lambda} an1\sqrt{2\Delta} \qquad (2)$$

[請求項2] 前記長手方向に延びる領域である中実領域をさらに備える中空コアファイバであって、

前記中実領域は、

前記ガラス構造体の材料と同じ材料で構成されるコアと、

前記外クラッドの材料と同じ材料で構成され、前記コアを取り囲むクラッドと、を有し、

前記コアの前記長手方向に直交する断面の面積は、前記ガラス構造体の前記総面積と同じであり、

前記クラッドの前記長手方向に直交する断面の面積は、前記外クラッドの前記長手方向に直交する断面の面積と同じである、

請求項１に記載の中空コアファイバ。

[請求項3] 一対の前記中実領域が、前記中空領域の両端に設けられている、

請求項２に記載の中空コアファイバ。

[請求項4] 一対の前記中空領域が、前記中実領域の両端に設けられている、

請求項２または請求項３に記載の中空コアファイバ。

[請求項5] 前記中実領域は、前記中空コアファイバの端部に設けられ、コア及びクラッドを有する光ファイバと接続されている、

請求項２から請求項４のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項6] 複数の前記中空領域及び複数の前記中実領域は、交互に設けられている、

請求項２から請求項５のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項7] 最も近い２つの前記中実領域は、３ｋｍ以上２０ｋｍ以下の長さの前記中空領域を間に挟んで設けられている、

請求項２から請求項６のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項8] 前記中実領域の長さは、０．５ｍｍ以上である、

請求項２から請求項７のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項9] 前記中空領域および前記中実領域は、同軸に設けられている、

請求項２から請求項８のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項10] 前記正規化周波数ｖは、１１．０以下である、

請求項２から請求項９のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項11] 前記正規化周波数ｖは、８．０以下である、

請求項２から請求項９のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項12] 前記正規化周波数ｖは、６．０以下である、

請求項２から請求項９のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

[請求項13] 前記中実領域の外径は、前記中空領域の外径より小さい、

請求項２から請求項１２のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

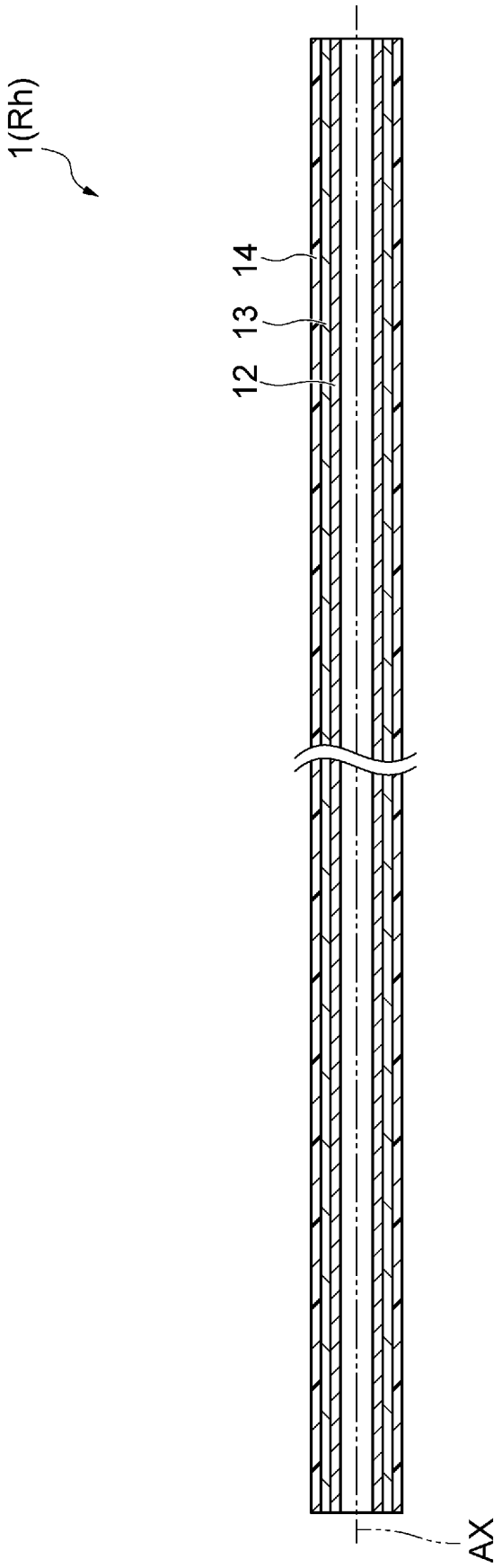
[請求項14] 前記ガラス構造体は、複数の内クラッド要素を含む、

請求項１から請求項１３のいずれか一項に記載の中空コアファイバ。

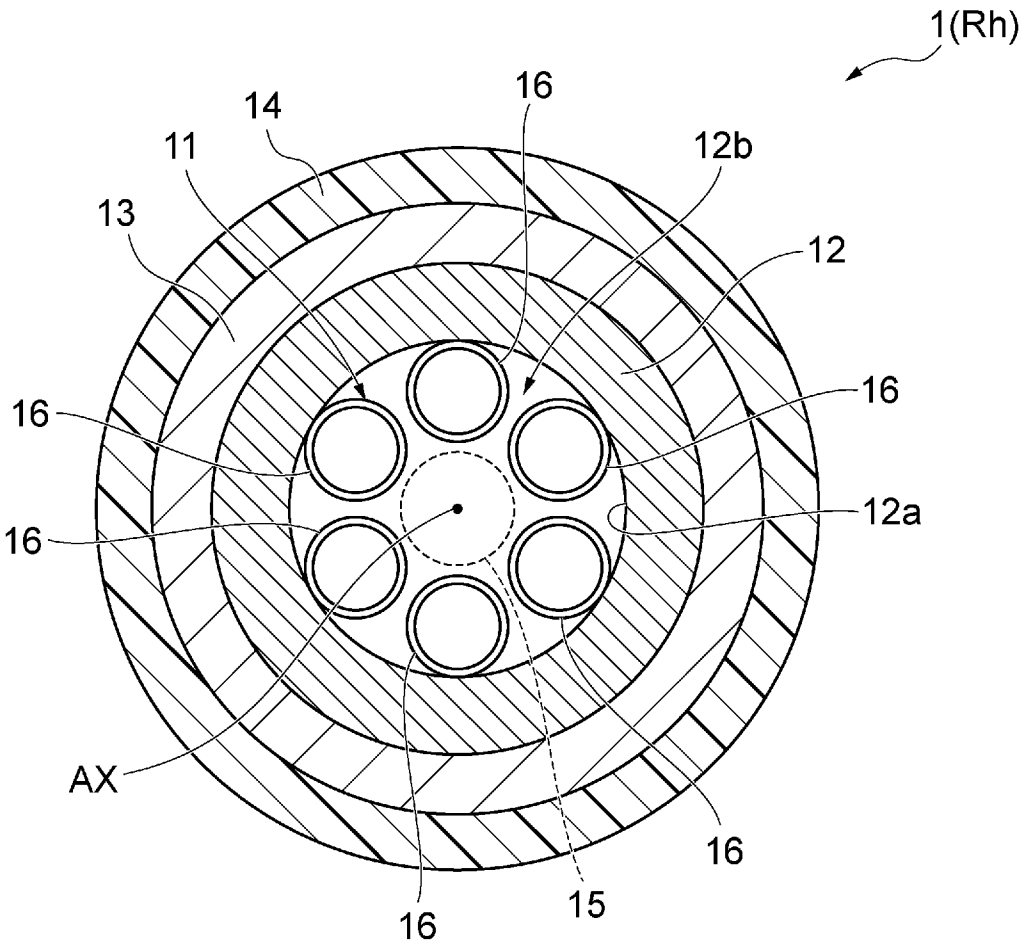
[請求項15] 中空部が設けられた光伝送路を構成するガラス構造体と、前記ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有するガラスファイバの長手方向の一部を側面から加熱により溶融させて中実化する工程を含む、

中空コアファイバの製造方法。

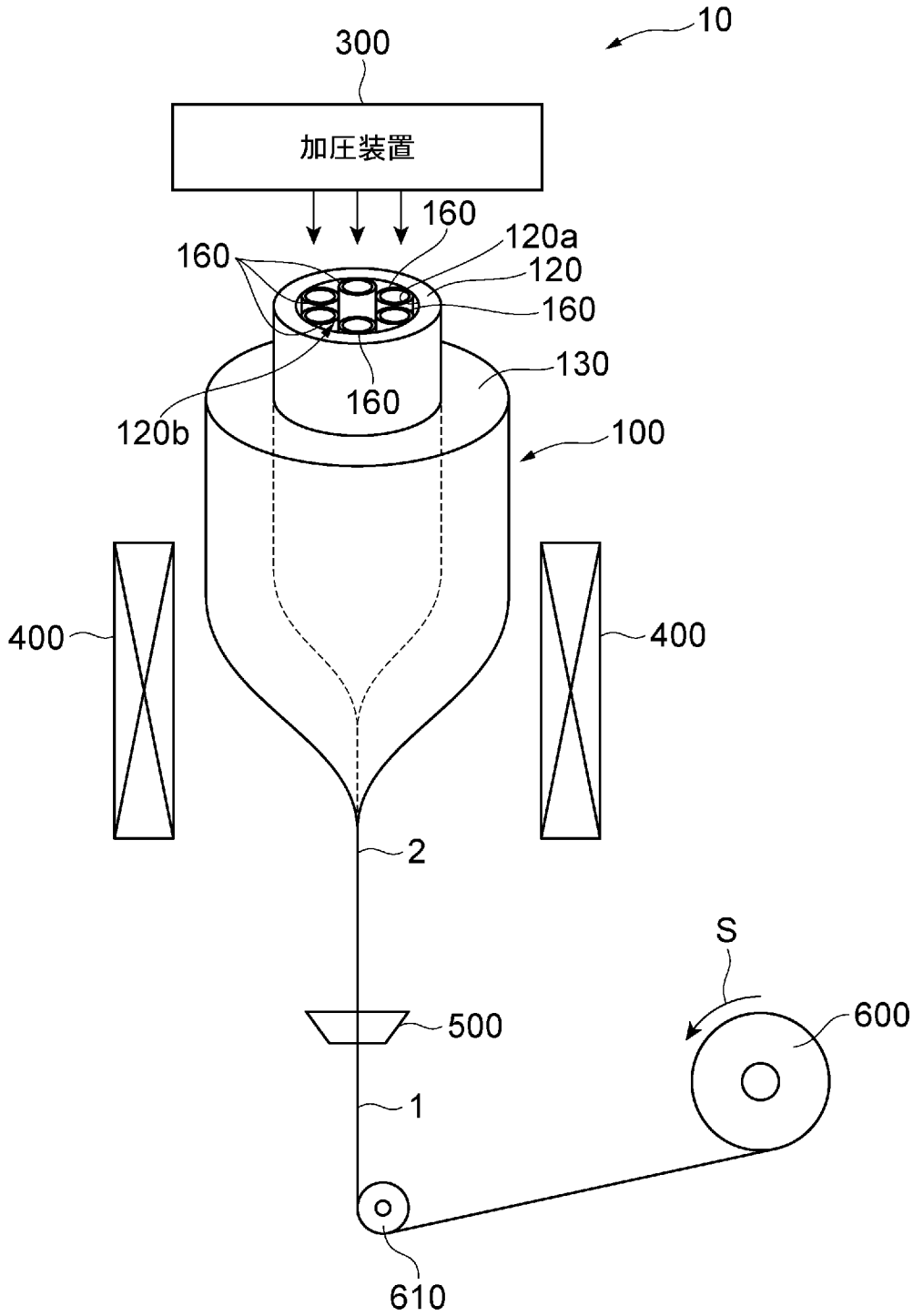
[図1]



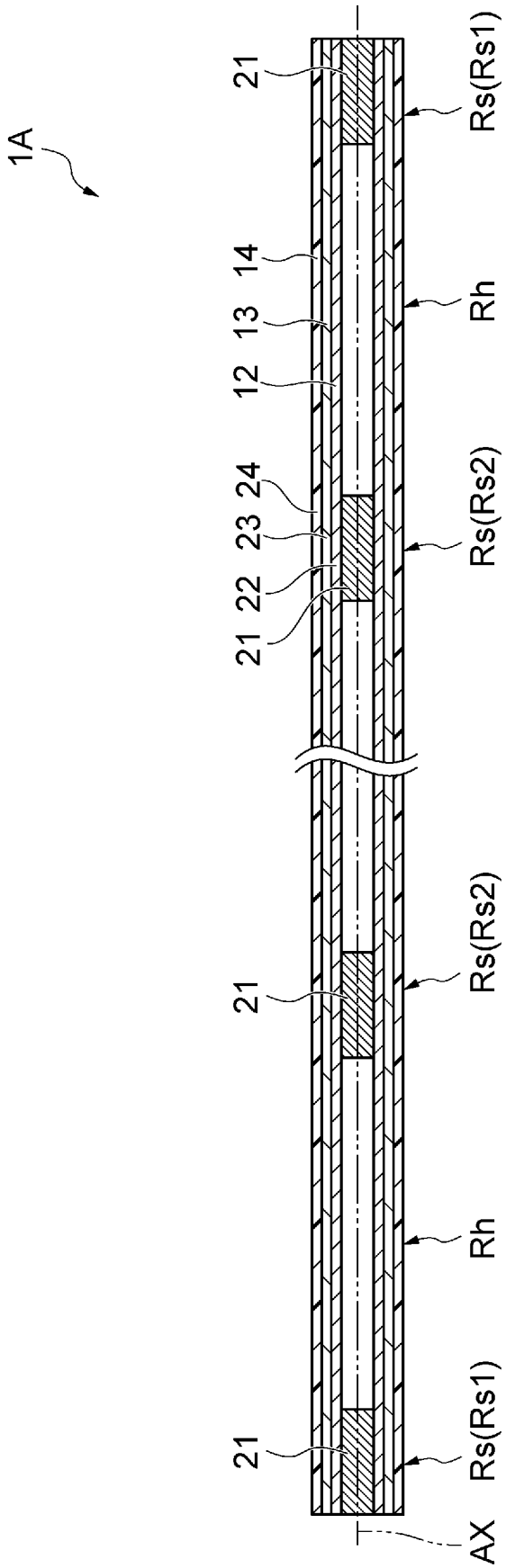
[図2]



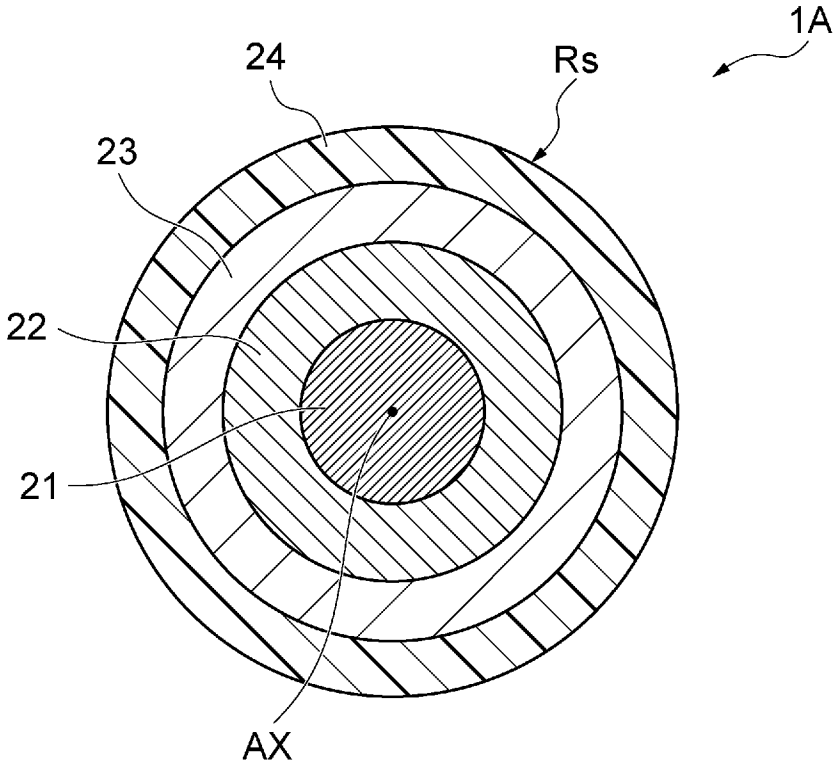
[図3]


10
300
加圧装置
160
120a
120
160
160
160
130
120b
100
400
400
2
S
500
600
1
610

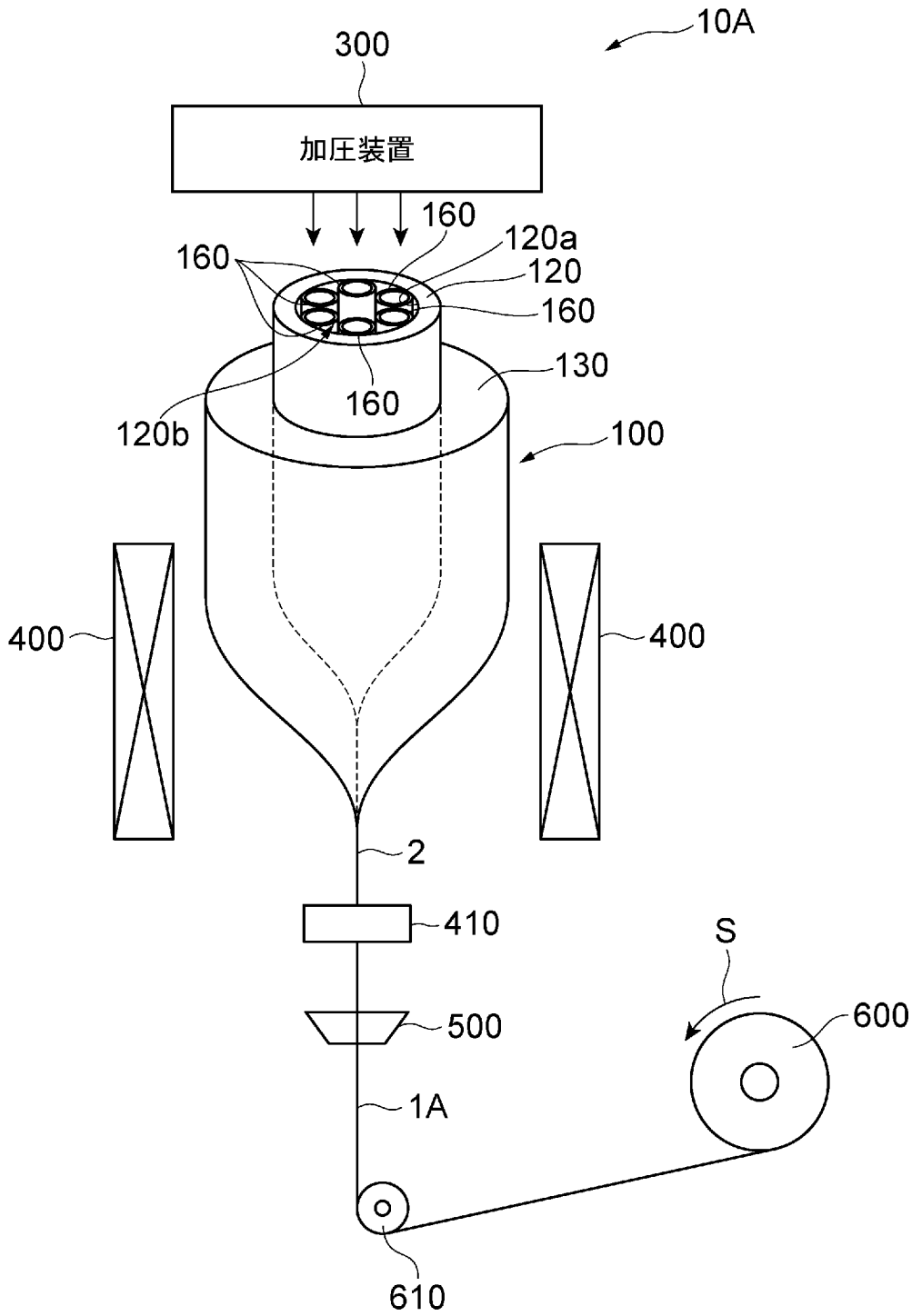
[図4]



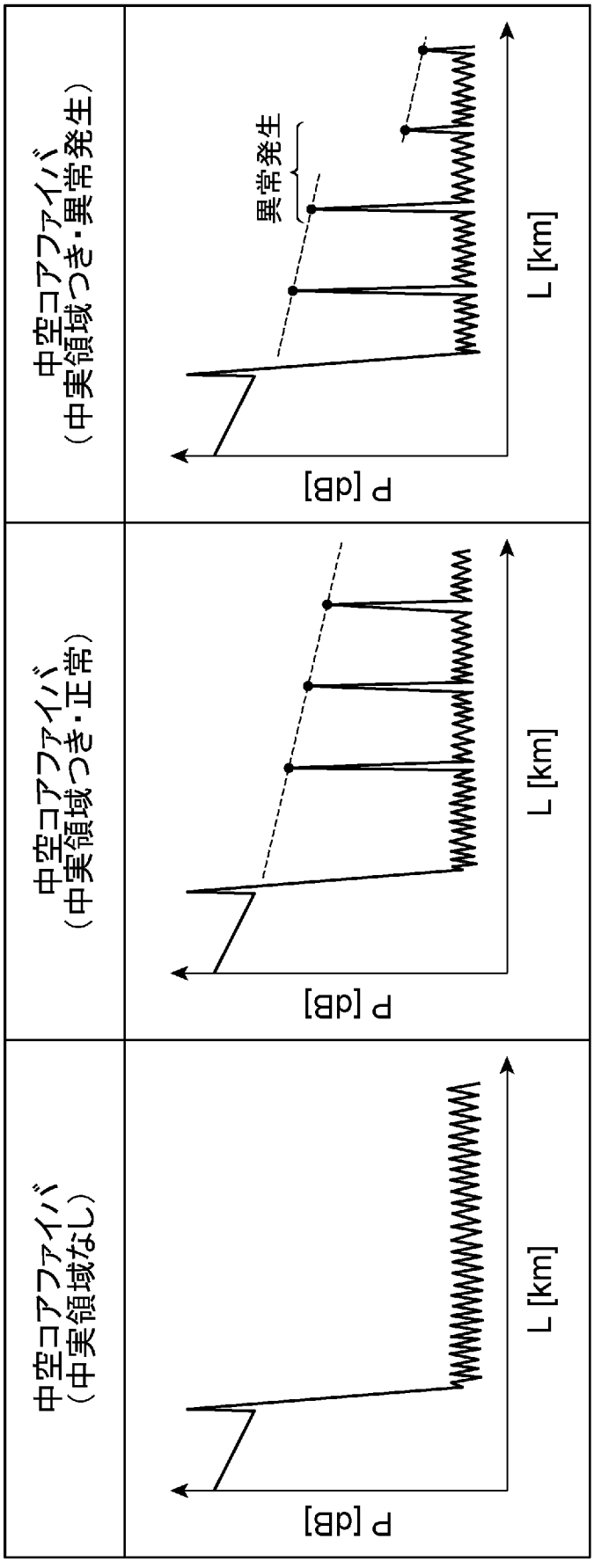
[図5]



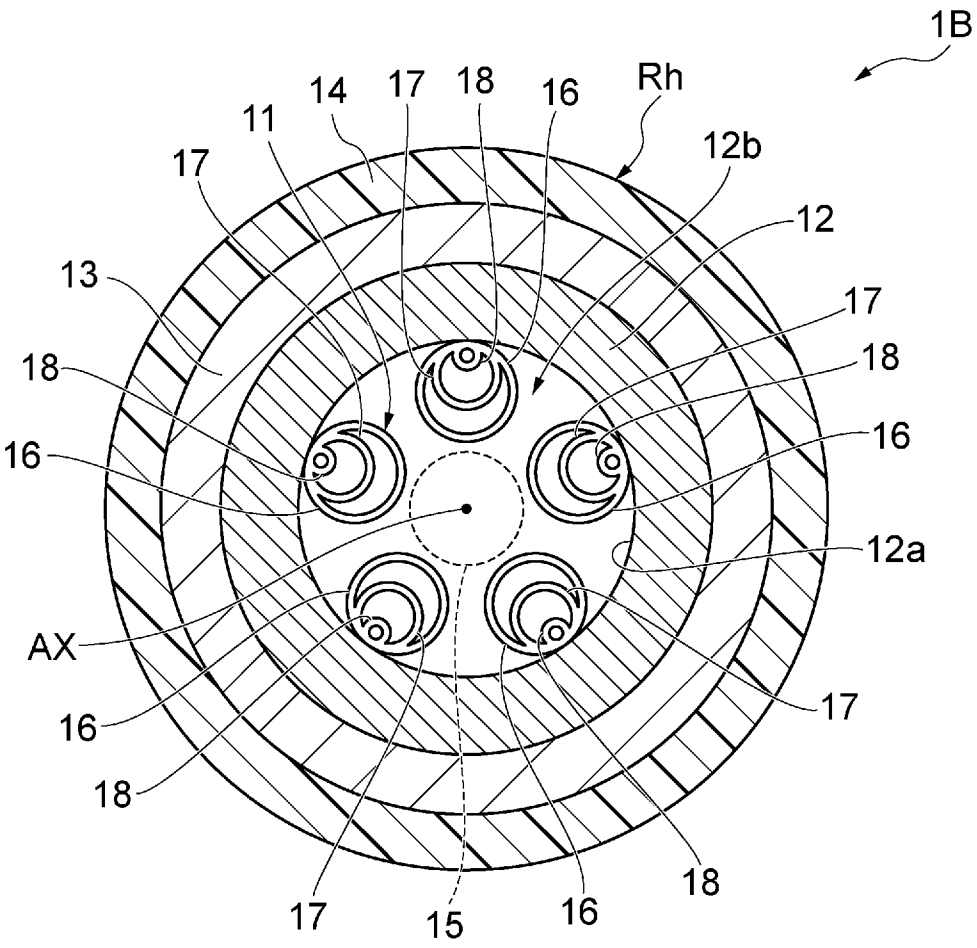
[図6]


10A
300
加圧装置
160
120a
120
160
160
160
130
120b
100
400
400
2
410
S
600
500
1A
610

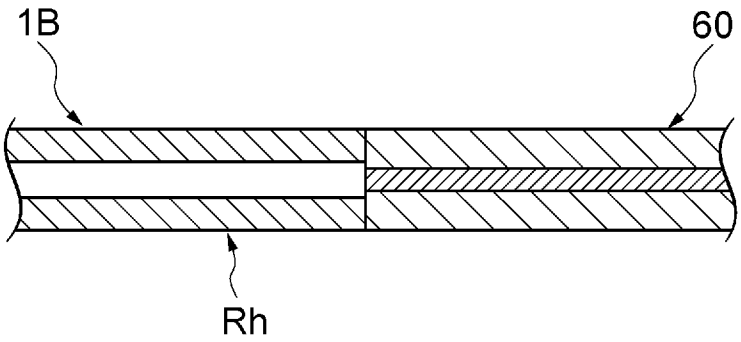
[図7]


中空コアファイバ
（中実領域なし）
P [dB]
L [km]
中空コアファイバ
（中実領域つき・正常）
P [dB]
L [km]
中空コアファイバ
（中実領域つき・異常発生）
異常発生
P [dB]
L [km]

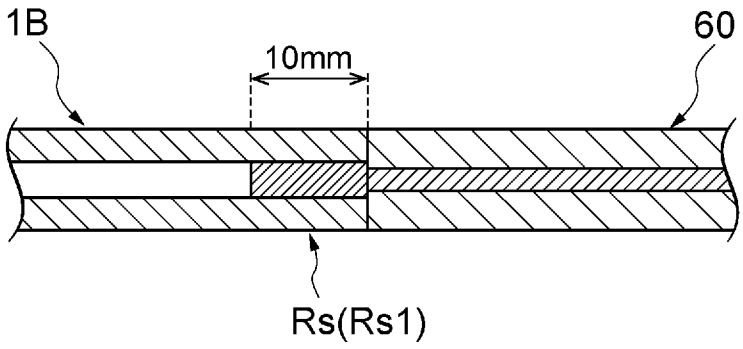
[図8]


1B
Rh
14
17
18
16
11
17
12b
12
13
17
18
18
16
16
12a
AX
17
16
18
18
17
15
16

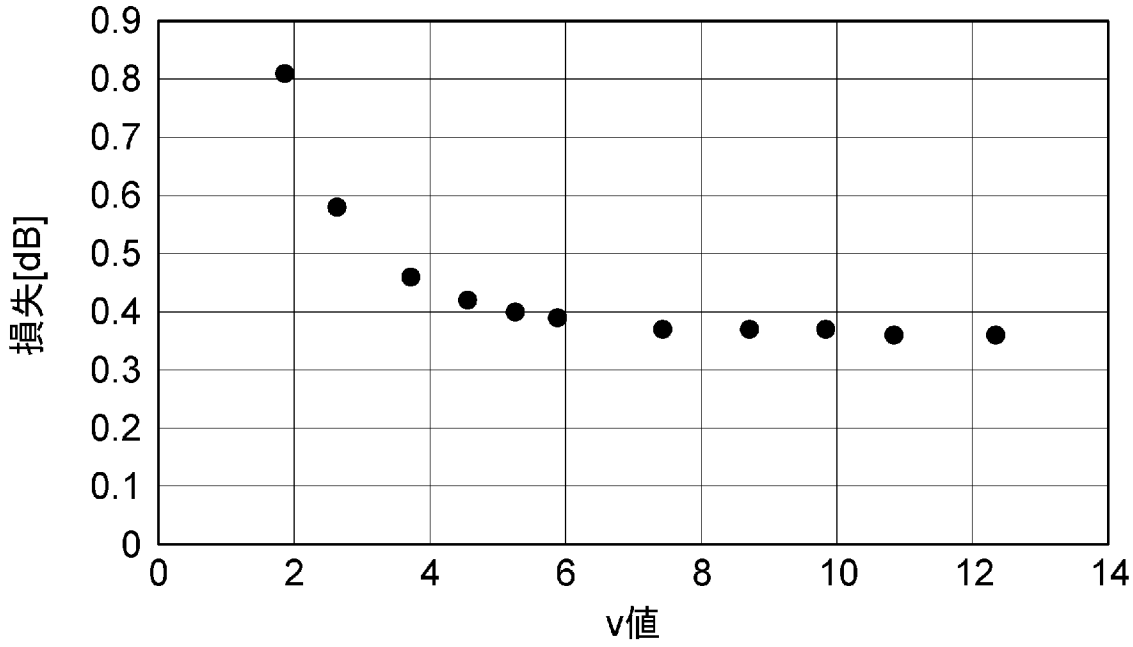
[図9]



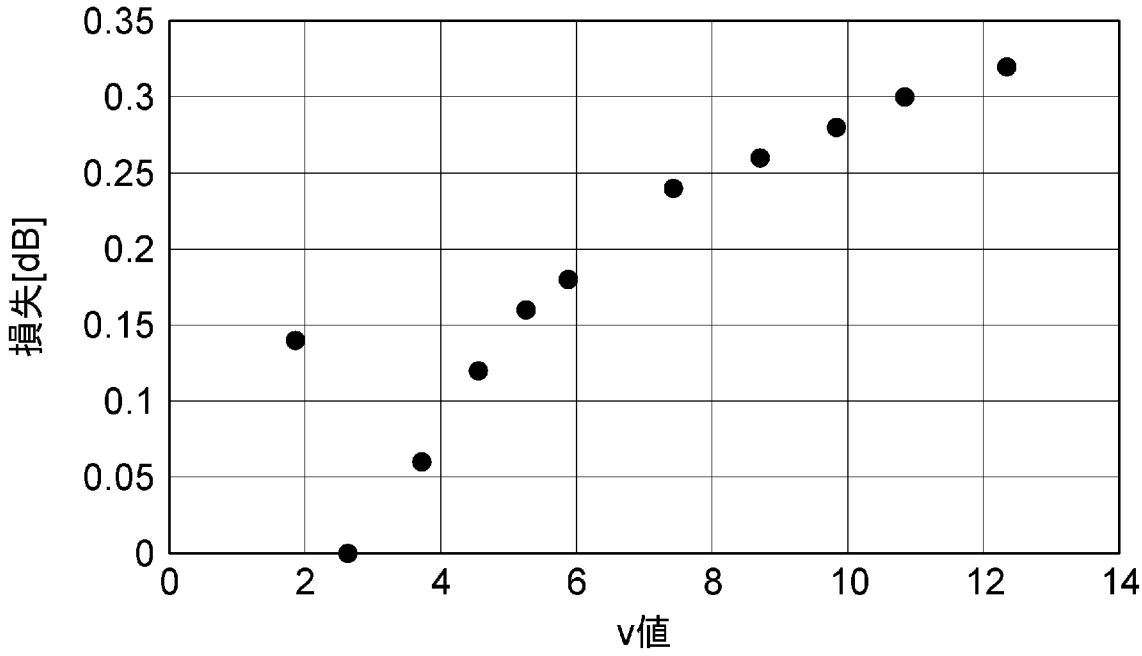
[図10]



[図11]



[図12]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/037065

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 6/032(2006.01)i; ***C03B 37/023***(2006.01)i; ***G02B 6/02***(2006.01)i
FI: G02B6/032 Z; G02B6/02 411; G02B6/02 356A; C03B37/023

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G02B6/02-6/10; G02B6/44; C03B37/023

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/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	WO 2022/044891 A1 (YOKOWO COMPANY, LIMITED et al.) 03 March 2022 (2022-03-03) paragraphs [0006], [0007]	15
A		1-14
A	JP 2017-15881 A (MITSUBISHI CABLE IND., LIMITED) 19 January 2017 (2017-01-19) entire text, all drawings	15
A	JP 2002-323625 A (SUMITOMO ELECTRIC IND., LIMITED) 08 November 2002 (2002-11-08) entire text, all drawings	15
A	JP 2022-541098 A (HERAEUS QUARZGLAS GESELLSCHAFT MIT BESCHRANKTER HAFTUNG & COMPAGNIE KOMMANDITGESELLSCHAFT) 22 September 2022 (2022-09-22) entire text, all drawings	1-14
A	JP 2022-502716 A (LUMENISITY LIMITED) 11 January 2022 (2022-01-11) entire text, all drawings	1-14

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

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
07 December 2023	**26 December 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/037065

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2020/0115270 A1 (NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY) 16 April 2020 (2020-04-16) entire text, all drawings	1-14
A	JP 2022-530426 A (UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON) 29 June 2022 (2022-06-29) entire text, all drawings	1-14
A	HOSEN, M. S. et al. Single Polarization Low Loss Highly Birefringent Hollow-Core Antiresonant Fiber. 3rd International Conference on Electrical & Electronic Engineering (ICEEE). 22 December 2021, pp. 141-144 entire text, all drawings	1-14
A	WU, D. et al. Dependence of Waveguide Properties of Anti-Resonant Hollow-Core Fiber on Refractive Index of Cladding Material. Journal of Lightwave Technology. 01 November 2019, vol. 37, no. 21, pp. 5593-5599 entire text, all drawings	1-14
A	WEI, D. et al. Recent Progress in Low-Loss Hollow-Core Anti-Resonant Fibers and Their Applications. IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. vol. 26, no. 4, pp. 4400312-1 to 4400312-12 entire text, all drawings	1-14
A	VAN PUTTEN, L. D. et al. Optimizing the Curvature of Elliptical Cladding Elements to Reduce Leakage Loss in Antiresonant Hollow Core Fibres. 42nd European Conference and Exhibition on Optical Communications. 18 September 2016, pp. 1034-1036 entire text, all drawings	1-14

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/037065

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:

(Invention 1) Claims 1-14

Claims 1-14 have the special technical feature of
"a hollow core fiber provided with a hollow region extending in a longitudinal direction, wherein the hollow region has a glass structure having a hollow part and forming an optical transmission path and an outer clad surrounding the glass structure, and when the diameter of a circle having the same area as the total area of a cross section of the glass structure orthogonal to the longitudinal direction is defined as 2a, the average refractive index of the glass structure as n1, the average refractive index of the outer clad as n2, the wavelength of light that propagates through the optical transmission path as λ, and the relative refractive index difference between the glass structure and the outer clad as Δ indicated by expression (1), the following hold true: n1 > n2; and the normalized frequency v indicated by expression (2) is 2.56 or greater. [Expression 1] $\Delta = (n1^2-n2^2)/2n1^2$ [Expression 2] $v=2\pi/\Lambda \cdot an1\sqrt{2\Delta}$"; thus these claims are classified as invention 1.

(Invention 2) Claim 15

Claim 15 shares, with claim 1 classified as invention 1, the technical feature of "a glass structure having a hollow part and forming an optical transmission path and an outer clad surrounding the glass structure". However, this technical feature does not make a contribution over the prior art in light of the disclosure of document 1, and thus cannot be considered a special technical feature. Apart from this feature, there are not the same or corresponding special technical features among these inventions.

Furthermore, claim 15 does not depend from claim 1. In addition, claim 15 is not substantially identical to or similarly closely related to any of the claims classified as invention 1.

Accordingly claim 15 cannot be identified as invention 1.

Meanwhile, claim 15 has the special technical feature of "a method for manufacturing a hollow core fiber, including a step for melting and solidifying part of a glass fiber in a longitudinal direction by applying heat from a side surface thereof, the glass fiber having a glass structure having a hollow part and forming an optical transmission path and an outer clad surrounding the glass structure"; thus this claim is classified as invention 2.

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.:

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
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/037065

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2022/044891 A1	03 March 2022	EP 4206762 A1 paragraphs [0006], [0007] CN 115943333 A TW 202212877 A US 20230350135 A1	
JP 2017-15881 A	19 January 2017	(Family: none)	
JP 2002-323625 A	08 November 2002	US 2002/0159734 A1 EP 1255137 A2	
JP 2022-541098 A	22 September 2022	US 2022/0234936 A1 WO 2021/009211 A1 EP 3766843 A1 CN 113891864 A	
JP 2022-502716 A	11 January 2022	US 2021/0396931 A1 WO 2020/070487 A1 EP 3861386 A1 CN 112789534 A SG 11202103114V A	
US 2020/0115270 A1	16 April 2020	WO 2018/169487 A1 EP 3596518 A1	
JP 2022-530426 A	29 June 2022	US 2022/0196907 A1 GB 2583352 A EP 3959553 A1 CN 113711095 A SG 11202109908P A WO 2020/217052 A1	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/037065

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02B 6/032(2006.01)i; C03B 37/023(2006.01)i; G02B 6/02(2006.01)i
FI: G02B6/032 Z; G02B6/02 411; G02B6/02 356A; C03B37/023

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02B6/02-6/10; G02B6/44; C03B37/023

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/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	WO 2022/044891 A1 (株式会社ヨコオ, 他) 03.03.2022 (2022-03-03) 段落[0006]-[0007]	15
A		1-14
A	JP 2017-15881 A (三菱電線工業株式会社) 19.01.2017 (2017-01-19) 全文,全図	15
A	JP 2002-323625 A (住友電気工業株式会社) 08.11.2002 (2002-11-08) 全文,全図	15
A	JP 2022-541098 A (ヘレーウス クヴァルツグラース ゲゼルシャフト ミット ベシュレンクテル ハフツング ウント コンパニー コマンディートゲゼルシャフト) 22.09.2022 (2022-09-22) 全文,全図	1-14
A	JP 2022-502716 A (ルメニシティ・リミテッド) 11.01.2022 (2022-01-11) 全文,全図	1-14
A	US 2020/0115270 A1 (NANYANG TECHNOLOGICAL UNIVERSITY) 16.04.2020 (2020-04-16) 全文,全図	1-14

☑ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
"A" 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
"E" 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
"L" 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
"O" 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
"P" 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
"T" 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
"X" 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
"Y" 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
"&" 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
07.12.2023	26.12.2023

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
林　祥恵 2L 4085

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	JP 2022-530426 A (ユニバーシティ、オブ、サウサンプトン) 29.06.2022 (2022-06-29) 全文,全図	1-14
A	HOSEN, M. S. et al., " Single Polarization Low Loss Highly Birefringent Hollow-Core Antiresonant Fiber" , 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL & ELECTRONIC ENGINEERING (ICEEE), 2021.12.22, pp.141-144 全文,全図	1-14
A	WU, D. et al., "Dependence of Waveguide Properties of Anti-Resonant Hollow-Core Fiber on Refractive Index of Cladding Material", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2019.11.01, Vol. 37, No. 21, pp.5593-5599 全文,全図	1-14
A	WEI, D. et al., "Recent Progress in Low-Loss Hollow-Core Anti-Resonant Fibers and Their Applications", IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, Vol. 26, No. 4, pp.4400312-1- 4400312-12 全文,全図	1-14
A	VAN PUTTEN, L. D. et al., "Optimizing the Curvature of Elliptical Cladding Elements to Reduce Leakage Loss in Antiresonant Hollow Core Fibres", 42ND EUROPEAN CONFERENCE AND EXHIBITION ON OPTICAL COMMUNICATIONS, 2016.09.18, pp.1034-1036 全文,全図	1-14

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/037065

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この国際調査機関は認めた。

（発明１）請求項１－１４
　請求項１－１４は、
「長手方向に延びる領域である中空領域を備える中空コアファイバであって、前記中空領域は、中空部が設けられた、光伝送路を構成するガラス構造体と、前記ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有し、前記ガラス構造体の前記長手方向に直交する断面の総面積と同じ面積を有する円の直径を２ａ、前記ガラス構造体の平均屈折率をｎ１、前記外クラッドの平均屈折率をｎ２、前記光伝送路を伝搬する光の波長をλ、前記ガラス構造体と前記外クラッドとの比屈折率差を式（１）で示されるΔとしたとき、ｎ１＞ｎ２であり、式（２）で示される正規化周波数ｖは、２．５６以上である、中空コアファイバ。
［数１］$\Delta=(n1^2-n2^2)/2n1^2$　［数２］$\nu=2\pi/\Lambda\cdot an1\sqrt{2\Delta}$」という特別な技術的特徴を有しているので、発明１に区分する。

（発明２）請求項１５
　請求項１５は、発明１に区分された請求項１と、「中空部が設けられた光伝送路を構成するガラス構造体と、前記ガラス構造体を取り囲む外クラッド」という共通の技術的特徴を有している。しかしながら、当該技術的特徴は、文献１の開示内容に照らして、先行技術に対する貢献をもたらすものではないから、当該技術的特徴は、特別な技術的特徴であるとはいえない。また、これらの発明の間には、他に同一の又は対応する特別な技術的特徴は存在しない。
　さらに、請求項１５は、請求項１の従属請求項ではない。また、請求項１５は、発明１に区分されたいずれの請求項に対しても実質同一又はそれに準ずる関係にはない。
　したがって、請求項１５は発明１に区分できない。
　そして、請求項１５は「中空部が設けられた光伝送路を構成するガラス構造体と、前記ガラス構造体を取り囲む外クラッドと、を有するガラスファイバの長手方向の一部を側面から加熱により溶融させて中実化する工程を含む、中空コアファイバの製造方法」という特別な技術的特徴を有しているので、発明２に区分する。

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ので、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ので、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。

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。

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/JP2023/037065

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2022/044891 A1	03.03.2022	EP 4206762 A1 [0006]-[0007] CN 115943333 A TW 202212877 A US 20230350135 A1	
JP 2017-15881 A	19.01.2017	（ファミリーなし）	
JP 2002-323625 A	08.11.2002	US 2002/0159734 A1 EP 1255137 A2	
JP 2022-541098 A	22.09.2022	US 2022/0234936 A1 WO 2021/009211 A1 EP 3766843 A1 CN 113891864 A	
JP 2022-502716 A	11.01.2022	US 2021/0396931 A1 WO 2020/070487 A1 EP 3861386 A1 CN 112789534 A SG 11202103114V A	
US 2020/0115270 A1	16.04.2020	WO 2018/169487 A1 EP 3596518 A1	
JP 2022-530426 A	29.06.2022	US 2022/0196907 A1 GB 2583352 A EP 3959553 A1 CN 113711095 A SG 11202109908P A WO 2020/217052 A1	