(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
2023年1月19日(19.01.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/286737 A1

(51) 国際特許分類:
C03B 37/027 (2006.01) *G02B 6/02* (2006.01)
C03C 13/04 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/027267

(22) 国際出願日： 2022年7月11日(11.07.2022)

(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 2021-115656 2021年7月13日(13.07.2021) 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).

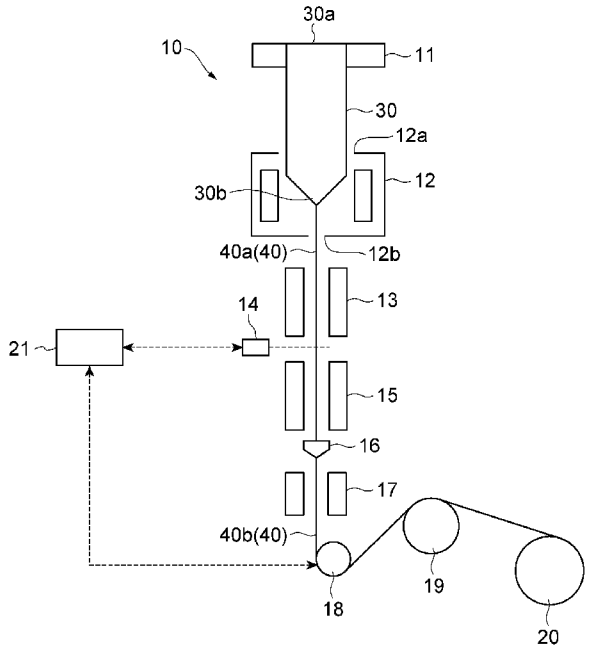
(72) 発明者: 石川 真二 (ISHIKAWA Shinji); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 榎本 正 (ENOMOTO Tadashi); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 斎藤 崇広 (SAITO Takahiro); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 Osaka (JP). 長谷川 健美 (HASEGAWA Takemi); 〒5410041 大阪府大阪市中央区北浜四丁目５番３３号 住友電気工業株式会社内 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, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE,

(54) **Title:** METHOD FOR PRODUCING OPTICAL FIBER, AND OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称： 光ファイバの製造方法および光ファイバ



(57) **Abstract:** A method for producing an optical fiber comprises a step for melting an optical fiber preform by heating and then drawing the melted product. In the method for producing an optical fiber, the optical fiber is formed so as to have a core, a surrounding clad that surrounds the core, and an outer clad that surrounds the surrounding clad. In the drawn optical fiber, a maximum compressive stress of at least 100 MPa is applied to a waveguide region containing at least the core.

(57) 要約：光ファイバの製造方法は、光ファイバ母材を加熱溶融して線引きする工程を備える。この光ファイバの製造方法では、光ファイバは、コアと、コアの周囲を取り囲む周辺クラッドと、周辺クラッドを取り囲む外側クラッドとを備えるように形成される。線引きされた光ファイバでは、コアを少なくとも含む光導波領域に対して最大圧縮応力が少なくとも１００ＭＰａ以上かかる。

WO 2023/286737 A1

［続葉有］

PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

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

添付公開書類:

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

明　細　書

発明の名称 ： 光ファイバの製造方法および光ファイバ

技術分野

[0001] 本開示は、光ファイバの製造方法および光ファイバに関する。

本出願は、２０２１年７月１３日出願の日本出願第２０２１－１１５６５６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。

背景技術

[0002] 特許文献１は、光ファイバの伝送損失を低減させるための光ファイバの製造方法を開示する。この光ファイバの製造方法では、加圧媒体である流体（例えば不活性ガス）を圧力容器内に送出して圧力を高め、高圧の圧力容器内にて光ファイバの線引きを行う。この加圧媒体を用いた製造方法では、光ファイバ母材中のガラスネットワーク構造の緩和を進行させて、光ファイバの伝送損失に影響を与えるレイリー散乱損失を低減している。特許文献２は、光ファイバ母材を高温で加圧した後に光ファイバを線引きすることで、光ファイバの伝送損失を低減する光ファイバの製造方法を開示する。特許文献３は、ガラス構造中の空隙を小さくすることで、レイリー散乱係数を小さくする処理方法を開示する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開２０２０－１６９１１３号公報

特許文献2：特開２０２０－１５８３４９号公報

特許文献3：国際公開第２０１５／０２２９６６号

発明の概要

[0004] 本開示は、光ファイバの製造方法を提供する。この光ファイバの製造方法は、光ファイバ母材を加熱溶融して線引きする工程を備えている。この光ファイバの製造方法では、光ファイバは、コアと、コアの周囲を取り囲む周辺

クラッドと、周辺クラッドを取り囲む外側クラッドと、を備えるように形成される。線引きされた光ファイバでは、コアを少なくとも含む光導波領域に対して最大圧縮応力が少なくとも１００ＭＰａ以上かかる。

[0005] 本開示は、光ファイバを提供する。この光ファイバは、コアと、コアの周囲を取り囲む周辺クラッドと、周辺クラッドを取り囲む外側クラッドとを備えるように形成された光ファイバである。この光ファイバでは、コアを少なくとも含む光導波領域の最大圧縮応力が１００ＭＰａ以上である。

図面の簡単な説明

[0006] [図1]図１は、一実施形態に係る光ファイバの製造方法に用いられる線引き装置の構成を示す図である。

[図2]図２は、光ファイバ母材の断面形状の一例を示す断面図である。

[図3]図３は、光ファイバの断面形状の一例を示す断面図であり、光ファイバにおける屈折率分布、パワー分布、及び、応力分布を併せて示している。

[図4]図４は、光ファイバにおける屈折率分布、パワー分布、及び、パワー分布×半径を示す図であり、光導波領域を説明するための図である。

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］

特許文献１に記載された光ファイバの製造方法及び製造装置を量産に適用する場合、光ファイバの線引き装置の全体を加圧容器で覆う構成にする必要がある。しかも、この場合、加圧媒体からの漏れ等を極力無くして高圧状態を維持したまま高速で線引きを行う必要がある。このため、特許文献１の製造方法及び製造装置によれば、装置の大型化又は複雑化を招いてしまう。また、大型化等の可能性があることから、特許文献１に記載された光ファイバの製造方法を量産に適用する場合、実用上可能な圧力範囲は例えば０．１５ＭＰａから０．２ＭＰａ程度が想定される。この程度の加圧であるとすると、光ファイバ母材中のガラスネットワーク構造の緩和を十分に進行させて光ファイバの伝送損失を十分に低減することが難しい。また、特許文献２に記載された光ファイバの製造方法では、光ファイバ母材を高温高圧に保持する

設備が必要になる。しかも、光ファイバ母材そのものを高温加圧する方法では、その次の線引工程で加熱溶融されることにより、圧縮させたガラス体が熱的に緩和するため、常圧状態のガラスに戻ってしまう。このため、光ファイバにした際に、散乱損失を低減させる効果が消失する可能性が高い。

[0008] ［本開示の効果］

本開示によれば、製造装置の構成に依存せずに光ファイバの伝送損失を低減することができる。

[0009] ［本開示の実施形態の説明］

最初に、本開示の実施形態の内容を列記して説明する。一実施形態に係る光ファイバの製造方法は、光ファイバ母材を加熱溶融して線引きする工程を備えている。この光ファイバの製造方法では、光ファイバは、コアと、コアの周囲を取り囲む周辺クラッドと、周辺クラッドを取り囲む外側クラッドとを備えるように形成される。線引きされた光ファイバでは、コアを少なくとも含む光導波領域に対して最大圧縮応力が少なくとも１００ＭＰａ以上かかるようになっている。

[0010] 光ファイバの製造方法では、線引きされた光ファイバにおいて、コアを少なくとも含む光導波領域に対して最大圧縮応力が少なくとも１００ＭＰａ以上かかるようになっている。光ファイバ母材を線引きして光ファイバとする際、線引きされた光ファイバでは、ガラス組成等の材料の径方向における熱膨張率（熱膨張係数とも言う）の差や粘度の差により生じるひずみが残留する。この製造方法では、このひずみを制御することにより、光導波領域に大きな圧縮応力を生じさせる。この場合、光が伝搬する光導波領域の材料（例えばガラス）において散乱を引き起こす空隙成分を、光導波領域に生じる圧縮応力により圧縮し、光ファイバの光導波領域のガラス密度を向上する。これにより、散乱による伝送損失を低減することができる。また、この製造方法では、線引きに用いる光ファイバ母材や線引きされる光ファイバにおいて上記の圧縮応力を生じさせるようにしている。この場合、光ファイバの線引き装置に加圧容器等を設ける必要がなくなるため、光ファイバの製造装置の

構成に依存せずに上述した低伝送損失の光ファイバを製造することができる。以上により、この製造方法によれば、製造装置の構成に依存せずに光ファイバの伝送損失を低減することができる。また、簡易な構成であれば、加圧容器等を設けた製造装置でこの実施形態に係る製造方法を実施してもよい。なお、光導波領域は、光ファイバにおいて光を伝送する領域を指し、コアおよびそれを取り囲むクラッドの一部（周辺クラッド）を含む。光導波領域は、伝送する光の基底モードの径（ｒ）方向のパワー分布をＰ（ｒ）とした場合に、ｒ×Ｐ（ｒ）のピーク値に対し、ｒ×Ｐ（ｒ）が１／１００未満になる半径までの領域である。光導波領域は、伝送する光の基底モードの径（ｒ）方向のパワー分布をＰ（ｒ）とした場合に、ｒ×Ｐ（ｒ）のピーク値に対し、ｒ×Ｐ（ｒ）が１／１００００未満になる半径までの領域であってもよい。具体的には、図４に示すように、半径方向のパワー分布Ｐ（ｒ）および屈折率分布とすると、ｒ×Ｐ（ｒ）が１／１００になる領域は、おおむねコア半径の２倍であり、１／１００００になるのはコア半径の３倍程度となる。

[0011] 一実施形態として、上述した光ファイバの製造方法において、光導波領域を構成する材料の１５００℃での粘度である第１粘度が外側クラッドを構成する材料の１５００℃での粘度である第２粘度よりも低くてもよい。このように、光導波領域の粘性を非導波領域である外側クラッドの粘性に対して下げることにより、線引き時の光ファイバにかかる引張張力を粘性の高い外側クラッドに集中させて線引き後これが解放されることにより、外側の引張ひずみが解放された分、引張張力を保持しなかった光導波領域に圧縮ひずみが残留するようになる。即ち、この製造方法によれば、光導波領域と外側クラッドとの粘度差を利用して、製造される光ファイバにおいて上記の圧縮応力をより確実に生じさせることができる。以上により、この製造方法によれば、製造装置の構成に依存せずに光ファイバの伝送損失をより確実に低減することができる。なお、この実施形態において、第１粘度は、第２粘度の１／５よりも低くてもよい。このように光導波領域の粘性を大幅に低減すること

により、より大きな圧縮ひずみを光導波領域に生じさせることができ、光ファイバの伝送損失をより一層低減することができる。

[0012] 一実施形態として、上述した何れかの実施形態に係る光ファイバの製造方法において、外側クラッドを構成する材料の熱膨張率である第１熱膨張率が光導波領域を構成する材料の熱膨張率である第２熱膨張率よりも大きくてもよい。この場合、光導波領域の外側に位置する外側クラッドの材料の第１熱膨張率が、光導波領域の材料の第２熱膨張率よりも大きいため、光ファイバ母材を加熱溶融して線引きした後にガラス固化すると、外側クラッドはより体積を小さくする方向に収縮するため、光ファイバの内部にある光導波領域に対して圧縮応力を生じることになる。即ち、この製造方法によれば、光導波領域と外側クラッドとの熱膨張率の差を利用して、線引きされる光ファイバにおいて上記の圧縮応力をより確実に生じさせることができる。以上により、この製造方法によれば、製造装置の構成に依存せずに光ファイバの伝送損失をより確実に低減することができる。なお、この実施形態において、第１熱膨張率が第２熱膨張率の１．３倍以上であってもよい。また、この実施形態において、外側クラッドを構成する材料の第１熱膨張率が光導波領域を構成する材料の第２熱膨張率よりも大きく、且つ、光導波領域を構成する材料の１５００℃での第１粘度が外側クラッドを構成する材料の１５００℃での第２粘度よりも低くてもよい。このように両方の実施形態を組み合わせることで、光導波領域に生じる圧縮応力をより高めることができると共に、光導波領域や外側クラッド領域に添加する材料の選択の自由度を高めることも可能となる。

[0013] 一実施形態として、上述した何れかの実施形態に係る光ファイバの製造方法において、光導波領域を構成する材料には、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加されていてもよく、外側クラッドを構成する材料には、酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ボロンの少なくとも一つが添加されていてもよい。光導波領域にアルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも

一つを添加することにより、光導波領域の材料であるガラスの粘性（粘度）を容易に低下させることができる。光導波領域にアルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンのうちの２つ、または３つ、あるいは全部を添加してもよい。また、外側クラッドに酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ボロンの少なくとも一つを添加することにより、外側クラッドの熱膨張率を容易に大きくすることができる。外側クラッドに酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ボロンのうちの２つ、もしくは３つを添加してもよい。

[0014] 一実施形態として、上述した何れかの実施形態に係る光ファイバの製造方法では、線引きする工程において、光ファイバ母材を線引きする線引き張力は１５０ｇｆよりも大きくてもよい。この場合、光導波領域に生じる圧縮応力をより大きくすることができ、例えば、１００ＭＰａ以上の圧縮応力を容易に生じさせることが可能となる。なお、光ファイバ母材を線引きする線引き張力は２００ｇｆ以上であってもよい。

[0015] 一実施形態に係る光ファイバは、コアと、コアの周囲を取り囲む周辺クラッドと、周辺クラッドを取り囲む外側クラッドとを備えるように形成された光ファイバである。この光ファイバでは、コアを少なくとも含む光導波領域の最大圧縮応力が１００ＭＰａ以上である。

[0016] この光ファイバでは、コアを少なくとも含む光導波領域の最大圧縮応力が１００ＭＰａ以上である。光ファイバ母材を線引きして光ファイバとした際、線引きされた光ファイバでは、ガラス組成等の材料の径方向における熱膨張率の差や粘度の差により生じるひずみが残留する。この光ファイバでは、このひずみが制御されており、光導波領域に大きな圧縮応力が生じている。この場合、光が伝搬する光導波領域の材料（例えばガラス）において散乱を引き起こす空隙成分を、光導波領域に生じる圧縮応力により圧縮し、光ファイバの光導波領域のガラス密度を向上することができる。これにより、この光ファイバでは、散乱による伝送損失を低減することができる。

[0017] 一実施形態として、上述した光ファイバでは、光導波領域が、コア径の少

なくとも２倍以下の領域であってもよい。また、光導波領域が、コア径の少なくとも３倍以下の領域であってもよい。これにより、単一モード伝送光パワー全体に対し９９％以上の領域が、低損失なガラス部を伝搬することが可能となり、伝送損失低減に寄与することとなる。

[0018] 一実施形態として、上述した何れかの実施形態に係る光ファイバでは、光導波領域を構成する材料には、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加されてもよい。このようなアルカリ金属等の添加により、光導波領域の材料であるガラスの粘性を容易に低下させ、光導波領域と外側クラッドとの粘度差を利用して、光ファイバにおける上記の圧縮応力をより確実に生じさせることができる。また、上述した光ファイバでは、外側クラッドを構成する材料には、酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ボロンの少なくとも一つが添加されていてもよい。この酸化ゲルマニウム等の添加により、外側クラッドの熱膨張率を容易に大きくし、光導波領域と外側クラッドとの熱膨張率の差を利用して、光ファイバにおける上記の圧縮応力をより確実に生じさせることができる。以上により、この光ファイバによれば、伝送損失をより確実に低減することができる。

[0019] 一実施形態として、上述した何れかの実施形態に係る光ファイバでは、外側クラッドの一部に、引張応力が付与されてもよい。この場合、線引張力を増加させることによる残留歪みをクラッドの一部に負荷させることが可能で、線引温度の低温化による伝送損失の低減効果を見込むことができる。

[0020] ［本開示の実施形態の詳細］

本開示の実施形態に係る光ファイバの製造方法の具体例を以下に図面を参照しつつ説明する。なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及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。以下の説明において、同一要素又は同一機能を有する要素には、同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

[0021] （光ファイバの製造装置）

図１は、一実施形態に係る光ファイバの製造方法に用いられる線引き装置の構成図である。図１に示される線引き装置１０は、光ファイバ母材３０からガラス繊維を経て光ファイバ４０を製造するための装置である。線引き装置１０は、把持部１１、加熱炉１２、測定器１４、冷却器１５、ダイス１６、紫外線照射機１７、直下ガイドローラ１８、キャプスタン１９、巻き取り機２０、及び、制御装置２１を備える。なお、加熱炉１２と測定器１４の間に、保温炉１３があっても良い。

[0022] 把持部１１は、光ファイバ母材３０を把持して、加熱炉１２に一定の速度で送り込むための部材である。光ファイバ母材３０は、把持部１１により把持される基端部３０ａと、加熱炉１２の内部に挿入される先端部３０ｂと、を有する。把持部１１は、光ファイバ母材３０を加熱炉１２に供給する供給部として機能する。

[0023] 加熱炉１２は、光ファイバ母材３０が挿入される開口１２ａと、開口１２ａと対向し、ガラス繊維状の光ファイバ４０ａとして引き出される開口１２ｂと、を有している。加熱炉１２は、加熱炉１２の内部に供給された光ファイバ母材３０の先端部３０ｂを加熱して溶融（軟化）させる。加熱により溶融された先端部３０ｂから、ガラス繊維状の光ファイバ４０ａが引き出される。ガラス繊維状の光ファイバ４０ａは、開口１２ｂを通じて加熱炉１２の外部に引き出される。

[0024] 保温炉１３は、ガラス繊維状の光ファイバ４０ａを保温し、ガラスの構造を緩和する。測定器１４は、ガラスの構造が緩和された状態の光ファイバ４０ａの外径（ガラス外径）を測定する。測定器１４は、例えば、レーザを光ファイバ４０ａに照射してガラス外径を測定する。測定器１４によるガラス外径のサンプリングの時間間隔は、例えば１００ｍｓ以下である。線引き速度にも依存するが、サンプリング間隔が長くなると、ガラス外径の短周期の変動を検知できなくなるおそれがある。測定器１４は、測定したガラス外径を制御装置２１に送信する。

[0025] 冷却器１５は、測定器１４の後段に配置され、ガラス繊維状の光ファイバ

４０ａを冷却する。ダイス１６は、入線された光ファイバ４０ａの外周面に樹脂を塗布し、被覆樹脂を形成する。樹脂は、アクリレート系の紫外線硬化性樹脂を含む。紫外線照射機１７は、光ファイバ４０ａに形成された被覆樹脂に紫外線を照射し、被覆樹脂を硬化させる。それにより、ガラス繊維が樹脂で被覆されることで光ファイバ４０ｂが形成される。光ファイバ４０ｂは、直下ガイドローラ１８によりキャプスタン１９へと送られる。

[0026] キャプスタン１９は、光ファイバ４０ｂを所定の速度及び張力で牽引する。巻き取り機２０は、キャプスタン１９で牽引された光ファイバ４０ｂを巻き取る。制御装置２１は、測定器１４で測定されたガラス外径を測定器１４から受信し、当該ガラス外径に基づき、巻き取り機２０等を制御する。制御装置２１は、線引き装置１０の全体を制御してもよい。

[0027] 制御装置２１は、例えば、ＣＰＵ（Central Processing Unit）などのプロセッサと、ＲＡＭ（Random Access Memory）及びＲＯＭ（Read Only Memory）などのメモリと、タッチパネル、マウス、キーボード、ディスプレイなどの入出力装置と、ネットワークカードなどの通信装置とを含むコンピュータシステムとして構成されてもよい。制御装置２１は、メモリに記憶されているコンピュータプログラムに基づくプロセッサの制御のもとで各ハードウェアを動作させることにより、制御装置２１の機能を実現する。

[0028]（光ファイバ母材及び光ファイバの構成）

図２は、光ファイバ母材の断面構成を示す断面図である。図３は、光ファイバ母材から形成される光ファイバの断面構成を示す断面図であり、光ファイバにおける屈折率分布、パワー分布、及び、応力分布を併せて示している。図２に示すように、光ファイバ母材３０は、コア３１、周辺クラッド３２、及び、外側クラッド３３を備える。また、図３に示すように、光ファイバ４０は、コア４１、周辺クラッド４２、及び、外側クラッド４３を備える。光ファイバ母材３０を線引きして光ファイバ４０を形成した際、光ファイバ母材３０のコア３１は、光ファイバ４０のコア４１となり、光ファイバ母材３０の周辺クラッド３２は、光ファイバ４０の周辺クラッド４２となり、光

ファイバ母材３０の外側クラッド３３は、光ファイバ４０の外側クラッド４３となる。なお、光ファイバ４０のコア４１及び周辺クラッド４２は、光ファイバ４０において光を伝送する領域である光導波領域である。このような光ファイバ４０では、図３に示すように、コア４１の屈折率が周辺クラッド３２及び外側クラッド３３よりも高くなってなるように構成されており、コア４１を伝搬する光のパワーが周辺クラッド３２及び外側クラッド３３を伝搬する光のパワーよりも強くなる。一方、本実施形態では、光ファイバ母材３０の径方向における材料構成に熱膨張率の差や粘度の差を設けることにより、図３に示すように、光ファイバ４０となった際にコア４１及び周辺クラッド４２に圧縮応力が生じるようになっている。また、外側クラッド４３の一部には、引張応力が生じる。これらの詳細については後述する。

[0029] 光ファイバ母材３０のコア３１は、例えばシリカ系のガラス（SiO_2）から形成される。このようなガラス材料から形成されるコア３１には、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加されていてもよい。例えばアルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンがコア３１に添加されることにより、コア３１を構成するガラスの粘性を低下することができる。コア３１に添加されるアルカリ金属元素としては、カリウム（Ｋ）、ナトリウム（Ｎａ）、リチウム（Ｌｉ）、リビジウム（Ｒｂ）、又は、セシウム（Ｃｓ）を例示することができる。コア３１に添加されるアルカリ土類金属元素としては、マグネシウム（Ｍｇ）、カルシウム（Ｃａ）、ストロンチウム（Ｓｒ）、バリウム（Ｂａ）を例示することができる。コア３１に添加されるその他の元素としては、リン（Ｐ）を例示することができる。コア３１に添加される金属元素は金属酸化物であることが好ましく、コア３１に添加されるアルカリ金属酸化物は、K_2O、Na_2O、Li_2O、Rb_2O、Cs_2O、アルカリ土類金属酸化物は、ＭｇＯ，ＣａＯ，ＳｒＯ，ＢａＯ、リン酸化物はP_2O_5、およびこれらの混合物からなる群より選択することができる。コア３１に添加されるアルカリ金属、アルカリ土類金属、リンの元素の濃度は、シリカ系のガラスに対して、

５０原子ｐｐｍ以上１００００原子ｐｐｍ以下であってもよく、より好ましくは、１００原子ｐｐｍ以上１０００原子ｐｐｍ以下である。

[0030] また、コア３１に添加されるハロゲン元素としては、フッ素（Ｆ）又は塩素（Ｃｌ）を例示することができる。コア３１に添加されるハロゲン元素の濃度は、シリカ系のガラスに対して、０．０１原子％以上５原子％以下であってもよく、より好ましくは、０．０２５原子％以上１原子％以下である。コア３１は、一例として、シリカ系のガラスに、K_2OとＦとＣｌとを添加して形成することができる。

[0031] 周辺クラッド３２は、コア３１を覆うと共にコア３１と共に光導波領域を構成する部分であり、例えばシリカ系のガラス（SiO_2）から形成される。周辺クラッド３２には、コア３１と同様に、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加されていてもよい。添加される材料は、上述したコア３１の材料と同様のものを用いることができ、適宜、選択される。周辺クラッド３２は、一例として、シリカ系のガラスに、K_2OとＦとを添加して形成することができる。

[0032] 外側クラッド３３は、周辺クラッド３２を取り囲むと共にコア３１及び周辺クラッド３２を覆う部分であり、例えばシリカ系のガラス（SiO_2）から形成される。外側クラッド３３は、外側クラッド４３の屈折率がコア４１の屈折率よりも低くなるように構成されている（図３を参照）。外側クラッド３３には、例えばフッ素等のハロゲン元素が添加されている。また、外側クラッド３３には、熱膨張率を例えばコア３１や周辺クラッド３２よりも大きくするために、酸化ゲルマニウム（GeO_2）や酸化アルミニウム（Al_2O_3）、酸化ホウ素（B_2O_3）を添加している。外側クラッド３３に添加されるGeO_2等の濃度は、シリカ系のガラスに対して、１原子％以上２０原子％以下であってもよく、より好ましくは、１原子％以上１０原子％以下である。外側クラッド３３は、一例として、シリカ系のガラスに、GeO_2とＦとを添加して形成することができる。

[0033] このように、光ファイバ母材３０では、コア３１や周辺クラッド３２に例

えばアルカリ金属、アルカリ土類金属、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つの元素が添加されており、コア３１及び周辺クラッド３２の粘度が外側クラッド３３の粘度に対して低くなるように構成されている。即ち、光ファイバ４０になった際のコア４１及び周辺クラッド４２の粘度（光導波領域を構成する領域の粘度の平均値である第１粘度）が外側クラッド４３の粘度（第２粘度）に対して低くなるように、光ファイバ母材３０が予め形成されている。なお、ここでいう光ファイバ４０での粘度は、例えば、１５００℃での粘度である。コア４１等の粘度と外側クラッド４３の粘度との差や比率は特に限定されるものではないが、例えば、コア４１等の光導波領域の粘度が外側クラッド４３の粘度の１／５より低くてもよく、更に１／１０以下であってもよい。このように光導波領域の粘性を大幅に低減することにより、光ファイバ母材３０を線引きしてガラス固化した際に、より大きな圧縮ひずみを光ファイバ４０の光導波領域に生じさせることができる。

[0034] また、光ファイバ母材３０では、外側クラッド３３に熱膨張率を大きくするGeO_2やAl_2O_3等が添加されており、外側クラッド３３を構成する材料の熱膨張率がコア３１及び周辺クラッド３２を構成する材料の熱膨張率よりも大きくなるように構成されている。即ち、光ファイバ４０になった際の外側クラッド４３の材料の熱膨張率（第１熱膨張率）がコア４１及び周辺クラッド４２の材料の熱膨張率（光導波領域を構成する領域の熱膨張率の平均値である第２熱膨張率）よりも大きくなるように、光ファイバ母材３０が予め形成されている。外側クラッド４３の材料の熱膨張率とコア４１等の材料の熱膨張率との差や比率は特に限定されるものではないが、例えば、外側クラッド４３の材料の熱膨張率が光導波領域であるコア４１や周辺クラッド４２の材料の熱膨張率の１．３倍以上であってもよく、更に、１．５倍以上であってもよい。このように外側クラッドの熱膨張率を高めることにより、光ファイバ母材３０を線引きしてガラス固化した際に、より大きな圧縮ひずみを光ファイバ４０の光導波領域に生じさせることができる。

[0035] なお、上述した構成の光ファイバ母材３０は、例えばＶＡＤ（Vapor Phase

Axial Deposition）法によって製造することができる。他の方法、例えば、ＭＣＶＤ（Modified Chemical Vapor Deposition）法やＯＶＤ（Outside Vapor Deposition）法によって製造してもよい。

[0036]（光ファイバの製造方法）

続いて、上述した線引き装置１０を用いて、上述した構成の光ファイバ母材３０から線引きにより光ファイバ４０を製造する方法について説明する。

[0037] まず、線引き装置１０の把持部１１によって光ファイバ母材３０を把持させる。そして、光ファイバ母材３０の先端部３０ｂを加熱炉１２（線引炉）に挿入して、光ファイバ母材３０の先端部３０ｂを加熱する。その後、光ファイバ母材３０の先端部３０ｂが十分に加熱されて溶融すると、先端部３０ｂからガラス繊維状の光ファイバ４０ａを引き出す。線引き装置１０による線引きの線引張力は、特に限定されるものではないが、例えば１５０ｇｆより大きい線引き張力であってもよく、２００ｇｆ以上の線引き張力で光ファイバ母材３０を線引きする。

[0038] この線引きの際、光ファイバ４０では、コア３１に対応するコア４１では、シリカ系ガラスに例えばK_2OとＦとＣｌとが添加されている。K_2OとＦとＣｌの添加により、コア４１の粘性が外側クラッド４３よりも大幅に下げられていることになる。また、周辺クラッド３２に対応する周辺クラッド４２では、コア３１，４１と同様に、シリカ系ガラスに例えばK_2OとＦとが添加されている。K_2OとＦとの添加により、周辺クラッド３２の粘性が外側クラッド３３よりも大幅に下げられている。なお、周辺クラッド３２の粘性はコア３１の粘性より小さくてもよい。

[0039] 一方、外側クラッド３３に対応する外側クラッド４３では、シリカ系ガラスに例えばGeO_2及びＦが添加されている。Ge_2O等の添加により、外側クラッド４３の熱膨張率がコア４１の熱膨張率よりも高められていることになる。なお、コア４１の熱膨張率と周辺クラッド４２の熱膨張率は略同じである。

[0040] 続いて、引き出されたガラス繊維状の光ファイバ４０ａを保温炉１３で保

温する。これにより、ガラスの構造が緩和される。なお、この保温工程は有しなくてもよい。光ファイバ４０ａが保温によりガラス構造が緩和されると、光ファイバ４０ａの外径を測定器１４で測定すると共に、光ファイバ４０ａを冷却器１５で冷却する。その後、ダイス１６により光ファイバ４０ａに被覆層を形成して紫外線照射機１７により被覆層を紫外線硬化して光ファイバ４０ｂとする。被覆層が形成された光ファイバ４０ｂは、その後、直下ガイドローラ１８及びキャプスタン１９を介して、巻き取り機２０で巻き取られる。これにより、光ファイバ４０が製造される。

[0041] このようにして製造された光ファイバ４０は、図３に示すように、コア４１と、コア４１の周囲を取り囲む周辺クラッド４２と、周辺クラッド４２を取り囲む外側クラッド４３とを備えている。そして、この光ファイバ４０では、上述した各種材料が添加された光ファイバ母材３０を線引きして形成していることにより、コア４１及び周辺クラッド４２を含む光導波領域の最大圧縮応力が１００ＭＰａ以上になっている。

[0042] より詳細には、コア４１は、コア３１に対応していることから、例えばシリカ系のガラス（SiO_2）から形成され、コア３１と同様に、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加されている。また、周辺クラッド４２は、周辺クラッド３２に対応していることから、例えばシリカ系のガラス（SiO_2）から形成され、周辺クラッド３２と同様に、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加されている。コア３１及び周辺クラッド３２に、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも１つが添加されることにより、光ファイバ４０では、コア４１及び周辺クラッド４２を構成するガラスの粘性が低下させられている。

[0043] 一方、外側クラッド４３は、例えばシリカ系のガラス（SiO_2）から形成され、外側クラッド３３と同様に、外側クラッド４３の屈折率がコア４１の屈折率よりも低くなるように構成されている。外側クラッド４３には、例えばフッ素等のハロゲン元素が添加されている。また、外側クラッド４３には

、熱膨張率を例えばコア４１や周辺クラッド４２よりも大きくするために、酸化ゲルマニウム（GeO_2）や酸化アルミニウム（Al_2O_3）、酸化ホウ素（B_2O_3）が添加されている。この酸化ゲルマニウム等の添加により、光ファイバ４０では、外側クラッド４３の熱膨張率を大きくしている。このように光ファイバ４０では、光導波領域と外側クラッド４３との粘度差を利用すると共に、光導波領域と外側クラッド４３との熱膨張率の差を利用して、光ファイバ４０における上述した圧縮応力をより確実に生じさせるようになっている。

[0044] 以上、本実施形態に係る光ファイバの製造方法では、上述したように、コア４１及び周辺クラッド４２の粘性を非導波領域である外側クラッド４３の粘性に対して大幅に下げている。この粘性の差により、光ファイバ母材３０を加熱溶融して線引きした際に光ファイバ４０にかかる引張張力を粘性の高い外側クラッド４３に集中させ、線引き後にこの状態が解放されることにより、外側の引張ひずみが解放された分、引張張力を保持しなかったコア４１及び周辺クラッド４２に圧縮ひずみが残留するようになる。即ち、この製造方法によれば、光導波領域と外側クラッドとの粘度の差を利用して、製造される光ファイバ４０においてコア４１及び周辺クラッド４２に圧縮応力をより確実に生じさせることができる。しかも、この光ファイバの製造方法では、外側クラッド４３の熱膨張率がコア４１及び周辺クラッド４２の熱膨張率よりも大きくなる。このため、光ファイバ母材３０を加熱溶融した後にガラス固化すると（即ち光ファイバ４０ａ，４０ｂとなると）、外側クラッド４３は、より体積を小さくする方向に収縮することになるため、光ファイバ４０の内部にある光導波領域（コア４１及び周辺クラッド４２）において圧縮応力を生じることになる。即ち、この製造方法によれば、光導波領域と外側クラッド４３との熱膨張率差を利用して、線引きされた光ファイバ４０においてコア４１等に更に圧縮応力を生じさせることになり、その圧縮応力の値は、１００ＭＰａ以上である。また、光ファイバ４０には、光導波領域にアルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも

一つが添加され、外側クラッド４３に、酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ボロンの少なくとも一つが添加されている。

[0045] このように、本実施形態に係る光ファイバの製造方法では、光ファイバの径方向における熱膨張率の差や粘度の差を利用して光ファイバ４０の内部のコア４１等に圧縮応力を生じさせている。このような製造方法によれば、１００ＭＰａ以上の圧縮応力を光ファイバ４０のコア４１等に容易に生じさせることができる。即ち、光ファイバ母材３０を線引きして光ファイバ４０とする際に、線引きされた光ファイバ４０では、材料（ガラス組成）の径方向に分布する熱膨張率の差や粘度の差により生じるひずみが残留するようになっている。この実施形態に係る製造方法では、このようなひずみを制御することにより、光導波領域であるコア４１及び周辺クラッド４２に大きな圧縮応力を生じさせる。このような圧縮応力を光導波領域に生じさせることにより、光が伝搬する光導波領域の材料（例えばガラス）において散乱を引き起こす空隙成分を、光導波領域に生じる圧縮応力により圧縮して、光ファイバ４０のガラス密度を向上する。つまり、光ファイバ４０のガラス中の粗密を緩和させて、レイリー散乱損失を低下することができる。その結果、光ファイバでの散乱による伝送損失を低減することができる。

[0046] しかも、この光ファイバの製造方法では、上述したように、線引きに用いる光ファイバ母材３０や線引きされる光ファイバ４０の径方向の構成に工夫をすることにより、上記の圧縮応力を生じさせて光ファイバの伝送損失を低減させている。このため、光ファイバ４０の線引き装置側に加圧容器等を設ける必要がなくなるため、光ファイバの製造装置の構成に依存せずに低伝送損失の光ファイバ４０を製造することができる。

[0047] 以上により、本実施形態に係る製造方法によれば、製造装置の構成に依存せずに光ファイバ４０の伝送損失を低減することができる。

[0048] また、本実施形態に係る光ファイバの製造方法では、光ファイバ母材３０を線引きする線引き張力は１５０ｇｆよりも大きくてもよい。この場合、光導波領域に生じる圧縮応力をより大きくすることができ、例えば、１００Ｍ

Ｐａ以上の圧縮応力を容易に生じさせることが可能となる。

[0049] 以上、本開示に係る実施形態について詳細に説明してきたが、本発明は上記実施形態に限定されるものではなく様々な実施形態に適用することができる。例えば、上記の実施形態では、光ファイバ母材３０及び光ファイバ４０の径方向における粘性の差と熱膨張率の差の両方を用いて、光ファイバ４０のコア４１等の光導波領域に１００ＭＰａ以上の圧縮応力を生じさせて伝送損失を低下させたが、これに限定されない。例えば、光ファイバ母材３０及び光ファイバ４０の径方向における粘性の差を用いて、光ファイバ４０のコア４１等の光導波領域に１００ＭＰａ以上の圧縮応力を生じさせてもよいし、光ファイバ母材３０及び光ファイバ４０の径方向における熱膨張率の差を用いて、光ファイバ４０のコア４１等の光導波領域に１００ＭＰａ以上の圧縮応力を生じさせてよい。また、これらの差に線引き張力を調整して（例えばより大きな線引き張力を付与して）、光ファイバ４０のコア４１等の光導波領域に１００ＭＰａ以上の圧縮応力を生じさせてもよい。

[0050] また、上記の実施形態では、光ファイバ母材３０を線引きする装置として従来の装置を用いる場合を例示したが、これに限定されない。例えば、光ファイバ母材３０を線引きする装置に光ファイバを加圧する機構（圧力容器）を設けて、上述した径方向の組成を有する光ファイバ母材３０を線引きして、光ファイバ４０の伝送損失を低減するようにしてもよい。両者を合わせることにより、光ファイバ４０の伝送損失をより一層低減することができる。

[0051] ［実験例］

以下、実験例に基づいて本開示の内容をより具体的に説明するが、本発明は以下の実験例に限定されるものではない。

[0052] まず、表１に示すガラス構成となる光ファイバ母材３０を準備した。この光ファイバ母材３０では、コア３１はシリカ系ガラスからなり、K_2O、Ｆ、Ｃｌが添加されていた。それぞれの添加濃度は、SiO_2（基準）に対して、１００原子ｐｐｍ、０．２原子％、０．０１原子％であった。周辺クラッド３２はシリカ系ガラスからなり、K_2O、Ｆが添加されていた。それぞれの添

加濃度は、SiO_2（基準）に対して、８０原子ｐｐｍ、１．５原子％であった。外側クラッド３３は、シリカ系ガラスからなり、GeO_2、Ｆが添加されていた。それぞれの添加濃度は、SiO_2（基準）に対して、２．５原子％、０．７原子％であった。なお、表１において、コア３１、周辺クラッド３２、及び外側クラッド３３における粘度及び熱膨張率は、コア３１の値を１とした場合の比率で示している。粘度は、例えば１５００度での粘度である。また、外側クラッド３３は、光ファイバ母材３０を線引きして光ファイバ４０とした場合に、光ファイバ４０のコア４１の外周から外側クラッド４３が径方向に２０μｍ以上離れるように設定されていた。線引きされた光ファイバ４０のコア４１の直径は１０μｍであり、周辺クラッド４２の直径は５０μｍであり、外側クラッド４３の直径は１２５μｍであった。

[0053] [表1]

	コア	周辺クラッド	外側クラッド
材料	$SiO_2/K_2O/F, Cl$	$SiO_2/K_2O/F$	$SiO_2/GeO_2/F$
粘度比	1	0.90	10
熱膨張比	1	0.99	1.5

[0054] そして、上述した光ファイバ母材３０を、線引き装置１０を用いて、５０ｇｆ、１５０ｇｆ、２５０ｇｆ及び５００ｇｆの４種類の線引き張力で線引きして光ファイバ４０を作製した。各線引き張力で線引きされて作製された光ファイバ４０は、以下の表２に示すように、実験例１から実験例４のそれぞれに対応する。作製された各光ファイバ４０のコア４１及び周辺クラッド４２に生じる圧縮応力、及び、波長１．５５μｍの光を伝送した際の伝送損失は、表２に示す通りであった。なお、応力の測定は、光弾性効果（媒質に残っている応力の方向にしたがって屈折率が変化する現象）を応用する方法により行った。

[0055]

[表2]

	線引き張力 [gf]	光導波領域の 圧縮応力[MPa]	波長1.55μmでの 伝送損失[dB/km]
実験例1	50	30	0.152
実験例2	150	90	0.148
実験例3	250	160	0.142
実験例4	500	350	0.138

[0056] 表２に示すように、実験例１から実験例４では、コア３１及び周辺クラッド３２にK_2OとＦ及びＣｌとが添加されており、また、外側クラッド３３にGeO_2が添加されていることにより、コア４１及び周辺クラッド４２に十分な圧縮応力を生じさせることが確認できた。更に、実験例３及び実験例４では、線引き張力を２５０ｇｆ及び５００ｇｆと通常よりも高めにすることにより、コア４１に生じる圧縮応力を１００ＭＰａ以上である１６０ＭＰａ及び３５０ＭＰａとすることができた。このように光ファイバ４０のコア４１に生じる圧縮応力を１００ＭＰａ以上とすることにより、実験例３及び実験例４に示すように、光ファイバの伝送損失を一つの基準となりえる０．１４８ｄＢ／ｋｍよりも低減できることが確認された。

[0057] また、アルカリ金属であるカリウム（Ｋ）の酸化物をコア３１及び周辺クラッド３２に添加していない別の実験例について説明する。これらの実験例では、アルカリ金属を添加していないことから、コア３１及び周辺クラッド３２の粘性は外側クラッド３３の粘性より高くなっていた。また、これらの実験例では、外側クラッド３３に熱膨張率を高めるゲルマニウム（Ｇｅ）を添加していなかった。より具体的には、この別の実験例では表３に示すガラス構成となる光ファイバ母材３０を準備した。この光ファイバ母材３０では、コア３１はシリカ系ガラスからなり、Ｃｌのみが添加されていた。Ｃｌの添加濃度は、SiO_2（基準）に対して、０．７原子％であった。周辺クラッド３２はシリカ系ガラスからなり、Ｆのみが添加されていた。Ｆの添加濃度は、SiO_2（基準）に対して、１．５原子％であった。外側クラッド３３は

、シリカ系ガラスからなり、Ｆのみが添加されていた。このＦの添加濃度は、SiO_2（基準）に対して、１．２原子％であった。なお、表３において、コア３１、周辺クラッド３２及び外側クラッド３３における粘度及び熱膨張率は、コア３１の値を１とした場合の比率で示している。粘度は、例えば１５００度での粘度である。また、外側クラッド３３は、光ファイバ母材３０を線引きして光ファイバ４０とした場合に、光ファイバ４０のコア４１の外周から外側クラッド４３が径方向に２０μｍ以上離れるように設定されていた。線引きされた光ファイバ４０のコア４１の直径等は上述した実験例を同様であった。

[0058] [表3]

	コア	周辺クラッド	外側クラッド
材料	SiO_2/Cl	SiO_2/F	SiO_2/F
粘度比	1	0.6	0.7
熱膨張比	1	0.99	0.99

[0059] そして、上述した光ファイバ母材３０を、線引き装置１０を用いて、１０ｇｆ、５０ｇｆ、１００ｇｆ及び２５０ｇｆの４種類の線引き張力で線引きして光ファイバ４０を作製した。各線引き張力で線引きされて作製された光ファイバ４０は、以下の表４に示すように、実験例５から実験例８のそれぞれに対応する。作製された各光ファイバ４０のコア４１に生じる圧縮応力、及び、波長１．５５μｍの光を伝送した際の伝送損失は以下の表４に示す通りであった。

[0060] [表4]

	線引き張力 [gf]	光導波領域の 圧縮応力[MPa]	波長 1.55μｍでの 伝送損失[dB/km]
実験例5	10	−10	0.168
実験例6	50	−90	0.176
実験例7	100	−180	0.189
実験例8	250	−400	0.23

[0061] 表４に示すように、実験例５から実験例８では、外側クラッド３３の熱膨張率を高めておらず、またコア３１及び周辺クラッド３２の粘性を大幅に下げていないことから、線引き張力を増加させてもコア４１に生じる圧縮応力は高まることがなく、逆に引張応力が高くなってしまった。また、光ファイバ４０のコア４１に生じる応力が引張応力となってしまうことにより、実験例５から実験例８に示すように、光ファイバの伝送損失が悪化してしまうことが確認された。

符号の説明

[0062] １０…線引き装置

１１…把持部

１２…加熱炉

１２ａ，１２ｂ…開口

１３…保温炉

１４…測定器

１５…冷却器

１６…ダイス

１７…紫外線照射機

１８…直下ガイドローラ

１９…キャプスタン

２０…巻き取り機

２１…制御装置

３０…光ファイバ母材

３０ａ…基端部

３０ｂ…先端部

３１…コア

３２…周辺クラッド

３３…外側クラッド

４０…光ファイバ

４１…コア

４２…周辺クラッド

４３…外側クラッド

請求の範囲

[請求項1] 光ファイバ母材を加熱溶融して線引きする工程を備える光ファイバの製造方法であって、

前記光ファイバは、コアと、前記コアの周囲を取り囲む周辺クラッドと、前記周辺クラッドを取り囲む外側クラッドとを備えるように形成され、

線引きされた前記光ファイバでは、前記コアを少なくとも含む光導波領域に対して最大圧縮応力が少なくとも１００ＭＰａ以上かかる、光ファイバの製造方法。

[請求項2] 前記光導波領域を構成する材料の１５００℃での粘度である第１粘度が前記外側クラッドを構成する材料の１５００℃での粘度である第２粘度よりも低い、

請求項１に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項3] 前記第１粘度は、前記第２粘度の１／５よりも低い、

請求項２に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項4] 前記外側クラッドを構成する材料の熱膨張率である第１熱膨張率が前記光導波領域を構成する材料の熱膨張率である第２熱膨張率よりも大きい、

請求項１から請求項３のいずれか１項に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項5] 前記第１熱膨張率が前記第２熱膨張率の１．３倍以上である、

請求項４に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項6] 前記光導波領域を構成する材料には、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加され、

前記外側クラッドを構成する材料には、酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ボロンの少なくとも一つが添加されている、

請求項１から請求項５のいずれか１項に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項7] 前記線引きする工程において、前記光ファイバ母材を線引きする線引き張力は１５０ｇｆよりも大きい、
請求項１から請求項６のいずれか１項に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項8] コアと、前記コアの周囲を取り囲む周辺クラッドと、前記周辺クラッドを取り囲む外側クラッドとを備えるように形成された光ファイバであって、
前記コアを少なくとも含む光導波領域の最大圧縮応力が１００ＭＰａ以上である、光ファイバ。

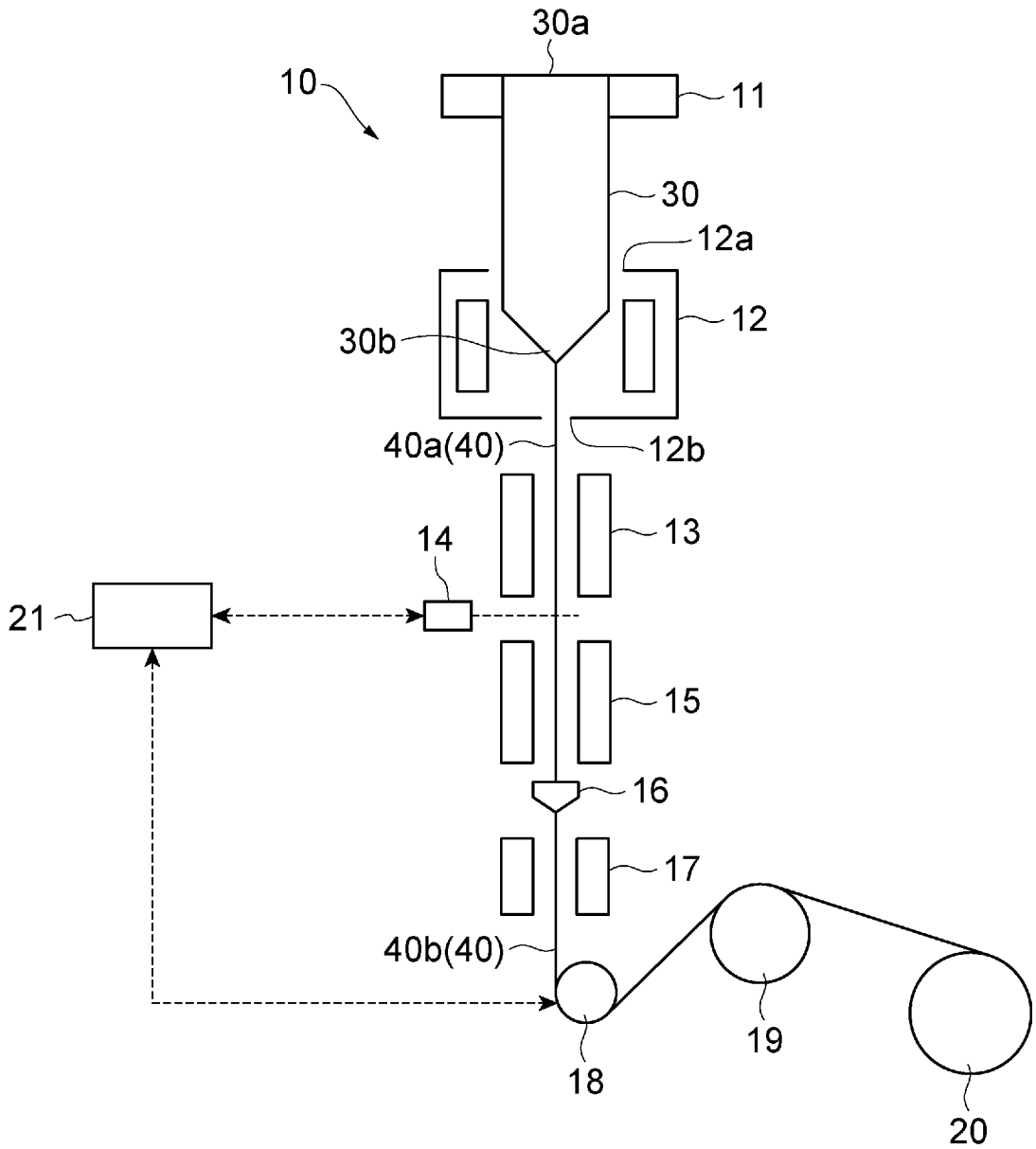
[請求項9] 前記光導波領域が、コア径の少なくとも２倍以下の領域である、
請求項８に記載の光ファイバ。

[請求項10] 前記光導波領域が、コア径の少なくとも３倍以下の領域である、
請求項８に記載の光ファイバ 。

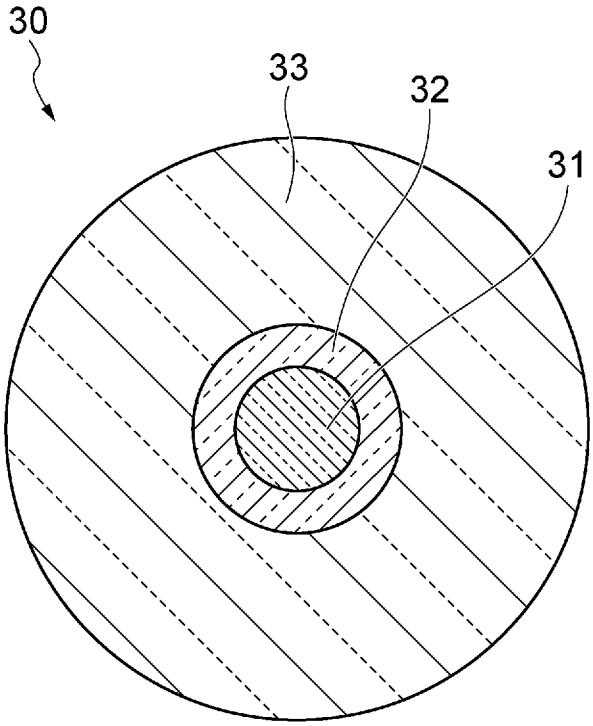
[請求項11] 前記光導波領域を構成する材料には、アルカリ金属元素、アルカリ土類金属元素、ハロゲン元素、リンの少なくとも一つが添加され、
前記外側クラッドを構成する材料には、酸化ゲルマニウム、酸化アルミニウム、酸化ボロンの少なくとも一つが添加されている、
請求項８から請求項１０のいずれか１項に記載の光ファイバ。

[請求項12] 前記外側クラッドの一部に、引張応力が付与される、
請求項８から請求項１１のいずれか１項に記載の光ファイバ。

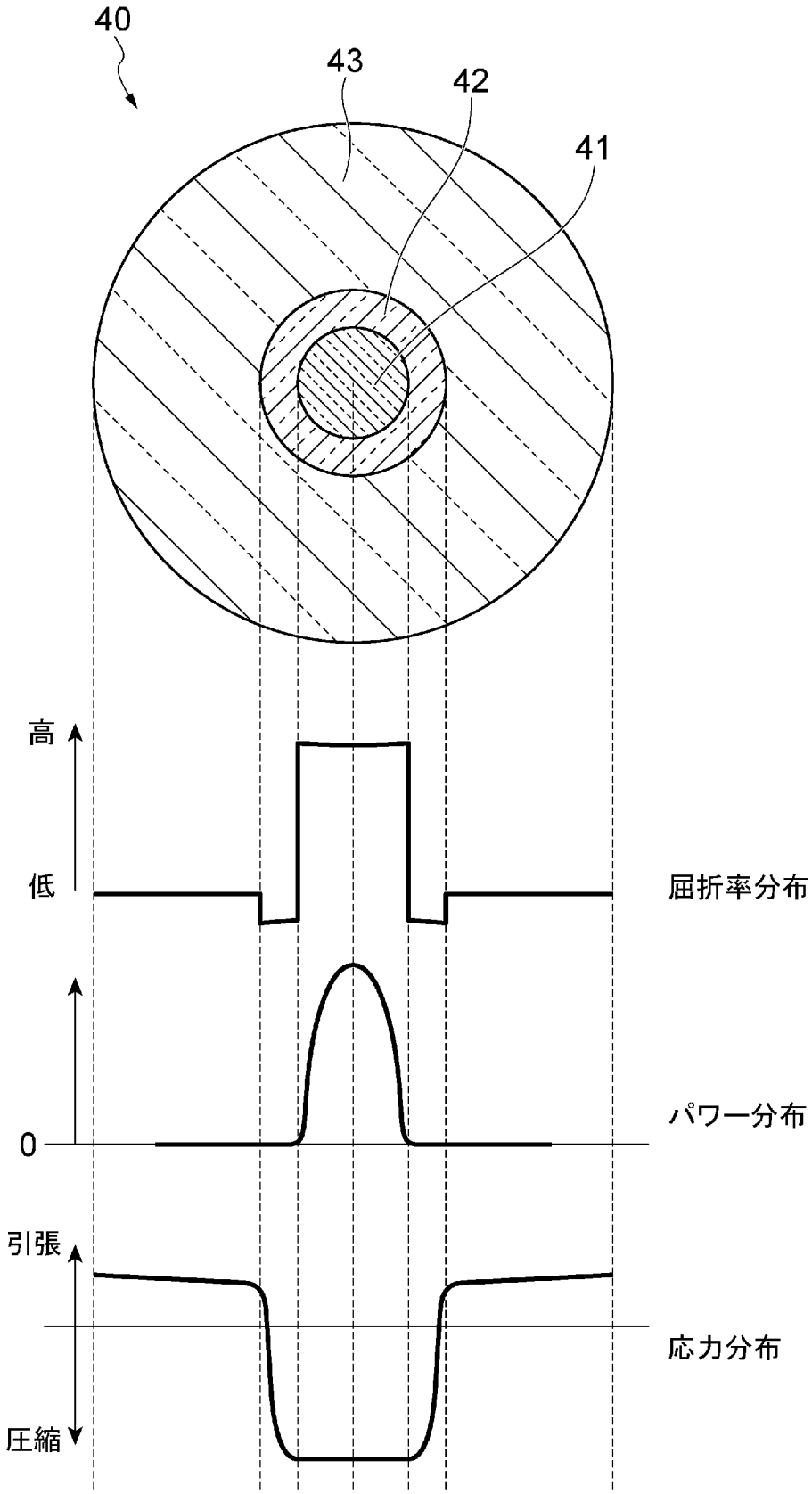
[図1]



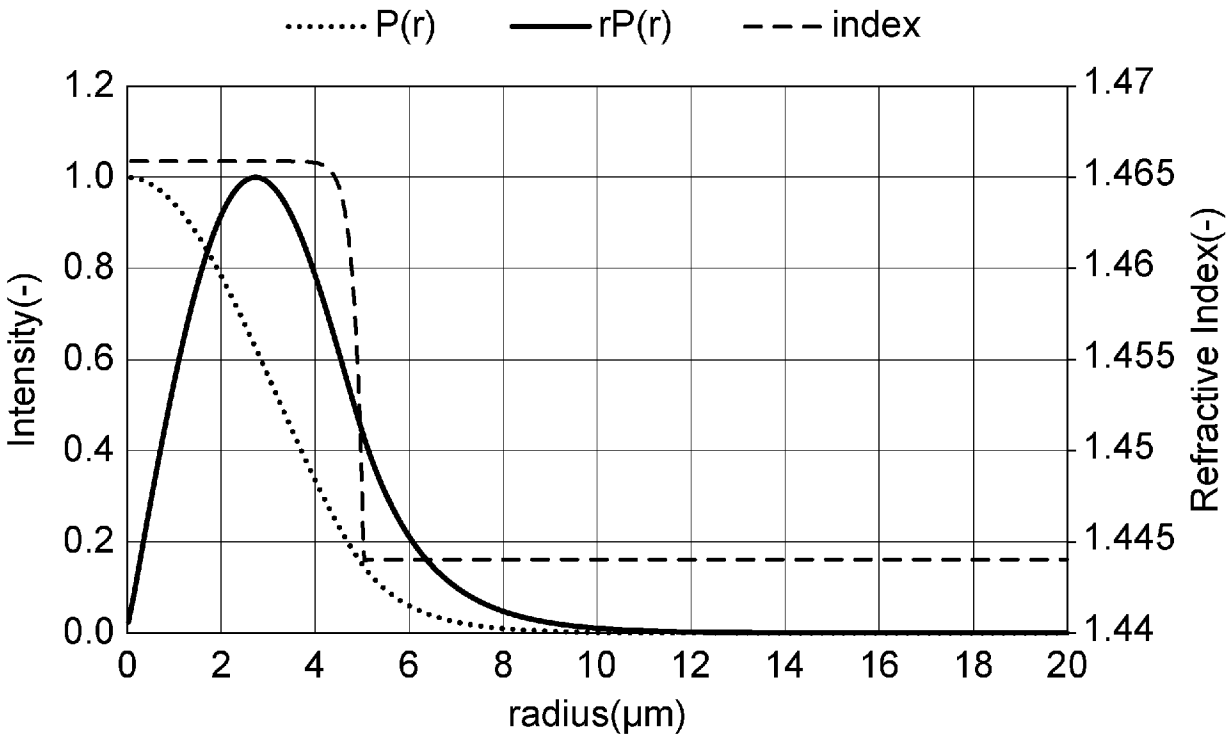
[図2]



[図3]



[図4]


P(r)
rP(r)
index
Intensity(-)
Refractive Index(-)
radius(μm)
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
1.2
1.44
1.445
1.45
1.455
1.46
1.465
1.47
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/027267

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C03B 37/027(2006.01)i; ***C03C 13/04***(2006.01)i; ***G02B 6/02***(2006.01)i
FI: C03B37/027 Z; G02B6/02 356A; C03C13/04

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C03B37/00-37/16; C03C13/04; G02B6/02

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 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2007-297254 A (HITACHI CABLE, LIMITED) 15 November 2007 (2007-11-15) examples 1-2, claims, paragraph [0032]	1, 7-10, 12
Y		2-3
A		4-6, 11
Y	WO 2013/073354 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LIMITED) 23 May 2013 (2013-05-23) paragraphs [0042], [0048]	2-3
A		4-6, 11
A	WO 2013/140688 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LIMITED) 26 September 2013 (2013-09-26) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2005-343703 A (FUJIKURA LIMITED) 15 December 2005 (2005-12-15) entire text, all drawings	1-12
A	JP 2011-514877 A (THE BOEING COMPANY) 12 May 2011 (2011-05-12) entire text, all drawings	1-12

☑ 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
12 August 2022	**23 August 2022**
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/JP2022/027267

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	CN 111443424 A (YANGTZE OPTICAL FIBRE AND CABLE JOINT STOCK LIMITED COMPANY) 24 July 2020 (2020-07-24) entire text, all drawings	1-12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/027267

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2007-297254 A	15 November 2007	(Family: none)	
WO 2013/073354 A1	23 May 2013	US 2014/0056596 A1 paragraphs [0043], [0049] EP 2781941 A1 CN 103443673 A	
WO 2013/140688 A1	26 September 2013	US 2012/0321261 A1 entire text, all drawings EP 2829522 A1 CN 102826750 A	
JP 2005-343703 A	15 December 2005	(Family: none)	
JP 2011-514877 A	12 May 2011	WO 2009/111420 A1 entire text, all drawings US 2009/0226692 A1 EP 2617687 A2 CN 101959815 A	
CN 111443424 A	24 July 2020	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/027267

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

C03B 37/027(2006.01)i; C03C 13/04(2006.01)i; G02B 6/02(2006.01)i
FI: C03B37/027 Z; G02B6/02 356A; C03C13/04

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

C03B37/00-37/16; C03C13/04; G02B6/02

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	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	JP 2007-297254 A (日立電線株式会社) 15.11.2007 (2007-11-15) 実施例1-2, 特許請求の範囲, 段落 [0032]	1, 7-10, 12
Y		2-3
A		4-6, 11
Y	WO 2013/073354 A1 (住友電気工業株式会社) 23.05.2013 (2013-05-23) 段落 [0042], [0048]	2-3
A		4-6, 11
A	WO 2013/140688 A1 (住友電気工業株式会社) 26.09.2013 (2013-09-26) 全文, 全図	1-12
A	JP 2005-343703 A (株式会社フジクラ) 15.12.2005 (2005-12-15) 全文, 全図	1-12
A	JP 2011-514877 A (ザ・ボーイング・カンパニー) 12.05.2011 (2011-05-12) 全文, 全図	1-12

☑ 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
12.08.2022	23.08.2022

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）
須藤　英輝 4T 1584

電話番号 03-3581-1101 内線 3465

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/027267

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	CN 111443424 A (YANGTZE OPTICAL FIBRE AND CABLE JOINT STOCK LIMITED COMPANY) 24.07.2020 (2020-07-24) 全文，全図	1-12

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/JP2022/027267

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2007-297254 A	15.11.2007	（ファミリーなし）	
WO 2013/073354 A1	23.05.2013	US 2014/0056596 A1 段落［0043］，［0049］ EP 2781941 A1 CN 103443673 A	
WO 2013/140688 A1	26.09.2013	US 2012/0321261 A1 全文，全図 EP 2829522 A1 CN 102826750 A	
JP 2005-343703 A	15.12.2005	（ファミリーなし）	
JP 2011-514877 A	12.05.2011	WO 2009/111420 A1 全文，全図 US 2009/0226692 A1 EP 2617687 A2 CN 101959815 A	
CN 111443424 A	24.07.2020	（ファミリーなし）	