

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2007-238354

(P2007-238354A)

(43) 公開日 平成19年9月20日(2007.9.20)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>CO3B 37/027 (2006.01)</b>	CO3B 37/027 A	4G021
<b>GO2B 6/00 (2006.01)</b>	GO2B 6/00 356A	
<b>CO3B 37/12 (2006.01)</b>	CO3B 37/12 A	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2006-60542 (P2006-60542)	(71) 出願人	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
(22) 出願日	平成18年3月7日(2006.3.7)	(74) 代理人	100078499 弁理士 光石 俊郎
		(74) 代理人	100102945 弁理士 田中 康幸
		(74) 代理人	100120673 弁理士 松元 洋
		(72) 発明者	辻川 恭三 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
		(72) 発明者	田嶋 克介 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

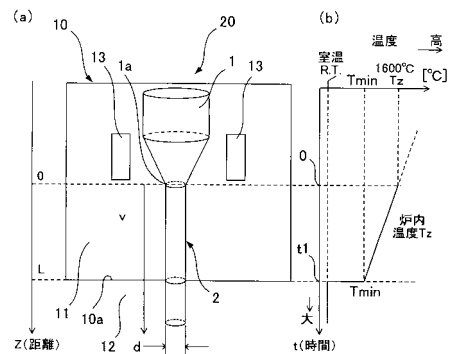
(54) 【発明の名称】 光ファイバの製造方法および線引き炉

(57) 【要約】

【課題】 付随的な徐冷炉を必要とせず、任意の長さの線引き炉に対して、小さなエネルギー消費で行える簡易な温度制御によってレイリー散乱損失の小さな光ファイバを製造可能な線引き炉を提供することにある。

【解決手段】 光ファイバ母材1が配置される線引き炉本体10と、線引き炉本体10内に配置され、光ファイバ母材1を加熱する加熱用ヒータ13とを有し、光ファイバ母材1を加熱線引きしてなる光ファイバ本体2を室温まで冷却させて光ファイバを製造する線引き炉20であって、線引き炉本体10は、加熱用ヒータ13の下部に温度が長手方向の距離に対して、1600 から連続的に減少する徐冷区間11を有し、徐冷区間11の最下部10aの設定温度Tminを1600 以下の範囲で可変に調整することが可能となるようにした。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

石英系の光ファイバ母材を線引き炉に配置される加熱手段により 1600 以上の高温で加熱し線引きしてなる光ファイバ本体を室温まで冷却させて光ファイバを製造する光ファイバの製造方法であって、

前記光ファイバ本体を室温まで冷却させる冷却過程において、当該光ファイバ本体の温度が 1600 近傍に到達した時間を  $t = 0$  とした時に、所定の徐冷時間  $t_1$  後に到達する光ファイバ本体の温度  $T_1$  を 900 以上の温度に制御し、前記所定の徐冷時間  $t_1$  を、 $T_1$  における当該光ファイバ本体の構造の緩和に要する時間の  $10^{-5}$  倍以上 10 倍以下の範囲とした

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

10

## 【請求項 2】

請求項 1 に記載された光ファイバの製造方法であって、

前記線引き炉内における前記加熱手段の下方に、当該線引き炉内の温度が長手方向の距離に対して 1600 から連続的に減少する一定長の徐冷区間を設け、線引き速度および前記徐冷区間に前記光ファイバ本体が滞在する時間  $t_1$  に応じて、当該徐冷区間の最下部の設定温度  $T_{min}$  を変化させる

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

## 【請求項 3】

石英系の光ファイバ母材を線引き炉に配置される加熱手段により 1600 以上の高温で加熱し線引きしてなる光ファイバ本体を室温まで冷却させて光ファイバを製造する光ファイバの製造方法であって、

前記光ファイバ本体を室温まで冷却させる冷却過程において、当該光ファイバ本体の温度が 1600 近傍に到達した時間を  $t = 0$  とした時に、所定の徐冷時間  $t_1$  後に到達する光ファイバ本体の温度  $T_1$  を 900 以上の温度に制御し、前記所定の徐冷時間  $t_1$  を、 $T_1$  における当該光ファイバ本体の構造の緩和に要する時間の  $10^{-2}$  倍以上 2 倍以下の範囲とし、

前記線引き炉内における前記加熱手段の下方に、当該線引き炉内の温度が長手方向の距離に対して 1600 から連続的に減少する一定長の徐冷区間を設け、線引き速度および前記徐冷区間に光ファイバ本体が滞在する時間  $t_1$  に応じて、当該徐冷区間の最下部の設定温度  $T_{min}$  を変化させる

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

20

30

## 【請求項 4】

光ファイバ母材が配置される線引き炉本体と、前記線引き炉本体内に配置され、前記光ファイバ母材を加熱する加熱手段とを有し、前記光ファイバ母材を加熱線引きしてなる光ファイバ本体を室温まで冷却させて光ファイバを製造する線引き炉であって、

前記線引き炉本体は、その下部に温度が長手方向の距離に対して、1600 から連続的に減少する一定長の徐冷区間を有し、

前記徐冷区間の最下部の設定温度  $T_{min}$  を 1600 以下の範囲で可変に調整できることを特徴とする線引き炉。

40

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、光ファイバの製造方法および線引き炉に関し、特に光通信に用いる各種の光ファイバの光損失を低減する光ファイバの製造方法および線引き炉に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、アクセス系への光ファイバ網の導入展開 (F T T H : F i b e r T o T h e H o m e ) や、E t h e r n e t ( 商標登録 ) に代表される光 L A N 技術の進展によって、ユーザ自身が構築するユーザ系のネットワークも大きな広がりを見せている。これら

50

の領域では、 $1.3\ \mu\text{m}$ 帯零分散単一モード光ファイバ(SMF)、マルチモード光ファイバ(MMF)が、また長距離伝送用には、 $1.55\ \mu\text{m}$ 帯分散シフト単一モード光ファイバ(DSF)など石英系ガラスから作製される各種の光ファイバが用いられている。

#### 【0003】

また、複数の異なる波長の光信号を1本の光ファイバによって伝送する光波長多重(WDM)技術が進展し、光信号の通信に用いる波長領域が拡大している。今後も光通信の距離と使用波長領域を拡大するためには、信号の伝送媒体である前記光ファイバにおける光損失の低減が不可欠である。

#### 【0004】

石英系ガラスからなる光ファイバは、 $\text{SiO}_2$ を主成分として構成され、通常、光を導波する構造を形成するために、 $\text{GeO}_2$ やFなどが少量添加されている。このうち損失が最も低い光ファイバとして、コアに純石英ガラスが用いられた構造の光ファイバが知られている(以下、これらを総称して、石英系光ファイバと呼ぶ)。

#### 【0005】

このような石英系光ファイバの損失要因として最も支配的なものは、Rayleigh散乱(以下、レイリー散乱と称する)であり、その強度は波長の $-4$ 乗に比例しており、短波長域ほど増加する。このレイリー散乱は密度揺らぎと濃度揺らぎによって生じる。石英系光ファイバでは、密度揺らぎ成分 $R_d$ の寄与が大きいことが知られており、前記密度揺らぎ成分 $R_d$ は仮想温度 $T_f$ に比例して大きくなることが実験的にも明らかにされている(非特許文献1を参照)。また、この非特許文献1には、バルク状態の石英系ガラスでは、最適な熱処理条件にて処理すれば、前記仮想温度 $T_f$ を $900$  から $1000$  付近まで低減することができることについても記載されている。

#### 【0006】

なお、ガラスは高温の液体構造が凍結されたものと考えられており、仮想温度 $T_f$ は凍結された構造に対応する温度である。この構造の緩和に必要な時間(以下、緩和時間と称する)は、ガラスの粘度が増加する低温ほど長くなる。したがって、非特許文献2にも記載される通り、石英系光ファイバは、通常、 $2000$  程度の高温から高速で線引きされるため、仮想温度 $T_f$ は石英系ガラスの軟化点温度である $1600$  付近で高止まりしている。

#### 【0007】

上記のような観点から、非特許文献1, 2では、線引き炉の下方に、別途、光ファイバを徐冷するための徐冷炉を設け、ガラスの構造の緩和を促進して、仮想温度 $T_f$ およびレイリー散乱による光損失を低減させる方法が提案されている。

#### 【0008】

【非特許文献1】K.Saito et al., "Limit of the Rayleigh scattering loss in silica fiber", Appl.Phys.Lett., vol.83, no.25, pp.5175-5177, 2003

【非特許文献2】坂口 茂樹著、"シリカコア光ファイバの熱処理によるレイリー散乱の低減", 電子情報通信学会論文誌C., vol.J83-C, No.1, pp.30-36, 2000年1月

【非特許文献3】U.C.Peak et al., "Calculation of Cooling Rate and Induced Stresses in Drawing of Optical Fibers", Journal of The American Ceramic Society-Paek and Kurkjian., Vol.58, No.7-8, pp.330-335, Jul-Aug.1975

【非特許文献4】K.Tsujikawa et al., "Intrinsic loss of optical fibers", Opt.Fiber. Technol., Vol.11, pp.319-331, 2005

#### 【発明の開示】

#### 【発明が解決しようとする課題】

#### 【0009】

しかしながら、上述した非特許文献1, 2に記載の技術では、線引き炉と徐冷炉を併用しており、設備コストが増大してしまう、という課題がある。

#### 【0010】

経済性の観点から、線引き速度は速く、徐冷炉は小さい方が良いが、このような方法で

10

20

30

40

50

は、高速線引きに対応させるためには、その速度に応じて徐冷炉の長さを拡大しなければならなかった。

【0011】

これらの点に加えて、非特許文献1には、徐冷炉の温度を一定の徐冷温度 $T_a$ に設定し、光ファイバを冷却し、その温度 $T$ が $T = T_a$ となる位置に徐冷炉を設置することが記載されている。しかし、後述するように、光ファイバの温度 $T$ は冷却時間の関数であり、上記方法では、この徐冷炉の設置位置を線引き速度に応じて変化させるか、前記徐冷炉自体を大型化させ、その上で線引き速度に対して徐冷を行う炉内の空間的な領域を変化させるといった煩雑な制御が必要であった。また、徐冷温度 $T_a$ を原理的に約1000以上に設定することが必要なために、徐冷炉内の特定の広い領域を前記徐冷温度 $T_a$ に保持する加熱用ヒータが別途必要となり、その分電力などのエネルギー消費が増大してしまう。

10

【0012】

また、非特許文献2に記載の技術では、線引き炉直下に徐冷炉の設置が想定されており、徐冷炉の設置位置の問題は解消されるものの、任意の線引き速度でレイリー散乱を低減するには、様々な線引き速度に対して、どのように線引き炉の長さや炉内温度分布を調整すれば良いのかについて、定量的な指針は示されていない。

【0013】

そこで、本発明者らは、鋭意研究を進め、任意の線引き速度に対して上記線引き炉の長さや炉内温度分布の定量的な指針を見出し、本発明に至ったものである。

【0014】

すなわち、本発明は、上述した課題に鑑み提案されたものであり、製造コストの増加を抑制すると共に、レイリー散乱による光損失を低減させた光ファイバの製造方法および線引き炉、具体的には、付随的な徐冷炉を必要とせず、任意の長さの線引き炉に対して、小さなエネルギー消費で行える簡易な温度制御によってレイリー散乱による光損失を低減した光ファイバを製造可能な光ファイバの製造方法および線引き炉を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0015】

上述した課題を解決する第1の発明に係る光ファイバの製造方法は、石英系の光ファイバ母材を線引き炉に配置される加熱手段により1600以上の高温で加熱し線引きしてなる光ファイバ本体を室温まで冷却させて光ファイバを製造する光ファイバの製造方法であって、前記光ファイバ本体を室温まで冷却させる冷却過程において、当該光ファイバ本体の温度が1600近傍に到達した時間を $t = 0$ とした時に、所定の徐冷時間 $t_1$ 後に到達する光ファイバ本体の温度 $T_1$ を900以上の温度に制御し、前記所定の徐冷時間 $t_1$ を、 $T_1$ における当該光ファイバ本体の構造の緩和に要する時間の $10^{-5}$ 倍以上10倍以下の範囲としたことを特徴とする。

30

なお、実用上、 $t_1$ を決定するには、後述するように、光ファイバの外径（通常125 $\mu\text{m}$ ）が一定になる位置を原点 $Z = 0$ として実験的に決定すれば良い。これは、上記の位置（ $Z = 0$ ）が石英系ガラスの粘性流動が起らなくなる温度（1600近傍）と対応する関係にあるからである。

40

【0016】

上述した課題を解決する第2の発明に係る光ファイバの製造方法は、第1の発明に記載された光ファイバの製造方法であって、前記線引き炉内における前記加熱手段の下方に、当該線引き炉内の温度が長手方向の距離に対して1600から連続的に減少する一定長の徐冷区間を設け、線引き速度および前記徐冷区間に前記光ファイバ本体が滞在する時間 $t_1$ に応じて、当該徐冷区間の最下部の設定温度 $T_{\text{min}}$ を変化させることを特徴とする。

【0017】

上述した課題を解決する第3の発明に係る光ファイバの製造方法は、石英系の光ファイバ母材を線引き炉に配置される加熱手段により1600以上の高温で加熱し線引きして

50

なる光ファイバ本体を室温まで冷却させて光ファイバを製造する光ファイバの製造方法であって、前記光ファイバ本体を室温まで冷却させる冷却過程において、当該光ファイバ本体の温度が1600 近傍に到達した時間を  $t = 0$  とした時に、所定の徐冷時間  $t_1$  後に到達する光ファイバ本体の温度  $T_1$  を900 以上の温度に制御し、前記所定の徐冷時間  $t_1$  を、 $T_1$  における当該光ファイバ本体の構造の緩和に要する時間の  $10^{-2}$  倍以上2倍以下の範囲とし、前記線引き炉内における前記加熱手段の下方に、当該線引き炉内の温度が長手方向の距離に対して1600 から連続的に減少する一定長の徐冷区間を設け、線引き速度および前記徐冷区間に光ファイバ本体が滞在する時間  $t_1$  に応じて、当該徐冷区間の最下部の設定温度  $T_{min}$  を変化させることを特徴とする。

【0018】

上述した課題を解決する第4の発明に係る線引き炉は、光ファイバ母材が配置される線引き炉本体と、前記線引き炉本体内に配置され、前記光ファイバ母材を加熱する加熱手段とを有し、前記光ファイバ母材を加熱線引きしてなる光ファイバ本体を室温まで冷却させて光ファイバを製造する線引き炉であって、前記線引き炉本体は、その下部に温度が長手方向の距離に対して、1600 から連続的に減少する一定長の徐冷区間を有し、前記徐冷区間の最下部の設定温度  $T_{min}$  を1600 以下の範囲で可変に調整できることを特徴とする。

【発明の効果】

【0019】

本発明に係る光ファイバの製造方法によれば、温度の関数である石英系光ファイバの緩和時間の温度変化から見出される、任意の徐冷時間に対して炉内の最適な温度勾配を与える指針に基づいて、炉内の最下部の温度を制御することによって行われるため、付随的な徐冷炉を用いる必要が無く、小さなエネルギー消費で簡易に光ファイバのレイリー散乱損失の低減を任意の線引き速度において行うことができる。また、一定温度の徐冷炉を用いる場合に比べて、厳密な温度条件の制御が不要になる。

【0020】

さらに、一定範囲の速度で線引きを行う場合には、上記の指針に基づいて、最適な炉長を決定することが可能になるので、予め線引き速度に適したサイズの線引き炉を設計・準備することによって、効率的・経済的に低損失な光ファイバを製造することが可能になる。

【0021】

本発明に係る線引き炉によれば、付随的な徐冷炉を用いる必要が無いいため、設備コストの増加を抑制することができ、また、光ファイバの仮想温度  $T_f$  を低減させ、そのレイリー散乱を低減させることで、低損失な光ファイバを低コストにて製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0022】

以下に、本発明の最良の形態に係る光ファイバの製造方法および線引き炉につき、図面を用いて説明する。

【0023】

図1は、本発明の原理と最良の形態に係る線引き炉を説明するための模式図であり、図1(a)に線引き炉にて光ファイバを線引きした状態を示し、図1(b)にそのときの温度分布を示す。図2は、本発明の最良の形態に係る線引き炉の徐冷区間に光ファイバ本体が滞在する時間とその時の温度との関係の一例を示す図であり、図3は、石英系光ファイバの緩和時間の温度依存性の一例を示す図である。

【0024】

本発明の最良の形態に係る光ファイバの製造方法の原理についての説明を理論的なモデルを用いて行う。なお、以下のモデルは、非特許文献2, 3でも用いられており、実際の線引き条件との良好な対応関係が期待できるものである。

【0025】

本発明の最良の形態に係る線引き炉20は、図1に示すように、線引き炉本体10と、

10

20

30

40

50

線引き炉本体 10 内に配置され、石英系のガラス母材（光ファイバ母材）1 を 1600 以上の高温で加熱する加熱手段である加熱用ヒータ 13 とを有し、線引き炉本体 10 は、加熱された光ファイバ母材 1 を線引きさせそのネックダウン 1 a を終了させてなる光ファイバ本体 2 を加熱用ヒータ 13 の下部に温度が長手方向の距離に対して、1600 から連続的に冷却させる一定長の徐冷区間 11 を有する。この光ファイバ本体 2 は、炉外 12 にて室温に急速に冷却されて光ファイバとなる。

【0026】

すなわち、上記線引き炉 10 による光ファイバの製造方法では、線引き炉 10 内で光ファイバ母材 1 のネックダウン 1 a が終了し、その外径  $d$  が  $125 \mu\text{m}$  となる位置を  $Z = 0$  とすると共に、ここでの光ファイバ本体 2 の温度  $T$  を純石英ガラスの軟化点の 1600 とする。炉内温度  $T_z$  も  $Z = 0$  の位置で  $T_0 = 1600$  とし、最下点 ( $Z = L$ ) での温度  $T_{\text{min}}$  まで、 $T_z$  が直線的に減少する徐冷ゾーン（徐冷区間）11 を仮定する。線引き速度を  $v$  とすると、徐冷区間 11 の全長  $L$  内に時間  $t_l (= L/v)$  だけ光ファイバ本体 2 は滞在し、その後、炉外 12 にて室温に急冷されて光ファイバとなる。

10

【0027】

線引き炉 10 内の徐冷区間 11 の温度分布  $T_z$  は (1), (2) 式で表される。また、線引き炉 10 内を光ファイバ本体 2 が通過するとき、この温度は長手方向の熱伝導が光ファイバ本体 2 の表面における対流熱伝達に比べて小さく、また、熱容量が小さいことから断面内で温度は一樣となるため、光ファイバ本体 2 の温度  $T$  と時間  $t$  との関係 (3) 式にて表すことができる。 $h$  は熱伝達係数であり、 $c$  と  $\rho$  は純石英ガラスの比熱と密度である。ただし、下記式では、 $c = 1.0 \text{ kJ/kgK}$ 、 $\rho = 2200 \text{ kg/m}^3$  として計算した。

20

【0028】

ここで、図 1 に示すように、加熱用ヒータ 13 が線引き炉 10 の上方にのみ設置されている一般的な場合も、(1) 式のような長手方向に直線的に変化する温度分布が、一次的な近似として良好に成立する。さらに、線引き炉の最下部や中間部に別途加熱用ヒータを設置し、適切な制御を行えば、徐冷区間の全域にわたって、ほぼ完全に直線的に変化する温度分布を実現することが可能である。 $T_{\text{min}} = 1000$  の条件で以下の (1) ~ (3) 式を解き、 $t_l$  (s) を 0.5、1、2 としたときの  $T(t)$  の計算結果を図 2 に示す。ただし、上記熱伝達係数  $h$  として、非特許文献 2 に記載の  $210 \text{ W/m}^2\text{K}$  を用いた。

なお、前記熱伝達係数  $h$  は線引き炉内の雰囲気ガスなどの条件によって多少変化するが、光ファイバの温度  $T$  の時間変化から実験的に決定することも可能な定数である。

30

【0029】

$$T_z = T_0 - r t \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$r = v (T_0 - T_{\text{min}}) / L = (T_0 - T_{\text{min}}) / t_l \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$dT/dt = -4h/c \cdot d(T - T_z) \quad \dots \dots \dots (3)$$

【0030】

図 2 には、線引き炉内のみにおける光ファイバ本体の温度変化を図示しており、この後、光ファイバ本体は炉外にて室温条件で急冷されて光ファイバとなる。線引き炉外にて光ファイバ本体の温度変化が極めて急速に起こるため、ガラス構造の緩和、すなわち仮想温度  $T_f$  の減少はほとんど生じない。このことは、 $10 \text{ m/s}$  程度の高速で線引きされる市販の石英系光ファイバでは、レイリー散乱による光損失がほぼ一定の値になることから裏付けられる。そこで、以下では線引き炉内における仮想温度  $T_f$  の変化だけに限定する。

40

【0031】

一方、緩和時間 ( $T$ ) を用いて、光ファイバ本体の仮想温度  $T_f$  と実際の光ファイバ本体の温度  $T$  との関係は (4) 式によって近似的に記述されることが知られている。ここで  $T_{f0}$  は仮想温度  $T_f$  の初期値の 1600 である。緩和時間 ( $T$ ) は赤外吸収スペクトルなどから決定することが可能であり、ここでは非特許文献 1 で示される結果を引用し、図 3 に示す。この図では、横軸に光ファイバ本体の温度  $T$  を示し、縦軸に緩和時間 を

50

示す。この図に示すように、光ファイバ本体の温度  $T$  が低くなるほど、緩和時間 ( $T$ ) は増大する。

【0032】

また、(4)式から、仮に非特許文献1のように、一定温度  $T_k$  で光ファイバを時間  $t$  保持する場合、保持温度  $T_k$  としては、緩和時間 ( $T_k$ ) が  $t$  と同程度になるような温度を選ぶ必要がある。

【0033】

$$T_f = T + (T_{f0} - T) \exp(-t / (T)) \dots (4)$$

【0034】

一方、本発明においては、一定温度での保持・徐冷は行わず、光ファイバ本体には、概略として図2に示すような温度変化が与えられる。この時、 $t_1$  が長いほど光ファイバの徐冷が可能となり、その一方で光ファイバ本体の温度  $T$  は  $T_{min}$  に近づく。しかし、 $t_1 (= L / v)$  は徐冷区間長  $L$  と線引き速度  $v$  によって決定されるので、前記徐冷区間長  $L$  が一定の条件で、任意の線引き速度  $v$  の値に対して効果的に仮想温度  $T_f$  の低減を行うには、 $t_1$  秒後の光ファイバ本体の温度  $T(t_1)$  を最適化する必要がある。そのためには、上記の場合と同様に、 $t_1$  と緩和時間 ( $T(t_1)$ ) とを同程度に設定することが目安になる。実施例1で述べるように、その条件は、一定温度で保持・徐冷する場合よりも大幅に緩和され、その結果、厳密な温度制御が本発明では不要となる。

10

【0035】

本発明において、上記条件を、線引き炉の最下点の温度  $T_{min}$  を適切な値  $T_p$  に設定することで実現する。その際には  $T_p$  は(3)式のパラメータ  $h, c, d$  と ( $T$ )、さらに  $t_1$  の値から与えられる。よって、徐冷区間長  $L$  が一定の時は、線引き速度  $v$  に応じて  $T_{min}$  を変化させることで、最小限の設備で経済的に低損失な光ファイバの製造が可能となる。また、線引き速度  $v$  が一定の線引き条件を予め想定している際には、徐冷区間に光ファイバ本体が滞在する時間に応じて、最適な徐冷区間長  $L$  をもつ線引き炉を設計・準備し、 $T_{min}$  を適切な値に設定することが可能となる。

20

【0036】

したがって、本発明の最良の形態に係る光ファイバの製造方法によれば、温度の関数である石英系光ファイバの緩和時間の温度変化から見出される、任意の徐冷時間に対して炉内の最適な温度勾配を与える指針に基づいて、炉内の最下部の温度を制御することによって行われるため、付随的な徐冷炉を用いる必要が無く、小さなエネルギー消費で簡易に光ファイバのレイリー散乱損失の低減を任意の線引き速度において行うことができる。また、一定温度の徐冷炉を用いる場合に比べて、厳密な温度条件の制御が不要になる。

30

【0037】

さらに、一定範囲の速度で線引きを行う場合には、上記の指針に基づいて、最適な炉長を決定することが可能になるので、予め線引き速度に適したサイズの線引き炉を設計・準備することによって、効率的・経済的に低損失な光ファイバを製造することが可能になる。

【0038】

また、上述した線引き炉によれば、付随的な徐冷炉を用いる必要が無いいため、設備コストの増加を抑制することができ、光ファイバの仮想温度  $T_f$  を低減させ、そのレイリー散乱を低減させることで、低損失な光ファイバを低コストにて製造することができる。

40

【実施例1】

【0039】

以下に、本発明の第1の実施例に係る光ファイバの製造方法について、図面を用いて説明する。本実施例は、徐冷時間  $t_1$  後の光ファイバ本体の温度  $T(t_1)$  の具体的な設定値と設定方法に関するものである。

【0040】

図4は、後述する関係式(5)のパラメータ  $m$  と徐冷時間  $t_1$  後の光ファイバ本体の温度  $T(t_1)$  およびこの時の炉の最下点の温度  $T_{min}$  の設定値  $T_p$  の関係を示す図であ

50

り、図5は、パラメータ $m$ と仮想温度 $T_f$ の関係を示す図であり、図6は、線引き炉の最下点の温度 $T_{min}$ の設定値 $T_p$ と仮想温度 $T_f$ の関係を示す図である。

【0041】

$t_1$ と緩和時間 ( $T(t_1)$ )を同程度の値に設定した場合の $T(t_1)$ と $T_p$ を決定するために(5)式を仮定し、 $m$ を0.0001~5の範囲で変化させた。

【0042】

$$t_1 = m \times (T(t_1)) \dots\dots\dots (5)$$

【0043】

上記(5)式において、一例として $t_1 = 1$ (s)とし、パラメータ $m$ を変化させた時の、 $T(t_1)$ と、この時に必要となる最下点の温度 $T_{min}$ の設定値 $T_p$ を図4に示し、(4)式から得られる $T_f$ を図5に示す。さらに、 $T_p$ と $T_f$ との関係を図6に示す。なお、緩和時間の値については、図3(非特許文献1)から見積もった。

10

【0044】

図4に示すように、最下点の温度 $T_p$ の値を制御することにより、所望の $T(t_1)$ を得ることが可能になる。また、図5に示すように、パラメータ $m$ が $10^{-5}$ 以上 $10$ 以下の範囲にて、仮想温度の変化が非常に緩やかであることが分かった。すなわち、図5および(5)式から、 $t_1$ を光ファイバの緩和時間( $T$ )の $10^{-5}$ 倍以上 $10$ 倍以下の範囲とし、好適には $10^{-2}$ 倍以上 $2$ 倍以下の範囲とすることで、適切な仮想温度 $T_f$ を得られることができることが分かった。また、図6に示すように、 $T_p$ に対する仮想温度 $T_f$ の変化は非常に緩やかであり、 $T_p$ が $500$ 変化しても、 $T_f$ は極小値から $20$ 程度しか変化しないことが分かった。よって、 $T_p$ の制御の条件は非常に容易なものであることが分かった。

20

【0045】

これは、図2と図3から理解できるように、本発明では、緩和時間の値が非常に小さな高温域から徐冷を開始し、最終的に光ファイバ本体の温度が $T(t_1)$ に至るため $T_p$ の値の変化が $T_f$ へ及ぼす影響が小さくなるからである。非特許文献1に示されるように、光ファイバ本体を一定の温度にて保持する場合、最適な徐冷炉の温度が $50$ 程度の狭い範囲に限られることと比べると、これは本発明の大きな優位点である。なお、 $T_p$ の制御については線引き炉の大きさに応じて、線引き炉の最下部や、さらには徐冷区間の中間部への加熱用ヒータの設置、もしくは線引き炉の外側からの強制的な冷却によって適宜行うことができる。

30

【0046】

したがって、本発明の第1の実施例に係る光ファイバの製造方法によれば、当該光ファイバ本体の温度が $1600$ 近傍に到達した時間を $t = 0$ とした時に、前記所定の徐冷時間 $t_1$ が $T_1$ における当該の光ファイバの構造を緩和に要する時間の $10^{-5}$ 倍以上 $10$ 倍以下の範囲とし、好適には $10^{-2}$ 倍以上 $2$ 倍以下の範囲とすることにより、付随的な徐冷炉を必要とせず、任意の長さの線引き炉に対して、小さなエネルギー消費で行える簡易な温度制御によってレイリー散乱による光損失を低減した光ファイバを製造することができる。

【実施例2】

40

【0047】

以下に、本発明の第2の実施例に係る光ファイバの製造方法について、図面を用いて具体的に説明する。本実施例は、異なる $t_1$ の値に対して最適な温度条件で光ファイバの線引きを行った際の光損失の低減効果に関するものである。

【0048】

図7は、単一モード光ファイバおよびマルチモード光ファイバの徐冷時間とレイリー散乱係数との関係を示す図である。

【0049】

本発明の第2の実施例に係る光ファイバの製造方法では、図5の結果から、パラメータ $m$ の最適値として、 $0.5$ を用いた。ここで、(5)式で $m = 0.5$ とした時の、 $t_1$ と

50



$T(t_1)$ と $T_p$ を表1に示す。ただし、 $T_p$ の制限条件を室温25℃以上に限定したことにより、 $t_1 = 0.1$ の場合についてだけ $m = 2$ とした。

【0050】

【表1】

$t_1$ (s)	0.1	0.5	1	2
$T(t_1)$ (°C)	1380	1250	1220	1190
$T_p$ (°C)	25	870	1040	1110

10

【0051】

本発明者らは、非特許文献4において、 $GeO_2$ をドープした石英ガラスをコアに用いた光ファイバのレイリー散乱係数 $R$ が、以下の(6)式によって良好に近似できることを見出している。ここで、 $\Delta n$ は純石英ガラスとの比屈折率差(%)である。

【0052】

$$R \text{ (dB/km/}\mu\text{m}^4) = 4.1 \times 10^{-4} (T_f + 273.1) (1 + 0.62 \Delta n) \dots (6)$$

20

【0053】

表1の温度条件で、(6)式を用いて $GeO_2$ ドープ石英コアの単一モード光ファイバSMF( $\Delta n = 0.35\%$ )とマルチモード光ファイバMMF( $\Delta n = 1.0\%$ )のレイリー散乱係数 $R$ をそれぞれ計算し、その結果を図7に示す。なお、市販の光ファイバは、一般に10m/s程度の高速で線引きされ、線引き炉の最下部の温度制御も行われていないので、徐冷されない時( $t_1 = 0$ ,  $T_f = 1600$ )の値にほぼ対応していると考えられる。実際に、SMFの $t_1 = 0$ の時のレイリー散乱係数 $R$ の計算値0.93は、市販のSMFのレイリー散乱係数 $R$ の平均的な値とほとんど一致する。また、MMFの $t_1 = 0$ の時のレイリー散乱係数 $R$ の計算値は、1.24であった。また、図7に示すように、SMFおよびMMFのレイリー散乱係数 $R$ は $\log(t_1)$ に対して直線的に減少する。各光ファイバでは、図中の点線で示した徐冷されない( $t_1 = 0$ )時の値からの減少量は8~18%程度である。

30

【0054】

既に述べたように、本発明では、 $T_p$ を制御することで、各種の石英系光ファイバに対して、任意の線引き速度で損失の低減効果を得ることができる。

【0055】

例えば、徐冷区間長 $L$ が50cmの場合を想定し、レイリー散乱係数 $R$ の値から短波長側でのレイリー散乱損失( $= R / \lambda^4$ ,  $\lambda$ :波長)に換算すると、 $v = 5$  m/sの時は $t_1 = 0.1$  sとなり、 $t_1 = 0$ の時の値と比較して、SMFでは波長1.3 $\mu$ mで約0.03 dB/kmの損失低減効果を得ることができ、 $v = 0.5$  m/sの時は $t_1 = 1$  sとなり、同様にMMFでは波長0.8 $\mu$ mで約0.4 dB/kmの損失低減効果を得ることができる。

40

【0056】

また逆に、線引き速度 $v$ の範囲が決まっている時は、目標とするレイリー散乱係数 $R$ および損失の値から $t_1$ が決定できるので、予め最適な徐冷区間長 $L$ を算出することが可能になり、線引き炉の設計準備・製造に役立てることができる。

【実施例3】

【0057】

以下に、本発明の第3の実施例に係る光ファイバの製造方法について、図面を用いて具体的に説明する。本実施例は、徐冷ゾーン長 $L$ と徐冷時間 $t_1$ の値に対する仮想温度 $T_f$

50

の変化とレイリー散乱係数  $R$  の低減効果に関するものである。

【0058】

図8は、炉内での徐冷時間  $t$  に対する光ファイバ本体の温度  $T$  および仮想温度  $T_f$  の関係を示す図である。

【0059】

実際に徐冷区間長  $L = 30 \text{ cm}$ 、線引き速度  $v = 1 \text{ m/s}$ 、 $t_1 = 0.3 \text{ s}$  の条件を満たす線引き炉で、比屈折率差  $= 0.33\%$  の  $\text{GeO}_2$  ドープ石英コアのSMFを線引きし、その損失波長特性からレイリー散乱係数  $R$  を計算したところ、 $0.8 \text{ dB/km}/\mu\text{m}^4$  であった。一方、線引き炉内の温度分布を測定したところ、高温領域では、長手方向に約  $100 / \text{cm}$  の割合で温度が低下していた。

10

【0060】

そこで、図8に示すように、線引き炉内温度分布  $T_z$  を仮定して、光ファイバ本体の徐冷時間  $t$  (位置  $Z$ ) に対する光ファイバの温度  $T$  と仮想温度  $T_f$  をそれぞれ計算した。この図に示すように、 $T_f$  の値は約  $1400$  となった。このとき、(6)式から得られるレイリー散乱係数  $R$  の値は  $0.83$  となり、実際に得られた値は  $0.8$  とほとんど一致した。

【産業上の利用可能性】

【0061】

本発明は、光ファイバの製造方法および線引き炉に利用可能であり、特に光通信に用いる各種の光ファイバの光損失を低減する光ファイバの製造方法および線引き炉に利用することが可能である。

20

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】本発明の原理と最良の形態に係る線引き炉を説明するための模式図である。

【図2】本発明の最良の形態に係る線引き炉の徐冷区間に光ファイバ本体が滞在する時間とその時の温度との関係の一例を示す図である。

【図3】石英系光ファイバの緩和時間の温度依存性の一例を示す図である。

【図4】光ファイバ本体の徐冷時間  $t_1$  とそのときの緩和時間との関係式のパラメータ  $m$  と徐冷時間  $t_1$  後の光ファイバ本体の温度  $T(t_1)$  およびこの時の最下点の温度  $T_{min}$  の設定値  $T_p$  の関係を示す図である。

30

【図5】光ファイバ本体の徐冷時間  $t_1$  とそのときの緩和時間との関係式のパラメータ  $m$  と仮想温度  $T_f$  の関係を示す図である。

【図6】線引き炉の最下点の温度  $T_{min}$  の設定値  $T_p$  と仮想温度  $T_f$  の関係を示す図である。

【図7】単一モード光ファイバSMFおよびマルチモード光ファイバMMFの徐冷時間とレイリー散乱係数との関係を示す図である。

【図8】光ファイバの徐冷時間  $t$  に対する光ファイバ本体の温度  $T$  および仮想温度  $T_f$  の関係を示す図である。

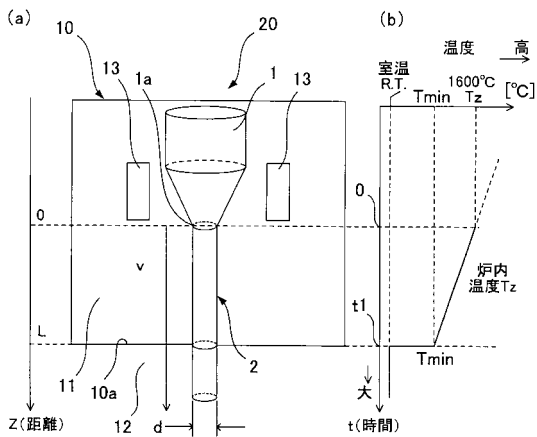
【符号の説明】

【0063】

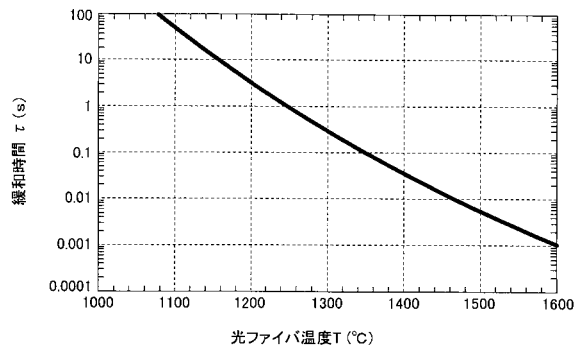
1 光ファイバ母材  
 2 光ファイバ  
 10 線引き炉本体  
 11 徐冷区間  
 12 炉外  
 13 加熱用ヒータ  
 20 線引き炉

40

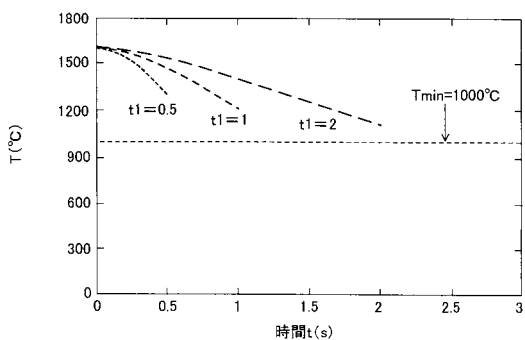
【 図 1 】



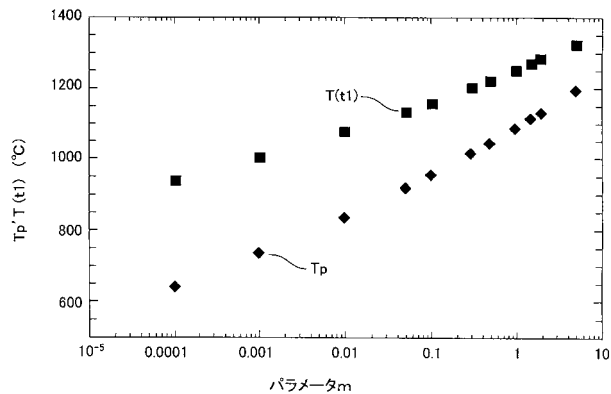
【 図 3 】



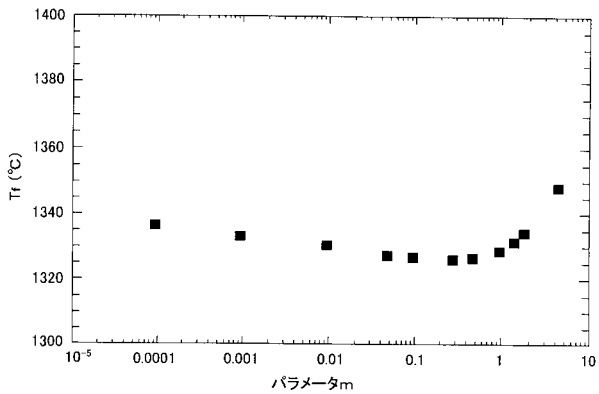
【 図 2 】



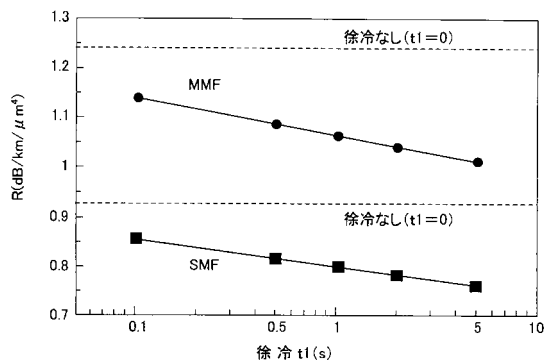
【 図 4 】



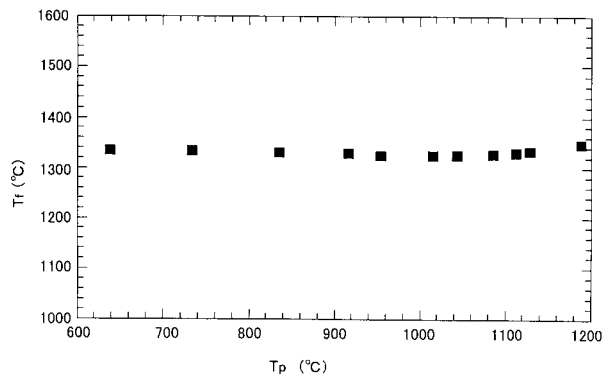
【 図 5 】



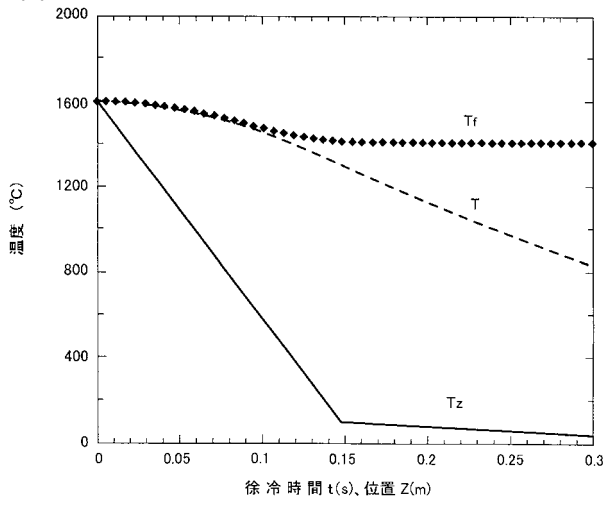
【 図 7 】



【 図 6 】



【 図 8 】



フロントページの続き

(72)発明者 三川 泉

東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

Fターム(参考) 4G021 HA05