

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6295234号
(P6295234)

(45) 発行日 平成30年3月14日(2018.3.14)

(24) 登録日 平成30年2月23日(2018.2.23)

(51) Int.Cl. F I
C O 3 B 37/027 (2006.01) C O 3 B 37/027 A
G O 2 B 6/02 (2006.01) G O 2 B 6/02 3 5 6 A

請求項の数 4 (全 12 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|---------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2015-154531 (P2015-154531) | (73) 特許権者 | 000005186 |
| (22) 出願日 | 平成27年8月4日(2015.8.4) | | 株式会社フジクラ |
| (65) 公開番号 | 特開2017-31023 (P2017-31023A) | | 東京都江東区木場1丁目5番1号 |
| (43) 公開日 | 平成29年2月9日(2017.2.9) | (74) 代理人 | 100143764 |
| 審査請求日 | 平成28年4月12日(2016.4.12) | | 弁理士 森村 靖男 |
| | | (74) 代理人 | 100129296 |
| | | | 弁理士 青木 博昭 |
| | | (72) 発明者 | 北村 隆之 |
| | | | 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社 |
| | | | フジクラ 佐倉事業所内 |
| | | (72) 発明者 | 平船 俊一郎 |
| | | | 千葉県佐倉市六崎1440番地 株式会社 |
| | | | フジクラ 佐倉事業所内 |
| | | 審査官 | 飯濱 翔太郎 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

線引炉において光ファイバ用母材を線引きする線引工程と、
 前記線引工程において引き出された光ファイバを徐冷炉において徐冷する徐冷工程と、
 を備え、
 前記徐冷炉に入線する前記光ファイバの温度が1400 以上1500 以下であり、
 前記徐冷炉から出線する前記光ファイバの温度が1320 以上1390 以下であり、
 前記徐冷炉において前記光ファイバを冷却する時間が0.05秒以上0.3秒以下であ
 る

ことを特徴とする光ファイバの製造方法。

10

【請求項2】

前記徐冷工程において前記光ファイバの温度は低下し続ける
 ことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項3】

前記徐冷工程の後、前記徐冷工程よりも急速に前記光ファイバが冷却される急冷工程を
 備える

ことを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバの製造方法。

【請求項4】

前記線引工程の後、前記徐冷工程より前に、前記光ファイバが前記線引炉に入線するの
 に適した温度になるよう前記光ファイバを冷却する予冷工程を備える

20

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の光ファイバの製造方法。

【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に関する。

【背景技術】

【0002】

光ファイバ通信システムにおいて光伝送距離の長距離化や光伝送速度の高速化を図るためには、光信号ノイズ比が高められなければならない、光ファイバの伝送損失の低減が求められている。光ファイバの製造方法が高度に洗練されている現在では、光ファイバに含まれる不純物による伝送損失はほぼ限界まで低下していると考えられている。残る伝送損失の主な原因は、光ファイバを構成するガラスの構造や組成の揺らぎに伴う散乱損失である。これは光ファイバがガラスで構成されているが故に不可避なものである。

10

【0003】

ガラスの構造の揺らぎを低減する方法としては、溶融したガラスを冷却する際に緩やかに冷却することが知られている。このように溶融したガラスを緩やかに冷却する方法として、線引炉から線引きされた直後の光ファイバを徐冷することが試みられている。具体的には、線引炉から線引きした光ファイバを徐冷炉で加熱したり、線引きした直後の光ファイバを断熱材で囲んだりして、光ファイバの冷却速度を低下させることが検討されている。

20

【0004】

下記特許文献 1 には、シリカガラスを主成分とするコア及びクラッドを有する光ファイバの外径が最終外径の 500%より小さくなる位置から光ファイバの温度が 1400 になる位置までのうちの 70%以上の領域において、漸化式で求められる目標温度に対して ± 100 以下となるように加熱炉（徐冷炉）の温度を設定することが開示されている。このように光ファイバの温度履歴が制御されることによって、光ファイバを構成するガラスの仮想温度が低下して伝送損失が低減されるとしている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2014 - 62021 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかし、上記特許文献 1 に開示されている技術では、漸化式で求められる理想的な温度変化に光ファイバの温度を合わせるために複雑な計算を繰り返すことが求められる。また、特許文献 1 に開示されている技術では、光ファイバの温度が漸化式で求められる目標温度に対して $\pm 50 \sim 100$ もずれることを許容している。このような広い範囲で光ファイバの温度のずれが許容されると、温度履歴が十分に適正化されているとは言い難い。例えば、徐冷される光ファイバの温度が ± 100 の範囲で変化し、光ファイバを構成するガラスの仮想温度も同様の範囲で変化したとすると、得られる光ファイバの光散乱による伝送損失は $\pm 0.007 \text{ dB/km}$ 程度も上下することになる。このような光ファイバの温度履歴が十分に適正化されていない従来の製造方法では、徐冷炉を必要以上に長くして過剰な設備投資が行われたり、線引速度を必要以上に低下させなければならない生産性が損なわれたりする。

40

【0007】

本発明者は、徐冷炉に入線する光ファイバの温度と徐冷炉から出線する光ファイバの温度とをより適した範囲に限定することによって、徐冷炉において光ファイバを構成するガラスの構造緩和を促進させ、光ファイバの伝送損失を低減させ易くなることを見出した。

50

【0008】

そこで、本発明は、光ファイバの伝送損失を低減させることが容易な光ファイバの製造方法を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するため、本発明の光ファイバの製造方法は、線引炉において光ファイバ用母材を線引きする線引工程と、前記線引工程において引き出された光ファイバを徐冷炉において徐冷する徐冷工程と、を備え、前記徐冷炉に入線する前記光ファイバの温度が1300以上1650以下であり、前記徐冷炉から出線する前記光ファイバの温度が1150以上1400未満であることを特徴とするものである。

10

【0010】

上記のように徐冷炉に入線する光ファイバの温度と徐冷炉から出線する光ファイバの温度とを適切に制御することによって、徐冷炉において光ファイバを構成するガラスの構造緩和を促進させることができる。その結果、光を伝送させる際にガラスの構造の揺らぎに起因する散乱損失が抑制され、伝送損失が低減された光ファイバを得ることができる。

【0011】

また、前記徐冷工程において前記光ファイバの温度は低下し続けることが好ましい。このように光ファイバの温度が低下し続けるように徐冷炉の温度を設定することによって、余計なエネルギーを使うことなく光ファイバを徐冷させて光ファイバを構成するガラスの構造緩和を促進させ、光ファイバの伝送損失を低減させることができる。

20

【0012】

また、前記徐冷工程の後、前記徐冷工程よりも急速に前記光ファイバが冷却される急冷工程を備えることが好ましい。光ファイバは通常、紫外線硬化性樹脂からなる被覆層によって被覆される。このような被覆層を形成するためには、光ファイバが十分に冷却されている必要がある。急冷工程を備えることによって、短い区間で光ファイバの温度を十分に低下させることができるので、被覆層を形成し易くなる。

【0013】

また、前記徐冷炉に入線する前記光ファイバの温度が1400以上であることが好ましい。このように徐冷炉に入線する光ファイバの温度をより適した範囲に限定することによって、徐冷炉における光ファイバを構成するガラスの構造緩和の促進効果を増大させ易くなり、光ファイバの伝送損失を低減させ易くなる。

30

【0014】

また、前記徐冷炉から出線する前記光ファイバの温度が1300以上であることが好ましい。このように徐冷炉から出線する光ファイバの温度をより適した範囲に限定することによって、徐冷炉における光ファイバを構成するガラスの構造緩和の促進効果を増大させ易くなり、光ファイバの伝送損失を低減させ易くなる。

【0015】

また、前記徐冷炉において前記光ファイバを冷却する時間が1秒以下であることが好ましい。光ファイバが徐冷炉に滞在する時間を1秒以下にすることによって、徐冷炉の長さを短くできる等、設備投資にかかる費用を抑えることができる。また、光ファイバが徐冷炉に滞在する時間を1秒以下の短い時間にすることによって、線引速度を速くできるので生産性を低下させずに徐冷炉において光ファイバを構成するガラスの構造緩和の促進することができる。

40

【0016】

さらに、前記徐冷炉において前記光ファイバを冷却する時間が0.5秒以下であることが好ましい。光ファイバが徐冷炉に滞在する時間をより短くすることによって、徐冷炉の長さをより短くできるので、設備投資にかかる費用をより抑えることができる。また、光ファイバが徐冷炉に滞在する時間をより短くすることによって、生産性の低下をより抑制しやすくなる。

【0017】

50

また、前記徐冷炉において前記光ファイバを冷却する時間が0.05秒以上であることが好ましい。光ファイバが徐冷炉に滞在する時間を0.05秒以上にすることによって、徐冷炉において光ファイバを構成するガラスの構造緩和を促進しやすくなる。

【0018】

また、前記線引工程の後、前記徐冷工程より前に、前記光ファイバが前記線引炉に入線するのに適した温度になるよう前記光ファイバを冷却する予冷工程を備えることが好ましい。徐冷炉に入線される光ファイバの温度は上記のように所定の範囲に制限される。ここで、上記のような予冷工程を更に備えることによって、光ファイバの徐冷炉への入線温度を適切な範囲に調整し易くなる。

【発明の効果】

10

【0019】

以上のように、本発明によれば、光ファイバの伝送損失を低減させることが容易な光ファイバの製造方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】本発明の光ファイバの製造方法の工程を示すフローチャートである。

【図2】本発明の光ファイバの製造方法に用いる装置の構成を概略的に示す図である。

【図3】光ファイバの温度及び光ファイバを構成するガラスの仮想温度と冷却時間との関係を示すグラフである。

【図4】ネックダウン部の外径の変化、光ファイバの温度の変化、及び、光ファイバを構成するガラスの仮想温度の変化の関係を示すグラフである。

20

【発明を実施するための形態】

【0021】

以下、本発明に係る光ファイバの製造方法の好適な実施形態について図面を参照しながら詳細に説明する。

【0022】

図1は、本発明の光ファイバの製造方法の工程を示すフローチャートである。図1に示すように、本実施形態の光ファイバの製造方法は、線引工程P1と、予冷工程P2と、徐冷工程P3と、急冷工程P4と、を備える。以下、これらの各工程について説明する。なお、図2は本実施形態の光ファイバの製造方法に用いる装置の構成を概略的に示す図である。

30

【0023】

<線引工程P1>

線引工程P1は、線引炉110において光ファイバ用母材1Pの一端を線引きする工程である。まず、最終製品である光ファイバ1を構成するガラスの所望の屈折率分布と同様の屈折率分布を持つガラスで構成される光ファイバ用母材1Pを準備する。光ファイバ1は、1つ又は複数のコア及びコアの外周面を隙間なく囲むクラッドを有し、コアの屈折率はクラッドの屈折率よりも高くされる。例えば、コアが屈折率を高くするゲルマニウム等のドーパントが添加されたシリカガラスから成る場合、クラッドは純粋なシリカガラスで構成される。また、例えば、コアが純粋なシリカガラスから成る場合、クラッドは屈折率を低くするフッ素等のドーパントが添加されたシリカガラスで構成される。次に、光ファイバ用母材1Pを、長手方向が垂直となるように懸架する。そして、光ファイバ用母材1Pを線引炉110に配置し、加熱部111を発熱させ、光ファイバ用母材1Pの下端部を加熱する。このとき光ファイバ用母材1Pの下端部は、例えば2000℃に加熱されて熔融状態となる。そして、加熱された光ファイバ用母材1Pの下端部から熔融したガラスを所定の線引速度で線引炉110から引き出す。

40

【0024】

<予冷工程P2>

予冷工程P2は、線引工程P1で線引炉110から引き出された光ファイバが後述する徐冷炉121へ送られるのに適した所定の温度になるように冷却する工程である。徐冷炉

50

1 2 1へ送られるのに適した光ファイバの所定の温度については、後に詳述する。

【0025】

本実施形態の光ファイバの製造方法において、予冷工程P2は線引炉110の直下に設けられた筒状体120の中空部に線引工程P1で線引きされた光ファイバが通されることによって行われる。線引炉110の直下に筒状体120を設けることによって、筒状体120の中空部内の雰囲気は線引炉110内の雰囲気とほぼ同じになる。そのため、線引きされた直後の光ファイバの周囲の雰囲気や温度が急激に変化することが抑制される。

【0026】

様々な条件が徐冷炉121へ送られる光ファイバの温度に影響を与える。線引速度は光ファイバの温度に大きな影響を与える条件の一つである。すなわち、光ファイバが徐冷炉121に滞在する時間を調整するために線引速度が変更されると、光ファイバの温度が変化する。予冷工程P2を備えることによって、光ファイバの冷却速度を調整し、徐冷炉121への光ファイバの入線温度を適切な範囲に調整し易くなる。後に説明するように、線引炉110から引き出される光ファイバの温度はネックダウン部の形状から推定できる。そして、このように推定される光ファイバの温度と徐冷炉121へ送られるのに適した光ファイバの温度とに基づいて、徐冷炉121と線引炉110との距離や筒状体120の長さを適宜選択することができる。筒状体120は、例えば金属管等によって構成される。当該金属管を空冷したり、当該金属管の周囲に断熱材を配したりして、光ファイバの冷却速度を調整しても良い。

【0027】

< 徐冷工程P3 >

徐冷工程P3は、線引工程P1において線引炉110から引き出され、予冷工程P2において所定の温度に調整された光ファイバを徐冷炉121で徐冷する工程である。徐冷炉121内は入線する光ファイバの温度とは異なる所定の温度とされており、徐冷炉121に入線した光ファイバの周囲の温度により、光ファイバの冷却速度が低下させられる。徐冷炉121において光ファイバの冷却速度が低下させられることによって、以下に説明するように、光ファイバを構成するガラスの構造が緩和され、散乱損失が低減した光ファイバ1が得られる。なお、徐冷工程P3において、光ファイバの温度は低下し続けることが好ましい。このように光ファイバの温度が低下し続けるように徐冷炉121の温度を設定することによって、余計なエネルギーを使うことなく光ファイバを徐冷させて光ファイバを構成するガラスの構造緩和を促進させ、光ファイバの伝送損失を低減させることができる。

【0028】

従来の徐冷工程を有する光ファイバの製造方法では、徐冷炉への入線時の光ファイバの温度が十分に適正化されていない。具体的には、光ファイバの温度が高すぎたり低すぎたりする状態で徐冷炉に入線される場合がある。徐冷炉に入線する光ファイバの温度が高過ぎると、光ファイバを構成するガラスの構造が緩和する速度が非常に速いため、光ファイバを徐冷することによる効果を得ることがほとんど期待できない。一方、徐冷炉に入線する光ファイバの温度が低すぎると光ファイバを構成するガラスの構造が緩和する速度が遅くなるため、徐冷炉にて光ファイバを再加熱する必要等が生じることがある。このように従来の徐冷工程では、光ファイバを構成するガラスの構造緩和が効率よく行われているとは言い難い。そのため、徐冷炉を必要以上に長くして過剰な設備投資が行われたり、線引速度を必要以上に遅くして生産性が損ねられたりする虞がある。

【0029】

本実施形態の光ファイバの製造方法によれば、以下に説明するように徐冷炉121に入線する光ファイバの温度及び徐冷炉121から出線する光ファイバの温度が適切な範囲に制御されることによって、徐冷炉121において光ファイバを構成するガラスの構造緩和が促進される。その結果、過剰な設備投資を必要とせず、且つ、生産性良く、伝送損失が低減された光ファイバ1を得ることができる。また、本実施形態の光ファイバの製造方法によれば、上述した引用文献1に開示された技術のような複雑な計算を必要としない。

【 0 0 3 0 】

いわゆるストロングガラスに分類されるシリカガラスでは、ガラスの粘性流動によると考えられる構造緩和の時定数 (T) は、Arrheniusの式に従う。そのため、時定数 (T) はガラスの組成によって決まる定数 A 、及び活性化エネルギー E_{act} を用いて、ガラスの温度 T の関数として下記式 (1) のように表される。なお、 k_b は Boltzmann 定数である。

$$1 / (T) = A \cdot \exp(-E_{act} / k_b T) \quad \dots (1)$$

(ここでは、 T はガラスの絶対温度である。)

【 0 0 3 1 】

上記式 (1) より、ガラスの温度が高いほど速くガラスの構造が緩和し、その温度における平衡状態に速く達することがわかる。すなわち、ガラスの温度が高いほどガラスの仮想温度がガラスの温度に近づくのが速くなる。

10

【 0 0 3 2 】

光ファイバを徐冷することによる光ファイバを構成するガラスの仮想温度の低下の様子を模式的に図3に示す。図3において、横軸は時間、縦軸は温度を示している。図3において、実線はある徐冷条件での光ファイバの温度推移を示しており、破線はそのときの光ファイバを構成するガラスの仮想温度の推移を示している。また、点線は実線で示す徐冷条件よりも冷却速度を緩やかにした場合の光ファイバの温度推移を示しており、一点鎖線はそのときの光ファイバを構成するガラスの仮想温度の推移を示している。

【 0 0 3 3 】

20

図3において実線で示すように光ファイバの温度が時間と共に低下するとき、破線で示すように仮想温度は光ファイバの温度の低下と同様に低下する。上記のように、光ファイバの温度が十分に高い状態では光ファイバを構成するガラスの構造緩和の速度が速い。しかし、光ファイバの温度が低下するにつれてガラスの構造緩和の速度は遅くなり、やがて仮想温度は光ファイバの温度の低下に追従できなくなる。ここで、光ファイバの冷却速度を緩やかにすると、冷却速度が速い場合に比べて光ファイバは相対的に温度の高い状態に長時間保持されることになるため、図3に点線及び一点鎖線で示すように、光ファイバの温度と仮想温度との乖離が小さくなり、仮想温度はより低くなる。すなわち、ガラスの構造緩和が促進される。このように、光ファイバを構成するガラスの構造緩和を如何に促進できるかは、光ファイバの温度履歴に依存する。そこで、どのような徐冷の条件が光ファイバの伝送損失低減に適しているのかを以下のように考える。

30

【 0 0 3 4 】

線引炉 110 を出線した直後の光ファイバの温度は概ね 1800 ~ 2000 程度と非常に高温である。このとき、光ファイバを構成するガラスの構造緩和の時定数 (T) は、例えば非特許文献 (K.Saito, et al., Journal of the American Ceramic Society, Vol.89, pp.65-69(2006)) に示されている定数 A と活性化エネルギー E_{act} を用いて計算すると、光ファイバの温度が 2000 である場合は 0.00003 秒程度、光ファイバの温度が 1800 である場合は 0.0003 秒と非常に短くなる。このような高温状態では、光ファイバを構成するガラスの仮想温度は光ファイバの温度に略一致していると考えられる。よって、このような高温領域で光ファイバの徐冷を行っても直ちにガラスの構造が緩和するため、徐冷することによる効果をあまり期待できない。従って、線引炉 110 の直下に徐冷炉 121 を設置して徐冷することは過剰な設備投資となる。換言すると、線引炉 110 と徐冷炉 121 との間には隙間がある方が良く、徐冷炉 121 に入線する光ファイバの温度が最適となるように上記予冷工程 P2 を行うことが好ましい。

40

【 0 0 3 5 】

光ファイバ用母材から線引きされる光ファイバの外径は、光ファイバ用母材の外径から所定の大きさ (一般的な光ファイバの場合は 125 μm) になるまで連続的に縮径される。また、光ファイバ用母材から線引きされる光ファイバの外径が変化する部分はネックダウン部と呼ばれる。そして、光ファイバの温度 T は、ネックダウン部の力の平衡と物質の収支から求められる。具体的には、光ファイバを線引きする速度 v における定常状態の光

50

ファイバ用母材のネックダウン部の断面積 S の変化率は、線引長手方向を x とすると、線引きされる光ファイバに加えられる張力 F と下記式 (2) のような関係にある。

$$v \cdot ds / dx = V \cdot S_0 / s_0 \cdot dS / dx = -F / (T) \quad \dots (2)$$

ここで、 S_0 は光ファイバ用母材の断面積、 s_0 は光ファイバの公称断面積、 V は光ファイバ用母材の送り出し速度である。 (T) はガラスの温度 T における伸び粘性係数で、粘度の3倍である。すなわち、下記式 (3) が成り立つ。

$$(T) = 3 \quad (T) \quad \dots (3)$$

【0036】

また、シリカガラスの粘度は下記式 (4) により求められる。

$$\log_{10} \{ (T) \} = B + C / T \quad \dots (4)$$

10

【0037】

粘度を $[Pa \cdot s]$ の単位で表すとき、 $B = -6.37$ 、 $C = 2.32 \times 10^4 [K^{-1}]$ である。上記式 (4) により、上記式 (3) で求められる粘度からガラスの温度 T を求めることができる。

【0038】

ある線引条件における光ファイバのネックダウン部の外径 () の変化と、そのネックダウン部の外径の変化から求められる光ファイバの温度 () の変化、及び、その光ファイバの温度変化から求められる光ファイバを構成するガラスの仮想温度 () の変化、の関係を図4に示す。光ファイバの温度が低下して光ファイバを構成するガラスの粘度が高まるにつれて、光ファイバの外径の変化が緩やかになっていることがわかる。光ファイバの温度がおよそ 1650 を下回ると、光ファイバを構成するガラスの仮想温度の低下は光ファイバの温度の低下に追従できなくなり、両者の温度差が広がっていく。すなわち、光ファイバの温度が 1650 程度になるまでは徐冷を行わなくとも光ファイバを構成するガラスの仮想温度は光ファイバの温度に略一致することから、光ファイバの温度が 1650 以下になるまでは徐冷を行うことによる効果は希薄である。従って、徐冷炉121への光ファイバの入線温度は 1650 以下とする。

20

【0039】

光ファイバが徐冷炉121に滞在する時間を長くするほど、光ファイバを構成するガラスの構造緩和を促進することができ、伝送損失が低減された光ファイバを製造することができる。ただし、生産性や設備投資を考慮した経済的な条件では、光ファイバが徐冷炉121に滞在する時間は1秒以下であることが好ましい。上記式 (1) に所定の定数を用いてガラスの構造緩和の時定数 (T) を算出すると、 (T) が0.1秒以下となるのはガラスが凡そ 1420 のとき、 (T) が1秒となるのはガラスが凡そ 1310 のとき、 (T) が10秒となるのはガラスが凡そ 1210 のときである。従って、光ファイバが徐冷炉121に滞在する時間を1秒程度とした場合でも徐冷による効果を十分に得るためには、徐冷炉121への光ファイバの入線温度は 1300 以上とし、 1400 以上とすることが好ましい。

30

【0040】

上述したように、光ファイバの温度が低くなるにつれて光ファイバを構成するガラスの構造緩和に要する時間が長くなる。具体的には、光ファイバの温度が 1150 を下回ると短時間の徐冷ではガラスの構造を緩和させることが難しくなる。従って、徐冷炉から出線する光ファイバの温度は 1150 以上 1400 未満とし、 1300 以上とすることが好ましい。

40

【0041】

光ファイバが徐冷炉121に滞在する時間は0.01秒以上であることが好ましく、0.05秒以上であることがより好ましい。徐冷炉121に光ファイバが滞在する時間が長くなればなるほど、光ファイバを構成するガラスの構造は緩和されやすくなる。また、光ファイバが徐冷炉121に滞在する時間は、1秒以下であることが好ましく、0.5秒以下であることがより好ましい。光ファイバが徐冷炉121に滞在する時間が短くなればなるほど、徐冷炉121の長さを短くできるので、過剰な設備投資を抑えることができる。

50

また、光ファイバが徐冷炉 1 2 1 に滞在する時間が短くなればなるほど、線引速度を速めることができるので、光ファイバの生産性を向上させることができる。

【 0 0 4 2 】

なお、徐冷炉 1 2 1 の長さは以下のように設定することができる。光ファイバを構成するガラスの仮想温度が最低となる温度履歴は徐冷時間 t にのみ依存するため、製造される光ファイバが到達すべき伝送損失を実現可能な仮想温度から徐冷に必要な時間 t を求め、生産性を考慮した線引速度 v を決定することによって、下記式 (5) から必要な徐冷炉 1 2 1 の長さ L が求められる。

$$t = L / v \quad \dots (5)$$

【 0 0 4 3 】

< 急冷工程 P 4 >

徐冷工程 P 3 後、光ファイバは耐外傷性などを高めるために被覆層で覆われる。この被覆層は通常、紫外線硬化性樹脂で構成される。このような被覆層を形成するためには、被覆層の焼損などが起こらないようにするため、光ファイバが十分に低い温度に冷却されている必要がある。光ファイバの温度は塗布される樹脂の粘度に影響を与え、結果として被覆層の厚さに影響を与える。被覆層を形成する際の適切な光ファイバの温度は、被覆層を構成する樹脂の性質に応じて適宜決定される。

【 0 0 4 4 】

本実施形態の光ファイバの製造方法では、徐冷炉 1 2 1 が設けられることによって、光ファイバを十分に冷却させるための区間が短くなる。特に本実施形態の光ファイバの製造方法では予冷工程 P 2 も備えるため、光ファイバを十分に冷却させるための区間が更になる。従って、本実施形態の光ファイバの製造方法では、徐冷炉 1 2 1 を出た光ファイバを冷却装置 1 2 2 によって急冷させる急冷工程 P 4 を備える。急冷工程 P 4 では、徐冷工程 P 3 よりも急速に光ファイバが冷却される。このような急冷工程 P 4 を備えることによって、短い区間で光ファイバの温度を十分に低下させることができるので、被覆層を形成し易くなる。冷却装置 1 2 2 を出るときの光ファイバの温度は、例えば 4 0 ~ 5 0 となる。

【 0 0 4 5 】

上記のようにして冷却装置 1 2 2 を経て所定の温度まで冷却された光ファイバは、光ファイバを覆う被覆層となる紫外線硬化性樹脂が入ったコーティング装置 1 3 1 を通過し、この紫外線硬化性樹脂で被覆される。更に紫外線照射装置 1 3 2 を通過し、紫外線が照射されることで、紫外線硬化性樹脂が硬化して被覆層が形成され、光ファイバ 1 となる。なお、被覆層は通常は 2 層からなる。2 層の被覆層を形成する場合、各層を構成する紫外線硬化性樹脂で光ファイバを被覆した後にそれらの紫外線硬化性樹脂を一度に硬化させて 2 層の被覆層を形成することができる。また、1 層目の被覆層を形成した後に 2 層目の被覆層を形成しても良い。そして、光ファイバ 1 は、ターンプリー 1 4 1 により方向が変換され、リール 1 4 2 により巻取られる。

【 0 0 4 6 】

以上、本発明について好適な実施形態を例に説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。つまり、本発明の光ファイバの製造方法は、上述した徐冷工程を備えていれば良く、予冷工程や急冷工程は必須の構成要素ではない。また、本発明の光ファイバの製造方法はあらゆる種類の光ファイバの製造に適用可能である。

【実施例】

【 0 0 4 7 】

以下、実施例及び比較例を挙げて本発明の内容をより具体的に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

【 0 0 4 8 】

(実施例 1 ~ 9)

コアにゲルマニウムがドーブされた、ステップインデックス型の屈折率プロファイルを持ち、コアのクラッドに対する比屈折率差が 0 . 3 3 % の標準シングルモード光ファイバ

10

20

30

40

50

用の母材を用いて、以下の条件で光ファイバを製造した。

【0049】

線引炉の直下に長さ30cm～1mの空冷金属管を取り付け、当該空冷金属管の中空部内の雰囲気は線引炉内の雰囲気（不活性混合ガス）とほぼ同じにした。これにより、光ファイバ用母材の熔融位置からネックダウン部にかけて線引直後の光ファイバの周辺の雰囲気や温度が急激に変化しないようにした。このようにすることで、線引炉から引き出された光ファイバは空冷金属管の中空部内を通過する間に徐冷炉に入線するのに適した温度にまで予冷された。空冷金属管の出口から徐冷炉の入り口までの距離は200mm～350mmとし、この範囲は大気雰囲気に開放されていた。

【0050】

光ファイバの徐冷炉入線温度及び出線温度は、徐冷炉入り口あるいは出口から100mm～200mm離間した位置でRosendahl Nextrom社製のNon-contact fiber thermometerを用いて測定し、有効数字三桁までを表1に示した。徐冷炉滞在時間は、光ファイバが徐冷炉で冷却されている時間に相当し、徐冷炉の長さとし、線引速度から算出し、有効数字一桁で表1に示した。

【0051】

徐冷炉から出線した光ファイバは、ヘリウム（He）を含む気体を通じた水冷金属管（冷却装置）の中空部内に通すことで、樹脂被覆層を形成可能な温度にまで急冷された。樹脂被覆層が所望の厚さとなるように、上記He濃度を調整したり、水冷金属管の数を調整したりして、光ファイバの温度を調整した。

【0052】

上記のようにして製造された光ファイバの1550nmにおける伝送損失をOTDR法によって測定し、その結果を表1に示す。なお、条長は20km以上とした。

【0053】

（比較例1）

徐冷炉を使用しなかった以外は実施例1と同様の条件で光ファイバを製造し、同様の方法で伝送損失を測定した。その結果を表1に示した。

【0054】

表1に示すように、徐冷を行わなかった比較例1の場合、伝送損失は0.185dB/kmであった。

一方、実施例1～9の光ファイバは、伝送損失が0.183dB以下となり、比較例の光ファイバと比べて、伝送損失を小さくすることができた。なお、実施例1～9の光ファイバ及び比較例1の光ファイバは、伝送損失を除く光学特性は通常の製造時に起こり得るばらつきの範囲で一致しており、標準シングルモード光ファイバと同等の特性であることを確認した。

特に、実施例1～4では適切な条件で徐冷することによって、伝送損失が0.180dB/km以下となる良好な光ファイバが製造された。

一方、実施例1のように徐冷炉が短く、線引速度が速く、徐冷炉滞在時間が0.05秒と短い条件であっても、適切な温度履歴で徐冷することによって、0.180dB/kmの伝送損失が達成され、経済性の高い条件であっても伝送損失が低い光ファイバを製造することができた。

【0055】

10

20

30

40

【表 1】

表1

| | 徐冷炉入線 温度/°C | 徐冷炉出線 温度/°C | 徐冷炉滞在 時間/秒 | 伝送損失(1550nm) /dB/km |
|------|----------------|----------------|---------------|------------------------|
| 実施例1 | 1400 | 1390 | 0.05 | 0.180 |
| 実施例2 | 1400 | 1360 | 0.1 | 0.179 |
| 実施例3 | 1450 | 1340 | 0.2 | 0.178 |
| 実施例4 | 1500 | 1320 | 0.3 | 0.177 |
| 実施例5 | 1350 | 1300 | 0.3 | 0.183 |
| 実施例6 | 1300 | 1200 | 0.3 | 0.183 |
| 実施例7 | 1400 | 1150 | 0.3 | 0.182 |
| 実施例8 | 1500 | 1180 | 0.3 | 0.182 |
| 実施例9 | 1330 | 1280 | 0.1 | 0.183 |
| 比較例1 | | | | 0.185 |

10

【産業上の利用可能性】

【0056】

本発明によれば、伝送損失が低減された光ファイバを製造可能な光ファイバの製造方法が提供され、光ファイバ通信の分野に利用することができる。また、ファイバレーザ装置やその他光ファイバを利用したデバイスにも利用することができる。

20

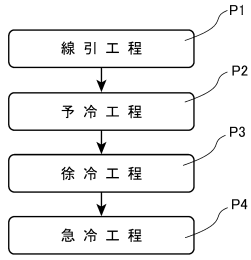
【符号の説明】

【0057】

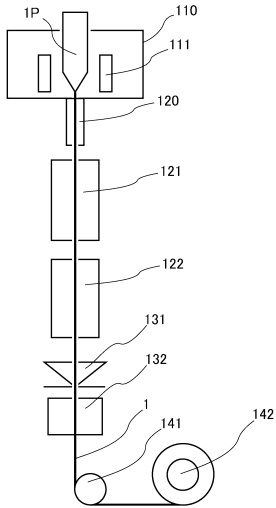
- 1・・・光ファイバ
- 1P・・・光ファイバ用母材
- 110・・・線引炉
- 111・・・加熱部
- 120・・・筒状体
- 121・・・徐冷炉
- 122・・・冷却装置
- 131・・・コーティング装置
- 132・・・紫外線照射装置
- 141・・・ターンプーリー
- 142・・・リール
- P1・・・線引工程
- P2・・・予冷工程
- P3・・・徐冷工程
- P4・・・急冷工程

30

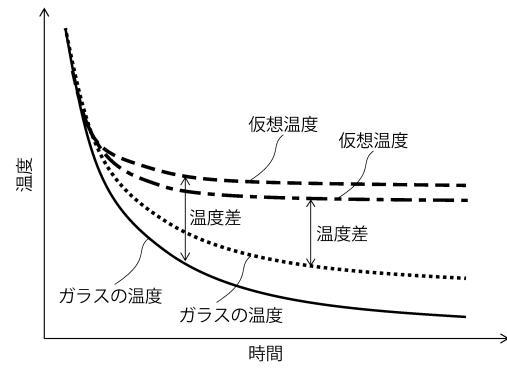
【図1】



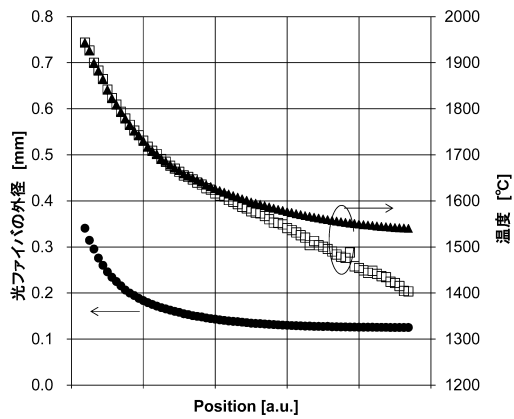
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(56)参考文献 特表2005-523868(JP,A)
特開2007-197273(JP,A)
特開2012-020908(JP,A)
特開2013-122502(JP,A)
特開2005-298257(JP,A)
特表2013-529174(JP,A)
特表2013-533192(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C03B 37/00 - 37/16
C03C 25/10
G02B 6/02 - 6/036