

(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2005-41767  
(P2005-41767A)

(43) 公開日 平成17年2月17日(2005.2.17)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
<b>C03C 13/04</b>	C O 3 C 13/04	4 G O 2 1
<b>C03B 37/018</b>	C O 3 B 37/018	4 G O 6 0
<b>C03C 25/68</b>	C O 3 C 25/06	4 G O 6 2

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2004-109698 (P2004-109698)	(71) 出願人	000005186 株式会社フジクラ
(22) 出願日	平成16年4月2日 (2004.4.2)		東京都江東区木場1丁目5番1号
(31) 優先権主張番号	特願2003-131729 (P2003-131729)	(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
(32) 優先日	平成15年5月9日 (2003.5.9)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
(31) 優先権主張番号	特願2003-192934 (P2003-192934)	(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
(32) 優先日	平成15年7月7日 (2003.7.7)	(74) 代理人	100101465 弁理士 青山 正和
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	後藤 孝和 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

最終頁に続く

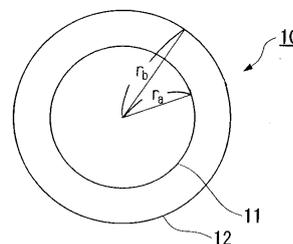
(54) 【発明の名称】 光ファイバ母材およびその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 水酸基濃度が低く、紡糸後の光ファイバの広帯域における波長多重伝送を可能とし、かつ、製造コストが低い光ファイバ母材およびその製造方法を提供する。

【解決手段】 中心ガラスロッド11と、その外周に形成された外層12とを備えた光ファイバ母材10において、中心ガラスロッド11の半径を $r_a$  [mm]、光ファイバ母材10の半径を $r_b$  [mm]、中心ガラスロッド11と外層12との境界付近における水酸基濃度の最大値を $c$  [ppm]とすると、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$ なる関係式を満たすように、光ファイバ母材10を製造する。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層とを備えた光ファイバ母材であって、前記中心ガラスロッドの半径を  $r_a$  [mm]、前記光ファイバ母材の半径を  $r_b$  [mm]、前記中心ガラスロッドと前記外層との境界付近における水酸基濃度の最大値を  $c$  [ppm] とすると、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$  なる関係式を満たすことを特徴とする光ファイバ母材。

## 【請求項 2】

中心ガラスロッドの外周に、ガラス微粒子を堆積した後、脱水、加熱して外層を形成する光ファイバ母材の製造方法であって、

中心ガラスロッドの表面を火炎研磨する工程 A と、目的とする光ファイバ母材の屈折率プロファイルから、目的とする光ファイバ母材の半径  $r_b$  [mm] に対する中心ガラスロッドの半径  $r_a$  [mm] の比  $r_a / r_b$  を求める工程 B と、工程 A で火炎研磨処理した後、この上にガラス微粒子を堆積し、透明ガラス化した後の中心ガラスロッドと外層との境界付近における水酸基濃度の最大値を  $c$  [ppm] とし、この  $c$  と上記工程 B で求められた  $r_a / r_b$  とから、 $r_a / r_b / c$  を算出し、この値が  $0.002 \sim 0.01$  となるように、上記中心ガラスロッド上に堆積するガラス微粒子の量を求める工程 C を有することを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。

10

20

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、シングルモード光ファイバ用の光ファイバ母材およびその製造方法に関し、特に、広帯域における波長多重伝送を可能とするシングルモード光ファイバ用の光ファイバ母材およびその製造方法に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

近年、インターネット、イントラネットなどの急速な普及により通信需要が増大し、光ファイバ網のより一層の高速化・大容量化が強く求められている。このような中、 $1.3 \mu\text{m}$  帯 ~  $1.6 \mu\text{m}$  帯までの非常に広い帯域において、異なる複数の波長を 1 本の光ファイバで伝送可能とする波長多重伝送方式 (Coarse Wavelength Division Multiplexing、以下、「CWDM」と略記する。) が注目され、様々な技術が提案されている。

30

## 【0003】

従来のシングルモード光ファイバは、 $1.38 \mu\text{m}$  付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失 (以下、「水酸基に起因する伝送損失」と略すこともある。) が大きいため、CWDM 伝送方式には使用できなかった。そこで、水酸基に起因する伝送損失が非常に小さいシングルモード光ファイバが求められている。

## 【0004】

ところで、シングルモード光ファイバなどの製造に用いられる光ファイバ母材は、気相軸付け法により作製したコアおよびクラッドの一部を含む光ファイバ用多孔質母材を作製する工程、塩素系のガスを含む雰囲気下で光ファイバ用多孔質母材を脱水する工程、脱水後の光ファイバ用多孔質母材を焼結し、中心ガラスロッドを作製する工程、中心ガラスロッドを延伸して、所定の半径とする工程、延伸後の中心ガラスロッドの外周にガラス微粒子を堆積する工程、ガラス微粒子が堆積された中心ガラスロッドを脱水、加熱する工程を経て得られる。

40

## 【0005】

水酸基に起因する伝送損失を低減する方法としては、(1) 中心ガラスロッド中の水酸基濃度を低減する方法、(2) 中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層との境界

50

付近に現れる水酸基の濃度を低減する方法、(3)中心ガラスロッドの外周に形成された外層中の水酸基濃度を低減する方法が挙げられる。水酸基に起因する伝送損失を低減するためには、これら3つの方法が組み合わされて用いられている。これら3つの方法については、それぞれ種々の提案がなされている。

【0006】

中心ガラスロッド中の水酸基濃度を低減する方法としては、特許文献1を始めとして多くの提案がなされている。これらの方法によれば、中心ガラスロッド中の水酸基濃度を数ppb以下とすることも可能である。

【0007】

中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層との境界付近には、酸水素火炎による延伸や、火炎研磨などによって、中心ガラスロッドに水酸基が取り込まれることにより、水酸基が現れると考えられる。したがって、中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層との境界付近に現れる水酸基の濃度を低減する方法としては、以下に示すような方法が用いられる。

10

【0008】

例えば、特許文献2には、プラズマエッチングによって中心ガラスロッドの表面に混入した水酸基を除去する方法が開示されている。また、特許文献3には、フッ化水素溶液を用いたエッチングによって中心ガラスロッドの表面に混入した水酸基を除去する方法が開示されている。さらに、特許文献4や特許文献5には、中心ガラスロッドの延伸を電気炉で行うことにより、ガラス微粒子を堆積する前の中心ガラスロッドを酸水素火炎に触れさせない方法などが開示されている。そして、特許文献6には、中心ガラスロッドの外周にガラス微粒子を堆積する際に、中心ガラスロッドの外周付近における堆積温度を低くすることにより、水酸基が中心ガラスロッド内に入り込むのを防ぐ方法が開示されている。

20

【0009】

中心ガラスロッドの外周に形成された外層の水酸基濃度を低減する方法としては、中心ガラスロッドの水酸基濃度を低減する方法とほぼ同じ方法を適用することができる。なお、中心ガラスロッドの外周に形成された外層は、この中心ガラスロッドと外層からなる光ファイバ母材を用いて製造した光ファイバにおいて、光信号がほとんど通過しない領域となるため、中心ガラスロッドと比較して、多少の水酸基の残留は許容される。

【0010】

中心ガラスロッドと、上記外層との境界付近に残留する水酸基は、光ファイバ母材を紡糸する際に中心コアロッド側にも拡散する。この水酸基が光信号の通過する領域まで達すると、1.38 $\mu$ m付近の波長帯域において、水酸基に起因する伝送損失が増加する。

30

【0011】

光ファイバ中の水酸基濃度を低減するためには、光ファイバ母材に占める、水酸基濃度を数ppb以下まで低減した中心ガラスロッドの割合を大きくすることが有効である。しかしながら、この方法では、中心ガラスロッド中の水酸基濃度を極限まで低くする必要があるため、中心ガラスロッドの脱水工程におけるコストが高くなり、結果として光ファイバの製造コストの上昇を招いていた。

【0012】

中心ガラスロッドの外周に形成された外層中の水酸基濃度を低減する方法では、外層における水酸基の残留する部分を除去するために、エッチングなどの工程数が増加するという問題がある。

40

さらには、中心ガラスロッドの延伸を電気炉で行う方法では、ガラス微粒子の外付け前に、光ファイバ用多孔質母材を火炎研磨しなければ、中心ガラスロッドに気泡が発生したり、異物が混入するという問題がある。

このように、従来技術においては、光ファイバ母材中の水酸基濃度を低減するためには、工程数の増加や、生産性の低下を引き起こすため、製造コストが上昇するという問題があった。

【特許文献1】特開昭57-17433号公報

50

- 【特許文献2】特開平11-171575号公報
- 【特許文献3】特開2001-240424号公報
- 【特許文献4】特開2002-187733号公報
- 【特許文献5】特開2001-240424号公報
- 【特許文献6】特開2001-335339号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

本発明は、前記事情に鑑みてなされたもので、C W D M 伝送用光ファイバ向け光ファイバ母材およびその製造方法を提供することを目的とする。より詳細には、本発明は、水酸基濃度が低く、紡糸後の光ファイバの広帯域における波長多重伝送を可能とし、かつ、製造コストが低い光ファイバ母材およびその製造方法を提供することを目的とする。 10

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明者らは、上記課題を解決すべく、光ファイバ母材およびその製造方法について鋭意検討した結果、中心ガラスロッドの光ファイバ母材に占める割合と、中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層との境界付近における水酸基の最大濃度について、水酸基による損失が十分に低く抑えられる条件を見出し、本発明を完成するに至った。具体的には、中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層との境界付近に残留する水酸基の濃度、および、光ファイバ母材に対する中心ガラスロッドの割合の最適領域を見出した。 20

【0015】

本発明は、上記課題を解決するために、中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層とを備えた光ファイバ母材であって、前記中心ガラスロッドの半径を  $r_a$  [mm]、前記光ファイバ母材の半径を  $r_b$  [mm]、前記中心ガラスロッドと前記外層との境界付近における水酸基濃度の最大値を  $c$  [ppm] とすると、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$  なる関係式を満たす光ファイバ母材を提供する。

【0016】

本発明は、中心ガラスロッドの外周に、ガラス微粒子を堆積した後、脱水、加熱して外層を形成する光ファイバ母材の製造方法であって、中心ガラスロッドの表面を火炎研磨する工程 A と、目的とする光ファイバ母材の屈折率プロファイルから、目的とする光ファイバ母材の半径  $r_b$  [mm] に対する中心ガラスロッドの半径  $r_a$  [mm] の比  $r_a / r_b$  を求める工程 B と、工程 A で火炎研磨処理した後、この上にガラス微粒子を堆積し、透明ガラス化した後の中心ガラスロッドと外層との境界付近における水酸基濃度の最大値を  $c$  [ppm] とし、この  $c$  と上記工程 B で求められた  $r_a / r_b$  とから、 $r_a / r_b / c$  を算出し、この値が  $0.002 \sim 0.01$  となるように、上記中心ガラスロッド上に堆積するガラス微粒子の量を求める工程 C を有する光ファイバ母材の製造方法を提供する。 30

【発明の効果】

【0017】

本発明の光ファイバ母材は、中心ガラスロッドと、その外周に形成された外層との境界付近における水酸基濃度が低いから、この光ファイバ母材を紡糸して得られる光ファイバは、 $1.38 \mu\text{m}$  付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失がほとんど増加しないものとなる。したがって、本発明の光ファイバ母材を用いて製造した光ファイバは、広帯域における波長多重伝送を可能とする。 40

【0018】

本発明の光ファイバ母材の製造方法によれば、水酸基濃度が低く、 $1.38 \mu\text{m}$  付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失の増加量が低く、広帯域における波長多重伝送を可能とする光ファイバを製造することが可能な光ファイバ母材を安価に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】

【0019】

以下、本発明を詳しく説明する。

図1は、本発明の光ファイバ母材の一実施形態を示す概略断面図である。

この実施形態の光ファイバ母材10は、中心ガラスロッド11と、その外周に堆積された石英系ガラスを主成分とするガラス微粒子が脱水、焼結されてなる外層12とから概略構成されており、外形が円柱状のものである。また、中心ガラスロッド11の中心部には、二酸化ゲルマニウム( $\text{GeO}_2$ )などが添加されており、光ファイバのコアとなる。

図1中、 $r_a$ は中心ガラスロッドの半径、 $r_b$ は光ファイバ母材の半径をそれぞれ示している。

#### 【0020】

図2は、図1に示したような光ファイバ母材の半径方向における水酸基濃度を模式的に示す図である。本発明において、光ファイバ母材の半径方向における水酸基濃度は、顕微フーリエ変換赤外分光光度計(顕微FT-IR)などを用いて測定される。

図2において、水酸基は、光ファイバ母材の中心からの距離 $r_a$  [mm]付近において、急激に増加しており、ここにおける水酸基濃度は最大値 $c$  [ppm]となっている。

このように、光ファイバ母材の中心からの距離 $r_a$  [mm]、すなわち、中心ガラスロッドの半径 $r_a$  [mm]付近において、水酸基濃度が最大値 $c$ を示すのは、光ファイバ母材の製造において、中心ガラスロッドの外周にガラス微粒子を堆積させる工程の前に、中心ガラスロッドの表面に残留する異物を除去したり、傷を修復したりするために火炎研磨を行うことにより、中心ガラスロッドの表面付近に高濃度の水酸基が混入することに起因している。

#### 【0021】

この実施形態では、光ファイバ母材10において、中心ガラスロッド11の半径を $r_a$  [mm]、光ファイバ母材10の半径を $r_b$  [mm]とし、光ファイバ母材10の中心からの距離 $r_a$ の位置付近、すなわち、中心ガラスロッド11と外層12との境界付近における水酸基の最大濃度を $c$  [ppm]とすると、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$ なる関係式を満たしている。

#### 【0022】

$r_a / r_b / c = 0.002$ では、中心ガラスロッドと外層との境界付近に残留する水酸基が、光ファイバの紡糸中に、中心ガラスロッド内に拡散し、光ファイバ中を光信号が伝送する領域まで達して、 $1.38 \mu\text{m}$ 付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失が増加する。

$r_a$ 、 $r_b$ および $c$ の関係を、 $r_a / r_b / c > 0.002$ とすることにより、光ファイバ母材を紡糸して得られる光ファイバの水酸基に起因する伝送損失はほとんど増加しなくなる。光ファイバの伝送損失がほとんど増加しないとは、水酸基に起因する伝送損失が、 $0.03 \text{ dB/km}$ 以下であり、 $1.3 \mu\text{m} \sim 1.6 \mu\text{m}$ 帯のCWDM伝送に使用可能な光ファイバであることを意味している。

#### 【0023】

一方、 $0.01 < r_a / r_b / c$ では、光ファイバ母材の製造において、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$ の場合よりも、工程数が多くなり、結果として、製造コストが増加する。また、得られる光ファイバ母材の不良率が高くなり、製造コストも増加するため、好ましくない。しかしながら、 $r_a / r_b / c$ が $0.01$ では、中心ガラスロッドと外層との境界付近に残留する水酸基に起因する伝送損失の増加はほぼ $0 \text{ dB/km}$ となるので、 $0.01 < r_a / r_b / c$ であれば、水酸基に起因する伝送損失の増加は生じない。

#### 【0024】

ところで、 $r_a / r_b$ で表される光ファイバ母材の半径 $r_b$  [mm]に対する中心ガラスロッドの半径 $r_a$  [mm]の比は、光ファイバ母材における水酸基が高濃度で残留している位置を示している。

光ファイバ母材内に残留する水酸基は、紡糸中に光ファイバ内に拡散する。 $r_a / r_b$ が小さい場合、水酸基が光ファイバ内の光信号が伝送する領域まで拡散して、水酸基に起

10

20

30

40

50

因する伝送損失が増加する。したがって、 $r_a / r_b$  は大きいことが望ましい。しかしながら、水酸基に起因する伝送損失の増加を抑制するためには、中心ガラスロッドにおける水酸基濃度を数 ppb 以下に抑える必要がある。そのため、中心ガラスロッドの脱水工程において、脱水剤の流量や、脱水時間をより多くする必要がある。その結果として、光ファイバ母材の製造コストの上昇を招く。

【0025】

中心ガラスロッドと外層との境界付近に残留する水酸基の濃度を低減する方法としては、酸素と水素の流量を少なくして、中心ガラスロッドの表面温度が上がり過ぎないようにして、中心ガラスロッドの表面に残留する異物を除去したり、傷を修復したりする火炎研磨法などが用いられる。この場合、中心ガラスロッドの水酸基濃度を低減することができるものの、その表面に残留する異物の除去や、傷の修復を成し遂げることができないため、結果として、光ファイバ母材の内部に異物、気泡、傷などの欠陥が残留する。光ファイバ母材の内部に、このような欠陥が存在すると、この光ファイバ母材を紡糸して得られる光ファイバを光伝送路として使用することができなくなる。したがって、光ファイバ母材の歩留が低下し、結果として光ファイバの製造コストが増加する。

10

【0026】

また、中心ガラスロッドと外層との境界付近に残留する水酸基の濃度を低減するための、他の方法としては、プラズマエッチングなどの方法が挙げられる。しかしながら、プラズマエッチングなどの方法を用いると、工程数が増加するため、やはり光ファイバの製造コストが増加する。

20

【0027】

このように、光ファイバ母材 10 において、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$  なる関係式を満たせば、光ファイバ母材 10 を紡糸して得られる光ファイバにおける水酸基に起因する伝送損失がほとんど増加しなくなる上に、製造コストの増加を抑制することができる。

また、中心ガラスロッドと外層との境界付近に残留する水酸基は、光ファイバの紡糸中に光ファイバ内に拡散するため、紡糸条件によって光ファイバの伝送損失は変化する。しかしながら、紡糸条件は、 $r_a / r_b$  および  $c$  と比較すると、光ファイバの伝送損失の変化に及ぼす影響が小さい。したがって、線引き速度が  $500 \text{ m/min} \sim 2000 \text{ m/min}$  程度の通常の紡糸条件であれば、光ファイバ母材において、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$  なる関係式を満たすようにすれば、水酸基に起因する伝送損失を低減することができる。

30

【0028】

以下、この実施形態の光ファイバ母材の製造方法について説明する。

この実施形態の光ファイバ母材の製造方法では、まず、出発部材となるガラス材を把持して、その中心軸を中心にして回転させる。

次いで、ガラス合成用バーナ（図示略）を用いて、ガラス合成用バーナから噴出される火炎中における加水分解反応または酸化反応によりガラス微粒子を合成し、このガラス微粒子を、回転しているガラス材を鉛直上方へ移動させながら出発部材に堆積して、多孔質母材を形成する。

40

【0029】

次いで、多孔質母材を、温度を約  $1200$  に設定した電気炉内の塩素系ガスを含むヘリウム雰囲気を通して脱水した後、温度を約  $1500$  に設定した電気炉内の別の領域を通して焼結し、中心ガラスロッド 11 を得る。

次いで、中心ガラスロッド 11 を電気炉内で加熱、溶融させることにより、その半径が  $r_a$  [mm] となるまで延伸する。

次いで、中心ガラスロッド 11 の表面温度が  $1800$  以上になるように、酸水素火炎で火炎研磨する（工程 A）。

また、目的とする光ファイバ母材の屈折率プロファイルから、目的とする光ファイバ母材の半径  $r_b$  [mm] に対する中心ガラスロッド 11 の半径  $r_a$  [mm] の比  $r_a / r_b$

50

を求める（工程 B）。

次いで、中心ガラスロッド 11 を把持して、その中心軸を中心にして回転させる。

次いで、ガラス合成用バーナを用いて、ガラス微粒子を合成し、ガラス合成用バーナを中心ガラスロッド 11 の長手方向と平行に移動させながら、ガラス微粒子を回転する中心ガラスロッド 11 の半径方向に堆積する。

この工程において、後の工程で透明ガラス化した後の中心ガラスロッド 11 と外層との境界付近における水酸基の最大濃度を  $c$  [ppm] とし、この  $c$  と、工程 B で求められた  $r_a / r_b$  とから、 $r_a / r_b / c$  を算出し、この値が  $0.002 \sim 0.01$  となるように、中心ガラスロッド 11 上に堆積するガラス微粒子の量を求める（工程 C）。

次いで、この中心ガラスロッド 11 を、温度を約 1200 に設定した電気炉内の塩素系ガスを含むヘリウム雰囲気を通して脱水した後、温度を約 1500 に設定した電気炉内の別の領域を通して焼結して外層 12 を形成し、半径  $r_b$  [mm] の光ファイバ母材 10 を得る。

【0030】

本発明に係る光ファイバ母材の製造方法では、工程 A において、中心ガラスロッド 11 の表面温度が 1800 以上になるように酸水素火炎で火炎研磨するが、酸水素火炎の温度が 1800 未満では、火炎研磨の効果が十分に得られない。

【0031】

ここで、火炎研磨について説明する。

火炎研磨は、火炎でガラス表面を炙り、高温にすることにより、ガラス表面から  $SiO_2$  を揮発させて、ガラス表面を削る研磨法である。なお、火炎研磨では、高温が得やすく、余分な反応物が生成しないなどの利点から、酸水素火炎を使用する。

【0032】

火炎研磨によれば、例えば、ガラス表面に深さ 0.05 mm の傷や気泡がある場合、ガラス表面を 0.1 mm 研磨すると、ガラス表面の傷や気泡を取り除くことができる。また、異物がガラス内に減り込むように、ガラス表面に付着している場合も、ガラス表面を研磨することにより、ガラスと共に異物が昇華して、ガラス表面が清浄になる。

【0033】

また、中心ガラスロッド 11 と外層 12 との境界付近における水酸基の最大濃度  $c$  は、中心ガラスロッド 11 の表面にプラズマエッチングを施したり、中心ガラスロッド 11 を電気炉内で延伸後、その表面を研磨する時の温度を下げる（酸素ガス、水素ガスの流量を下げる）ことで小さくすることが可能である。ただし、中心ガラスロッド 11 の表面温度を下げ過ぎると、研磨の効果が得られず、中心ガラスロッド 11 の表面における傷の発生や異物の混入により歩留まりが低下する。

【0034】

この実施形態の光ファイバ母材の製造方法によれば、中心ガラスロッド 11 の半径  $r_a$  [mm]、光ファイバ母材 10 の半径  $r_b$  [mm]、中心ガラスロッド 11 と外層 12 との境界付近における水酸基濃度の最大値  $c$  [ppm] が、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$  なる関係式を満たすように、光ファイバ母材 10 を製造することができる。中心ガラスロッド 11 の半径  $r_a$  [mm]、光ファイバ母材 10 の半径  $r_b$  [mm]、中心ガラスロッド 11 と外層 12 との境界付近における水酸基濃度の最大値  $c$  [ppm] が、 $0.002 < r_a / r_b / c < 0.01$  なる関係式を満たしていれば、製造コストを増加することなく、 $1.38 \mu m$  付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失が十分に低減された光ファイバ母材 10 を製造することができる。

【0035】

以下、実験例により、本発明をさらに具体的に説明する。

（実験例 1）

VAD (Vapor phase Axial Deposition) 法を用いてコアとクラッドの一部とからなるガラスロッドを作製し、外径が 23 ~ 34 mm となるように延伸し、中心ガラスロッドを得た。

10

20

30

40

50

同様の方法で複数の中心ガラスロッドを作製した。

これらの中心ガラスロッドの表面を、その長手方向に沿って移動するバーナから噴出される酸水素火炎で火炎研磨した。

この時、バーナの移動速度を30 mm/minとした。

また、表1に示すように、酸水素火炎の温度、バーナに供給する酸素の流量、および、バーナに供給する水素の流量を変化させた(条件A~条件E)。

次いで、中心ガラスロッドの外周にガラス微粒子を堆積させた後、ガラス微粒子を堆積した中心ガラスロッドを電気炉内で脱水、焼結して外層を形成し、円柱状の光ファイバ母材を得た。

得られた光ファイバ母材を長手方向と垂直な方向に切断し、厚み1 mmのガラス板を切り出した。

このガラス板の表面を鏡面研磨して、水酸基濃度測定用試料を作製した。

次いで、顕微FT-IRを用いて、この水酸基濃度測定用試料の中心から半径方向に向かって30 μmおきに水酸基濃度を測定した。その結果、このガラス板は、図2に示すような水酸基濃度分布を示していることが確認された。

この水酸基濃度分布から、中心ガラスロッドと外層との境界付近における水酸基濃度の最大値c [ppm]を求めた。結果を表1に示す。

なお、バーナに供給する酸素の流量および水素の流量が多いと、中心ガラスロッドの表面温度はより高温になり、中心ガラスロッド内への水酸基の侵入量が増加する。

また、中心ガラスロッドの端部から、ハロゲンランプでロッド内に光を入射し、中心ガラスロッド表面の気泡または輝点(中心ガラスロッドの表面に存在する傷や異物)の数を目視により測定した。なお、中心ガラスロッド1本の長さを1000 mmとし、この1本当たりの気泡または輝点の数を測定した。

【0036】

【表1】

	酸素流量 (L/min)	水素流量 (L/min)	バーナ移動速度 (mm/min)	水酸基濃度 最大値c (ppm)	火炎の 温度 (℃)	気泡又は 輝点の数 (個)
条件A	230	115	30	130	1940	0
条件B	260	130	30	180	2050	0
条件C	110	55	30	50	1780	4
条件D	90	45	30	35	1690	12
条件E	70	35	30	20	1550	多数

【0037】

表1の結果から、酸素の流量および水素の流量を少なくすると、中心ガラスロッドと外層との境界付近における水酸基濃度の最大値cは低減する一方で、次第に、気泡または輝点の数が増加する。特に、条件Eでは、気泡または輝点の数が多くなり過ぎて、光ファイバ母材の歩留が著しく低下する。

【0038】

(実験例2)

10

20

30

40

50

VAD法を用いてコアとクラッドの一部とからなるガラスロッドを作製し、外径が23～34mmとなるように延伸し、中心ガラスロッドを得た。

この中心ガラスロッドを用いて、実験例1と同様にして、表2に示す条件A-1～A-3、条件B-1～B-3によって、円柱状の光ファイバ母材を作製した。表2中、 $r_a$ は中心ガラスロッドの半径、 $r_b$ は光ファイバ母材の半径を示す。

【0039】

【表2】

	水酸基濃度 最大値c (ppm)	$r_a / r_b$	$r_a / r_b / c$
条件A-1	130	0.248	0.0019
条件A-2	130	0.352	0.0027
条件A-3	130	0.416	0.0032
条件B-1	180	0.320	0.0018
条件B-2	180	0.368	0.0020
条件B-3	180	0.496	0.0028

10

20

【0040】

表2に示す条件で作製した光ファイバ母材を紡糸して、光ファイバを作製した。この際、線引き速度を1000m/minとした。

得られた光ファイバの1.38μm付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失を測定した。結果を図3に示す。

図3の結果から、 $r_a / r_b / c < 0.002$ では、水酸基に起因する伝送損失が急激に増加することが確認された。

【0041】

(実験例3)

実験例2と同様にして中心ガラスロッドを作製した後、この中心ガラスロッドを用いて、表3に示す条件C、条件D-1、D-2、条件Eによって、円柱状の光ファイバ母材を作製した。

【0042】

30

40

【表 3】

	水酸基濃度 最大値 c (ppm)	$r_a / r_b$	$r_a / r_b / c$
条件C	50	0.288	0.006
条件D-1	32	0.288	0.009
条件D-2	35	0.416	0.012
条件E	20	0.288	0.014

10

## 【0043】

表 3 に示す条件で作製した光ファイバ母材を紡糸して、光ファイバを作製した。この際、線引き速度を  $1000 \text{ m/min}$  とした。

得られた光ファイバの  $1.38 \mu\text{m}$  付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失を測定した。結果を図 4 に示す。

20

図 4 の結果から、 $r_a / r_b / c > 0.01$  としても、水酸基に起因する伝送損失を低減することができないことが分かった。したがって、 $r_a / r_b / c > 0.01$  としても、製造コストが増加するだけであることが分かった。

## 【0044】

なお、上述の実施形態や実験例は本発明の一例であり、本発明は上述の実施形態や実験例に限定されるものではない。

## 【産業上の利用可能性】

## 【0045】

本発明の光ファイバ母材およびその製造方法は、コアとクラッドの一部を含む中心ガラスロッドを作製し、その後、この中心ガラスロッドの外周にクラッドを付加する工程を含む全ての光ファイバ母材およびその製造方法にも適用可能である。

30

なお、中心ガラスロッドは VAD 法で作製されたものに限定されず、CVD 法、OVD 法などで作製されたものであってもよい。

また、中心ガラスロッドの外周にクラッドを付加する方法としては、ガラス微粒子を堆積した後にガラス化する方法に限定されず、水酸基の含有量が微小の石英管内に中心ガラスロッドを挿入して、加熱処理して一体化する方法を用いてもよい。

## 【図面の簡単な説明】

## 【0046】

【図 1】本発明の光ファイバ母材の一実施形態を示す概略断面図である。

40

【図 2】光ファイバ母材の半径方向における水酸基濃度を模式的に示す図である。

【図 3】実施例 2 において、 $r_a / r_b / c$  と、 $1.38 \mu\text{m}$  付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失増加量との関係を示すグラフである。

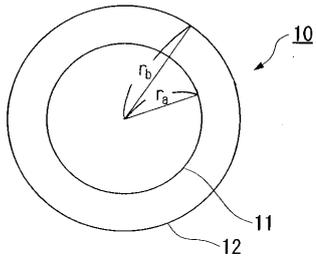
【図 4】実施例 3 において、 $r_a / r_b / c$  と、 $1.38 \mu\text{m}$  付近の波長帯域における水酸基に起因する伝送損失増加量との関係を示すグラフである。

## 【符号の説明】

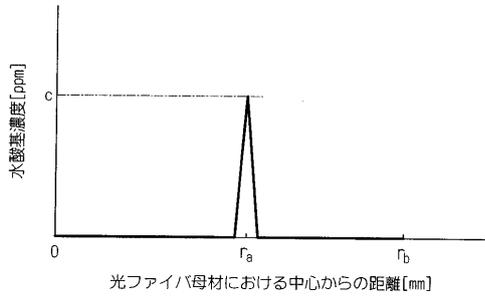
## 【0047】

10・・・光ファイバ母材、11・・・中心ガラスロッド、12・・・外層。

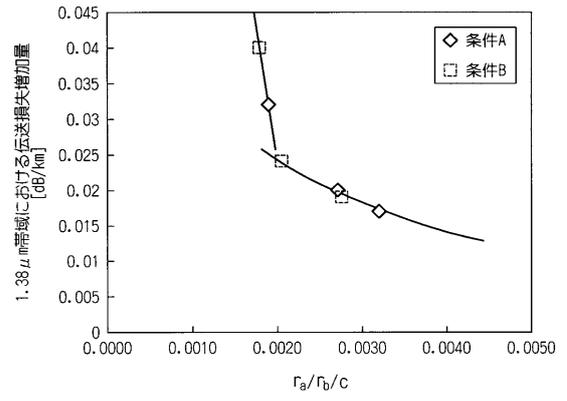
【 図 1 】



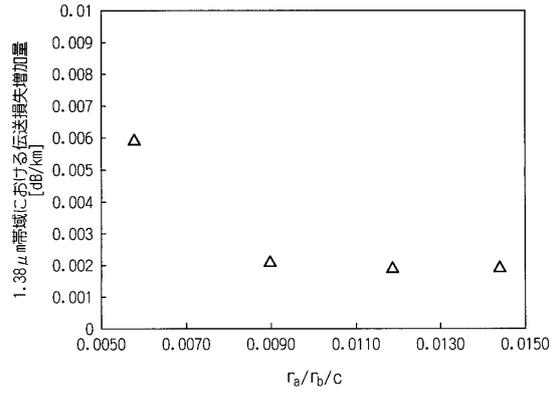
【 図 2 】



【 図 3 】



【 図 4 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 山田 成敏

千葉県佐倉市六崎1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ佐倉事業所内

Fターム(参考) 4G021 EA03

4G060 AD08

4G062 AA06 BB02 DA08 DB01 DC01 DD01 DE01 DF01 EA01 EA10

EB01 EC01 ED01 EE01 EF01 EG01 FA01 FA10 FB01 FC01

FD01 FE01 FF01 FG01 FH01 FJ01 FK01 FL01 GA01 GA10

GB01 GC01 GD01 GE01 HH01 HH03 HH05 HH07 HH09 HH11

HH13 HH15 HH17 HH20 JJ01 JJ03 JJ05 JJ07 JJ10 KK01

KK03 KK05 KK07 KK10 LA01 LB01 MM02 NN01