

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6048418号
(P6048418)

(45) 発行日 平成28年12月21日 (2016.12.21)

(24) 登録日 平成28年12月2日 (2016.12.2)

(51) Int. Cl.	F I
C O 3 B 37/018 (2006.01)	C O 3 B 37/018 B
C O 3 B 37/014 (2006.01)	C O 3 B 37/014 Z
G O 2 B 6/02 (2006.01)	G O 2 B 6/02 3 5 6 A
	G O 2 B 6/02 3 7 6 A

請求項の数 6 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2013-557379 (P2013-557379)	(73) 特許権者	000002130
(86) (22) 出願日	平成24年12月13日 (2012.12.13)		住友電気工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2012/082369		大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(87) 国際公開番号	W02013/118389	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成25年8月15日 (2013.8.15)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成27年11月19日 (2015.11.19)	(74) 代理人	100113435
(31) 優先権主張番号	特願2012-26296 (P2012-26296)		弁理士 黒木 義樹
(32) 優先日	平成24年2月9日 (2012.2.9)	(74) 代理人	100136722
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 ▲高▼木 邦夫
		(72) 発明者	平野 正晃
			神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
			気工業株式会社横浜製作所内
		(72) 発明者	春名 徹也
			神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
			気工業株式会社横浜製作所内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ファイバ母材製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

平均粒径が1 mm直径以下であるアルカリ金属塩原料を用い、このアルカリ金属塩原料を加熱して生成したアルカリ金属塩の蒸気をキャリアガスとともに石英系のガラスパイプの一端側から前記ガラスパイプの内部に供給し、前記ガラスパイプの長手方向に相対的に移動する熱源により前記ガラスパイプを加熱して、アルカリ金属を酸化反応させて前記ガラスパイプの内側に熱拡散させる熱拡散工程と、

この熱拡散工程後の前記ガラスパイプを中実化してコアロッドを作製する中実化工程と、

この中実化工程で作製されたコアロッドの周囲にクラッド部を付加するクラッド部付加工程と、

を備えることを特徴とする光ファイバ母材製造方法。

【請求項 2】

前記熱拡散工程の前に前記アルカリ金属塩原料を270 以上の温度で加熱して乾燥する乾燥工程を備える、ことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ母材製造方法。

【請求項 3】

前記乾燥工程において、前記アルカリ金属塩原料の融点未満の温度で前記アルカリ金属塩原料を加熱して乾燥する、ことを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ母材製造方法。

。

【請求項 4】

10

20

前記乾燥工程は、前記アルカリ金属塩原料の融点未満の温度で前記アルカリ金属塩原料を加熱して乾燥する第1の乾燥工程と、前記第1の乾燥工程の後に、前記アルカリ金属塩原料の融点以上の温度で前記アルカリ金属塩原料を加熱して乾燥する第2の乾燥工程と、を含む、ことを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ母材製造方法。

【請求項5】

前記ガラスパイプが塩素およびフッ素を含み、塩素およびフッ素それぞれの平均濃度が10原子ppm以上であり、その他の添加剤の濃度が10原子ppm以下である、ことを特徴とする請求項1～4の何れか1項に記載の光ファイバ母材製造方法。

【請求項6】

前記熱拡散工程において、アルカリ金属の濃度が最大値で500原子ppm以上となるようにアルカリ金属を前記ガラスパイプの内側に熱拡散させる、ことを特徴する請求項1～5の何れか1項に記載の光ファイバ母材製造方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光ファイバ母材製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

アルカリ金属元素をコア領域に添加した石英ガラスからなる光ファイバが知られている（特許文献1～9を参照）。光ファイバ母材のコア部にアルカリ金属元素が添加されると、光ファイバ母材を線引するときにコア部の粘性を下げることができ、石英ガラスのネットワーク構造の緩和が進行するため、光ファイバの伝送損失を低減することが可能であるといわれている。

20

【0003】

アルカリ金属元素を石英ガラス中に添加する方法としては拡散法が知られている（例えば特許文献1, 2を参照）。拡散法は、原料となるアルカリ金属元素またはアルカリ金属塩などの原料蒸気をガラスパイプ内に導入しながら、ガラスパイプを外部熱源により加熱したり、ガラスパイプ内にプラズマを発生させたりすることで、アルカリ金属元素をガラスパイプの内表面に拡散添加するものである。

【0004】

30

このようにしてアルカリ金属元素をガラスパイプの内表面近傍に添加した後、このガラスパイプを加熱して縮径させる。縮径後、アルカリ金属元素の添加の際に同時に添加されてしまう遷移金属元素等（例えばNiやFe）を除去する目的で、ガラスパイプの内表面のある厚みをエッチングする。エッチング後、ガラスパイプを加熱して中実化することで、アルカリ金属元素添加コアロッドを製造する。このアルカリ金属元素添加コアロッドの外側にクラッド部を合成することで光ファイバ母材を製造する。そして、この光ファイバ母材を線引することで光ファイバを製造することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

40

【特許文献1】特表2005-537210号公報

【特許文献2】米国特許出願公開第2006/0130530号明細書

【特許文献3】特表2007-504080号公報

【特許文献4】特表2008-536190号公報

【特許文献5】特表2010-501894号公報

【特許文献6】特表2009-541796号公報

【特許文献7】特表2010-526749号公報

【特許文献8】国際公開第98/002389号

【特許文献9】米国特許第5146534号明細書

【発明の概要】

50

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

石英系ガラス中でのアルカリ金属元素の拡散係数は、N i や F e などの遷移金属元素の拡散係数と比較して1桁以上大きい。すなわち、アルカリ金属元素は遷移金属元素より拡散が速い。したがって、上記のエッチング工程において、ガラス表面をある厚みでエッチングして遷移金属元素を除去しても、石英ガラス中に添加されたアルカリ金属元素を残留させることが可能である。しかしながら、石英系ガラスにおけるアルカリ金属元素の拡散係数とO H基の拡散係数とは同程度であることから、アルカリ金属元素を拡散する工程でO H基が同時に添加されてしまうと、アルカリ金属元素を残留させつつO H基を完全に除去することは困難である。

10

【0007】

また、アルカリ金属塩原料は、吸湿性が高く、吸着水を多く含むものが多く、水和水を内部に含む場合もある。特許文献1には、アルカリ金属塩原料としてのK B r を温度1000に加熱して溶融させて脱水したと記載されている。しかしながら、温度1000でのK B r 蒸気圧は3 k P a と高いので、脱水と同時に大量の原料を消費してしまうという問題がある。加えて、アルカリ金属塩原料を溶融させてしまうと、アルカリ金属元素と水分とが反応し、アルカリ水酸化物となってしまう恐れがある。また、温度550以上であると石英ガラスと水分とが反応してS i - O H 基となってしまう恐れがある。

【0008】

このようにコア中にアルカリ金属元素が添加された光ファイバは、O H 基を比較的多く含む場合があり、波長1.38 μ m 帯での伝送損失が高くなる場合があるという課題があった。

20

【0009】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、アルカリ金属元素が添加され波長1.38 μ m 帯での伝送損失が低い光ファイバを線引により製造するのに好適な光ファイバ母材を製造することができる方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一側面に係る光ファイバ母材製造方法は、(1)平均粒径が1mm直径以下であるアルカリ金属塩原料を用い、このアルカリ金属塩原料を加熱して生成したアルカリ金属塩の蒸気をキャリアガスとともに石英系のガラスパイプの一端側からガラスパイプの内部に供給し、ガラスパイプの長手方向に相対的に移動する熱源によりガラスパイプを加熱して、アルカリ金属を酸化反応させてガラスパイプの内側に熱拡散させる熱拡散工程と、(2)この熱拡散工程後のガラスパイプを中実化してコアロッドを作製する中実化工程と、(3)この中実化工程で作製されたコアロッドの周囲にクラッド部を付加するクラッド部付加工程と、を備えることを特徴とする。

30

【0011】

本発明の一側面に係る光ファイバ母材製造方法は、熱拡散工程の前にアルカリ金属塩原料を270以上の温度で加熱して乾燥する乾燥工程を備えることができる。乾燥工程において、アルカリ金属塩原料の融点未満の温度でアルカリ金属塩原料を加熱して乾燥することができる。乾燥工程は、アルカリ金属塩原料の融点未満の温度でアルカリ金属塩原料を加熱して乾燥する第1の乾燥工程と、第1の乾燥工程の後に、アルカリ金属塩原料の融点以上の温度でアルカリ金属塩原料を加熱して乾燥する第2の乾燥工程と、を含むことができる。ガラスパイプは添加剤として塩素(C l)およびフッ素を含み、塩素およびフッ素それぞれの平均濃度は10原子p p m以上であり、その他の添加剤の濃度は10原子p p m以下であるものとする。また、熱拡散工程において、アルカリ金属の濃度が最大値で500原子p p m以上となるようにアルカリ金属をガラスパイプの内側に熱拡散させることができる。

40

【0012】

光ファイバ母材は、上記の本発明の一側面に係る光ファイバ母材製造方法により製造さ

50

れ、コア部のOH基の平均濃度が $0.002 \text{ mol} \cdot \text{ppm}$ 以下であることを特徴とする。光ファイバは、上記の本発明の一側面に係る光ファイバ母材を線引することで製造され、波長 $1.38 \mu\text{m}$ 帯におけるOH基吸収による伝送損失増が 0.1 dB/km 以下であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、アルカリ金属元素が添加され波長 $1.38 \mu\text{m}$ 帯での伝送損失が低い光ファイバを線引により製造するのに好適な光ファイバ母材を製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】アルカリ金属塩原料としての臭化カリウム(KBr)について窒素雰囲気下での昇温脱離ガス分析(TDS)を実施した結果を示すグラフである。

【図2】アルカリ金属塩原料としての臭化カリウム(KBr)について温度と脱離水分量との関係を示すグラフである。

【図3】光ファイバの伝送損失の波長依存性を示すグラフである。

【図4】波長 $1.38 \mu\text{m}$ におけるOH基吸収に因る伝送損失増 $\Delta \alpha_{\text{OH}}$ とアルカリ金属塩原料の粒径との関係を示すグラフである。

【図5】光ファイバ母材製造方法における熱拡散工程を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、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。

【0016】

本実施形態の光ファイバ母材製造方法は、乾燥工程、熱拡散工程、中実化工程およびクラッド部付加工程を備える。乾燥工程では、平均粒径が 1 mm 以下、好ましくは 0.5 mm 直径以下であるアルカリ金属塩原料を 270°C 以上であって融点未満の温度で加熱して乾燥する。熱拡散工程では、このアルカリ金属塩原料を加熱して生成したアルカリ金属塩の蒸気をキャリアガスとともに石英系のガラスパイプの一端側からガラスパイプの内部に供給し、ガラスパイプの長手方向に相対的に移動する熱源によりガラスパイプを加熱して、アルカリ金属元素を酸化反応させてガラスパイプの内側に熱拡散させる。中実化工程では、この熱拡散工程後のガラスパイプを中実化してコアロッドを作製する。そして、クラッド部付加工程では、この中実化工程で作製されたコアロッドの周囲にクラッド部を付加して、光ファイバ母材を製造する。

【0017】

なお、本実施形態におけるアルカリ金属塩原料の平均粒径は、アルカリ金属塩原料の画像を光学顕微鏡で取得し、その画像イメージからアルカリ金属塩原料の粒子の大きさに換算することで測定した。ここで測定したアルカリ金属塩原料の粒子の個数は数千であり、その粒子径分布の中央値(メディアン値)を平均粒径とした。

【0018】

図1は、アルカリ金属塩原料としての臭化カリウム(KBr)について窒素雰囲気下での昇温脱離ガス分析(TDS)を実施した結果を示すグラフである。このとき用いたKBrは、結晶状であり、粒径が凡そ 3 mm 程度であった。同図に示されるように、温度 270°C 付近に水分の脱離が急激に速くなるピークがある。アルカリ金属原料を 270°C から 600°C まで10分かけて昇温した後、 600°C で保持すると、水分の脱離は20分程度の加熱でほぼバックグラウンドレベルまで減少する。これは、KBr固体の表面付近の吸着水量が 270°C 付近で急速な脱離を開始し、 270°C 以上で30分間加熱することにより除去できることを示している。

【0019】

図2は、アルカリ金属塩原料としての臭化カリウム(KBr)について温度と脱離水分量との関係を示すグラフである。同図に示されるように、温度 270°C 以上であれば脱離

10

20

30

40

50

速度は上昇しないことが判る。このように、アルカリ金属塩原料の乾燥には温度 270 以上で処理するのが好適である。

【0020】

しかし、600 から温度を上昇させていって KBr の融点 734 にすると、再び脱離水分が増加している。これは、KBr の溶融によって、KBr 結晶内の水和水が脱離したためであると考えられる。この水和水の脱離は、表面吸着水とは異なって、高温で長時間加熱してもなかなか減少しない。このように、粒径の大きなアルカリ金属塩原料は、内部の水和水の存在によって、完全に乾燥させることが困難である。

【0021】

このような問題を解決するためには、アルカリ金属塩原料の粒径を小さくし、アルカリ金属塩原料の体積あたりの表面積を大きくすれば良い。アルカリ金属塩原料の固体を球の形状とすれば、粒径 D は球の直径に相当するので、体積あたりの表面積は $6/D$ となる。従って、粒径 D が小さいほど、体積あたりの表面積が大きくなり、アルカリ金属塩原料の固体内部に含まれる水和水よりアルカリ金属塩原料の固体表面の吸着水が多くなり、より乾燥が容易となる。

【0022】

次に、本実施形態の光ファイバ母材製造方法の具体例（実施例）と比較例により、アルカリ金属原料の粒径と OH 基による吸収損失の関係について説明する。図 5 は、光ファイバ母材製造方法における熱拡散工程を説明する図である。

【0023】

用いた石英系ガラスパイプ 1 は、100 原子 ppm の Cl と 6,000 原子 ppm のフッ素とを含み、その他の添加剤の濃度が検出下限界（1 ppm 程度）以下であり、外径が 32 mm であり、内径が 15 mm であった。このガラスパイプ 1 の一端にハンドリングガラスパイプ 5 を接続し、このハンドリングガラスパイプ 5 の一部を原料溜めとして使用し、その原料溜めにアルカリ金属塩原料 3 を設置した。この時、アルカリ金属塩原料である KBr の平均粒径を 3 mm 程度として第 1 の比較例の試作を行った。また、アルカリ金属塩原料である KBr の平均粒径を 1.5 mm 程度として第 2 の比較例の試作を行った。また、アルカリ金属塩原料である KBr の平均粒径を 1.0 mm 程度として第 1 の実施例の試作を行った。また、アルカリ金属塩原料である KBr の平均粒径を 0.5 mm 程度として第 2 の実施例の試作を行った。さらに、アルカリ金属塩原料である KBr の平均粒径を 0.2 mm 程度として第 3 の実施例の試作を行った。なお、ガラスパイプ 1 の一部を原料溜めとして使用してもよい。

【0024】

乾燥工程では、キャリアガスとして 3 SLM（標準状態に換算して 3 L / 分）の乾燥酸素（露点が -76 以下）を原料溜めに導入しながら、外部熱源（電気炉）2 によって原料溜めの外部を温度 500 に加熱した状態を 30 分間維持することで、原料溜めのアルカリ金属塩原料 3 を乾燥した。

【0025】

この乾燥工程の後、原料溜めの温度を 860 に調整し、キャリアガスとして 1 SLM の乾燥酸素を原料溜め及びガラスパイプ 1 に導入しながら、ガラスパイプ 1 の外表面が温度 2000 になるように外部熱源（酸水素バーナ）4 により加熱した。このとき、酸水素バーナを 30 mm / min の速さで移動させ、これを合計 15 回実施することで、カリウムをガラスパイプ内表面に拡散させた。このアルカリ金属元素を拡散したガラスパイプ 1 を酸水素バーナ 4 により加熱しながら内径が 4 mm 直径程度になるように縮径した。

【0026】

この縮径工程の後、ガス供給部から SF₆ および Cl₂ をガラスパイプ 1 に供給しながら、ガラスパイプ 1 を酸水素バーナ 4 で温度 2000 に加熱することで、内表面が 5 mm 直径程度となるまでガラスパイプ 1 の内表面の気相エッチングを実施した。

【0027】

このエッチング工程の後、アルカリ金属元素が添加されたガラスパイプ 1 を、パイプ内

10

20

30

40

50

の内圧が絶対圧力で100kPa程度になるように排気しながら、酸水素バーナ4で温度1400程度になるように加熱することで、中実化を実施して、外直径が25mm程度のアルカリ金属添加ガラスロッドを得た。

【0028】

この中実化工程の後、ガラスロッドの外部をOH基がなくなるまで十分に（具体的には、外直径が中実化後の70%程度以下になるまで）研削して、これを第一コアロッドとした。この第一コアロッドの外側に、第一コアロッドの径の3倍程度の径の第二コアを設けた。第二コアロッドは、Clが平均で6,000ppm添加され、その他の添加剤が1ppm以下であるような石英系ガラスからなる。

【0029】

第一コアおよび第二コアをあわせてコア部とし、さらにその外側に第一クラッド部となるフッ素元素が添加された石英系ガラスを合成した。第二コア部に対する第一クラッド部の相対屈折率差は第一クラッド部の屈折率が最も小さい場合で-0.33%程度であった。さらに、その外側に、第二コア部に対する相対屈折率差が-0.23%程度であるフッ素が添加された石英系ガラスを第二クラッド部として合成して、これを光ファイバ母材とした。この光ファイバ母材を線引きすることで、第1及び第2の比較例、並びに、第1～3の実施例に係る光ファイバを製造した。

【0030】

図4は、各々の光ファイバにおける波長1.38μmにおけるOH基吸収に因る伝送損失増 $\Delta\alpha_{OH}$ （図3参照）とアルカリ金属塩原料の粒径との関係を示すグラフである。具体的には、アルカリ金属塩の平均粒径を3mm程度、1.5mm程度とした第1及び第2の比較例に係る光ファイバにおいては、伝送損失増 α_{OH} は、それぞれ、0.31dB/km、0.27dB/km程度であった。また、アルカリ金属塩の平均粒径を1.0mm程度、0.5mm程度、0.2mm程度とした第1～第3の実施例に係る光ファイバにおいては、伝送損失増 $\Delta\alpha_{OH}$ は、それぞれ、0.062dB/km、0.013dB/km、0.014dB/kmであった。

【0031】

図4に示されるとおり、アルカリ金属塩原料の平均粒径が1mm程度より小さいと、OH基に因る吸収損失 $\Delta\alpha_{OH}$ が急激に低減して0.1dB/km以下に小さくなっていることがわかる。このことから、アルカリ金属塩原料の平均粒径は1mm程度以下であることが望ましい。

【0032】

石英ガラス系光ファイバのコア部にOH基が1mol・ppm存在すると、波長1.3μm帯において60dB/km程度の吸収損失 $\Delta\alpha_{OH}$ を有するとされている。したがって、吸収損失 $\Delta\alpha_{OH}$ が0.1dB/km以下である時、光ファイバ母材のコア部におけるOH基の平均濃度は0.002mol・ppm以下である。このOH基は、アルカリ金属塩原料から混入するOH基だけでなく、アルカリ金属元素の熱拡散を実施する工程やアルカリ金属元素を添加した石英系ガラスパイプの中実化工程などの光ファイバ母材の製造工程でのOH基の混入や、基板として用いる石英系ガラスパイプそのものに含まれるOH基など、光ファイバ母材のコア中の全てのOH基を含む。

【0033】

また、アルカリ金属塩原料の平均粒径が0.5mm程度以下では、OH基による吸収損失 $\Delta\alpha_{OH}$ が0.05dB/km以下であり、光ファイバ母材のコア部における平均濃度が0.001mol・ppm以下であって極めて低減している。したがって、アルカリ金属塩原料の平均粒径は0.5mm以下であるとさらに望ましい。

【0034】

第1～第3の実施例に係る光ファイバは、原料KBrの粒径の違いによって図4に示されるような波長1.38μmにおけるOH基吸収に因る伝送損失増 $\Delta\alpha_{OH}$ の差異を有する他、以下のような共通の諸特性を有していた。カリウム添加濃度（コア中の平均値）は2原子ppm程度であった。伝送損失（波長1300nm）は0.285～0.300dB

10

20

30

40

50

/ kmであり、伝送損失（波長 1550 nm）は 0.155 ~ 0.165 dB / kmであった。波長分散（波長 1550 nm）は + 20.0 ~ + 21.5 ps / nm / kmであり、分散スロープ（波長 1550 nm）は + 0.055 ~ + 0.065 ps / nm² / kmであった。実効断面積（波長 1550 nm）は 125 ~ 145 μm²であり、モードフィールド径（波長 1550 nm）は 12 ~ 14 μmであった。ファイバカットオフ波長（2 m）は 1400 ~ 1600 nmであり、ケーブルカットオフ波長（2 m）は 1300 ~ 1500 nmであった。偏波モード分散（C, Lバンド）は 0.001 ~ 0.15 ps / √ kmであり、非線形屈折率（波長 1550 nm、ランダム偏波状態）N₂は 2.1 ~ 2.2 × 10⁻²⁰ m² / Wであり、非線形係数（波長 1550 nm、ランダム偏波状態）は 0.6 ~ 0.7 (W · km)⁻¹であった。このように低伝送損失の光ファイバが得られた。

10

【0035】

このように、石英系ガラスパイプ内へのアルカリ金属元素の熱拡散によって製造したアルカリ金属添加石英系ガラスロッドをコア部またはコア部の一部として含む光ファイバ母材を用いて光ファイバを製造する際に、アルカリ金属元素の原料として平均粒径が 1 mm 直径以下程度のアルカリ金属塩を用いることにより、光ファイバでの OH 基による吸収損失増 $\Delta \alpha_{OH}$ を 0.1 dB / km 以下、好ましくは 0.05 dB / km 以下に低くすることが可能である。また、熱拡散工程の前の乾燥工程において、温度 270 °C 以上であってアルカリ金属塩原料の融点未満（好ましくは 550 °C 以下）の温度でアルカリ金属塩原料を乾燥するのが好ましい。

【0036】

20

ここで、図 1 に示される昇温脱離ガス分析の結果からも明らかなように、アルカリ金属塩原料は、その融点において内部に含まれる水と水分を脱離するが、この水と水の完全な除去は、融点以下の温度での乾燥では困難であると考えられる。したがって、270 °C 以上であってアルカリ金属塩原料の融点未満（好ましくは 550 °C 以下）の温度で、1 mm 以下の粒径を有するアルカリ金属塩原料を乾燥し、アルカリ金属塩原料に存在する水分の大部分を占める表面の吸着水を脱離させた後に、アルカリ金属塩原料の融点以上の温度でアルカリ金属塩原料を乾燥し、原料内部の水と水をわずかに脱離させることが、より好適であると考えられる。

【0037】

そのような知見に基づいて、第 4 の実施例の試作を行った。この試作では、アルカリ金属塩原料である KBr の平均粒径を 1 mm 程度とした。また、この試作は、上述した方法と概ね同様で行ったが、乾燥工程が上述した方法と異なっている。すなわち、この試作の乾燥工程においては、まず、キャリアガス 3 SLM（標準状態に換算して 3 L / 分）の乾燥窒素（露点が - 76 °C 以下）を原料溜めに導入しながら、外部熱源（電気炉）2 によって原料溜めの外部を 500 °C に加熱した状態を 30 分間維持することで、原料溜めのアルカリ金属塩原料 3 を乾燥する第 1 の乾燥工程を実施した。その後、この試作の乾燥工程においては、外部熱源（電気炉）2 の温度を 750 °C まで上昇させてアルカリ金属塩原料 3 を溶融させた状態で、キャリアガスとして 3 SLM の乾燥窒素を原料溜めに導入する第 2 の乾燥工程を 5 分間実施した。

30

【0038】

40

つまり、第 4 の実施例の試作の乾燥工程は、アルカリ金属塩原料 3 の融点未満の温度（例えば 500 °C）でアルカリ金属塩原料 3 を加熱して乾燥する第 1 の乾燥工程と、第 1 の乾燥工程の後に、アルカリ金属塩原料 3 の融点以上の温度（例えば 750 °C）でアルカリ金属塩原料 3 を加熱して乾燥する第 2 の乾燥工程とを含む。

【0039】

このようにして得られた第 4 の実施例に係る光ファイバの波長 1.38 μm における OH 基吸収に因る伝送損失増 α_{OH} （図 3 参照）は、0.011 dB / km と非常に低い結果となった。これは、アルカリ金属塩原料の平均粒径を 1.0 mm 程度とした第 1 の実施例に係る光ファイバの伝送損失増 α_{OH} である 0.062 dB / km よりも更に低減している。なお、第 4 の実施例に係る光ファイバのその他の波長における伝送損失増 α_{O}

50

α_H は、波長 1300 nm で 0.286 dB/km であり、波長 1550 nm では 0.156 dB/km であった。このように、乾燥工程においては、270 以上であってアルカリ金属塩原料の融点未満（好ましくは 550 以下）の温度での第 1 の乾燥工程を実施した後に、アルカリ金属塩原料の融点以上の温度での第 2 の乾燥工程を実施することが好ましい。

【0040】

光ファイバ母材のコアは、アルカリ金属元素、Cl またはフッ素を含むが、その他の Ge、Al、P や Fe、Ni、Cu といった遷移金属などの添加材の濃度が 1 ppm 以下と小さいことが望ましい。このようにすることで、波長 1550 nm における光ファイバの伝送損失を 0.18 dB/km 以下に低くすることが可能である。また、この場合、光ファイバ母材のクラッド部としてはフッ素が添加された石英系ガラスを用いて、クラッド部の屈折率をコア部の平均屈折率より低くすることが望ましい。

10

【0041】

また、光ファイバ母材のコアは、ピーク値で 500 原子 ppm 以上の濃度のアルカリ金属元素を含むと良い。この光ファイバ母材を用いて製造される光ファイバの波長 1550 nm での伝送損失を 0.17 dB/km に低くすることが可能である。

【0042】

光ファイバの構造および特性は例えば下記のようなものである。光ファイバの波長 1550 nm における伝送損失は、0.180 dB/km 以下に低い方が望ましく、更に望ましくは 0.170 dB/km 以下、更には 0.160 dB/km 以下であると良い。実効断面積は、波長 1550 nm で 70 ~ 160 μm^2 程度であって良い。波長 1550 nm における波長分散は、+15 ~ +22 ps/nm/km であって良い。零分散波長は 1250 nm 以上 1350 nm 以下であってよい。分散スロープは、波長 1550 nm において +0.05 ~ +0.07 ps/nm²/km であってよい。波長 1380 nm における伝送損失は、0.8 dB/km 以下に低い方が好ましく、0.4 dB/km 以下であると更に良く、また、0.3 dB/km 以下であると最も好ましい。

20

【0043】

波長 1550 nm 帯における偏波モード分散は、0.2 ps/ $\sqrt{\text{km}}$ 以下であって良い。ケーブルカットオフ波長は、1530 nm 以下であると良く、ラマン増幅に用いるポンプ波長となる 1450 nm 以下であると更に良く、また、標準的なシングルモードファイバと同様に 1260 nm 以下であってもよい。コア部の直径は 5 ~ 15 μm 程度であり、コア部とクラッド部の相対屈折率差（（コア部屈折率 - クラッド部屈折率）/ コア部屈折率）は 0.1 ~ 0.7 % 程度である。光ファイバのガラス部の外周の直径は 110 ~ 150 μm 程度であってよく、樹脂によって被覆された光ファイバの外周の直径は 200 ~ 300 μm 程度であると良い。

30

【0044】

このような光ファイバは、特に長距離光通信の光伝送システムの光伝送路として好適に用いられる。

【産業上の利用可能性】

【0045】

本発明によれば、アルカリ金属元素が添加され波長 1.38 μm 帯での伝送損失が低い光ファイバを線引により製造するのに好適な光ファイバ母材を製造することができる。

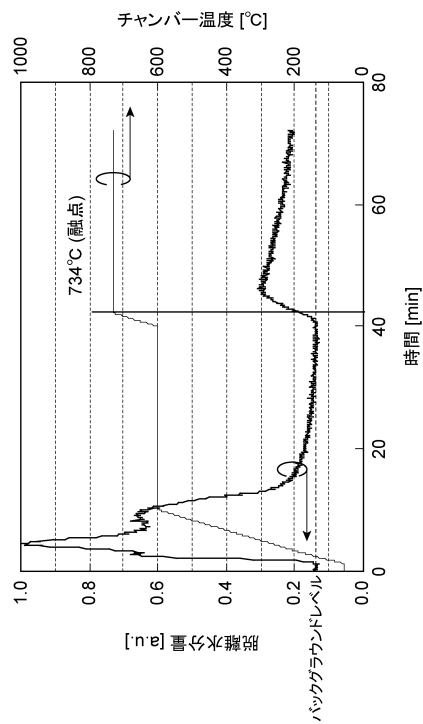
40

【符号の説明】

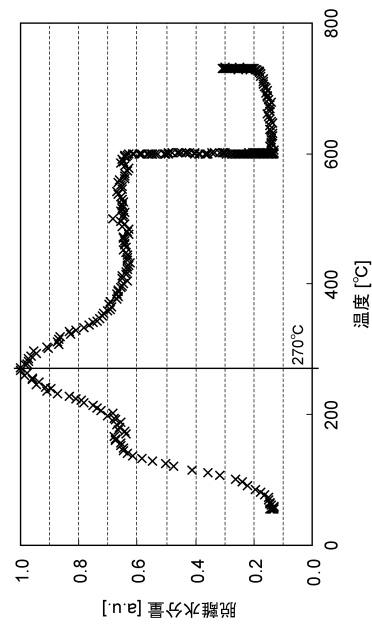
【0046】

1 ... ガラスパイプ、2 ... 熱源、3 ... アルカリ金属原料、4 ... 外部熱源、5 ... ハンドリングガラスパイプ。

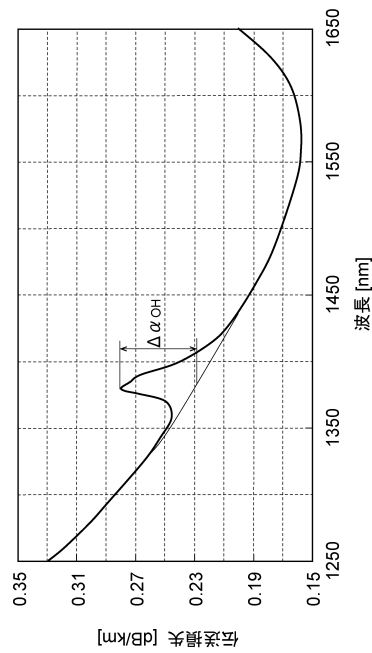
【図 1】



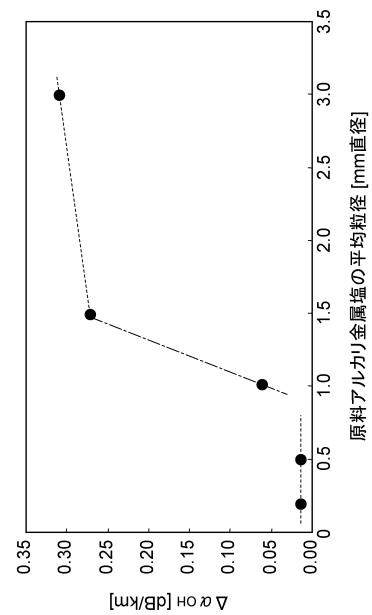
【図 2】



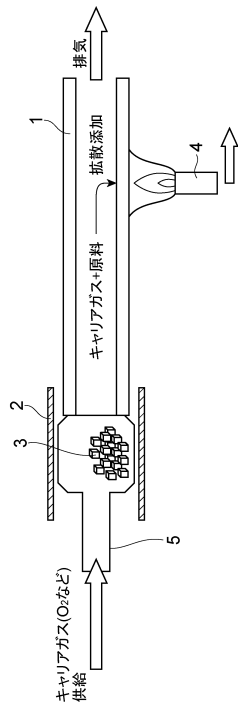
【図 3】



【図 4】



【図 5】



フロントページの続き

(72)発明者 田村 欣章

神奈川県横浜市栄区田谷町 1 番地 住友電気工業株式会社横浜製作所内

審査官 増山 淳子

(56)参考文献 特開 2 0 1 2 - 0 0 6 7 7 9 (J P , A)

特開平 0 1 - 2 8 6 9 3 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

C 0 3 B 3 7 / 0 0 - 3 7 / 0 6