

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4244925号
(P4244925)

(45) 発行日 平成21年3月25日(2009.3.25)

(24) 登録日 平成21年1月16日(2009.1.16)

(51) Int.Cl.

F I

C O 3 B 37/12 (2006.01)

C O 3 B 37/12 A

G O 2 B 6/00 (2006.01)

G O 2 B 6/00 3 5 6 A

請求項の数 8 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2004-521176 (P2004-521176)	(73) 特許権者	000002130
(86) (22) 出願日	平成15年7月10日 (2003.7.10)		住友電気工業株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2003/008788		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	W02004/007383	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成16年1月22日 (2004.1.22)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成17年10月27日 (2005.10.27)	(74) 代理人	100089978
(31) 優先権主張番号	特願2002-201795 (P2002-201795)		弁理士 塩田 辰也
(32) 優先日	平成14年7月10日 (2002.7.10)	(74) 代理人	100092657
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		弁理士 寺崎 史朗
		(74) 代理人	100110582
			弁理士 柴田 昌聰
		(74) 代理人	100124291
			弁理士 石田 悟

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】

コア領域、及び前記コア領域の外周に設けられたクラッド領域を有する光ファイバ母材を線引炉によって加熱線引して光ファイバとする線引ステップと、

前記線引炉で線引された前記光ファイバを、前記線引炉の後段に設けられた熱処理炉によってアニールする熱処理ステップと、

前記熱処理炉でアニールされた前記光ファイバを、前記熱処理炉の後段に設けられた冷却手段へと700℃以上の温度で入線し、前記冷却手段によって強制冷却する冷却ステップとを備え、

前記熱処理ステップにおいて、前記光ファイバの冷却速度が2000℃/秒以下となる条件、及び、前記熱処理炉の長さをL (m)、前記光ファイバの線速をVf (m/秒)、前記熱処理炉の入口における前記光ファイバの粘度をηs (Pa・秒)、単位断面積当たりの前記光ファイバの張力をK (Pa)とし、緩和時間を $\tau = \eta s / K$ と定義したときに、アニール時間L/Vfが緩和時間τ以上となる条件を満たすアニール条件で前記光ファイバをアニールすることを特徴とする光ファイバの製造方法。

【請求項 2】

前記熱処理ステップにおいて、前記光ファイバを前記熱処理炉によって800℃以上1600℃以下の温度でアニールすることを特徴とする請求項1記載の光ファイバの製造方法。

【請求項 3】

10

20

前記熱処理ステップにおいて、前記光ファイバを前記熱処理炉によって1100℃以上1600℃以下の温度でアニールすることを特徴とする請求項1記載の光ファイバの製造方法。

【請求項4】

前記冷却ステップにおいて、前記光ファイバを前記冷却手段へと700℃以上1300℃以下の温度で入線することを特徴とする請求項1記載の光ファイバの製造方法。

【請求項5】

前記線引ステップ、前記熱処理ステップ、及び前記冷却ステップでの前記光ファイバの線速が300m/分以上であることを特徴とする請求項1記載の光ファイバの製造方法。

【請求項6】

前記熱処理ステップにおいて、前記光ファイバを前記熱処理炉によって0.03秒以上0.8秒以下の時間でアニールすることを特徴とする請求項1記載の光ファイバの製造方法。

【請求項7】

前記コア領域は、純SiO₂に対する%で表した比屈折率差[Ge]が条件[Ge] ≥ 0.3%を満たす添加量でGeが添加されていることを特徴とする請求項1記載の光ファイバの製造方法。

【請求項8】

前記クラッド領域は、それぞれ純SiO₂、Geが添加されたSiO₂、またはFが添加されたSiO₂のいずれかからなる1または複数のクラッド層を有することを特徴とする請求項1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、低伝送損失で光を伝送する光ファイバ、及びその製造方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光ファイバを用いた光の伝送において、光ファイバ内でのレイリー散乱によって生じるレイリー散乱損失や、光ファイバ内の構造の乱れによって生じる構造不整損失などの伝送損失が問題となる。これに対して、伝送損失を低減することが可能な光ファイバ、あるいはその製造方法が提案されている。

【0003】

例えば、文献「坂口、電子情報通信学会論文誌 2000/1 Vol. J83-C No. 1, pp. 30-36」に、線引後の光ファイバの徐冷によって、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減することが記載されている。すなわち、ガラス内でのレイリー散乱強度は材料によって一定に定まるものではなく、ガラス内での原子の配列状態の乱雑さを示す仮想的な温度である仮想温度T_f (Fictive Temperature) に依存する。具体的には、ガラス内の仮想温度T_fが高く（乱雑さが大きく）なると、レイリー散乱強度は増大する。

【0004】

これに対して、光ファイバ母材を加熱線引するときに、線引炉の後段に熱処理炉を設置しておき、線引後の光ファイバが熱処理炉を通過するときに所定の温度範囲内となるように加熱して、光ファイバをアニールする。このような光ファイバのアニールによって、線引後における光ファイバの急激な冷却が防止され、光ファイバが徐冷される。このとき、原子の再配列によるガラスの構造緩和によって、光ファイバ内の仮想温度T_fが低下して、光ファイバ内でのレイリー散乱強度が抑制される。

【0005】

上述したように、線引炉の後段に設けられた熱処理炉を用いて光ファイバをアニールすることにより、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減することができる。一方、このレ

10

20

30

40

50

レイリー散乱損失とは別に、コアにGe（ゲルマニウム）が添加された光ファイバにおいて、Geに起因する欠陥によって波長 $0.63\mu\text{m}$ での幅の広い損失ピークが増大することが知られている。

【0006】

このような波長 $0.63\mu\text{m}$ での損失は、Si-O欠陥、あるいは非架橋酸素ホールセンター（NBOHC）などの光ファイバ内での欠陥に起因して発生する（例えば、文献「花房、セラミックス21（1986）No. 9, pp. 860-868」参照）。そして、これらの光ファイバ内での欠陥は、水素雰囲気中でSi-O-Hとなるため、OH基に起因する波長 $1.38\mu\text{m}$ での損失ピークが増大する原因となる。また、特開昭60-186430号公報には、線引後の光ファイバを 600°C 以上でアニールすることにより、上記した波長 $0.63\mu\text{m}$ での損失が低減されることが記載されている。

10

【発明の開示】

【0007】

レイリー散乱損失を低減するとともに、良好な耐水素特性を有する光ファイバを製造するには、線引後の光ファイバに対して、仮想温度 T_f を低下させてレイリー散乱損失を低減するための高温でのアニールと、光ファイバ内での欠陥を減少させて波長 $0.63\mu\text{m}$ での損失を低減するための中温でのアニールとを行う必要がある。ここで、良好な耐水素特性を有する、ということは、水素雰囲気下でもOH基に起因する波長 $1.38\mu\text{m}$ での損失ピークが増大しないことをいう。

【0008】

20

しかしながら、このように広い温度範囲で光ファイバに対するアニールを行う場合、相当な長さのアニール用の熱処理炉が必要となり、線引炉及び熱処理炉を含む線引装置が大型化するという問題がある。また、線引時における光ファイバの線速をアニールのために低く設定しなくてはならず、光ファイバの生産性が低下する。

【0009】

本発明は、以上の問題点を解決するためになされたものであり、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバ、及び生産性の良い光ファイバの製造方法を提供することを目的とする。

【0010】

このような目的を達成するために、本発明による光ファイバの製造方法は、（１）コア領域、及びコア領域の外周に設けられたクラッド領域を有する光ファイバ母材を線引炉によって加熱線引して光ファイバとする線引ステップと、（２）線引炉で線引された光ファイバを、線引炉の後段に設けられた熱処理炉によってアニールする熱処理ステップと、（３）熱処理炉でアニールされた光ファイバを、熱処理炉の後段に設けられた冷却手段へと 700°C 以上の温度で入線し、冷却手段によって強制冷却する冷却ステップとを備え、（４）熱処理ステップにおいて、光ファイバの冷却速度が $2000^\circ\text{C}/\text{秒}$ 以下となる条件、及び、熱処理炉の長さを L （ m ）、光ファイバの線速を V_f （ $\text{m}/\text{秒}$ ）、熱処理炉の入口における光ファイバの粘度を η_s （ $\text{Pa}\cdot\text{秒}$ ）、単位断面積当たりの光ファイバの張力（張力／光ファイバ断面積、せん断応力）を K （ Pa ）とし、緩和時間を $\tau = \eta_s / K$ と定義したときに、アニール時間 L / V_f が緩和時間 τ 以上（ $L / V_f \geq \tau$ ）となる条件を満たすアニール条件で光ファイバをアニールすることを特徴とする。

30

40

【0011】

上記した光ファイバの製造方法においては、光ファイバ母材を加熱線引するときに、線引炉の後段に熱処理炉を設置する。そして、線引後の光ファイバが熱処理炉を通過するときに、光ファイバの冷却速度及びアニール時間が所定の条件を満たすように光ファイバをアニールしている。このように、熱処理炉を用いて光ファイバの徐冷を行うことにより、光ファイバ内の仮想温度 T_f を低下させて、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減することができる。

【0012】

また、アニールされた光ファイバに対して、熱処理炉の後段にさらに冷却手段を設置し

50

、この冷却手段によって光ファイバを強制冷却している。これにより、線引装置の長さが短縮されるなど、線引装置を全体として小型化することができる。また、線引時における光ファイバの線速を高くするなど、光ファイバを効率的に製造することが可能となる。

【0013】

また、この冷却手段による光ファイバの強制冷却について、冷却手段への光ファイバの入線温度を700℃以上の温度としている。これにより、波長0.63μmでの損失の増大、及び耐水素特性の劣化による波長1.38μmでの損失の増大の原因となる光ファイバ内でのSi-O欠陥やNbOHなどの欠陥を減少させることができる。以上より、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバを生産性良く製造することが可能となる。

10

【0014】

ここで、熱処理ステップにおいては、熱処理炉の炉温を800℃以上1600℃以下の範囲内での所定温度として光ファイバをアニールすることが好ましい。さらに、熱処理炉の炉温を1100℃以上1600℃以下の範囲内での所定温度として光ファイバをアニールすることがより好ましい。これにより、光ファイバでのレイリー散乱損失を十分に低減することができる。

【0015】

本発明による光ファイバは、(1)コア領域と、コア領域の外周に設けられたクラッド領域とを備え、コア領域は、純SiO₂に対する%で表した比屈折率差[Ge]が条件[Ge] ≥ 0.3%を満たす添加量でGeが添加されているとともに、(2)レイリー散乱係数A (dB/km・μm⁴)、及び波長1.00μmでの伝送損失α_{1.00} (dB/km)が、それぞれ次式で表される基準値A₀、及びα₀

20

$$A_0 = 0.85 + 0.29 [Ge]$$

$$\alpha_0 = 0.86 + 0.29 [Ge]$$

に対して97%以下であり、かつ、(3)波長1.38μmでの水素処理前後の伝送損失差Δα_{1.38}が0.15dB/km以下であることを特徴とする。

【0016】

上記した光ファイバにおいては、コアに所定の添加量でGeが添加された光ファイバにおいて、そのレイリー散乱係数A、及びレイリー散乱損失を含む伝送損失α_{1.00}が、通常の光ファイバでの値を示す基準値A₀、α₀よりも3%以上低減されて、97%以下の値となっている。さらに、光ファイバの耐水素特性に対する指標となる水素処理前後の伝送損失差Δα_{1.38}が、0.15dB/km以下に低減されている。これにより、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。このような光ファイバは、上述した製造方法によって製造することが可能である。

30

【0017】

ここで、クラッド領域は、それぞれ純SiO₂、Geが添加されたSiO₂、またはFが添加されたSiO₂のいずれかからなる1または複数のクラッド層を有することが好ましい。このような構成によれば、シングルモードファイバ、分散シフトファイバ、及び分散補償ファイバなど、様々な種類の光ファイバが得られる。

【図面の簡単な説明】

40

【0018】

図1は、光ファイバの製造方法、及び光ファイバの製造に用いられる線引装置の一実施形態を概略的に示す構成図である。

【0019】

図2は、光ファイバの第1実施形態での屈折率プロファイルを示すグラフである。

【0020】

図3は、光ファイバの実施例A1～A4における製造条件及び損失特性について示す表である。

【0021】

図4は、光ファイバの比較例B1～B5における製造条件及び損失特性について示す表

50

である。

【0022】

図5は、光ファイバの第2実施形態での屈折率プロファイルを示すグラフである。

【0023】

図6は、光ファイバの第3実施形態での屈折率プロファイルを示すグラフである。

【0024】

図7は、光ファイバの実施例C1～C3、及び比較例D1～D3における製造条件及び損失特性について示す表である。

【0025】

図8は、光ファイバの実施例E、及び比較例Fにおける光ファイバの製造時での温度変化について示す表である。

10

【0026】

図9は、線速400m/分としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。

【0027】

図10は、線速800m/分としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。

【0028】

図11は、線速1600m/分としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。

20

【0029】

図12は、線速3000m/分としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。

【0030】

図13は、線速800m/分としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、図面とともに本発明による光ファイバ、及びその製造方法の好適な実施形態について詳細に説明する。なお、図面の説明においては同一要素には同一符号を付し、重複する説明を省略する。また、図面の寸法比率は、説明のものと必ずしも一致していない。

30

【0032】

図1は、本発明による光ファイバの製造方法、及び光ファイバの製造に用いられる線引装置の一実施形態を概略的に示す構成図である。

【0033】

図1に示す線引装置1は、石英ガラス系の光ファイバを線引するために用いられる線引装置であり、線引炉11、徐冷用の熱処理炉21、及び冷却手段31を有して構成されている。これらの線引炉11、熱処理炉21、及び冷却手段31は、光ファイバ母材2を線引する方向（図1における上下方向）にこの順で設置されている。また、熱処理炉21及び冷却手段31の後段には、線引されたガラスファイバ3を樹脂によって被覆する樹脂被覆部40が設けられている。

40

【0034】

本線引装置1を用いた光ファイバの製造においては、まず、コア領域、及びコア領域の外周に設けられたクラッド領域を有して構成された光ファイバ母材2を準備し、母材供給装置（図示していない）に保持された光ファイバ母材2を線引炉11へと供給する。そして、線引炉11内のヒータ12によって光ファイバ母材2の下端を加熱して軟化させ、所定の線速で線引してガラスファイバ3とする（線引ステップ）。線引炉11の炉心管13には、不活性ガス供給部14からのガス供給通路15が接続されており、炉心管13内が不活性ガス雰囲気となるように構成されている。

【0035】

50

加熱線引されたガラスファイバ3は炉心管13内にて、例えば1700℃程度にまで不活性ガスにより急激に冷却される。その後、ガラスファイバ3は、炉心管13の下部から線引炉11外に出され、線引炉11と熱処理炉21との間にて空冷される。不活性ガスとしては、例えばN₂ガスを用いることができる。N₂ガスの熱伝導係数λ (T=300K)は26mW/(m・K)である。また、空気の熱伝導係数λ (T=300K)は26mW/(m・K)である。

【0036】

次に、線引され空冷されたガラスファイバ3を、線引炉11と樹脂被覆部40との間であって、線引炉11の後段の所定位置に設けられたアニール用の熱処理炉21に送る。そして、熱処理炉21内のヒータ22によってガラスファイバ3を所定温度でアニールする (熱処理ステップ)。この熱処理炉21では、光ファイバの冷却速度、アニール時間、及びアニール温度などのアニール条件が所定の条件を満たすようにガラスファイバ3をアニールする。

10

【0037】

具体的には、ガラスファイバ3の冷却速度については、冷却速度が2000℃/秒以下となる条件を満たすようにガラスファイバ3をアニールする。また、ガラスファイバ3のアニール時間については、熱処理炉21の長さをL (m)、ガラスファイバ3の線速をVf (m/秒)、熱処理炉21の入口におけるガラスファイバ3の粘度をηs (Pa・秒)、単位断面積当たりのガラスファイバ3の張力 (張力/光ファイバ断面積、せん断応力) をK (Pa) とし、緩和時間をτ=ηs/Kと定義したときに、アニール時間L/Vfが緩和時間τ以上 (L/Vf≥τ) となる条件を満たすようにガラスファイバ3をアニールする。

20

【0038】

なお、ガラスファイバ3の冷却速度は、熱処理炉21の入口 (アニールの開始時) におけるガラスファイバ3の温度をTs (℃)、熱処理炉21の出口 (アニールの終了時) におけるガラスファイバ3の温度をTe (℃) としたときに、冷却速度=(Ts-Te)×Vf/Lによって定義される。

【0039】

また、熱処理炉21では、上記したガラスファイバ3の冷却速度及びアニール時間についての条件が満たされるように、熱処理炉21の炉温となるヒータ22の温度を設定することが好ましい。具体的には、ヒータ22の温度を800℃以上1600℃以下の範囲内にある所定温度として、ガラスファイバ3のアニールを行うことが好ましい。あるいはさらに、ヒータ22の温度を1100℃以上1600℃以下の範囲内にある所定温度として、ガラスファイバ3のアニールを行うことが好ましい。

30

【0040】

熱処理炉21は、その中をガラスファイバ3が通過する炉心管23を有する。熱処理炉21の炉心管23には、N₂ガス供給部24からのガス供給通路25が接続されており、炉心管23内がN₂ガス雰囲気となるように構成されている。N₂ガスを用いる代わりに、空気あるいはArなどの分子量が比較的大きいガス等を用いることも可能である。ただし、炉心管がカーボン製である場合には、酸素を含まないガスを用いる必要がある。

40

【0041】

続いて、アニールされたガラスファイバ3を、線引炉11と樹脂被覆部40との間であって、熱処理炉21の後段の所定位置に設けられた強制冷却用の冷却手段31に送る。そして、冷却手段31によってガラスファイバ3を所定温度まで冷却する (冷却ステップ)。この冷却手段31は、熱処理炉21でアニールされたガラスファイバ3が、700℃以上の所定温度、好ましくは700℃以上1300℃以下の範囲内にある所定温度で冷却手段31へと入線されるように配置されている。

【0042】

冷却手段31は、その中をガラスファイバ3が通過する円筒状の管32を有する。また、円筒管32の側壁には、冷却ガス供給部34に接続された複数のノズル33が設けられ

50

ている。これにより、円筒管 3 2 中を通過するガラスファイバ 3 に対して冷却ガス供給部 3 4 からの冷却ガスが供給され、ガラスファイバ 3 が強制的に冷却される。冷却ガスとしては、好ましくは H e ガスが用いられる。

【0043】

冷却手段 3 1 を出たガラスファイバ 3 は、外径測定器 5 1 により外径がオンライン測定される。そして、その測定値がドラム 5 2 を回転駆動する駆動モータ 5 3 にフィードバックされて、外径が一定となるようにドラム 5 2 の回転が駆動制御される。外径測定器 5 1 からの出力信号は、制御手段としての制御ユニット 5 4 に送られる。制御ユニット 5 4 は、ガラスファイバ 3 の外径があらかじめ設定された所定値となるように、ドラム 5 2 及び駆動モータ 5 3 の回転速度を演算によって求める。

10

【0044】

制御ユニット 5 4 からは、演算によって求めたドラム 5 2 及び駆動モータ 5 3 の回転速度を示す出力信号が、駆動モータ用ドライバ（図示していない）に出力される。この駆動モータ用ドライバは、制御ユニット 5 4 からの出力信号に基づいて、駆動モータ 5 3 の回転速度を制御する。

【0045】

外径測定器 5 1 によって外径が測定されたガラスファイバ 3 は、2 段（タンデム）に構成された樹脂被覆部 4 0 へと入線される。まず、1 段目の樹脂被覆部において、外径測定器 5 1 を通過したガラスファイバ 3 に対し、コーティングダイス 4 1 により U V 樹脂 4 2 が塗布される。塗布された U V 樹脂 4 2 は、樹脂硬化部 4 3 の U V ランプ 4 4 からの紫外光によって硬化される。

20

【0046】

さらに、2 段目の樹脂被覆部において、樹脂硬化部 4 3 からのガラスファイバ 3 に対し、コーティングダイス 4 6 により U V 樹脂 4 7 が塗布される。塗布された U V 樹脂 4 7 は、樹脂硬化部 4 8 の U V ランプ 4 9 からの紫外光によって硬化される。これにより、ガラスファイバ 3 が樹脂によって被覆された光ファイバ素線 4 が形成される。そして、光ファイバ素線 4 は、ガイドローラ 5 6 を経て、ドラム 5 2 によって巻き取られる。ドラム 5 2 は、回転駆動軸 5 5 に支持されており、この回転駆動軸 5 5 の端部は駆動モータ 5 3 に接続されている。

【0047】

なお、線引炉 1 1 の炉心管 1 3 には、上述したように不活性ガス供給部 1 4 からのガス供給通路 1 5 が接続されており、炉心管 1 3 内が不活性ガス雰囲気となるように構成されている。これに対して、不活性ガス供給部 1 4 として N₂ ガス供給部を設け、炉心管 1 3 内に N₂ ガスを供給して N₂ ガス雰囲気となるように構成しても良い。また、H e ガス供給部と N₂ ガス供給部とを併設し、線速に応じて炉心管 1 3 内に H e ガスまたは N₂ ガスを供給する構成としても良い。

30

【0048】

上述した実施形態の光ファイバの製造方法による効果について説明する。

【0049】

図 1 に示した光ファイバの製造方法では、光ファイバ母材 2 を加熱線引するときに、線引炉 1 1 の後段に熱処理炉 2 1 を設置する。そして、線引後のガラスファイバ 3 が熱処理炉 2 1 を通過するときに、ガラスファイバ 3 の冷却速度及びアニール時間が所定の条件を満たすようにガラスファイバ 3 をアニールしている。このように、熱処理炉 2 1 を用いて光ファイバの徐冷を行うことにより、光ファイバ内の仮想温度 T_f を低下させて、光ファイバでのレイリー散乱損失を低減することができる。

40

【0050】

また、熱処理炉 2 1 でアニールされたガラスファイバ 3 に対して、熱処理炉 2 1 の後段にさらに冷却手段 3 1 を設置し、この冷却手段 3 1 によってガラスファイバ 3 を強制冷却している。これにより、熱処理炉 2 1 を出たガラスファイバを数 10 °C まで冷却するのに必要なパスライン長が短縮される。こうして、線引炉 1 1 及び熱処理炉 2 1 を含む線引装

50

置 1 の長さ（線引装置の高さ）が短縮されるので、図 1 に示した構成の線引装置 1 を全体として小型化することができる。

【0051】

例えば、線引炉 1 1 及び熱処理炉 2 1 の後段に樹脂被覆部 4 0 が設置されている構成では、ガラスファイバ 3 を樹脂によって被覆するときに、ガラスファイバ 3 が十分に冷却されている必要がある。これに対して、図 1 に示した線引装置 1 では、冷却手段 3 1 でガラスファイバ 3 を適当な温度まで冷却することができる。また、線引時におけるガラスファイバ 3 の線速（線引速度）を高くするなど、ガラスファイバ 3 及び光ファイバ素線 4 を効率的に製造することが可能となる。

【0052】

また、この冷却手段 3 1 によるガラスファイバ 3 の強制冷却について、冷却手段 3 1 へのガラスファイバ 3 の入線温度を 700℃以上の温度としている。これにより、波長 0.63 μm での損失の増大、及び耐水素特性の劣化による波長 1.38 μm での損失の増大の原因となる光ファイバ内での Si-O 欠陥や NBOHC などの欠陥を減少させることができる。以上より、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有するガラスファイバ 3 を生産性良く製造することが可能となる。

【0053】

ここで、ガラスファイバ 3 のアニールにおいては、熱処理炉 2 1 の炉温を 800℃以上 1600℃以下の範囲内の所定温度としてガラスファイバ 3 をアニールすることが好ましい。さらに、熱処理炉 2 1 の炉温を 1100℃以上 1600℃以下の範囲内の所定温度としてガラスファイバ 3 をアニールすることがより好ましい。これにより、ガラスファイバ 3 でのレイリー散乱損失を十分に低減することができる。

【0054】

また、アニール開始時のガラスファイバ 3 の温度 T_s については、いったん温度が下がってからアニールすると、アニールの効果を出すために要する時間が長くなることから、1400℃以上 1600℃以下の温度とすることが好ましい。このガラスファイバ 3 の熱処理炉 2 1 への入線温度は、ガラスファイバの具体的な構成に応じて設定すると良い。

【0055】

一方、冷却手段 3 1 へのガラスファイバ 3 の入線温度は、700℃以上 1300℃以下の範囲内の所定温度とすることが好ましい。これにより、ガラスファイバ 3 内での欠陥の確実な減少と、ガラスファイバ 3 の効率的な強制冷却とを、好適に両立することができる。

【0056】

また、線引炉 1 1 による線引、熱処理炉 2 1 によるアニール、及び冷却手段 3 1 による強制冷却においては、ガラスファイバ 3 の線速を 300m/分以上とすることが好ましい。このように、線引時でのガラスファイバ 3 の線速を比較的高い線速とすることにより、ガラスファイバ 3 の生産性を向上することができる。

【0057】

また、熱処理炉 2 1 によるガラスファイバ 3 のアニールについては、0.03 秒以上 0.8 秒以下のアニール時間でアニールを行うことが好ましい。このような範囲内の所定時間でガラスファイバ 3 のアニールを行うことにより、ガラスファイバ 3 でのレイリー散乱損失を十分に低減することができる。

【0058】

次に、本発明による光ファイバについて説明する。なお、以下に示す光ファイバは、上述した製造方法によって好適に製造することが可能である。

【0059】

図 2 は、本発明による光ファイバの第 1 実施形態について、その屈折率プロファイルを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は光ファイバ内の各部位の中心軸からみた位置を示している。また、縦軸は光ファイバ内の各部位での純 SiO₂ に対する比屈折率差（%）を示している。

【0060】

本実施形態の光ファイバは、コア領域100と、コア領域100の外周に設けられたクラッド領域110とを備える。コア領域100は、光ファイバの中心軸を含んだ半径 r_0 の層として形成されている。また、このコア領域100は、所定の添加量でGeが添加された SiO_2 からなる。

【0061】

具体的には、コア領域100には、純 SiO_2 に対する%で表した比屈折率差 $[\text{Ge}]$ によってGeの添加量を表したときに、条件

$$[\text{Ge}] \geq 0.3\%$$

を満たす添加量でGeが添加されている。これにより、コア領域100の比屈折率差 Δn_0 は、 $\Delta n_0 = [\text{Ge}] > 0$ となっている。 10

【0062】

また、クラッド領域110は、本実施形態では、1層のクラッド層111から構成されている。クラッド層111は、コア領域100の外周に設けられた半径 r_1 の層として形成されている。また、このクラッド層111は、純 SiO_2 からなる。これにより、クラッド層111の比屈折率差 Δn_1 は、 $\Delta n_1 = 0$ となっている。

【0063】

このような構成において、本光ファイバは、光ファイバで発生するレイリー散乱損失についてのレイリー散乱係数 A ($\text{dB}/\text{km} \cdot \mu\text{m}^4$)、及び波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ (dB/km) が、それぞれ次式で表される基準値 A_0 、及び α_0 20

$$A_0 = 0.85 + 0.29 [\text{Ge}]$$

$$\alpha_0 = 0.86 + 0.29 [\text{Ge}]$$

に対して97%以下となるように形成されている。さらに、本光ファイバは、波長 $1.38 \mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ が $0.15 \text{ dB}/\text{km}$ 以下となるように形成されている。ここで、 A_0 は、例えば $[\text{Ge}] = 0.35\%$ であれば、 $A_0 = 0.85 + 0.29 \times 0.35 = 0.95$ である。

【0064】

図2に示した光ファイバでは、そのコア領域100に対して、条件 $[\text{Ge}] \geq 0.3\%$ を満たす添加量でGeが添加されている。このようにコアにGeが添加された光ファイバでは、Geに起因して光ファイバ内での $\text{Si}-\text{O}$ 欠陥や NBOHC などの欠陥が発生しやすい。そして、これらの欠陥は、上述したように、波長 $0.63 \mu\text{m}$ での損失の増大、及び耐水素特性の劣化による波長 $1.38 \mu\text{m}$ での損失の増大の原因となる。 30

【0065】

これに対して、上記した光ファイバでは、コア領域100にGeが添加された光ファイバにおいて、そのレイリー散乱係数 A 、及びレイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.00}$ が、通常の光ファイバでの値を示す基準値 A_0 、 α_0 よりも3%以上低減されて、97%以下の値となっている。さらに、後述するように光ファイバ内に発生している欠陥の量に依存し、光ファイバの耐水素特性に対する指標となる水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ が、 $0.15 \text{ dB}/\text{km}$ 以下に低減されている。これにより、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。 40

【0066】

ここで、コア領域100の外周に設けられるクラッド領域110については、図2に示した構成では純 SiO_2 からなる1層のクラッド層111を有する構成としたが、一般には、それぞれ純 SiO_2 、Geが添加された SiO_2 、またはFが添加された SiO_2 のいずれかからなる1層または複数層のクラッド層を有する構成とすることが好ましい。

【0067】

このような構成によれば、シングルモードファイバ (SMF: Single Mode Fiber)、分散シフトファイバ (DSF: Dispersion Shift Fiber)、及び分散補償ファイバ (DCF: Dispersion Compensation Fiber) など、様々な種類の光ファイバを、良好な特性によって生産性良 50

く製造することができる。

【0068】

上述した光ファイバの各特性条件について、さらに説明する。本実施形態の光ファイバでは、レイリー散乱損失等の低減効果を評価するための指標として、レイリー散乱係数A、及び波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を用い、これらのレイリー散乱係数A、及び伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を、通常の値を示す基準値 A_0 、 α_0 よりも3%以上低減された、97%以下の値としている。

【0069】

光ファイバでの波長 λ における伝送損失 α_λ (dB/km)は、レイリー散乱損失と、それ以外の構造不整損失などの伝送損失成分により、一般に次式

$$\alpha_\lambda = A/\lambda^4 + B + C(\lambda)$$

で表される。このうち、第1項 A/λ^4 (dB/km)がレイリー散乱損失を示しており、その係数Aがレイリー散乱係数 (dB/km $\cdot\mu\text{m}^4$)である。上式より、レイリー散乱損失はレイリー散乱係数Aに比例しており、したがって、レイリー散乱係数Aが基準値から3%低減されれば、レイリー散乱損失が3%低減されることとなる。

【0070】

ここで、熱処理炉による光ファイバのアニール等を行わない通常の製造方法によって得られる光ファイバでは、コア領域へのGeの添加量を上述した[Ge]で表したとき、レイリー散乱係数A (dB/km $\cdot\mu\text{m}^4$)の値は、次式

$$A_0 = 0.85 + 0.29[\text{Ge}]$$

となる。したがって、この通常での値 A_0 をレイリー散乱係数Aの基準値とすることができる。このとき、得られた光ファイバでのレイリー散乱係数Aが、基準値 A_0 から3%以上低減されていれば良い。

【0071】

また、レイリー散乱損失を含む全体の伝送損失を評価するため、波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を指標としても良い。波長 $1.00\mu\text{m}$ では、上記した伝送損失 α_λ の表式中、 $B + C(\lambda)$ はほぼ0.01であり、したがって、通常の製造方法で得られる光ファイバでは、伝送損失 $\alpha_{1.00}$ (dB/km)の値は、次式

$$\begin{aligned}\alpha_0 &= A_0 + 0.01 \\ &= 0.86 + 0.29[\text{Ge}]\end{aligned}$$

となる。したがって、この通常での値 α_0 を伝送損失 $\alpha_{1.00}$ の基準値とすることができる。このとき、得られた光ファイバでの伝送損失 $\alpha_{1.00}$ が、基準値 α_0 から3%以上低減されることが好ましい。

【0072】

このように、レイリー散乱係数A、または伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を指標として用いることによって、レイリー散乱損失、あるいはレイリー散乱損失を含む全体の伝送損失の低減効果を確実に得ることが可能となる。また、上記した基準値 A_0 、 α_0 のそれぞれの表式によれば、表式中に、コアへのGeの添加量に関する変数[Ge]が含まれている。したがって、Geの添加量に応じた伝送損失の評価が可能である。

【0073】

なお、レイリー散乱係数Aについては、上式より、伝送損失の波長依存性のデータ（例えば $1/\lambda^4$ プロットでの傾き）から求めることができる。また、全体の伝送損失を評価する指標として、波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ を用いているが、これは、 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失の値が、光伝送に用いられる $1.55\mu\text{m}$ の波長帯域などに比べて大きく、1~10km程度の比較的短い光ファイバサンプルで、十分な精度で評価できるためである。

【0074】

また、光ファイバの波長 $1.00\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ と、波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ とは一定の関係を有して対応しており、伝送損失 $\alpha_{1.00}$ で低減効果を評価することによって、伝送損失 $\alpha_{1.55}$ についても、同様にその低減を確認す

10

20

30

40

50

ることができる。具体的な対応関係としては、波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ は、上記したように

$$\alpha_{1.00} = A + 0.01$$

で表されるが、この表式に相当する波長 $1.55 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ の表式は、次式

$$\alpha_{1.55} = A \times 0.17325 + 0.025$$

である。

【0075】

次に、上述した光ファイバでの伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ に対する特性条件について説明する。本実施形態の光ファイバでは、光ファイバの耐水素特性に対する指標として、波長 $1.38 \mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を用い、この伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を、 0.15 dB/km 以下の値としている。

【0076】

コア領域に Ge が添加された構成の光ファイバでは、上述したように、Ge に起因する Si-O 欠陥、NBOHC などの欠陥によって、波長 $0.63 \mu\text{m}$ での幅の広い損失ピークが増大する。これらの欠陥は、水素雰囲気中で Si-O-H なり、OH 基による波長 $1.38 \mu\text{m}$ での損失の増大の原因となる。

【0077】

したがって、この波長 $1.38 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.38}$ について、水素処理前と水素処理後との伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を求めることにより、線引後の光ファイバに発生している欠陥について評価することができる。そして、この伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を 0.15 dB/km 以下とすることにより、良好な耐水素特性を有する光ファイバを得ることができる。

【0078】

ここで、水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ については、具体的には、窒素 99% : 水素 1% の水素雰囲気中において、温度 80°C で 20 時間の水素処理を行う。そして、水素処理前の光ファイバに対して得られた波長 $1.38 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.38}$ と、水素処理後の光ファイバに対して得られた伝送損失 $\alpha_{1.38}$ との差である損失の増大分から、耐水素特性の指標となる伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ を求めている。水素処理前の光ファイバでの欠陥の発生が抑制されれば、伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ は低減される。

【0079】

本発明による光ファイバ、及びその製造方法による伝送損失の低減効果、及び耐水素特性の向上効果について、具体的な実施例及び比較例とともに説明する。なお、以下に示す実施例での光ファイバでは、いずれも図 1 に示した構成の線引装置 1 を用いて製造することとしている。

【0080】

図 3 は、本発明による光ファイバの実施例 A1 ~ A4 における製造条件、及びその損失特性について示す表である。ここでは、製造される光ファイバとして、図 2 に示した構成を有する Ge 添加シングルモードファイバ (Ge-SM) を想定している。具体的には、Ge が添加された SiO_2 からなるコア領域 100 の外径を $2r_0 = 8 \mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0 = [\text{Ge}] = 0.35\%$ 、純 SiO_2 からなるクラッド層 111 の外径を $2r_1 = 125 \mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1 = 0\%$ に設定している。

【0081】

また、その製造条件については、光ファイバ 3 を強制冷却する冷却手段 31 としては、直径 6 mm 、長さ 4 m のものを用い、また、冷却ガスとして He ガスを 20 l/分 (20 slm) の流量で供給している。また、光ファイバ 3 を線引する線速を 400 m/分 としている。また、熱処理炉 21 における光ファイバ 3 のアニール温度 ($^\circ\text{C}$)、及び冷却手段 31 への光ファイバ 3 の入線温度 ($^\circ\text{C}$) は、各実施例について図 3 の表中に示す通りである。なお、光ファイバのアニール条件については、上述した冷却速度を 2000°C/秒 以下とする条件、及びアニール時間 L/V_f を緩和時間 τ 以上とする条件を満たすように設

10

20

30

40

50

定している。

【0082】

また、図3の表には、各実施例での光ファイバの損失特性として、波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ (dB/km)、及び波長 $0.63\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{0.63}$ (dB/km)を示している。これらの損失値は、いずれも光ファイバに対して水素処理を行う前のものである。

【0083】

これらの損失値のうち、波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ は、熱処理炉21で線引後の光ファイバ3をアニールすることによるレイリー散乱損失の低減効果を主に示している。また、波長 $0.63\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{0.63}$ は、アニール後の光ファイバ3の冷却手段31での強制冷却等による光ファイバ内での欠陥の低減効果を示している。

10

【0084】

この伝送損失 $\alpha_{0.63}$ が増大する原因となる光ファイバ内での欠陥は、上述したように、光ファイバに対して水素処理を行った後において、波長 $1.38\mu\text{m}$ での損失の増大の原因となるものである。

【0085】

図3の表に示した実施例A1～A4のうち、実施例A1では、熱処理炉でのアニール温度を 1100°C 、冷却手段への入線温度を 700°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.185\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 6\text{ dB/km}$ となっている。また、実施例A2では、熱処理炉でのアニール温度を 1400°C 、冷却手段への入線温度を 1000°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.180\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 6\text{ dB/km}$ となっている。

20

【0086】

また、実施例A3では、熱処理炉でのアニール温度を 1550°C 、冷却手段への入線温度を 1200°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.182\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 7\text{ dB/km}$ となっている。また、実施例A4では、熱処理炉でのアニール温度を 1550°C 、冷却手段への入線温度を 1300°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.182\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 9\text{ dB/km}$ となっている。

【0087】

これらの実施例では、熱処理炉でのアニール温度が、いずれも 1100°C 以上 1600°C 以下の範囲内の温度となっている。これにより、光ファイバでのレイリー散乱損失が低減されて、レイリー散乱損失を含む波長 $1.55\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が低減されている。また、冷却手段への入線温度が、いずれも 700°C 以上の範囲内の温度となっている。これにより、光ファイバ内での欠陥が減少されて、欠陥に起因する波長 $0.63\mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{0.63}$ が低減されている。

30

【0088】

一方、図4は、光ファイバの比較例B1～B5における製造条件、及びその損失特性について示す表である。ここでは、製造される光ファイバとして、図2に示した構成を有する実施例A1～A4と同様のGe添加シングルモードファイバ (Ge-SM) を想定している。

40

【0089】

図4の表に示した比較例B1～B5のうち、比較例B1では、熱処理炉でのアニールを行わず、冷却手段への入線温度を 1000°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.190\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 12\text{ dB/km}$ となっている。ここでは、光ファイバをアニールしていないために、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。また、光ファイバ内での欠陥に起因する伝送損失 $\alpha_{0.63}$ も大きくなっている。

【0090】

また、比較例B2では、熱処理炉でのアニールを行わず、冷却手段への入線温度を 500°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.190\text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} =$

50

$\alpha_3 = 6 \text{ dB/km}$ となっている。ここでは、光ファイバをアニールしていないために、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。ただし、冷却手段への入線温度が低いため、伝送損失 $\alpha_{0.63}$ は低くなっている。

【0091】

また、比較例B3では、熱処理炉でのアニール温度を 900°C 、冷却手段への入線温度を 500°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.189 \text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 6 \text{ dB/km}$ となっている。ここでは、光ファイバのアニール温度が低いため、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。ただし、冷却手段への入線温度が低いため、伝送損失 $\alpha_{0.63}$ は低くなっている。

【0092】

また、比較例B4では、熱処理炉でのアニール温度を 1100°C 、冷却手段への入線温度を 500°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.185 \text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 6 \text{ dB/km}$ となっている。ここでは、光ファイバのアニール温度が比較的高く、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ がある程度低減されている。また、冷却手段への入線温度も低く、伝送損失 $\alpha_{0.63}$ も低くなっており、損失特性については、良好な特性の光ファイバが得られている。しかしながら、このように冷却手段への入線温度を 500°C と低くする場合、熱処理炉と冷却手段との間で光ファイバを十分に空冷しなくてはならず、線引装置を全体として小型化することができない。

【0093】

また、比較例B5では、熱処理炉でのアニール温度を 1650°C 、冷却手段への入線温度を 1300°C に設定しており、得られた伝送損失は $\alpha_{1.55} = 0.188 \text{ dB/km}$ 、 $\alpha_{0.63} = 10 \text{ dB/km}$ となっている。ここでは、光ファイバのアニール温度が高過ぎるために、レイリー散乱損失を含む伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が大きくなっている。また、光ファイバ内での欠陥に起因する伝送損失 $\alpha_{0.63}$ も大きくなっている。

【0094】

以上の実施例A1～A4、及び比較例B1～B5より、熱処理炉による光ファイバのアニール温度を 1100°C 以上 1600°C 以下の温度とし、かつ、冷却手段への光ファイバの入線温度を 700°C 以上の温度、好ましくは、 700°C 以上 1300°C 以下の温度とすることにより、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。さらに、線引装置を小型化して、生産性良く光ファイバを製造することが可能となる。

【0095】

本発明による光ファイバについてさらに説明する。

【0096】

図5は、光ファイバの第2実施形態について、その屈折率プロファイルを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は光ファイバ内の各部位の中心軸からみた位置を示している。また、縦軸は光ファイバ内の各部位での純 SiO_2 に対する比屈折率差(%)を示している。

【0097】

本実施形態の光ファイバは、コア領域200と、コア領域200の外周に設けられたクラッド領域210とを備える。コア領域200は、光ファイバの中心軸を含んだ半径 r_0 の層として形成されている。また、このコア領域200は、上述した条件

$$[\text{Ge}] \geq 0.3\%$$

を満たす添加量でGeが添加された SiO_2 からなる。これにより、コア領域200の比屈折率差 Δn_0 は、 $\Delta n_0 = [\text{Ge}] > 0$ となっている。

【0098】

また、クラッド領域210は、本実施形態では、2層のクラッド層211、212から構成されている。内側の第1クラッド層211は、コア領域200の外周に設けられた半径 r_1 の層として形成されている。また、このクラッド層211は、Geが所定の添加量で添加された SiO_2 からなる。これにより、クラッド層211の比屈折率差 Δn_1 は、

$\Delta n_1 > 0$ となっている。

【0099】

また、外側の第2クラッド層212は、第1クラッド層211の外周に設けられた半径 r_2 の層として形成されている。また、このクラッド層212は、純 SiO_2 からなる。これにより、クラッド層212の比屈折率差 Δn_2 は、 $\Delta n_2 = 0$ となっている。

【0100】

なお、レイリー散乱係数 A 、波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ 、及び波長 $1.38 \mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ については、図2に示した第1実施形態の光ファイバについて上述した特性条件と同様である。また、このような構成の光ファイバは、例えば分散シフトファイバ (DSF) に好適に適用することが可能である。

10

【0101】

図6は、光ファイバの第3実施形態について、その屈折率プロファイルを示すグラフである。このグラフにおいて、横軸は光ファイバ内の各部位の中心軸からみた位置を示している。また、縦軸は光ファイバ内の各部位での純 SiO_2 に対する比屈折率差 (%) を示している。

【0102】

本実施形態の光ファイバは、コア領域300と、コア領域300の外周に設けられたクラッド領域310とを備える。コア領域300は、光ファイバの中心軸を含んだ半径 r_0 の層として形成されている。また、このコア領域300は、上述した条件

$$[\text{Ge}] \geq 0.3\%$$

20

を満たす添加量で Ge が添加された SiO_2 からなる。これにより、コア領域300の比屈折率差 Δn_0 は、 $\Delta n_0 = [\text{Ge}] > 0$ となっている。

【0103】

また、クラッド領域310は、本実施形態では、2層のクラッド層311、312から構成されている。内側の第1クラッド層311は、コア領域300の外周に設けられた半径 r_1 の層として形成されている。また、このクラッド層311は、 F が所定の添加量で添加された SiO_2 からなる。これにより、クラッド層311の比屈折率差 Δn_1 は、 $\Delta n_1 < 0$ となっている。

【0104】

また、外側の第2クラッド層312は、第1クラッド層311の外周に設けられた半径 r_2 の層として形成されている。また、このクラッド層312は、純 SiO_2 からなる。これにより、クラッド層312の比屈折率差 Δn_2 は、 $\Delta n_2 = 0$ となっている。

30

【0105】

なお、レイリー散乱係数 A 、波長 $1.00 \mu\text{m}$ での伝送損失 $\alpha_{1.00}$ 、及び波長 $1.38 \mu\text{m}$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1.38}$ については、図2に示した第1実施形態の光ファイバについて上述した特性条件と同様である。また、このような構成を有する光ファイバは、例えば分散補償ファイバ (DCF) に好適に適用することが可能である。

【0106】

図2、図5、及び図6に示した各実施形態の光ファイバにおける伝送損失の低減効果、及び耐水素特性の向上効果について、具体的な実施例及び比較例とともに説明する。

40

【0107】

図7は、光ファイバの実施例C1～C3、及び比較例D1～D3における製造条件、及びその損失特性について示す表である。

【0108】

ここで、実施例C1及び比較例D1では、製造される光ファイバとして、図2に示した構成を有する Ge 添加シングルモードファイバ (Ge-SM) を想定している。具体的には、 Ge が添加された SiO_2 からなるコア領域100の外径を $2r_0 = 8 \mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0 = [\text{Ge}] = 0.35\%$ 、純 SiO_2 からなるクラッド層111の外径を $2r_1 = 12.5 \mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1 = 0\%$ に設定している。

50

【0109】

また、実施例C2及び比較例D2では、光ファイバとして、図5に示した構成を有する分散シフトファイバ(DSF)を想定している。具体的には、Geが添加されたSiO₂からなるコア領域200の外径を $2r_0 = 6\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0 = [\text{Ge}] = 0.6\%$ 、Geが添加されたSiO₂からなる第1クラッド層211の外径を $2r_1 = 40\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1 = 0.1\%$ 、純SiO₂からなる第2クラッド層212の外径を $2r_2 = 125\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_2 = 0\%$ に設定している。

【0110】

また、実施例C3及び比較例D3では、光ファイバとして、図6に示した構成を有する分散補償ファイバ(DCF)を想定している。具体的には、Geが添加されたSiO₂からなるコア領域300の外径を $2r_0 = 4\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_0 = [\text{Ge}] = 1.5\%$ 、Fが添加されたSiO₂からなる第1クラッド層311の外径を $2r_1 = 8\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_1 = -0.4\%$ 、純SiO₂からなる第2クラッド層312の外径を $2r_2 = 125\mu\text{m}$ 、比屈折率差を $\Delta n_2 = 0\%$ に設定している。

【0111】

また、その製造条件については、実施例C1～C3では、熱処理炉における光ファイバのアニール温度を1400℃、冷却手段への光ファイバの入線温度を1000℃とする実施例A2(図3参照)での製造条件を用いている。また、比較例D1～D3では、熱処理炉における光ファイバのアニールを行わず、冷却手段への光ファイバの入線温度を1000℃とする比較例B1(図4参照)での製造条件を用いている。また、光ファイバの線速等については、図3及び図4の場合と同様である。なお、実施例C1～C3での光ファイバのアニール条件については、上述した冷却速度を2000℃/秒以下とする条件、及びアニール時間L/Vfを緩和時間 τ 以上とする条件を満たすように設定している。

【0112】

また、図7の表には、各実施例及び比較例での光ファイバの損失特性として、波長1.55 μm での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ (dB/km)、及び波長1.38 μm での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ (dB/km)を示している。ここで、波長1.38 μm での伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ は、図3に示した波長0.63 μm での伝送損失 $\alpha_{0.63}$ と同様に、アニール後の光ファイバの冷却手段での強制冷却等による光ファイバ内での欠陥の低減効果を示している。

【0113】

図7の表に示した実施例C1～C3では、伝送損失はそれぞれ $\alpha_{1.55} = 0.180$ 、 0.188 、 0.228 となっている。これらの値では、コアに添加されているGeの添加量に応じて伝送損失が増加しているものの、熱処理炉でのアニールによって光ファイバでのレイリー散乱損失が低減されて、レイリー散乱損失を含む波長1.55 μm での伝送損失 $\alpha_{1.55}$ が低減されている。

【0114】

また、伝送損失差はそれぞれ $\Delta\alpha_{1.38} = 0.05$ 、 0.07 、 0.11 となっている。これらの値では、冷却手段への入線温度の設定等によって光ファイバ内での欠陥が減少されて、欠陥に起因する波長1.38 μm での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta\alpha_{1.38}$ が 0.15 dB/km 以下に低減されている。

【0115】

一方、比較例D1～D3では、伝送損失はそれぞれ $\alpha_{1.55} = 0.190$ 、 0.200 、 0.245 、また、伝送損失差はそれぞれ $\Delta\alpha_{1.38} = 0.2$ 、 0.3 、 0.6 となっている。これらの値は、いずれも対応する実施例C1～C3での値よりも大きくなっており、光ファイバの損失特性、及び耐水素特性が劣化している。

【0116】

以上の実施例C1～C3、及び比較例D1～D3より、熱処理炉による光ファイバのアニール温度を1100℃以上1600℃以下の温度とし、かつ、冷却手段への光ファイバの入線温度を700℃以上の温度とすることにより、図2、図5、及び図6にそれぞれ示

10

20

30

40

50

した構成を有する光ファイバのいずれにおいても、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られることがわかる。

【0117】

図8は、光ファイバの実施例E、及び比較例Fにおける光ファイバの製造時での温度変化について示す表である。この表では、熱処理炉の出口からの距離に対する光ファイバの温度変化(°C)を示している。

【0118】

具体的には、実施例E及び比較例Fでは、熱処理炉の入口での光ファイバの温度を1600°C、光ファイバの線速を1200m/分、熱処理炉の長さを2m、アニール温度を1200°C、アニール時間を0.1秒に設定している。また、実施例Eでは、熱処理炉の出口からの距離が2m～3mの範囲において、光ファイバに対してHe冷却手段による強制冷却を行っている。また、実施例E及び比較例Fでは、図2に示した構成を有するGe添加シングルモードファイバを想定している。ガラスファイバの直径は125μmである。また、この条件では、緩和時間τは約0.05秒であり、アニール時間はそれよりも長くなっている。

【0119】

また、光ファイバの温度変化については、Paekの式

$$\theta = \exp \left\{ - \left[(4h) / (\rho C_p V) \right] S \right\}$$

または、この式を書き換えた次式

$$\theta = \exp \left\{ - \left[(4h) / (\rho C_p d) \right] t \right\}$$

を用いて計算している。ここで、hは熱伝達係数、ρは密度、C_pは比熱、Vは光ファイバの線速、dは光ファイバの直径、tは経過時間である。

【0120】

また、θ及びSは、次式

$$\theta = (T - T_0) / (T_s - T_0)$$

$$S = z / d$$

によって表される。ここで、Tは温度、T_sは軟化温度、T₀は雰囲気温度、zは位置である(文献「U. C. Paek et. al., Journal of The American Ceramic Society Vol. 58, No. 7-8, pp. 330-335」を参照)。

【0121】

図8の表において、実施例E及び比較例Fともに、熱処理炉の出口での光ファイバの温度は1499°C、出口から1mでは1299°C、2mでは1125°Cとなっている。そして、この後段において、He冷却手段によって強制冷却を行っている実施例Eでは、出口から3mで光ファイバの温度が600°C以下の553°Cとなっているのに対し、強制冷却を行わない比較例Fでは、出口から7mで600°C以下の554°Cとなっている。

【0122】

すなわち、この例では、熱処理炉の後段に冷却手段を設置したことにより、光ファイバの温度を600°C以下まで低減するための線引装置の長さを4m短縮することができ、線引装置を大幅に小型化することが可能となっている。これにより、線引装置の建設費用を低減することができる。また、線引時における光ファイバの線速を高くするなど、光ファイバの生産性を向上することができる。

【0123】

このような効果は、特に、線引時における光ファイバの線速が高い場合に顕著となる。例えば、図8に示した例では、線速1200m/分で4mのスペース短縮が可能となっている。このことから、光ファイバの線速が300m/分以上であれば、線引装置のスペースを1m以上短縮することができる。

【0124】

また、熱処理炉による光ファイバのアニール時間については、長さ1mの熱処理炉では、光ファイバの線速を300～1800m/分とすれば、アニール時間は0.2～0.0

10

20

30

40

50

3秒となる。また、長さ4mの熱処理炉では、アニール時間は0.8～0.13秒となる。したがって、このような条件では、熱処理炉によるアニール時間を0.03秒以上0.8秒以下とすることが好ましい。

【0125】

本発明による光ファイバの製造方法での光ファイバのアニールによる伝送損失の低減効果について、実施例とともにさらに説明する。

【0126】

以下に示す実施例においては、光ファイバとして、実施例A1～A4と同様のGe添加シングルモードファイバを想定し、熱処理炉の入口での光ファイバの温度を $T_s = 1500^\circ\text{C}$ とするとともに、光ファイバの線速 V_f 及び熱処理炉の長さ L を変えて、光ファイバの温度変化、冷却速度、及び得られるアニール効果について調べた。この光ファイバの構成及び熱処理炉への入線温度において、光ファイバの緩和時間は $\tau = 0.12$ 秒（ K は約80MPa）である。

【0127】

また、光ファイバの温度変化については、前述のPeakの式を用いて計算により求め、熱処理炉内の各位置、及び熱処理炉の後段にある冷却手段の入口での光ファイバの温度（ $^\circ\text{C}$ ）と、それから求められる熱処理炉での冷却速度（ $^\circ\text{C}/\text{秒}$ ）とを表中に示した。また、アニール効果については、アニールなしの場合と比較してレイリー散乱係数が3%以上低減される場合を効果あり（表中の○）、それ以外を効果なし（表中の×）とした。

【0128】

図9は、光ファイバの線速を $V_f = 400\text{m}/\text{分}$ としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。図9に示す例では、熱処理炉の長さを $L = 2\text{m}$ 、熱処理炉と冷却手段との距離を0.3mに設定し、熱処理炉の設定温度を 1300°C 、 1000°C 、 800°C 、 500°C 、及び 20°C とした各条件について光ファイバの温度変化、及び得られるアニール効果を調べた。このとき、アニール時間は $L/V_f = 0.30$ 秒であり、条件 $L/V_f \geq \tau$ を満たしている。

【0129】

図10は、光ファイバの線速を $V_f = 800\text{m}/\text{分}$ としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。図10に示す例では、熱処理炉の長さを $L = 2\text{m}$ 、熱処理炉と冷却手段との距離を1.2mに設定し、熱処理炉の設定温度を 1300°C 、 1000°C 、 800°C 、 500°C 、及び 20°C とした各条件について光ファイバの温度変化、及び得られるアニール効果を調べた。このとき、アニール時間は $L/V_f = 0.15$ 秒であり、条件 $L/V_f \geq \tau$ を満たしている。

【0130】

図11は、光ファイバの線速を $V_f = 1600\text{m}/\text{分}$ としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。図11に示す例では、熱処理炉の長さを $L = 3.5\text{m}$ 、熱処理炉と冷却手段との距離を2mに設定し、熱処理炉の設定温度を 1300°C 、 1000°C 、 800°C 、 500°C 、及び 20°C とした各条件について光ファイバの温度変化、及び得られるアニール効果を調べた。このとき、アニール時間は $L/V_f = 0.13$ 秒であり、条件 $L/V_f \geq \tau$ を満たしている。

【0131】

図12は、光ファイバの線速を $V_f = 3000\text{m}/\text{分}$ としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。図12に示す例では、熱処理炉の長さを $L = 7\text{m}$ 、熱処理炉と冷却手段との距離を2mに設定し、熱処理炉の設定温度を 1300°C 、 1000°C 、 800°C 、 500°C 、及び 20°C とした各条件について光ファイバの温度変化、及び得られるアニール効果を調べた。このとき、アニール時間は $L/V_f = 0.14$ 秒であり、条件 $L/V_f \geq \tau$ を満たしている。

【0132】

図13は、光ファイバの線速を $V_f = 800\text{m}/\text{分}$ としたときの光ファイバの冷却速度及びアニール効果について示す表である。図13に示す例では、熱処理炉の長さを $L = 1$

． 5 m、熱処理炉と冷却手段との距離を 1． 2 m に設定し、熱処理炉の設定温度を 1 3 0 0 °C とした条件について光ファイバの温度変化、及び得られるアニール効果を調べた。このとき、アニール時間 L/Vf は緩和時間 τ よりも短い $L/Vf = 0． 11$ 秒であり、条件 $L/Vf \geq \tau$ は満たされていない。

【0133】

以上の図 9 ～ 図 1 3 に示されているように、アニール時間についての条件 $L/Vf \geq \tau$ が満たされずにアニール時間が短くなっている図 1 3 の例では、十分なレイリー散乱係数の低減効果は得られていない。また、アニール時間が条件 $L/Vf \geq \tau$ を満たす図 9 ～ 図 1 2 の例においても、冷却速度が 2 0 0 0 °C/秒よりも速い場合には、同様に十分なレイリー散乱係数の低減効果が得られないことがわかる。

10

【0134】

これに対して、熱処理炉における冷却速度が 2 0 0 0 °C/秒以下となる条件、及びアニール時間 L/Vf が緩和時間 τ 以上となる条件を満たすように光ファイバをアニールすることにより、レイリー散乱係数が十分に低減される。また、熱処理炉の設定温度であるアニール温度については、アニール温度を 8 0 0 °C 以上とすることにより、レイリー散乱係数が十分に低減される。なお、これらの例においても、冷却手段によって光ファイバを強制冷却することによる効果については、上述した実施例 A 1 ～ A 4 等と同様である。

【0135】

本発明による光ファイバ、及びその製造方法は、上述した実施形態及び実施例に限られるものではなく、様々な変形が可能である。例えば、線引装置の具体的な構成については、図 1 はその一例を示すものであり、上述した製造方法を実現可能なものであれば、他の構成の線引装置を用いても良い。

20

【産業上の利用可能性】

【0136】

本発明による光ファイバ、及びその製造方法は、以上詳細に説明したように、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバ、及び生産性の良い光ファイバの製造方法として利用可能である。すなわち、光ファイバの線引時において、線引炉の後段の熱処理炉によって冷却速度が 2 0 0 0 °C/秒以下、アニール時間が緩和時間以上となる条件で光ファイバをアニールするとともに、熱処理炉の後段の冷却手段へと 7 0 0 °C 以上の温度で光ファイバを入線して強制冷却を行う光ファイバの製造方法によれば、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバを生産性良く製造することが可能となる。

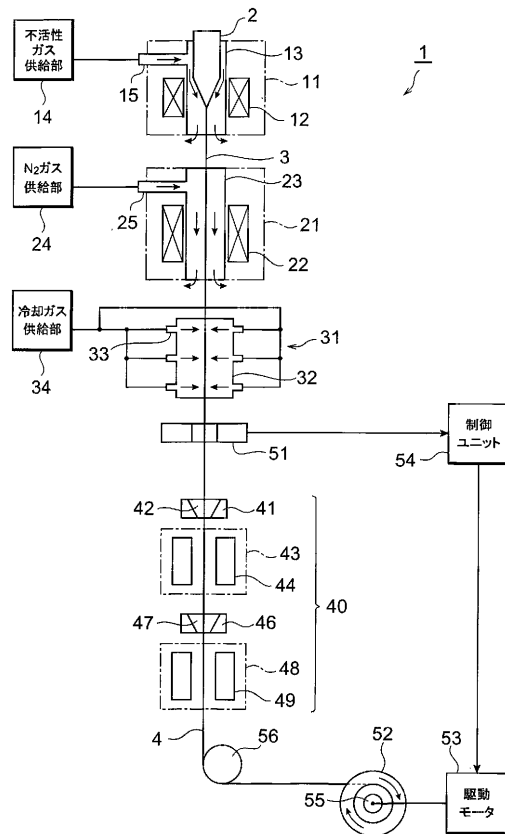
30

【0137】

また、コア領域に条件 $[Ge] \geq 0． 3 \%$ を満たす添加量で Ge が添加され、レイリー散乱係数 A、及び波長 $1． 00 \mu m$ での伝送損失 $\alpha_{1． 00}$ が、それぞれ通常の基準値 A_0 、及び α_0 に対して 9 7 % 以下であり、かつ、波長 $1． 38 \mu m$ での水素処理前後の伝送損失差 $\Delta \alpha_{1． 38}$ が 0． 1 5 dB/km 以下である光ファイバによれば、レイリー散乱損失が低減され、かつ、良好な耐水素特性を有する光ファイバが得られる。

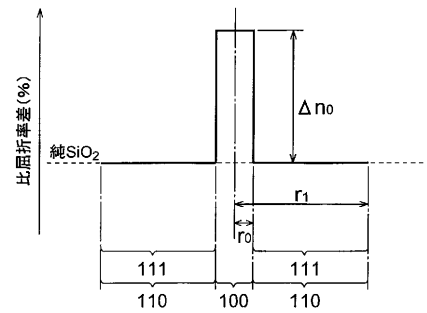
【図 1】

図1



【図 2】

図2



【図 3】

図3

	熱処理炉 アニール温度 (°C)	冷却手段 入線温度 (°C)	伝送損失 @1.55 μm (dB/km)	伝送損失 @0.63 μm (dB/km)
実施例A1	1100	700	0.185	6
実施例A2	1400	1000	0.180	6
実施例A3	1550	1200	0.182	7
実施例A4	1550	1300	0.182	9

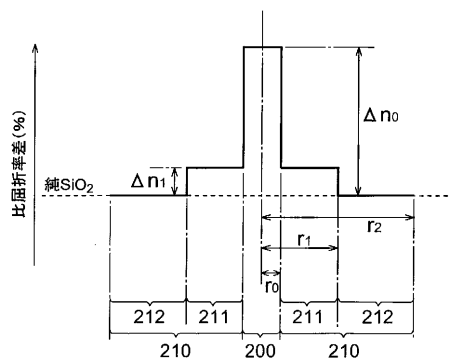
【図 4】

図4

	熱処理炉 アニール温度 (°C)	冷却手段 入線温度 (°C)	伝送損失 @1.55 μm (dB/km)	伝送損失 @0.63 μm (dB/km)
比較例B1	なし	1000	0.190	12
比較例B2	なし	500	0.190	6
比較例B3	900	500	0.189	6
比較例B4	1100	500	0.185	6
比較例B5	1650	1300	0.188	10

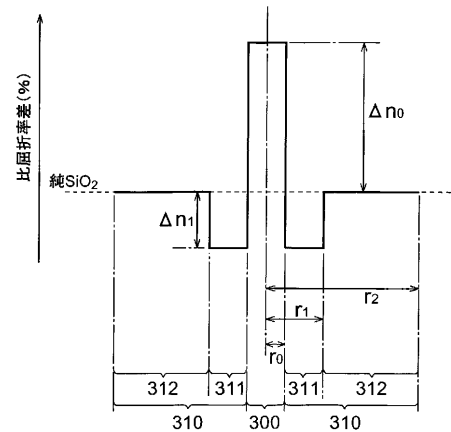
【図 5】

図5



【図 6】

図6



【図 7】

図7

	光ファイバ の種類	コア領域 Ge添加量	伝送損失 @1.55 μm (dB/km)	損失増加 Δα1.38 (dB/km)
実施例C1	Ge-SM	Δn0=0.35%	0.180	0.05
比較例D1			0.190	0.2
実施例C2	DSF	Δn0=0.6%	0.188	0.07
比較例D2			0.200	0.3
実施例C3	DCF	Δn0=1.5%	0.228	0.11
比較例D3			0.245	0.6

【図 8】

図8

	熱処理炉 出口	1m	2m	—	3m	4m	5m	6m	7m
実施例E	1499	1299	1125	強制 冷却	553	—	—	—	—
比較例F	1499	1299	1125	—	976	846	736	637	554

(光ファイバの温度:℃)

【図 1 1】

図11

熱処理炉設定温度(℃)	1300	1000	800	500	20
熱処理炉の入口 からの距離(m)	0	1500	1500	1500	1500
	1	1475	1438	1414	1377
	2	1453	1384	1338	1269
	3	1435	1337	1272	1175
	3.5	1426	1316	1243	1132
冷却手段の入口	1102	1017	961	876	740
冷却速度(℃/秒)	560.1	1400.3	1960.4	2800.5	4144.8
アニール効果	○	○	○	×	×

Vf=1600(m/分)

【図 9】

図9

熱処理炉設定温度(℃)	1300	1000	800	500	20
熱処理炉の入口 からの距離(m)	0	1500	1500	1500	1500
	1	1418	1296	1214	1092
	2	1370	1175	1045	850
冷却手段の入口	1174	1007	896	729	464
冷却速度(℃/秒)	433.3	1083.3	1516.7	2166.7	3203.3
アニール効果	○	○	○	×	×

Vf=400(m/分)

【図 1 2】

図12

熱処理炉設定温度(℃)	1300	1000	800	500	20
熱処理炉の入口 からの距離(m)	0	1500	1500	1500	1500
	1	1487	1466	1453	1433
	2	1474	1435	1409	1370
	3	1462	1406	1368	1311
	4	1451	1378	1329	1256
	5	1441	1353	1294	1205
	6	1432	1329	1260	1158
	7	1423	1307	1229	1113
冷却手段の入口	1240	1139	1071	971	810
冷却速度(℃/秒)	552.3	1380.7	1933.0	2761.4	4086.8
アニール効果	○	○	○	×	×

Vf=3000(m/分)

【図 1 0】

図10

熱処理炉設定温度(℃)	1300	1000	800	500	20
熱処理炉の入口 からの距離(m)	0	1500	1500	1500	1500
	1	1453	1384	1338	1269
	2	1418	1296	1214	1092
冷却手段の入口	1041	952	892	803	660
冷却速度(℃/秒)	546.7	1360.0	1906.7	2720.0	4026.7
アニール効果	○	○	○	×	×

Vf=800(m/分)

【図 1 3】

図13

熱処理炉設定温度(℃)	1300
熱処理炉の入口 からの距離(m)	0
	1
	1.5
冷却手段の入口	1053
冷却速度(℃/秒)	577.4
アニール効果	×

Vf=800(m/分)

フロントページの続き

(72)発明者 永山 勝也

神奈川県横浜市港南区日限山1-67-11-525

(72)発明者 森田 圭省

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 柿崎 美陶

(56)参考文献 特開2002-148466 (JP, A)

特開2005-523868 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C03B 37/00-37/16