【公報種別】特許法第１７条の２の規定による補正の掲載
【部門区分】第３部門第１区分
【発行日】令和7年3月6日(2025.3.6)

【国際公開番号】WO2024/004512
【出願番号】特願2024-530594(P2024-530594)
【国際特許分類】
C03B 37/012(2006.01)
【FI】
C03B 37/012 A

【手続補正書】
【提出日】令和6年12月4日(2024.12.4)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
孔が設けられたクラッドパイプの両端に、前記孔の周囲を囲むようにガラスパイプを溶融接続することと、
前記クラッドパイプと前記ガラスパイプとの接続部を前記接続部の溶融温度未満の加熱温度で加熱することと、
前記加熱することの後に前記加熱温度から前記接続部を徐冷することと、
を含む、
光ファイバ母材の製造方法。
【請求項２】
前記加熱することによる加熱時間は、５分間以上である、
請求項１に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項３】
前記加熱温度は、９００℃以上である、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項４】
前記徐冷することでは、前記接続部の温度が４００℃に達するまでの最大の冷却速度が１００℃／分以下である、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項５】
前記徐冷することでは、前記接続部から軸方向に１０ｍｍ離れた位置における前記クラッドパイプの表面温度と、前記接続部から軸方向に１０ｍｍ離れた位置における前記ガラスパイプの表面温度との差は、０℃以上２００℃以下である、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項６】
前記加熱すること及び前記徐冷することは、加熱炉を用いて行われる、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項７】
前記加熱すること及び前記徐冷することは、火炎を用いて行われる、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項８】
前記徐冷することの後で前記接続部の急冷が生じた場合は、前記加熱すること及び前記

徐冷することを再度行う、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項９】
前記徐冷することの後で、前記孔に気体を流し、前記孔の内面を気相処理すること、または、前記孔にコアロッドを挿入することを更に含み、
前記気相処理すること、または、前記挿入することの後で、前記加熱すること及び前記徐冷することを再度行う、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【請求項１０】
前記光ファイバ母材は、マルチコア光ファイバ母材である、
請求項１または請求項２に記載の光ファイバ母材の製造方法。
【手続補正２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本開示は、光ファイバ母材の製造方法に関する。本出願は、２０２２年６月２７日出願の日本出願第２０２２－１０２８５９号に基づく優先権を主張し、前記日本出願に記載された全ての記載内容を援用するものである。
【背景技術】
【０００２】
光ファイバ母材の製造方法として、ロッドインコラプス法が知られている（例えば、特許文献１及び特許文献２）。ロッドインコラプス法では、孔が設けられたクラッドパイプにコアロッドが挿入され、クラッドパイプとコアロッドとが加熱により一体化される。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開昭６１－２０１６３３号公報
【特許文献２】特開２０１１－１６８４６４号公報
【発明の概要】
【０００４】
本開示の一態様に係る光ファイバ母材の製造方法は、孔が設けられたクラッドパイプの両端に、孔の周囲を囲むようにガラスパイプを溶融接続することと、クラッドパイプとガラスパイプとの接続部を接続部の溶融温度未満の加熱温度で加熱することと、加熱することの後に加熱温度から接続部を徐冷することと、を含む。
【図面の簡単な説明】
【０００５】
【図１】図１は、実施形態で製造される光ファイバ母材の断面図である。
【図２】図２は、実施形態に係る光ファイバ母材の製造方法を示すフローチャートである。
【図３】図３は、接続工程について説明するための断面図である。
【図４】図４は、加熱工程及び徐冷工程について説明するための断面図である。
【図５】図５は、エッチング工程について説明するための断面図である。
【図６】図６は、挿入工程について説明するための断面図である。
【図７】図７は、変形例に係る加熱工程及び徐冷工程について説明するための断面図である。
【発明を実施するための形態】

【０００６】
［本開示が解決しようとする課題］
ロッドインコラプス法では、クラッドパイプの両端にガラスパイプを溶融接続し、ガラスパイプを介してクラッドパイプに対するプロセスガスの供給及び排気を行う手法が採用されている。従来の手法では、クラッドパイプとガラスパイプとの接続部が外れたり、割れたりする場合があった。
【０００７】
本開示は、クラッドパイプとガラスパイプとの接続部の外れ及び割れを抑制可能な光ファイバ母材の製造方法を提供することを目的とする。
【０００８】
［本開示の効果］
本開示によれば、クラッドパイプとガラスパイプとの接続部の外れ及び割れを抑制可能な光ファイバ母材の製造方法を提供することができる。
【０００９】
［本開示の実施形態の説明］
最初に本開示の実施態様を列記して説明する。（１）本開示の一態様に係る光ファイバ母材の製造方法は、孔が設けられたクラッドパイプの両端に、孔の周囲を囲むようにガラスパイプを溶融接続することと、クラッドパイプとガラスパイプとの接続部を接続部の溶融温度未満の加熱温度で加熱することと、加熱することの後に加熱温度から接続部を徐冷することと、を含む。
【００１０】
上記光ファイバ母材の製造方法では、クラッドパイプとガラスパイプとの溶融接続により接続部に導入されたガラス歪が加熱により解放されると共に、接続部に残留するマイクロクラックが加熱により修復される。接続部を急冷せずに徐冷することにより、新たなガラス歪の発生を抑止しながら、接続部を室温まで冷却することができる。よって、接続部の外れ及び割れを抑制できる。
【００１１】
（２）上記（１）において、加熱することによる加熱時間は、５分間以上であってもよい。この場合、ガラス歪の解放及びマイクロクラックの修復が行われ易い。
【００１２】
（３）上記（１）または（２）において、加熱温度は、９００℃以上であってもよい。この場合、ガラス歪の解放及びマイクロクラックの修復が行われ易い。
【００１３】
（４）上記（１）から（３）のいずれかにおいて、徐冷することでは、接続部の温度が４００℃に達するまでの最大の冷却速度が１００℃／分以下であってもよい。この場合、ガラス歪の解放及びマイクロクラックの修復が行われ易い。
【００１４】
（５）上記（１）から（４）のいずれかにおいて、徐冷することでは、接続部から軸方向に１０ｍｍ離れた位置におけるクラッドパイプの表面温度と、接続部から軸方向に１０ｍｍ離れた位置におけるガラスパイプの表面温度との差は、０℃以上２００℃以下であってもよい。この場合、接続部におけるガラス歪の発生が抑制される。
【００１５】
（６）上記（１）から（５）のいずれかにおいて、加熱すること及び徐冷することは、加熱炉を用いて行われてもよい。この場合、火炎に比べて広い範囲を加熱し易いので、接続部を均一に加熱することができる。よって、接続部のガラス歪が解放され易い。
【００１６】
（７）上記（１）から（５）のいずれかにおいて、加熱すること及び徐冷することは、火炎を用いて行われてもよい。この場合、加熱炉に比べて接続部を目視で確認し易い。
【００１７】
（８）上記（１）から（７）のいずれかにおいて、徐冷することの後で接続部の急冷が

生じた場合は、加熱すること及び徐冷することを再度行ってもよい。この場合、急冷により生じたガラス歪を解放することができる。

【００１８】

（９）上記（１）から（７）のいずれかにおいて、上記光ファイバ母材の製造方法は、徐冷することの後で、孔に気体を流し、孔の内面を気相処理すること、または、孔にコアロッドを挿入することを更に含み、気相処理すること、または、挿入することの後で、加熱すること及び徐冷することを再度行ってもよい。この場合、気相処理の過程で急冷により生じたガラス歪を解放することができる。

【００１９】

（１０）上記（１）から（９）のいずれかにおいて、光ファイバ母材は、マルチコア光ファイバ母材であってもよい。この場合、ガラスパイプは、クラッドパイプに設けられた複数の孔を全て囲む必要があるので、シングルコア光ファイバ母材の場合と比べて、大径となり易い。大径のガラスパイプは、形状による熱容量や熱膨張係数の変化が小径のガラスパイプと比べて大きい。このため、接続部にガラス歪が導入され易く、マイクロクラックも残留し易い。よって、加熱及び徐冷による効果が大きい。

【００２０】

［本開示の実施形態の詳細］

本開示の光ファイバ母材の製造方法の具体例を、以下に図面を参照しつつ説明する。なお、本発明はこれらの例示に限定されるものではなく、請求の範囲によって示され、請求の範囲と均等の意味及び範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。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。

【００２１】

図１は、実施形態で製造される光ファイバ母材の断面図である。この図では、光ファイバ母材１の中心軸に垂直な断面が示されている。光ファイバ母材１は、複数のコア部２と、共通のクラッド部３と、を備えるマルチコア光ファイバ母材である。本実施形態では、コア部２の数は４である。

【００２２】

複数のコア部２は、光ファイバ母材１の中心軸に沿って延在している。複数のコア部２は、中心軸に直交する断面において、中心軸に対して回転対称をなす位置に配置されている。複数のコア部２の断面形状は、互いに同じ円形状である。コア部２の直径は、例えば、４ｍｍ以上５０ｍｍ以下であってもよく、５ｍｍ以上３０ｍｍ以下であってもよく、６ｍｍ以上１２ｍｍ以下であってもよい。マルチコア光ファイバ母材から形成された光ファイバにおいて、コアの直径は、６μｍ以上１５μｍ以下となる。クラッド部３は、複数のコア部２を取り囲んでいる。クラッド部３の直径は、例えば、４０ｍｍ以上１８０ｍｍ以下であってもよく、４０ｍｍ以上１２０ｍｍ以下であってもよい。マルチコア光ファイバ母材から形成された光ファイバにおいて、クラッドの直径は、１２４μｍ以上１２６μｍ以下となる。

【００２３】

コア部２の屈折率は、クラッド部３の屈折率よりも高い。コア部２及びクラッド部３は、シリカ系ガラス材料からなる。コア部２及びクラッド部３それぞれは、シリカガラスを主成分とし、屈折率調整用のドーパントを含んでいる。

【００２４】

図２は、実施形態に係る光ファイバ母材の製造方法を示すフローチャートである。図２に示されるように、光ファイバ母材１の製造方法は、接続工程Ｓ１、加熱工程Ｓ２、徐冷工程Ｓ３、エッチング工程Ｓ４、第一空焼き工程Ｓ５、挿入工程Ｓ６、第二空焼き工程Ｓ７、一体化工程Ｓ８、及び取り外し工程Ｓ９を含む。

【００２５】

図３は、接続工程について説明するための断面図である。この図では、クラッドパイプ１０の軸方向（以下、単に「軸方向」ともいう）に沿う断面が示されている。接続工程Ｓ１は、クラッドパイプ１０の第一端１１に第一ガラスパイプ２１を溶融接続すると共に、

クラッドパイプ１０の第二端１２に第二ガラスパイプ２２を溶融接続する工程である。接続工程Ｓ１により、第一端１１と第一ガラスパイプ２１との接続部３１（図４参照）が形成されると共に、第二端１２と第二ガラスパイプ２２との接続部３２（図４参照）が形成される。接続工程Ｓ１は、バーナ３０の火炎を用いて行われる。

【００２６】

クラッドパイプ１０は、クラッド部３となるガラスパイプであり、クラッド部３に対応する形状を有している。クラッドパイプ１０の軸方向に直交する断面は、円形状の外形を有し、その外径は、例えば、４０ｍｍ以上１８０ｍｍ以下であってもよく、４０ｍｍ以上１２０ｍｍ以下であってもよい。クラッドパイプ１０には、１または複数の孔１３（コア孔）が設けられている。孔１３は、軸方向に延在している貫通孔である。クラッドパイプ１０は、例えば、ドリルにより、円柱状のガラス部材に孔１３を開けることにより作製される。孔１３は、断面円形状を有する。本実施形態では、孔１３の数は４である。

【００２７】

第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２は、クラッドパイプ１０を支持するための作業用パイプであり、後工程においてクラッドパイプ１０の孔１３にプロセスガスを導入するために設けられる。例えば、第一ガラスパイプ２１は、プロセスガスの供給系に接続され、第二ガラスパイプ２２は、プロセスガスの排気系に接続される。

【００２８】

第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２は、例えば、互いに同じ形状を有している。第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２は、例えば、同じガラス材料により構成されている。第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２は、円管形状を有している。第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２の外径は、本実施形態では、クラッドパイプ１０の外径と略同じであるが、クラッドパイプ１０の外径よりも小さくてもよい。

【００２９】

第一ガラスパイプ２１は、第一端１１において複数の孔１３の周囲を囲むと共に、クラッドパイプ１０と同軸となるように第一端１１に溶融接続される。すなわち、軸方向から見て、複数の孔１３の全体が第一ガラスパイプ２１の内側に配置される。第二ガラスパイプ２２は、第二端１２において複数の孔１３の周囲を囲むと共に、クラッドパイプ１０と同軸となるように第二端１２に溶融接続される。すなわち、軸方向から見て、複数の孔１３の全体が第二ガラスパイプ２２の内側に配置されている。

【００３０】

クラッドパイプ１０の熱容量と第一ガラスパイプ２１の熱容量との間に差がある場合や、クラッドパイプ１０の熱膨張係数と第一ガラスパイプ２１の熱膨張係数との間に差がある場合は、加熱冷却過程で接続部３１にガラス歪が生じるおそれがある。クラッドパイプ１０の熱容量と第二ガラスパイプ２２の熱容量との間に差がある場合や、クラッドパイプ１０の熱膨張係数と第二ガラスパイプ２２の熱膨張係数との間に差がある場合は、加熱冷却過程で接続部３２にガラス歪が生じるおそれがある。接続部３１，３２には、クラッドパイプ１０、第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２の前加工時に加工面に導入されたマイクロクラックが残留するおそれもある。調査の結果、このようなガラス歪及びマイクロクラックは、接続部３１，３２の加熱冷却が行われる後工程において、接続部３１，３２の外れ及び割れの原因となることが判明した。

【００３１】

図４は、加熱工程及び徐冷工程について説明するための断面図である。この図では、クラッドパイプ１０の軸方向に沿う断面が示されている。加熱工程Ｓ２は、接続部３１を接続部３１の溶融温度未満の加熱温度で加熱すると共に、接続部３２を接続部３２の溶融温度未満の加熱温度で加熱する工程である。接続工程Ｓ１において接続部３１，３２に生じたガラス歪が加熱により解放されると共に、接続部３１，３２に残留するマイクロクラックが加熱により修復される。加熱工程Ｓ２は、バーナ３０の火炎を用い、バーナ３０の火炎で接続部３１，３２を直接加熱することにより行われる。

【００３２】
ここで、溶融温度は、ガラスの粘性（粘度）が$10^{6.6}$Ｐａ・ｓ未満となる最も低い温度である。クラッドパイプ１０の溶融温度及び第一ガラスパイプ２１の溶融温度が互いに異なる場合、接続部３１の溶融温度は、クラッドパイプ１０の溶融温度及び第一ガラスパイプ２１の溶融温度のうち、いずれか低い方の温度である。クラッドパイプ１０の溶融温度及び第二ガラスパイプ２２の溶融温度が互いに異なる場合、接続部３２の溶融温度は、クラッドパイプ１０の溶融温度及び第二ガラスパイプ２２の溶融温度のうち、いずれか低い方の温度である。ガラスの粘度は、例えば、貫入法や平行板法で測定できる。
【００３３】
加熱工程Ｓ２による加熱温度が接続部３１，３２の溶融温度に近いほど、ガラス歪及びマイクロクラックが緩和され易い。したがって、加熱温度は、接続部３１，３２の溶融温度に応じて適宜設定される。加熱温度は、例えば、９００℃以上である。接続部３１，３２の温度は、例えば、パイロメーターにより接続部３１，３２のごく表面の温度として測定される。
【００３４】
加熱工程Ｓ２による加熱時間が長いほど、ガラス歪及びマイクロクラックが緩和され易い。加熱時間は、例えば、５分間以上とすることができる。接続部３１，３２が大径の場合、ガラス歪及びマイクロクラックの緩和に時間がかかる。例えば、接続部３１，３２の外径が８０ｍｍ以上の場合、加熱時間は１５分間以上であってもよい。加熱時間が長いほど、光ファイバ母材１の製造効率が低下するので、加熱時間は、例えば、６０分間以下とすることができる。
【００３５】
徐冷工程Ｓ３は、加熱工程Ｓ２の後に、加熱工程Ｓ２と連続して行われ、加熱工程Ｓ２における加熱温度から接続部３１，３２を徐冷する工程である。接続部３１，３２を自然冷却により急冷すると、接続部３１，３２にガラス歪が生じ易い。徐冷工程Ｓ３によれば、接続部３１，３２にガラス歪が生じることが抑制される。徐冷工程Ｓ３では、接続部３１，３２の各々の温度が４００℃に達するまでの時間が５分間以上である。この時間が長いほど、ガラス歪及びマイクロクラックが緩和され易いが、光ファイバ母材１の製造効率が低下する。この時間は、例えば、６０分間以下とすることができる。
【００３６】
徐冷工程Ｓ３では、接続部３１，３２の温度が４００℃に達するまでの冷却速度が１００℃／分以下である。この冷却速度が低いほど、ガラス歪及びマイクロクラックが緩和され易いが、光ファイバ母材１の製造効率が低下する。この冷却速度は、例えば、１５℃／分以上とすることができる。徐冷工程Ｓ３は、バーナ３０の火炎を用い、バーナ３０の火炎で接続部３１，３２を直接加熱しながら行われる。
【００３７】
徐冷工程Ｓ３では、接続部３１から軸方向に±１０ｍｍの位置における表面温度の差、および接続部３２から軸方向に±１０ｍｍの位置における表面温度の差は、それぞれ、０℃以上２００℃以下である。すなわち、接続部３１から軸方向に１０ｍｍ離れた位置におけるクラッドパイプ１０の表面温度と、接続部３１から軸方向に１０ｍｍ離れた位置における第一ガラスパイプ２１の表面温度との差は、０℃以上２００℃以下である。また、接続部３２から軸方向に１０ｍｍ離れた位置におけるクラッドパイプ１０の表面温度と、接続部３２から軸方向に１０ｍｍ離れた位置における第二ガラスパイプ２２の表面温度との差は、０℃以上２００℃以下である。
【００３８】
図５は、エッチング工程について説明するための断面図である。この図では、クラッドパイプ１０の軸方向に沿う断面が示されている。エッチング工程Ｓ４は、クラッドパイプ１０の孔１３に気体（プロセスガス）を流し、孔１３の内面をエッチング処理（気相処理）する工程である。エッチング処理は、例えば、クラッドパイプ１０を軸方向周りに回転させると共に、クラッドパイプ１０の外周面をバーナ等の外部熱源３３により加熱しなが

ら行われる。エッチング処理により、孔１３の内面の不純物が除去され、孔１３の内面が平滑化される。

【００３９】

孔１３に導入される気体は、例えば、SF_6等のエッチングガスである。気体は、第一ガラスパイプ２１を介してクラッドパイプ１０の孔１３に供給される。気体は、孔１３を流れた後、第二ガラスパイプ２２を介して外部に排出される。エッチング処理は、第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２がガラス旋盤の把持部（不図示）により回転可能に把持された状態で行われる。把持部は、外部熱源により加熱されるクラッドパイプ１０ではなく、第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２を把持するので、把持部への熱的影響を抑制することができる。

【００４０】

第一空焼き工程Ｓ５は、クラッドパイプ１０の孔１３に気体（プロセスガス）を流し、孔１３の内面を空焼き処理（気相処理）する工程である。エッチング処理と同様に、第一空焼き処理は、例えば、クラッドパイプ１０を軸方向周りに回転させると共に、クラッドパイプ１０の外周面を外部熱源により加熱しながら行われる。第一空焼き処理により、孔１３の内面の異物が除去され、孔１３の内面が平滑化される。

【００４１】

孔１３に導入される気体は、例えば、塩素や酸素等の清浄化処理用ガス（すなわち、空焼きガス）である。気体は、第一ガラスパイプ２１を介してクラッドパイプ１０の孔１３に供給される。気体は、孔１３を流れた後、第二ガラスパイプ２２を介して外部に排出される。エッチング処理と同様に、第一空焼き処理は、第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２がガラス旋盤の把持部（不図示）により回転可能に把持された状態で行われる。

【００４２】

図６は、挿入工程について説明するための断面図である。この図では、クラッドパイプ１０の軸方向に沿う断面が示されている。挿入工程Ｓ６は、コアロッド４０のそれぞれをクラッドパイプ１０の孔１３の対応する１つの孔に一本ずつ挿入する工程である。コアロッド４０は、コア部２となるガラスロッドである。コアロッド４０の外径は、孔１３の孔径よりもわずかに小さい。コアロッド４０は、第二ガラスパイプ２２を通ってクラッドパイプ１０の第二端１２から孔１３に挿入される。

【００４３】

第二空焼き工程Ｓ７は、クラッドパイプ１０の孔１３に気体（プロセスガス）を流し、コアロッド４０の外面を空焼き処理（気相処理）する工程である。エッチング処理と同様に、第二空焼き処理は、例えば、クラッドパイプ１０を軸方向周りに回転させると共に、クラッドパイプ１０の外周面を外部熱源により加熱しながら行われる。第二空焼き処理により、コアロッド４０の外面及び孔１３の内面の異物が除去され、コアロッド４０の外面及び孔１３の内面が平滑化される。

【００４４】

第一空焼き処理と同様に、孔１３に導入される気体は、例えば、塩素や酸素等の清浄化処理用ガス（すなわち、空焼きガス）である。気体は、第一ガラスパイプ２１を介してクラッドパイプ１０の孔１３に供給される。気体は、孔１３を流れた後、第二ガラスパイプ２２を介して外部に排出される。エッチング処理と同様に、第二空焼き処理は、第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２がガラス旋盤の把持部（不図示）により回転可能に把持された状態で行われる。

【００４５】

一体化工程Ｓ８は、クラッドパイプ１０とコアロッド４０とを加熱により一体化する工程である。加熱一体化処理により、光ファイバ母材１が作製される。エッチング処理と同様に、加熱一体化処理は、例えば、クラッドパイプ１０を軸方向周りに回転させると共に、クラッドパイプ１０の外周面を外部熱源により加熱しながら行われる。加熱一体化処理は、第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２がガラス旋盤の把持部（不図示）に

より回転可能に把持された状態で行われる。

【００４６】

取り外し工程Ｓ９は、光ファイバ母材１から第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２を取り外す工程である。以上により、光ファイバ母材１が製造される。

【００４７】

以上説明したように、光ファイバ母材１の製造方法では、接続工程Ｓ１により接続部３１，３２に導入されたガラス歪が加熱工程Ｓ２により解放されると共に、接続部３１，３２に残留するマイクロクラックが加熱工程Ｓ２により修復される。接続部３１，３２を急冷せず、十分に時間をかけて徐冷することにより、新たなガラス歪の発生を抑止しながら、接続部３１，３２を室温まで冷却することができる。よって、接続部３１，３２の外れ及び割れを抑制できる。

【００４８】

加熱工程Ｓ２では、加熱時間が５分間以上であり、加熱温度が９００℃以上である。このため、ガラス歪の解放及びマイクロクラックの修復が行われ易い。徐冷工程Ｓ３では、接続部３１，３２の温度が４００℃に達するまでの時間が５分間以上であり、接続部３１，３２の温度が４００℃に達するまでの冷却速度が１００℃／分以下である。このため、ガラス歪の解放及びマイクロクラックの修復が行われ易い。徐冷工程Ｓ３では、接続部３１，３２から軸方向に±１０ｍｍの位置における表面温度の差は、０℃以上２００℃以下である。このため、接続部３１，３２におけるガラス歪の発生が抑制される。

【００４９】

加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３は、バーナ３０の火炎を用いて行われるので、加熱炉３４（図７参照）を用いる場合に比べて、接続部３１，３２を目視で確認し易い。

【００５０】

光ファイバ母材１は、マルチコア光ファイバ母材である。第一ガラスパイプ２１及び第二ガラスパイプ２２は、クラッドパイプ１０に設けられた複数の孔１３を全て囲む必要があるので、シングルコア光ファイバ母材の場合と比べて、大径となり易い。大径のガラスパイプとクラッドパイプ１０との接続には時間がかかるので、接続部３１，３２にガラス歪が導入され易く、マイクロクラックも残留し易い。よって、加熱及び徐冷によるガラス歪及びマイクロクラックの緩和効果が大きい。

【００５１】

以上、実施形態について説明してきたが、本開示は必ずしも上述した実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で様々な変更が可能である。

【００５２】

上記実施形態では、加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３が一度しか行われないが、徐冷工程Ｓ３後に加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３が再度行われてもよい。光ファイバ母材１の製造方法では、徐冷工程Ｓ３後に接続部３１，３２の加熱急冷が行われる場合がある。この場合、接続部３１，３２にガラス歪が生じるおそれがある。よって、接続部３１，３２の急冷が生じた場合は、加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３が再度行われてもよい。ここで、急冷とは、接続部３１，３２の加熱を停止してから最大１００℃／分を超える冷却速度で冷却されることを意味する。このような加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３の繰り返しは、例えば、徐冷工程Ｓ３後に接続部３１，３２の急冷が行われるたびに行われてもよい。

【００５３】

具体的には、エッチング工程Ｓ４、第一空焼き工程Ｓ５、挿入工程Ｓ６、または、第二空焼き工程Ｓ７の後に加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３が再度行われてもよい。より具体的には、エッチング工程Ｓ４の後であって第一空焼き工程Ｓ５の前、第一空焼き工程Ｓ５の後であって挿入工程Ｓ６の前、挿入工程Ｓ６の後であって第二空焼き工程Ｓ７の前、または、第二空焼き工程Ｓ７の後であって一体化工程Ｓ８の前に、加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３が再度行われてもよい。これにより、急冷によって生じたガラス歪を解放することができる。

【００５４】

図７は、変形例に係る加熱工程及び徐冷工程について説明するための断面図である。図７に示されるように、加熱工程Ｓ２及び徐冷工程Ｓ３は、加熱炉３４の炉熱を用いて行われてもよい。加熱炉３４は、例えば電気炉であり、火炎以外の熱源により加熱する能力を持つ。加熱炉３４は、接続部３１，３２を加熱可能な位置に配置される。加熱炉３４を用いる場合、バーナ３０の火炎に比べて広い範囲を加熱し易いので、接続部３１，３２を均一に加熱することができる。よって、接続部３１，３２のガラス歪が解放され易い。

【００５５】

上記実施形態では、光ファイバ母材１はマルチコア光ファイバ母材であるが、シングルコア光ファイバ母材であってもよい。

【００５６】

上記実施形態及び変形例は、適宜組み合わせられてもよい。

【符号の説明】

【００５７】

１…光ファイバ母材
２…コア部
３…クラッド部
１０…クラッドパイプ
１１…第一端
１２…第二端
１３…孔
２１…第一ガラスパイプ
２２…第二ガラスパイプ
３０…バーナ
３１…接続部
３２…接続部
３３…外部熱源
３４…加熱炉
４０…コアロッド