

(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2006-160550  
(P2006-160550A)

(43) 公開日 平成18年6月22日(2006.6.22)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>C03B 37/012 (2006.01)</b>	C03B 37/012 B	2H050
<b>C03B 37/027 (2006.01)</b>	C03B 37/027 Z	4G021
<b>G02B 6/00 (2006.01)</b>	G02B 6/00 376Z	
<b>G02B 6/032 (2006.01)</b>	G02B 6/20 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2004-352956 (P2004-352956)	(71) 出願人	000005186 株式会社フジクラ
(22) 出願日	平成16年12月6日 (2004.12.6)		東京都江東区木場1丁目5番1号
		(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100108578 弁理士 高橋 詔男
		(74) 代理人	100089037 弁理士 渡邊 隆
		(74) 代理人	100101465 弁理士 青山 正和
		(72) 発明者	竹永 勝宏 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

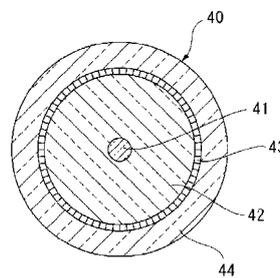
(54) 【発明の名称】 フォトニッククリスタルファイバとその製造方法、フォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォーム

(57) 【要約】

【課題】 低コストで入手可能な円管状のキャピラリとサポート管を用いて高品質のフォトニッククリスタルファイバを安定して高い歩留まりで製造可能な方法の提供。

【解決手段】 筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッド又は中空のコア管を配置してプリフォームを作製し、該プリフォーム内のキャピラリ同士を融着させてキャピラリ間の隙間を塞いだ後、該プリフォームを線引き加工して、コアが複数の空孔で囲まれた構造を持ったフォトニッククリスタルファイバを得ることを特徴とするフォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【選択図】 図11



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッド又は中空のコア管を配置してプリフォームを作製し、該プリフォーム内のキャピラリ同士を溶着させてキャピラリ間の隙間を塞いだ後、該プリフォームを線引き加工して、コアが複数の空孔で囲まれた構造を持ったフォトニッククリスタルファイバを得ることを特徴とするフォトニッククリスタルファイバの製造方法。

## 【請求項 2】

中実のコアロッドが、コア/クラッド構造を有していることを特徴とする請求項 1 に記載のフォトニッククリスタルファイバの製造方法。

10

## 【請求項 3】

キャピラリの外周の横断面形状がほぼ真円であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のフォトニッククリスタルファイバの製造方法。

## 【請求項 4】

サポート管の内壁の横断面形状がほぼ真円であることを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれかに記載のフォトニッククリスタルファイバの製造方法。

## 【請求項 5】

筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッドを配置し、プリフォームを作製する際に、片端を封止したキャピラリを用いてプリフォームを作製し、次に、適切な圧力下でキャピラリを両端封止し、その後、キャピラリ同士を溶着させてキャピラリ間の隙間を塞ぐことを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載のフォトニッククリスタルファイバの製造方法。

20

## 【請求項 6】

筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッドを配置してプリフォームを作製し、一体化する際に、キャピラリ間の隙間を塞ぎ、その後、線引き工程において、プリフォームに均一な圧力を加えながら線引きを行うことを特徴とする請求項 1 ~ 5 のいずれかに記載のフォトニッククリスタルファイバの製造方法。

## 【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれかに記載の製造方法によって製造されたフォトニッククリスタルファイバ。

30

## 【請求項 8】

中実のコアロッド又は中空のコア管とそれを囲む複数本のキャピラリとが筒状のサポート管内に充填されてなるフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォームであって、隣り合うキャピラリが溶着されていることを特徴とするフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォーム。

## 【請求項 9】

中実のコアロッドが、コア/クラッド構造を有していることを特徴とする請求項 8 に記載のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォーム。

## 【請求項 10】

溶着前のキャピラリの外周の横断面形状がほぼ真円であることを特徴とする請求項 8 又は 9 に記載のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォーム。

40

## 【請求項 11】

サポート管の内壁の横断面形状がほぼ真円であることを特徴とする請求項 8 ~ 10 のいずれかに記載のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォーム。

## 【請求項 12】

キャピラリの片端が封止されていることを特徴とする請求項 8 ~ 11 のいずれかに記載のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォーム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

50

本発明は、クラッドに空孔を有するフォトニッククリスタルファイバの製造方法に関し、特に、キャピラリを用いて空孔を形成する際に、紡糸（線引き）とは別工程でキャピラリ間の隙間を塞ぎ、その後単純な構成で空孔を維持してフォトニッククリスタルファイバの紡糸を行うことが可能な製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

フォトニッククリスタルファイバは、光ファイバ中に空孔を有することで、従来のコア/クラッド構造の光ファイバでは得ることができない特性を実現することが可能である。そのためフォトニッククリスタルファイバは、様々な種類の機能性ファイバや将来の伝送用ファイバとして期待され研究が進められている。このフォトニッククリスタルファイバは、その導波原理から屈折率導波型ファイバとフォトニック・バンドギャップ型ファイバに大別することができる。

10

【0003】

屈折率導波型ファイバは、空孔の低屈折率性を利用し空孔にて等価的なクラッドを構成させるものであり、広帯域シングルモード特性、超低非線形（大実効断面積）特性、超高非線形特性、偏波保持特性、超高NAマルチモード特性などを得ることが可能である。

フォトニック・バンドギャップ型ファイバは、クラッドに周期構造を形成することで光をファイバ内側に閉じ込めるファイバである。

【0004】

前者の一例としては、低曲げ損失を実現したホールアシスト型ホーリーファイバがある。このファイバは、従来の高屈折率コアの周囲に空孔を配置することにより、等価的に大きな屈折率差を形成し、モードフィールド径（MFD）を極端に小さくすることなく低曲げ損失を実現している。このようなファイバとしては、例えば、図1に示すように、コア2とその外周のクラッド3からなり、コア2の周囲に径の異なる複数の空孔4A, 4Bが設けられたホールアシスト型ホーリーファイバ1が報告されている（例えば、非特許文献1参照。）。

20

【0005】

また、屈折率導波型ファイバの他の例として、図2に示すようなダブルクラッドファイバ5がある（例えば、非特許文献2参照。）。このダブルクラッドファイバ5は、図示していないコアが中央に配置された断面D字状の第一クラッド6と、この第一クラッド6を囲んで設けられたエアホール層7と、該エアホール層7の外周に設けられた第二クラッド8とから構成されている。

30

このダブルクラッドファイバ5は、第一クラッド6の面積を小さくして励起光密度を高くし、また、励起光の入射効率を高めるために高NA（Numerical Aperture、開口数）である必要がある。第一クラッド6の周囲に空孔を配置することで大きなNAをもつ構造とし、光増幅器やファイバレーザの高出力化を目的とした開発が進められている。

【0006】

また、フォトニックバンドギャップファイバは、コアがエアホールであり、クラッド部のエアホールの大きさ、周期により光を閉じ込めるような構造とすることもできる。

さらに、ここで例示していない構造、特性を有するフォトニッククリスタルファイバは数多くあり、その特性に応じて、空孔位置、空孔サイズ、空孔位置が決められている。空孔が比較的少ないホールアシスト型ホーリーファイバの場合は、キャピラリを束ねて線引きする方法以外に、母材に孔を開けて作製することも可能であるが、空孔数が多い構造になると、キャピラリを束ねて紡糸することでファイバを製造する方法が一般的である。

40

このようにキャピラリを束ねてフォトニッククリスタルファイバを製造する方法としては、特許文献1～4に開示されている。

【非特許文献1】官寧、他“低曲げ損失用ホールアシスト型ホーリーファイバ”、信学技報、OFT2004-7（2004）

【非特許文献2】二口和督、他“エアホール型Yb添加ダブルクラッドファイバ”、2003年 電子情報通信学会総合大会、C-3-88

50

- 【特許文献1】特開2002-55242号公報  
【特許文献2】特開2002-97034号公報  
【特許文献3】特開2002-211941号公報  
【特許文献4】特開2004-238246号公報  
【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1～4にそれぞれ記載されている従来のフォトニッククリスタルファイバ製造方法には、次のような問題があった。

【0008】

特許文献1には、筒状のサポート管内に、サポート管の中心軸と平行に多数のキャピラリを最密充填すると共に、中実のコアとなるコア部材を該サポート管の中心軸部に配置してプリフォームを作製し、該プリフォームを線引き加工により細径化するフォトニッククリスタルファイバの製造方法において、図3に示すようにキャピラリ9の外周の横断面形状を六角形状とし、キャピラリ9同士が融着して隙間のないキャピラリ層10を形成することを特徴とする方法が開示されている。

しかし、このような外周の横断面形状が六角形のキャピラリ9を作製することは、通常の円管状（外周の横断面形状が円形）のキャピラリに比べて、さらに加工作業が必要であるため、最終的にプリフォーム製造コストが高くなるという問題がある。

【0009】

特許文献2には、ファイバ中心を長手方向に延び且つ中実又は中空に形成されたコアと、該コアを囲むように設けられ且つ該コアに沿って延びる多数の細孔を有する多孔部とを備えたフォトニッククリスタルファイバの製造方法において、筒状のサポート管内に、サポート管の中心軸と平行に多数のキャピラリを充填すると共に、中実のコアとなるコアロッドをサポート管の中心軸に配置してプリフォームを作製し、そのプリフォームを線引き加工により細径する方法が開示されている。具体的には、図4に示すように、内壁の横断面形状が六角形をなしているサポート管12を用い、このサポート管12内にコアロッド13と多数のキャピラリ14を充填して作製されたプリフォーム11が例示されている。この方法と特許文献1記載の方法とを組み合わせることで、キャピラリ間に隙間のないプリフォームを作製することができる。

しかし、特許文献2に記載された従来技術にあつては、特許文献1の方法と同様に、内壁の横断面形状が六角形をなしているサポート管を作製することが、通常の円管状（内壁の横断面形状が円形）をなしているサポート管の作製に比べ、さらに加工作業が必要であるため、最終的に製造コストが高くなるという問題がある。

【0010】

特許文献3には、線引き加工時における水酸基（OH基）の形成を抑制させるために、図5に示すように、各々のキャピラリ15の両端を封止したプリフォーム17を作製し、線引きしてフォトニッククリスタルファイバを製造する方法が開示されている。図5中、符号15はキャピラリ、15aはキャピラリ封止部、16はサポート管、16aはサポート管封止部、17はプリフォーム、17aは補助パイプ、18は線引き炉である。

水酸基の存在は、波長 $1.38\mu\text{m}$ の波長の光を吸収することから、光ファイバとして伝送損失の劣化を招き望ましくない。特許文献3記載の方法は、線引き加工時の水酸基の形成を抑制するには有効と思われるが、本発明者らが検討したところ、線引き工程で長手方向に空孔径が変化してしまい、安定した構造のフォトニッククリスタルファイバが製造できない可能性があった。これは、線引きが進むにつれて、両端封止したキャピラリ15内部の圧力が徐々に変化してしまうことが原因と考えられる。また、両端封止後の線引き工程では、封止したときの圧力が維持されているので、線引き工程中に空孔径の調整を行うことができず、歩留まりが悪くなる問題がある。

さらに、線引き工程でキャピラリ15の一部が変形してしまうという現象も生じた。これは、キャピラリ15の両端を封止する際に、それぞれのキャピラリ15で僅かながら内

10

20

30

40

50

圧に差が生じてしまい、その結果、線引き工程において空孔サイズにばらつきが生じたためと考えられる。これを防止するには封止時に正確な内圧の管理が必要であり、安定してフォトリソグラフィファイバの生産を行う上で問題がある。

#### 【0011】

特許文献4には、サポート管内に、中実のコアとなるコアロッド及びクラッド部となる複数のキャピラリ、又は、中空のコアとなるコア形成空間を形成し且つクラッド部となる複数のキャピラリを充填してプリフォームを作製するプリフォーム作製工程と、そのプリフォームを加熱及び延伸してファイバ状に延伸する線引き工程とを備えるフォトリソグラフィファイバの製造方法が開示されている。また特許文献4には、線引き工程として、図6に示すように、キャピラリ19をサポート管20にその後端が突出する状態で配置したプリフォームを、キャピラリ外部圧力制御用チャンバ21とキャピラリ内部圧力制御用チャンバ22が設けられた線引き装置に取り付け、線引き工程時にサポート管20内の複数のキャピラリ19の外部圧力、及び/又は、複数のキャピラリの内部圧力を制御することで目的のフォトリソグラフィファイバを得ている。

10

しかし、このような圧力調整は、圧力制御部につなげる部分のプリフォーム加工が複雑になり、また圧力制御系も複雑であることからファイバの作製コストが高くなってしまいうという問題がある。

#### 【0012】

また、フォトリソグラフィファイバの構造的な問題もある。図7は、非特許文献2で挙げたダブルクラッドファイバの別な例として、断面円形の第一クラッド25を備えるダブルクラッドファイバ作製のプリフォーム23を示す断面図である。このプリフォーム23は、コア24とそれを囲む第一クラッド25とからなるコア/クラッド構造をもったコアロッドを第二クラッドとなる石英管27に収容し、コアロッドと石英管27の間にキャピラリ26を充填して構成されている。

20

このようなプリフォーム23を作製する際に、第一クラッド25のNAを高く保つためには、キャピラリ26内の孔径を膨らませ、キャピラリ26間の隙間を潰す必要がある。そのため紡糸工程では、キャピラリ26内の圧力を高く、キャピラリ26間の隙間の圧力を低く調整する必要がある。このようなプリフォーム23を作製する場合、従来のキャピラリ外周形状やサポート管内壁形状を加工することは難しく、たとえ作製できたとしても非常に高コストなフォトリソグラフィファイバになってしまう。

30

また、紡糸工程で一度にそれぞれの圧力を制御しようとする非常に複雑な制御系となってしまう。

#### 【0013】

同様に、図8のような内壁の横断面形状が六角形の孔を有するサポート管31内にコアロッド29と多数のキャピラリ30を充填してなるプリフォーム28を作製する場合も同様である。特許文献4に記載されているように、キャピラリ30を長くすることで改善は可能であるが、キャピラリ30は非常に細いので無理な力が加わると割れやすく、安定して加工することが困難であった。

#### 【0014】

本発明は前記事情に鑑みてなされ、低コストで入手可能な円管状のキャピラリとサポート管を用いて高品質のフォトリソグラフィファイバを安定して高い歩留まりで製造可能な方法の提供を目的とする。

40

#### 【課題を解決するための手段】

#### 【0015】

前記目的を達成するため、本発明は、筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッド又は中空のコア管を配置してプリフォームを作製し、該プリフォーム内のキャピラリ同士を融着させてキャピラリ間の隙間を塞いだ後、該プリフォームを線引き加工して、コアが複数の空孔で囲まれた構造を持ったフォトリソグラフィファイバを得ることを特徴とするフォトリソグラフィファイバの製造方法を提供する。

#### 【0016】

50

本発明のフォトニッククリスタルファイバの製造方法において、中実のコアロッドが、コア/クラッド構造を有していることが好ましい。

【0017】

本発明のフォトニッククリスタルファイバの製造方法において、キャピラリの外周の横断面形状がほぼ真円であることが好ましい。

【0018】

本発明のフォトニッククリスタルファイバの製造方法において、サポート管の内壁の横断面形状がほぼ真円であることが好ましい。

【0019】

本発明のフォトニッククリスタルファイバの製造方法において、筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッドを配置し、プリフォームを作製する際に、片端を封止したキャピラリを用いてプリフォームを作製し、次に、適切な圧力下でキャピラリを両端封止し、その後、キャピラリ同士を融着させてキャピラリ間の隙間を塞ぐことが好ましい。

10

【0020】

本発明のフォトニッククリスタルファイバの製造方法において、筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッドを配置してプリフォームを作製し、一体化する際に、キャピラリ間の隙間を塞ぎ、その後、線引き工程において、プリフォームに均一な圧力を加えながら線引きを行うことが好ましい。

【0021】

また本発明は、前述した本発明に係る製造方法によって製造されたフォトニッククリスタルファイバを提供する。

20

【0022】

また本発明は、中実のコアロッド又は中空のコア管とそれを囲む複数本のキャピラリとが筒状のサポート管内に充填されてなるフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォームであって、隣り合うキャピラリが溶着されていることを特徴とするフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォームを提供する。

【0023】

本発明のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォームにおいて、中実のコアロッドが、コア/クラッド構造を有していることが好ましい。

30

【0024】

本発明のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォームにおいて、溶着前のキャピラリの外周の横断面形状がほぼ真円であることが好ましい。

【0025】

本発明のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォームにおいて、サポート管の内壁の横断面形状がほぼ真円であることが好ましい。

【0026】

本発明のフォトニッククリスタルファイバ製造用プリフォームにおいて、キャピラリの片端が封止されていることが好ましい。

【発明の効果】

40

【0027】

本発明の製造方法は、筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッド又は中空のコア管を配置してプリフォームを作製し、該プリフォーム内のキャピラリ同士を融着させてキャピラリ間の隙間を塞いだ後に、線引き加工によりファイバ化するので、容易に、しかも安定してキャピラリ間の隙間を塞ぐことができ、線引き時には、均一な径の空孔に対して一つの圧力を制御すればよいので、容易に設計した通りの空孔サイズ、空孔位置を有するフォトニッククリスタルファイバを得ることができる。

また、コア/クラッド構造を有する中実のコアロッドを用いることによって、コアにErやYbのような希土類元素を添加し、高出力なレーザ発振が可能な光増幅器用やファイバレーザ用のファイバを得ることができる。さらに、このコアに希土類元素と共にAlや

50

Pなどを共添加することで、変換効率を改善することができる。更に、コアにGeを添加することで、ファイバグレーティングなどを作製することも可能である。

また、横断面形状がほぼ真円のキャピラリを用いることができるので、特別な加工が不要であり、作製、入手が容易である。そのためフォトニッククリスタルファイバを低コストで作製することができる。

また、内壁の横断面形状がほぼ真円のサポート管を用いることができるので、特別な加工が不要であり、作製、入手が容易である。そのためフォトニッククリスタルファイバを低コストで作製することができる。

また、プリフォームを作製し、一体化する際に、キャピラリ間の隙間を塞ぎ、その後、線引き工程において、プリフォーム断面に均一な圧力を加えながら線引きを行うことができるので、キャピラリ間の隙間を容易に塞ぐことができ、最終的に不要な部分に空孔を残すことなくフォトニッククリスタルファイバを作製することができる。

また、一体化する際に、キャピラリ間の隙間を塞ぎ、その後、線引き工程において、プリフォーム断面に均一な圧力を加えながら線引きを行うことができるので、設計した通りの空孔サイズ、位置を維持しながら、長尺のフォトニッククリスタルファイバを歩留まり良く製造することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

本発明のフォトニッククリスタルファイバ（以下、ファイバと記す。）の製造方法は、筒状のサポート管内に、複数本のキャピラリと共に中実のコアロッド又は中空のコア管を配置してプリフォームを作製し、該プリフォーム内のキャピラリ同士を融着させてキャピラリ間の隙間を塞いだ後、該プリフォームを線引き加工して、コアが複数の空孔で囲まれた構造を持ったファイバを得ることを特徴としている。

【0029】

本発明の製造方法において、製造するファイバの構造や材質、コア径、コアの比屈折率差、クラッド径、空孔の数及び直径、空孔の配置構造は限定されず、従来公知の各種ファイバの製造に適用することができる。

【0030】

本発明の製造方法において、プリフォームの作製に用いるサポート管、キャピラリ及びコアロッド（又はコア管）は、石英ガラスからなることが好ましい。中実のコアロッドとしては、線引き後にファイバのコアとなる部分のみからなる石英ガラス製の細径コアロッド、あるいは、高屈折率の石英ガラスからなるコアとそれを囲んでコアよりも低屈折率の石英ガラスからなる第一クラッドとからなるコア/クラッド構造をもったコアロッドが挙げられる。

【0031】

本発明の製造方法において、中実のコアロッドにはErやYbなどの希土類元素を添加することができる。特に、コア/クラッド構造をもったコアロッドのコアに前記希土類元素を添加することによって、高出力な増幅特性を有するダブルクラッドファイバを得ることができる。さらに、このコアには、前記希土類元素と共にAlやPなどを共添加することができ、AlやPなどを共添加することによって変換効率を改善することができる。また、コアにGeを添加し、ファイバグレーティングを作製することも可能である。

【0032】

本発明の製造方法において、プリフォームの作製に用いるキャピラリは、外周の横断面形状がほぼ真円であるもの、すなわち円管状のキャピラリが好ましい。外周の横断面形状がほぼ真円のキャピラリは、石英ガラスからなる円管状の母材を線引き加工して簡単に製造でき、外周の横断面形状を多角形に成形するような余分な後加工が必要なく、低コストで入手可能である。

【0033】

本発明の製造方法において、プリフォームの作製に用いるサポート管は、内壁の横断面形状がほぼ真円であるもの、すなわち円管状のサポート管が好ましい。この種のサポート

10

20

30

40

50

管は、容易に製造でき、また内壁の横断面形状を多角形に研削加工するような余分な後加工が必要なく、低コストで入手可能である。

#### 【0034】

本発明の製造方法では、まず、前述したサポート管、キャピラリ及びコアロッドを用意し、サポート管内にコアロッドと多数本のキャピラリを、コアロッドが中心となるように充填し、プリフォームを作製する。本発明の好ましい実施形態において、このプリフォーム作製の際、片端を封止したキャピラリを用いてプリフォームを作製する。

#### 【0035】

図9は、本発明の製造方法においてプリフォーム作製工程を例示する構成図であり、この図中、符号32は第二クラッドとなる石英管、33は高屈折率のコアとそれを囲む第一クラッドとからなるコア/クラッド構造を持つコアロッド、34は片端を封じたキャピラリ、35は石英管32の一端に取り付けたコネクタ、36は石英ダミー棒、37はバーナーである。本例示において、石英管32は円管状であり、コアロッド33は円柱状であり、またキャピラリ34は円管状である。このプリフォームは、コアロッド33の周囲に多数本のキャピラリ34をその封止側をコネクタ35側に向けた状態で配置し、石英管32内に挿入し、石英管32の開口端から石英ダミー棒36を挿入する。次に、バーナー37で加熱して石英ダミー棒36の一端部を石英管32に融着する。次に、キャピラリ34の内圧力を適切な圧力に制御しつつ、バーナー37で加熱してキャピラリ34の開口端を封じ、キャピラリ34を両端封止する。

10

#### 【0036】

次に、プリフォーム内のキャピラリ34同士を融着させてキャピラリ34間の隙間を塞いで一体化する。

20

図10は、前記プリフォーム一体化工程を例示する構成図であり、この図中、符号32～35は図9の符号32～35と同じ構成要素であり、さらに符号38は圧力調整系、39はヒーターである。この一体化工程では、石英管32内にコネクタ35を介して圧力調整系38を接続し、管内の圧力を調整可能とし、ヒーター39によりプリフォームの局部を加熱し、必要に応じて図中矢印方向にプリフォームを延伸し、所定圧力下でプリフォーム内のキャピラリ34同士を融着させる。さらにヒーター39とプリフォームの相対位置をプリフォーム長手方向に沿って移動させながら、プリフォーム全長にわたって加熱、延伸し、所定圧力下でプリフォーム内のキャピラリ34同士を融着させてキャピラリ34間の隙間を塞ぐとともに、コアロッド33、キャピラリ34及び石英管32を融着させて一体化する。

30

#### 【0037】

次に、一体化を終えたプリフォームを線引きし、ファイバを製造する。この線引き工程もプリフォームに均一な圧力を加えながら線引きを行うことが好ましい。

#### 【0038】

この製造方法では、サポート管となる石英管32内に、複数本のキャピラリ34と共に中実のコアロッド33を配置してプリフォームを作製し、該プリフォーム内のキャピラリ34同士を融着させてキャピラリ間の隙間を塞いだ後に、線引き加工によりファイバ化するので、容易に、しかも安定してキャピラリ34間の隙間を塞ぐことができ、線引き時には、均一な径の空孔に対して一つの圧力を制御すればよいので、容易に設計した通りの空孔サイズ、空孔位置を有するファイバを得ることができる。

40

また、コア/クラッド構造を有する中実のコアロッド33を用いることによって、コアにErやYbのような希土類元素を添加し、高出力なレーザ発振が可能な光増幅器用やファイバレーザ用のファイバを得ることができる。さらに、このコアに希土類元素と共にAlやPなどを共添加することで、変換効率を改善することができる。更に、コアにGeを添加することで、ファイバグレーティングなどを作製することも可能である。

また、横断面形状がほぼ真円のキャピラリ34と、内壁の横断面形状がほぼ真円のサポート管である石英管32を用いることができるので、特別な加工が不要であり、作製、入手が容易である。そのためファイバを低コストで作製することができる。

50

また、プリフォームを作製し、一体化する際に、キャピラリ 3 4 間の隙間を塞ぎ、その後、線引き工程において、プリフォーム断面に均一な圧力を加えながら線引きを行うことができるので、キャピラリ間の隙間を容易に塞ぐことができ、最終的に不要な部分に空孔を残すことなくファイバを作製することができる。

また、一体化する際に、キャピラリ 3 4 間の隙間を塞ぎ、その後、線引き工程において、プリフォーム断面に均一な圧力を加えながら線引きを行うことができるので、設計した通りの空孔サイズ、位置を維持しながら、長尺のファイバを歩留まり良く製造することが可能となる。

#### 【実施例】

#### 【0039】

10

#### [実施例 1]

外径 4.2 mm、内径 3.3 mm の円管状をなす石英管 3 2 に、Er を 1300 質量 ppm 及び Al を 25000 質量 ppm 添加した比屈折率差 0.35% のコアと該コアを囲む第一クラッドを有する外径 3.1 mm の石英ガラスからなる円柱状のコアロッド 3 3 を挿入し、図 9 のように、その間に片端を封止した外径 1 mm のキャピラリ 3 4 を詰めた。その後、コネクタ 3 5 と反対側から石英ダミー棒 3 6 を挿入し、回転させながらバーナー 3 7 で石英管 3 2 と石英ダミー棒 3 6 を溶着した。この際、石英管 3 2 内部に不活性ガスを流しながら作業を行うことで、石英管 3 2 内部の汚染を防止することができた。また、加熱することで、キャピラリ 3 4 内部を乾燥させることができ、紡糸工程での破裂を防止することができた。

20

#### 【0040】

その後、石英管 3 2 内部の内圧（大気圧との差圧）を  $-2200 \text{ mm H}_2\text{O}$  とし、キャピラリ 3 4 をコアロッド 3 3 の第一クラッド外周に溶着させながら封止した。この時点で減圧しているのは、このときの温度と一体化時の温度が異なり、一体化時の温度が高いためである。

#### 【0041】

さらに、このプリフォーム内部の内圧（大気圧との差圧）を  $-8000 \text{ mm H}_2\text{O}$  とし、図 10 に示す一体化装置にてキャピラリ 3 4 の隙間を潰しながら一体化した。このときの一体化の様子を図 10 に示す。またこの一体化により得られたプリフォームの断面を図 11 に示す。図 11 に示すダブルクラッドファイバ製造用のプリフォーム 4 0 は、中心のコア 4 1 とそれを囲む第一クラッド 4 2 とからなるコアロッドと、第一クラッド 4 2 の外周に隙間なく融着された多数のキャピラリ 4 3 と、それらを囲む石英管 3 2 が融着一体化した第二クラッド 4 4 とからなっている。

30

#### 【0042】

このプリフォーム 4 0 を線引き装置にかけ、空孔部の内圧（大気圧との差圧）を  $+450 \text{ mm H}_2\text{O}$  とし、紡糸を行った。得られたダブルクラッドファイバ 4 5 の断面を図 12 に示す。得られたダブルクラッドファイバ 4 5 は、中心のコア 4 6 と、コア 4 6 外周に設けられた第一クラッド 4 7 と、第一クラッド 4 7 を囲んで設けられた多数の空孔 4 8 と、空孔 4 8 の外周に設けられた第二クラッド 4 9 とからなっている。このダブルクラッドファイバ 4 5 はキャピラリ 3 4 間の隙間がなく、またキャピラリ 3 4 の部分が均等に空孔 4 8 となっていることが分かる。このダブルクラッドファイバ 4 5 の第一クラッド 4 7 直径は  $40 \mu\text{m}$  であり、この第 1 クラッド 4 7 の NA は 0.5 と高い値であった。このときの第二クラッド 4 9 外径は  $125 \mu\text{m}$  であった。

40

#### 【0043】

#### [実施例 2]

紡糸前のプリフォーム作製までは実施例 1 と同じ方法でプリフォームを準備した。

このプリフォームを線引き装置にかけ、空孔部の内圧（大気圧との差圧）を  $+470 \text{ mm H}_2\text{O}$  とし、紡糸を行った。得られたダブルクラッドファイバ 5 0 の断面を図 13 に示す。得られたダブルクラッドファイバ 5 0 は、中心のコア 5 1 と、コア 5 1 外周に設けられた第一クラッド 5 2 と、第一クラッド 5 2 を囲んで設けられた多数の空孔 5 3 と、空孔

50

53の外周に設けられた第二クラッド54とからなっている。このダブルクラッドファイバ50はキャピラリ34間の隙間がなく、またキャピラリ34の部分が均等に空孔53となり、さらに第一クラッド52と第二クラッド54間のガラス部分も非常に薄くなっていることが分かる。このファイバの第一クラッドのNAは0.7と高い値であった。このときのクラッド外径は125 $\mu$ mであった。

【0044】

[実施例3]

コアにYbを10000質量ppm、Alを25000質量ppm添加したコア/クラッド構造を有するコアロッド33を用いた以外は、紡糸前のプリフォーム作製までは実施例1と同じ方法でプリフォームを準備した。

このプリフォームを線引き装置にかけ、空孔部の内圧(大気圧との差圧)を+470mmH<sub>2</sub>Oとし、紡糸を行った。得られたダブルクラッドファイバ50の断面を図13に示す。得られたダブルクラッドファイバ50は、キャピラリ34間の隙間がなく、またキャピラリ34の部分が均等に空孔53となり、さらに第一クラッド52と第二クラッド54間のガラス部分も非常に薄くなっていることが分かる。このダブルクラッドファイバ50の第一クラッド52の直径は200 $\mu$ mであり、この第一クラッド52のNAは0.7と高い値であった。このときの第二クラッド54外径は250 $\mu$ mであった。

【0045】

[実施例4]

外径40mm、内径20mmの円管状の石英管32に、外径1.5mm、内径0.8mmの多数本のキャピラリ34とそのキャピラリ34の束の中心部にくるように配されたコアロッドを挿入した。プリフォームの組み上げは図9と同様の配置で行った。その後、コネクタ35と反対側から石英ダミー棒36を挿入し、回転させながらバーナー37で石英管32と石英ダミー棒36を溶着した。この際、石英管32内部に不活性ガスを流しながら作業を行うことで、石英管32内部の汚染を防止することができた。また、加熱することで、キャピラリ34内部を乾燥させることができ、紡糸工程での破裂を防止することができた。その後、石英管32内部の内圧(大気圧との差圧)を-8000mmH<sub>2</sub>Oとし、延伸機にてキャピラリ34の隙間を潰しながら一体化した。

【0046】

このプリフォームを線引き装置にかけ、空孔部の内圧(大気圧との差圧)を+290mmH<sub>2</sub>Oとし、紡糸を行った。得られたファイバ55の断面を図14に示す。得られたファイバ55は、中心のコア56と、それを囲む多数の空孔57と、その外周のクラッド58とからなっている。このファイバ55はキャピラリ34間の隙間がなく、また、キャピラリ34の部分が均等に空孔57となっていることが分かる。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図1】ホールアシスト型ホーリーファイバを例示する断面図である。

【図2】ダブルクラッドファイバを例示する断面図である。

【図3】従来のファイバ製造法の第1例を示すキャピラリの断面図である。

【図4】従来のファイバ製造法の第2例を示すプリフォームの断面図である。

【図5】従来のファイバ製造法の第3例を示すプリフォームの側面図である。

【図6】従来のファイバ製造法の第4例を示す線引き装置の構成図である。

【図7】ダブルクラッドファイバ製造用のプリフォームを例示する断面図である。

【図8】別なファイバ製造用のプリフォームを例示する断面図である。

【図9】本発明の実施例におけるプリフォーム作製工程を示す構成図である。

【図10】本発明の実施例におけるプリフォーム一体化工程を示す構成図である。

【図11】本発明の実施例で作製したダブルクラッドファイバ製造用のプリフォームの断面図である。

【図12】本発明の実施例で作製したダブルクラッドファイバの一例を示す断面図である。

。

10

20

30

40

50

【図13】本発明の実施例で作製したダブルクラッドファイバの別の例を示す断面図である。

【図14】本発明の実施例で作製した別のファイバを示す断面図である。

【符号の説明】

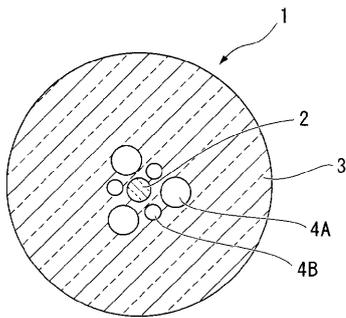
【0048】

1 ... ホールアシスト型ホーリーファイバ、2 ... コア、3 ... クラッド、4 A , 4 B ... 空孔、5 ... ダブルクラッドファイバ、6 ... 第一クラッド、7 ... エアホール層、8 ... 第二クラッド、9 , 10 ... キャピラリ、11 ... プリフォーム、12 ... サポート管、13 ... コアロッド、14 ... キャピラリ、15 ... キャピラリ、15 a ... キャピラリ封止部、16 ... サポート管、16 a ... サポート管封止部、17 ... プリフォーム、17 a ... 補助パイプ、18 ... 線引き炉、19 ... キャピラリ、20 ... サポート管、21 ... キャピラリ外部圧力制御用チャンバ、22 ... キャピラリ内部圧力制御用チャンバ、23 ... プリフォーム、24 ... コア、25 ... 第一クラッド、26 ... キャピラリ、27 ... 第二クラッド、28 ... プリフォーム、29 ... コアロッド、30 ... キャピラリ、31 ... サポート管、32 ... 石英管、33 ... コアロッド、34 ... キャピラリ、35 ... コネクタ、36 ... 石英ダミー棒、37 ... バーナー、38 ... 圧力調整系、39 ... ヒーター、40 ... プリフォーム、41 ... コア、42 ... 第一クラッド、43 ... 空孔、44 ... 第二クラッド、45 ... ダブルクラッドファイバ、46 ... コア、47 ... 第一クラッド、48 ... 空孔、49 ... 第二クラッド、50 ... ダブルクラッドファイバ、51 ... コア、52 ... 第一クラッド、53 ... 空孔、54 ... 第二クラッド、55 ... ファイバ、56 ... コア、57 ... 空孔、58 ... クラッド。

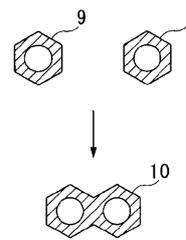
10

20

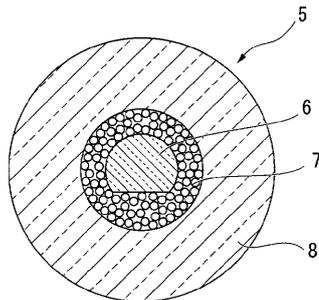
【図1】



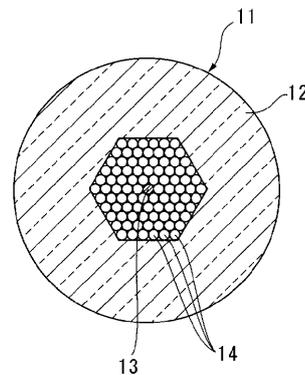
【図3】



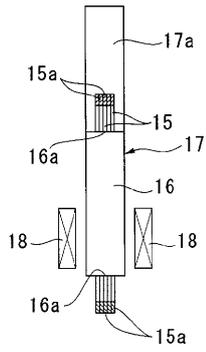
【図2】



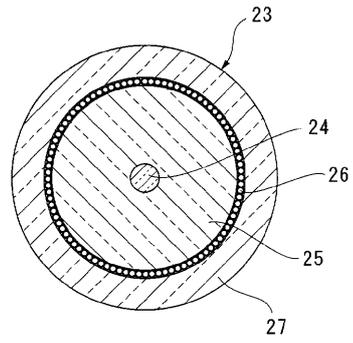
【図4】



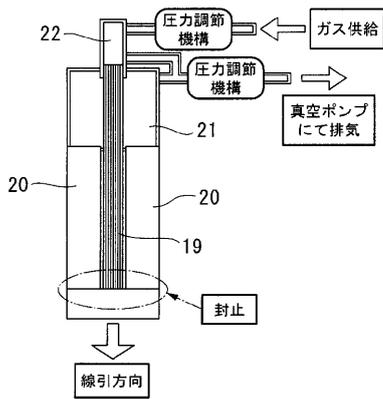
【 図 5 】



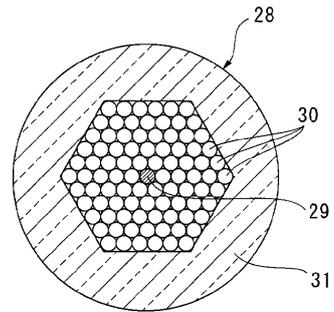
【 図 7 】



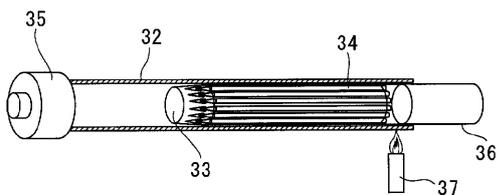
【 図 6 】



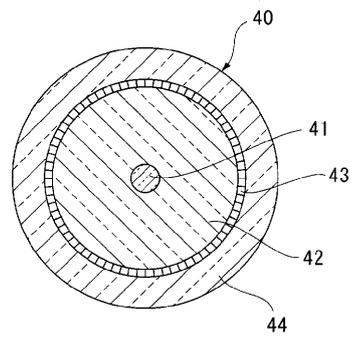
【 図 8 】



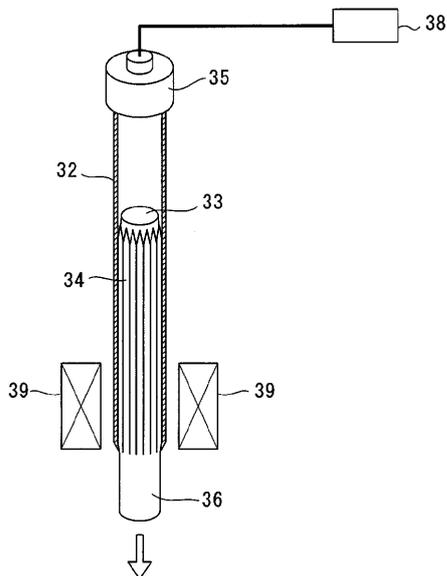
【 図 9 】



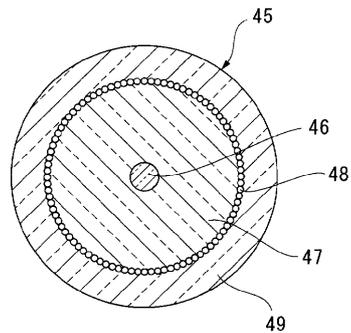
【 図 1 1 】



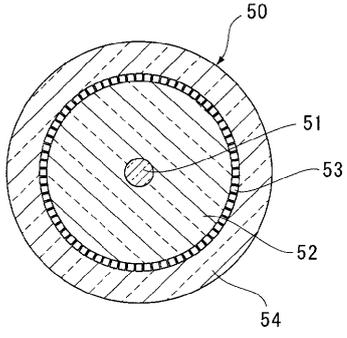
【 図 1 0 】



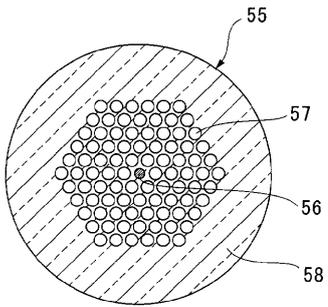
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 愛川 和彦  
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
- (72)発明者 官 寧  
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
- (72)発明者 姫野 邦治  
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) 2H050 AB07X AB08X AB18X AB24X AC36 AC38 AC62  
4G021 BA04 HA00