

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3836730号
(P3836730)

(45) 発行日 平成18年10月25日(2006.10.25)

(24) 登録日 平成18年8月4日(2006.8.4)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 6/024 (2006.01)

G O 2 B 6/16 3 O 1

C O 3 B 37/012 (2006.01)

C O 3 B 37/012 Z

G O 2 B 6/032 (2006.01)

G O 2 B 6/20 Z

請求項の数 16 (全 23 頁)

(21) 出願番号 特願2002-19315 (P2002-19315)
 (22) 出願日 平成14年1月29日(2002.1.29)
 (65) 公開番号 特開2003-222752 (P2003-222752A)
 (43) 公開日 平成15年8月8日(2003.8.8)
 審査請求日 平成14年11月27日(2002.11.27)

(73) 特許権者 000003263
 三菱電線工業株式会社
 東京都千代田区丸の内三丁目4番1号
 (73) 特許権者 000004226
 日本電信電話株式会社
 東京都千代田区大手町二丁目3番1号
 (74) 代理人 100077931
 弁理士 前田 弘
 (74) 代理人 100094134
 弁理士 小山 廣毅
 (74) 代理人 100110939
 弁理士 竹内 宏
 (74) 代理人 100110940
 弁理士 嶋田 高久

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 偏波保存フォトニッククリスタルファイバ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ファイバ中心をなす中実のコアと、該コアを被覆するように設けられファイバ横断面に三角格子を形成してファイバ半径方向にフォトニッククリスタル構造を構成するように配設された複数の細孔を有するクラッドと、を備え、該クラッドにおける該コアに隣接した細孔が、該コアを挟んで対をなして配設された大孔径の細孔と、該コアを挟んで対をなして配設された小孔径の細孔と、からなることにより、光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる2つの偏波モードを有するように構成された偏波保存フォトニッククリスタルファイバであって、

上記コアに隣接した大孔径の細孔及び小孔径の細孔のうち少なくとも一方は、上記モードフィールドにおける上記2つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が1.0に近づく向きに、上記三角格子を形成する位置からずれて配設されていることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

【請求項2】

請求項1に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

上記アスペクト比が1.0以上で且つ2.0よりも小さいことを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

【請求項3】

請求項2に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

10

20

上記アスペクト比が 1 . 0 以上で且つ 1 . 7 以下であることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

【請求項 4】

請求項 1 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

上記コアに隣接した大孔径の細孔又は小孔径の細孔のみが上記三角格子を形成する位置からずれて配設されていることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

【請求項 5】

請求項 1 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

上記コアに隣接した大孔径の細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きにずれて配設されていることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

10

【請求項 6】

請求項 1 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

上記コアに隣接した小孔径の細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向内向きにずれて配設されていることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

【請求項 7】

請求項 1 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

ファイバ横断面に、上記コアを挟んで対向するように配設され上記コアに隣接した大孔径の細孔を含む大孔径の細孔群を有する一対の大孔径細孔領域と、上記コアを挟んで対向するように配設され上記コアに隣接した小孔径の細孔を含む小孔径の細孔群を有する一対の小孔径細孔領域と、の 4 つの領域が形成されており、

20

上記大孔径細孔領域の各細孔及び小孔径細孔領域の各細孔のうち少なくともいずれか一方が上記三角格子を形成する位置からずれて配設されていることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

【請求項 8】

請求項 7 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

上記大孔径細孔領域の各細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きにずれて配設されていることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

【請求項 9】

請求項 7 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバにおいて、

上記小孔径細孔領域の各細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向内向きにずれて配設されていることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバ。

30

【請求項 10】

ファイバ中心をなす中実のコアと、該コアを被覆するように設けられファイバ横断面に三角格子を形成してファイバ半径方向にフォトニッククリスタル構造を構成するように配設された複数の細孔を有するクラッドと、を備え、該クラッドにおける該コアに隣接した細孔が、該コアを挟んで対をなして配設された大孔径の細孔と、該コアを挟んで対をなして配設された小孔径の細孔と、からなることにより、光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる 2 つの偏波モードを有するように構成され、該モードフィールドにおける該 2 つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が 1 . 0 に近づく向きに、該コアに隣接した大孔径の細孔及び小孔径の細孔のうち少なくともいずれか一方が該三角格子を形成する位置からずれて配設された偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法であって、

40

石英製のロッド材に上記ファイバ横断面の孔パターンに対応するようにロッド軸方向に延びる複数の孔を形成して母材を形成する母材形成工程と、

上記母材を線引き加工により細径化する線引き工程と、
を備えたことを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【請求項 11】

50

請求項 10 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法において

、
上記母材の複数の孔を封止した状態で線引き加工することを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【請求項 12】

請求項 11 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法において

、
上記複数の孔の封止前に、該複数の孔の内壁の不純物を除去する不純物除去処理を施すことを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【請求項 13】

ファイバ中心をなす中実のコアと、該コアを被覆するように設けられファイバ横断面に三角格子を形成してファイバ半径方向にフォトニッククリスタル構造を構成するように配設された複数の細孔を有するクラッドと、該クラッドをさらに被覆するように設けられた被覆部と、を備え、該クラッドにおける該コアに隣接した細孔が、該コアを挟んで対をなして配設された大孔径の細孔と、該コアを挟んで対をなして配設された小孔径の細孔と、からなることにより、光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる 2 つの偏波モードを有するように構成され、該モードフィールドにおける該 2 つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が 1 . 0 に近づく 向きに、該コアに隣接した大孔径の細孔及び小孔径の細孔のうち少なくともいずれか一方が該三角格子を形成する位置からずれて配設された偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法であって

、
石英製のロッド材に上記ファイバ横断面の孔パターンに対応するようにロッド軸方向に延びる複数の孔を形成する穿孔工程と、

上記複数の孔を形成したロッド材をロッド軸方向に加熱延伸することにより細径化して母材本体を形成する母材本体形成工程と、

上記母材本体と上記被覆部になる石英製の被覆部形成材とで母材を構成し、該母材を線引き加工により細径化する線引き工程と、

を備えたことを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【請求項 14】

請求項 13 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法において

、
上記母材本体の複数の孔を封止した状態で線引き加工することを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【請求項 15】

請求項 14 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法において

、
上記複数の孔の封止前に、該複数の孔の内壁の不純物を除去する不純物除去処理を施すことを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【請求項 16】

請求項 10 又は 13 に記載された偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法において、

上記石英製のロッド材を水酸基含有量が 1 p p m 以下の無水合成ガラスで形成されたものとすることを特徴とする偏波保存フォトニッククリスタルファイバの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、偏波保存フォトニッククリスタルファイバ（以下「偏波保存 P F C」という）に関する。

【0002】

【従来の技術】

フォトリソグラフィファイバは、ファイバ中心をなす中実のコアと、そのコアを被覆するように設けられファイバ横断面に三角格子を形成してファイバ半径方向にフォトリソグラフィ構造を構成するように配設された複数の細孔を有するクラッドとを備えた光ファイバであり、種々の分野での適用が提案されている。

【0003】

その中の一つとして、図18(a)に示すように、コアを楕円形状とすることにより、その長軸方向と短軸方向とで伝搬定数を異ならしめた偏波保存PCFがある。

【0004】

また、Optic letters 2000.9 Vol.25 NO.18には、図18(b)の示すように、クラッドに三角格子を形成するように複数の細孔が配設されており、コアに隣接した6つの細孔のうちコアを挟んで対向した一対を含む直線上に配設された細孔のみを小孔径のものとするることにより、小孔径の細孔が並ぶ方向とそれに直交する方向とで偏波モードの伝搬定数を異ならしめた偏波保存PCFが開示されている。このような偏波保存PCFでは、 10^{-3} オーダーのモード複屈折率を実現することが可能であり、これは偏波保存ファイバの代表であるPANDAファイバと比較して一桁近く大きく、偏波保存性能が極めて優れる。

【0005】

さらに、OFC2001.TuM2 2001.3には、図18(c)に示すように、クラッドに三角格子を形成するように複数の細孔が配設されており、コアに隣接した6つの細孔のうちコアを挟んで対向した一対を他の細孔よりも大孔径のものとするることにより兩大孔径の細孔を結ぶ方向とそれに直交する方向とで偏波モードの伝搬定数を異ならしめ、また、その大孔径の細孔のみを三角格子を形成する位置よりも細孔ピッチの8割の長さだけファイバ半径方向内向きにずらして配設することにより、モード複屈折率を高めた偏波保存PCFが開示されている(図中のコアに示されているのは光強度の分布である)。この偏波保存PCFでは、モード複屈折率が 1.5×10^{-3} と計算されており、大孔径の細孔が対向する方向のモードフィールド径に対するそれに直交する方向のモードフィールド径の比であるアスペクト比が図よりおよそ2.0以上であると推測できる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

今日、WDM通信において、偏波保存ファイバは、LD光源(レーザダイオード光源)とLN変調器(リチウムナイオベイト変調器)とを繋ぐピグテールとして使用されており、また、将来、SC光源(スーパーコンチニウム光源)とフィルタとを備えたAWG(アレイ導波路)で分波するような場合、SC光源とAWGとを繋ぐピグテールとして、さらには、AWGとLN変調器とを繋ぐピグテールとして使用されることが考えられる。

【0007】

ところで、LN変調器には、導波路としてアスペクト比が1.5であるTi拡散導波路が用いられており、また、AWGには、導波路としてアスペクト比が1.0に近い石英ガラス系導波路が用いられている。

【0008】

従って、上記後者の文献に開示された偏波保存PCFでは、高いモード複屈折率を有するものの、アスペクト比が高いためにLN変調器のTi拡散導波路やAWGの石英ガラス系導波路とモードマッチしないという問題がある。

【0009】

本発明は、かかる点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、LN変調器のTi拡散導波路やAWGの石英ガラス系導波路等とのモードマッチが可能な偏波保存PCF及びその製造方法を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】

本発明は、2つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比を1.0に近づくように、細孔を三角格子を形

10

20

30

40

50

成する位置からオフセットして配設したものである。

【0011】

具体的には、ファイバ中心をなす中実のコアと、該コアを被覆するように設けられファイバ横断面に三角格子を形成してファイバ半径方向にフォトニッククリスタル構造を構成するように配設された複数の細孔を有するクラッドと、を備え、該クラッドにおける該コアに隣接した細孔が、該コアを挟んで対をなして配設された大孔径の細孔と、該コアを挟んで対をなして配設された小孔径の細孔と、からなることにより、光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる2つの偏波モードを有するように構成された偏波保存PCFを前提とする。そして、上記コアに隣接した大孔径の細孔及び小孔径の細孔のうち少なくともいずれか一方は、上記モードフィールドにおける上記2つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が1.0に近づく向きに、上記三角格子を形成する位置からずれて配設されていることを特徴とする。

10

【0012】

上記の構成によれば、高いモード複屈折率を得ることができるのに加え、大孔径の細孔及び小孔径の細孔のうち少なくともいずれか一方が三角格子を形成する位置からずれて配設され、アスペクト比が1.0に近づくようにされているので、LN変調器のTi拡散導波路やAWGの石英ガラス系導波路等のアスペクト比と近いものとなり、それらとのモードマッチが可能となる。

【0013】

20

ここで、本出願において、「アスペクト比」とは、2つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径と他方のモードフィールド径とが等しい場合を除いて、小さい方を一方のモードフィールド径、大きい方を他方のモードフィールド径とする。従って、アスペクト比は常に1.0以上となる。

【0014】

細孔のずれの大きさは、通常、格子ピッチを Λ とすると $0.1\Lambda \sim 0.9\Lambda$ の範囲である。

【0015】

偏波保存PCFの場合、通常、 10^{-3} 以上のモード複屈折率を得ることができ、また、そのため100mでのクロストークが-30dB以下と非常に小さい。

30

【0016】

本発明の上記アスペクト比は、一般的に存在する導波路とのモードマッチを考慮すれば、1.0以上で且つ2.0よりも小さいことが好ましく、また、アスペクト比は、アスペクト比が1.5であるTi拡散導波路及びアスペクト比が1に近い石英ガラス系導波路を考慮すれば、1.0以上で且つ1.7以下であることがより好ましい。

【0017】

本発明は、上記コアに隣接した大孔径の細孔又は小孔径の細孔のみが上記三角格子を形成する位置からずれて配設されている構成であってもよい。かかる構成によれば、クラッドのフォトニッククリスタル構造が大きく崩れることがない。

【0018】

40

本発明の具体的な構成としては、上記コアに隣接した大孔径の細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きにずれて配設されているものや、上記コアに隣接した小孔径の細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向内向きにずれて配設されているものを挙げることができる。

【0019】

本発明は、ファイバ横断面に、上記コアを挟んで対向するように配設され上記コアに隣接した大孔径の細孔を含む大孔径の細孔群を有する一対の大孔径細孔領域と、上記コアを挟んで対向するように配設され上記コアに隣接した小孔径の細孔を含む小孔径の細孔群を有する一対の小孔径細孔領域と、の4つの領域が形成されており、上記大孔径細孔領域の各細孔及び小孔径細孔領域の各細孔のうち少なくともいずれか一方が上記三角格子を形成

50

する位置からずれて配設されている構成であってもよい。

【0020】

その具体的な構成としては、上記大孔径細孔領域の各細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きにずれて配設されているものや、上記小孔径領域の各細孔が上記三角格子を形成する位置からファイバ半径方向内向きにずれて配設されているものを挙げることができる。

【0021】

以上のような偏波保存PCFは、

石英製のロッド材にファイバ横断面の孔パターンに対応するようにロッド軸方向に延びる複数の孔を形成して母材を形成する母材形成工程と、

10

上記母材を線引き加工により細径化する線引き工程と、
を経て製造することができる。

【0022】

この製造方法において、上記母材の複数の孔を封止した状態で線引き加工するようにしてもよい。このようにすれば、線引き加工時の線引き張力によって母材の孔を押し潰す方向に作用する力が孔内の圧力と均衡し、孔が押し潰されことなく線引き加工を行うことができる。ここで、封止とは、母材の複数の孔への外気の進入を阻止する手段全てを意味する。

【0023】

その場合、複数の孔の封止前に、その複数の孔の内壁の不純物を除去する不純物除去処理を施すことが好ましい。このようにすれば、母材の孔内の不純物を除去できるので、製造される偏波保存PCFは低損失なものとなる。不純物除去処理としては、フッ化水素酸によるエッチング処理や塩素ガスに晒すことにより水酸基を除去する塩素ガス処理等を挙げることができる。

20

【0024】

また、上記偏波保存PCFであって、クラッドを被覆するように設けられた被覆部を備えたものは、

石英製のロッド材に上記ファイバ横断面の孔パターンに対応するようにロッド軸方向に延びる複数の孔を形成する穿孔工程と、

上記複数の孔を形成したロッド材をロッド軸方向に加熱延伸することにより細径化して母材本体を形成する母材本体形成工程と、

30

上記母材本体と上記被覆部になる石英製の被覆部形成材とで母材を構成し、該母材を線引き加工により細径化する線引き工程と、
を経て製造することもできる。

【0025】

この場合、上記母材本体を石英製の筒状の被覆部形成材内に配置してそれらで母材を構成し、該母材を線引き加工により該母材本体と該被覆部形成材とを一体化させつつ細径化するようにしても、上記母材本体の外周に石英系材料を堆積一体化させることにより上記被覆部になる被覆部形成材を形成してそれらで母材を構成し、該母材を線引き加工により細径化するようにしてもよい。

40

【0026】

この製造方法において、上記母材本体の複数の孔を封止した状態で線引き加工するようにしてもよい。このようにすれば、線引き加工時の線引き張力によって母材本体の孔を押し潰す方向に作用する力が孔内の圧力と均衡し、孔が押し潰されことなく線引き加工を行うことができる。ここで、封止とは、母材本体の複数の孔への外気の進入を阻止する手段全てを意味する。

【0027】

その場合、複数の孔の封止前に、その複数の孔の内壁の不純物を除去する不純物除去処理を施すことが好ましい。このようにすれば、母材本体の孔内の不純物を除去できるので、製造される偏波保存PCFは低損失なものとなる。不純物除去処理としては

50

、フッ化水素酸によるエッチング処理や塩素ガスに晒すことにより水酸基を除去する塩素ガス処理等を挙げることができる。

【0028】

また、いずれの製造方法においても、上記石英製のロッド材を水酸基含有量が1ppm以下の無水合成ガラスで形成されたものとするのが好ましい。このようにすれば、製造される偏波保存PCFに含まれる水酸基の数が少なく低損失なものとなる。

【0029】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、LN変調器のTi拡散導波路やAWGの石英ガラス系導波路等のアスペクト比と近いものとなり、それらとのモードマッチが可能となる。

10

【0030】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【0031】

(実施形態1)

< 偏波保存PCFの構成 >

図1は、本発明の実施形態1に係る偏波保存PCF20を示す。図2は、その横断面における中心部分を示す。

【0032】

20

この偏波保存PCF20は、石英(SiO_2)で形成されたものであって、ファイバ中心をなす中実のコア21a及びそのコア21aを被覆するように設けられたクラッド21bからなるファイバ本体21と、ファイバ本体21のクラッド21bをさらに被覆するように設けられた被覆部22とで構成されている。

【0033】

クラッド21bには、複数の細孔が配設されており、それらがファイバ横断面において三角格子を形成してファイバ半径方向にフォトニッククリスタル構造を構成している。

【0034】

ファイバ横断面において、コア21aに隣接した6つの細孔のうち、コア21aを挟んで対向するように配設された一対の細孔21c'は他の細孔21cよりも大孔径のものである一方、コア21aを挟んで対向するように配設された他の二対の細孔21cはコア21aに隣接したもの以外の細孔21cと同径の小孔径のものである。これによって、偏波保存PCF20が光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる2つの偏波モードを有するものとなっている。

30

【0035】

そして、大孔径の細孔21c'は、図2に仮想線で示す三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向き、すなわち、コア21aから遠ざかる向きにずれて配設されている。この配設位置のずれの向きは、モードフィールドにおける2つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が1.0に近づく向きである。このように、三角格子を形成する位置からずれて配設されているのは大孔径の細孔21c'のみである。

40

【0036】

この偏波保存PCF20は、アスペクト比が1.0以上で且つ2.0より小さい(好ましくは1.0以上で且つ1.7以下)。

【0037】

以上の構成の偏波保存PCF20によれば、高いモード複屈折率を得ることができるのに加え、大孔径の細孔21c'が三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きにずれて配設されているので、それによってアスペクト比が下げられるので、ファイバLN変調器のTi拡散導波路やAWGの石英ガラス系導波路等のアスペクト比と近いものとなり、それらとのモードマッチが可能となる。

50

【0038】

また、大孔径の細孔21c'のみが三角格子を形成する位置からずれて配設されているので、クラッド21bのフォトリソグラフィ構造が大きく崩れることがない。

【0039】

< 偏波保存PCFの製造方法 >

次に、本発明の実施形態1に係る偏波保存PCF20の製造方法を工程の順を追って説明する。

【0040】

- 準備工程 -

図3に示すように、石英製の円柱のロッド材1を準備する。このロッド材1として、水 10
酸基含有量が1ppm以下の無水合成ガラスで形成されたものを用いる。

【0041】

- 穿孔工程 -

図3に示すように、準備したロッド材1に対し、中心軸部分をコア形成部1aとして中実のまま残し、そのコア形成部1aを囲うようにロッド軸方向に延びる貫通した孔1cを複数配設することによりクラッド形成部1bを形成する。これらの孔1cは、上記偏波保存PCF20のクラッド21bに構成された細孔パターンが形成されるように配設する。孔の形成は、例えば、ドリルによる穿孔加工、棒状の研磨具による粗仕上げ、中仕上げ、最終仕上げ加工及びブラシと酸化セリウム研磨材とによる最終研磨加工により行う。

【0042】

- 母材本体形成工程 -

コア形成部1a及びクラッド形成部1bを形成したロッド材1を電気炉延伸器にセットし、図4に示すように、ロッド材1をロッド延伸用ヒータ2で加熱すると共に延伸して細径化した母材本体3を形成する。このとき、ロッド材1が細径化された母材本体3では、ロッド材1のものより孔径及び孔間隔が縮小された複数の孔3cが保持され、これに伴いコア形成部3a及びクラッド形成部3bがロッド材1のものより縮小されたものとなる。

【0043】

- 不純物除去処理工程 -

母材本体3をフッ化水素酸に浸漬して表面をエッチングし、母材本体3表面に付着した金属等の不純物を除去する。 30

【0044】

次いで、図5に示すように、母材本体3の両端にそれぞれ補助パイプ4を溶着した後、1000～1200の温度雰囲気下で、一方の補助パイプ4に塩素ガスを送り、それを母材本体3の孔3cに流通させ、他方の補助パイプ4から排出する塩素ガス処理を行うことにより、孔3cの内壁に形成された水酸基を除去する。

【0045】

- 封止工程 -

塩素ガス処理を行った後、図6に示すように、直ちに両方の補助パイプ4の端を加熱して閉じ、母材本体3の孔3cの両端を封止した状態にする。この際、孔内に塩素ガスが封入されるようにしてもよい。 40

【0046】

- 線引き工程 -

図7に示すように、母材本体3を石英製の筒状の被覆部形成材12内に配置してそれらで母材13を構成し、その母材13を線引き用ヒータ11で加熱すると共に延伸する線引き加工により母材本体3と被覆部形成材12とを一体化させつつ細径化して偏波保存PCF20を製造する。この際、母材本体3と被覆部形成材12との間の空隙内を負圧に減圧する。

【0047】

母材本体を被覆部形成材と加熱一体化させて母材を構成した後に線引き加工する場合、その加熱一体化の過程で孔の孔径の変動を生じる虞があるが、以上のような偏波保存PC 50

F 2 0 の製造方法によれば、母材本体 3 と被覆部形成材 1 2 とを線引き時に一体化するようにしているので、かかる孔径の変動を防止することができる。

【 0 0 4 8 】

また、線引き加工時に、母材本体 3 と被覆部形成材 1 2 との間の空隙内を負圧に減圧し、ファイバ本体 2 1 と被覆部 2 2 との間への空気の閉じ込めが防がれるので、製造される偏波保存 P C F 2 0 の伝送損失がかかる空気の閉じ込めにより高くなることを防止することができる。

【 0 0 4 9 】

以上のような偏波保存 P C F 2 0 の製造方法によれば、複数の孔 1 c を形成したロッド材 1 を加熱延伸して母材本体 3 を形成するので、ロッド材 1 の段階で有する孔径及び孔間隔の誤差が母材本体 3 の段階で縮小され、高寸法精度の偏波保存 P C F 2 0 を製造することができる。

10

【 0 0 5 0 】

また、母材本体 3 の複数の孔 3 c を封止した状態で線引き加工するようにしているので、線引き加工時の線引き張力によって母材本体 3 の孔 3 c を押し潰す方向に作用する力が孔内の圧力と均衡し、孔 3 c が押し潰されることなく線引き加工を行うことができる。

【 0 0 5 1 】

さらに、石英製の円柱のロッド材 1 として水酸基含有量が 1 p p m 以下の無水合成ガラスで形成されたものを用いており、しかも、母材本体 3 の複数の孔 3 c の封止前に、母材本体 3 表面の金属等を除去するフッ化水素酸によるエッチング処理及び孔 3 c の内壁の水酸基を除去するための塩素ガス処理を施しているので、低損失の偏波保存 P C F 2 0 を製造することができる。

20

【 0 0 5 2 】

< 実験 1 >

以下の実施例 1 及び比較例 1 の偏波保存 P C F を作製し、それぞれのアスペクト比を求めた。

【 0 0 5 3 】

- 実施例 1 -

V A D により作成した直径 4 5 m m の無水合成石英のロッド材に、図 8 (a) に示す孔パターンの孔をあけた後、それを直径 6 m m となるまで延伸して母材本体を形成した。このとき、小孔径の細孔 2 1 c となるものの孔径 D_1 を 1 . 4 m m 、大孔径の細孔 2 1 c ' となるものの孔径 D_2 を 3 . 9 m m 、小孔径の細孔 2 1 c となるものの孔間のピッチ P_1 を 3 . 9 m m 、及びロッド中心から大孔径の細孔 2 1 c ' となるものまでのピッチ P_2 を 4 . 7 m m とした。母材本体の孔内部を塩素ガス処理して両端を封止した後、それを外径 2 5 m m で内孔径 8 m m の石英ガラス管の中心に配置し、これを母材としてファイバ径 1 2 5 μ m に線引き加工して作製された偏波保存 P C F 2 0 を実施例 1 とした。

30

【 0 0 5 4 】

作製された実施例 1 の偏波保存 P C F 2 0 の構成は、小孔径の細孔 2 1 c の孔径 d_1 が 1 . 0 μ m 、大孔径の細孔 2 1 c ' の孔径 d_2 が 2 . 7 μ m 、小孔径の細孔 2 1 c 間の孔ピッチ Λ_1 が 2 . 7 μ m 及びファイバ中心から大孔径の細孔 2 1 c ' までのピッチ Λ_2 が 3 . 2 μ m (すなわち、大孔径の細孔 2 1 c ' が三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きに 0 . 1 9 Λ_1 ずらして配設されている。) であった。この偏波保存 P C F 2 0 について、波長 1 . 5 5 μ m で光強度分布を測定してシングルモード伝送を確認し、光強度が中心の最大値の $1 / e^2$ となる径を測定した (光強度分布がガウシアン分布である場合、光強度が中心の最大値の $1 / e^2$ となる径がモードフィールド径となる) 。この結果、長径が 4 . 4 μ m 、短径が 3 . 5 μ m であり、従って、アスペクト比が 1 . 2 6 であった。また、モード複屈折率は $1 . 6 \times 10^{-3}$ であり、高い偏波保存性を示した。以上の特性を表 1 に示す。

40

【 0 0 5 5 】

【 表 1 】

50

ロッド材	D_1	1.4 mm
	D_2	3.9 mm
	P_1	3.9 mm
	P_2	4.7 mm
ファイバ	d_1	1.0 μm
	d_2	2.7 μm
	Λ_1	2.7 μm
	Λ_2	3.2 μm
アスペクト比		1.26
モード複屈折率		1.6×10^{-3}

10

【0056】

- 比較例 1 -

小孔径の細孔 210 c となるものの孔間のピッチ P_1 及びロッド中心から大孔径の細孔 210 c' となるものまでのピッチ P_2 のいずれをも 3.9 mm とし、実施例 1 の場合と同様にして作製した偏波保存 PCF 200 を比較例 1 とした。

【0057】

作製された比較例 1 の偏波保存 PCF 200 の構成は、図 8 (b) に示すように、小孔径 210 c の細孔間の孔ピッチ Λ_1 及びファイバ中心から大孔径の細孔 210 c' までのピッチ Λ_2 のいずれもが 2.7 μm であることを除いては実施例 1 と同一であった。波長 1.55 μm で光強度分布を測定し、シングルモード伝送を確認した。この偏波保存 PCF 200 について、波長 1.55 μm で光強度分布を測定してシングルモード伝送を確認し、光強度が中心の最大値の $1/e^2$ となる径を測定した。この結果、長径が 4.4 μm 、短径が 2.9 μm であり、従って、アスペクト比が 1.52 であった。また、モード複屈折率は 1.7×10^{-3} であり、実施例 1 と同等の高い偏波保存性を示した。以上の特性を表 2 に示す。

20

【0058】

【表 2】

30

ロッド材	D_1	1.4 mm
	D_2	3.9 mm
	P_1	3.9 mm
	P_2	3.9 mm
ファイバ	d_1	1.0 μm
	d_2	2.7 μm
	Λ_1	2.7 μm
	Λ_2	2.7 μm
アスペクト比		1.52
モード複屈折率		1.7×10^{-3}

40

【0059】

- 実験結果 -

上記のように、アスペクト比は、大孔径の細孔 21 c' を三角格子を形成する位置からずらして配設した実施例 1 の方が、大孔径の細孔 210 c' を三角格子を形成する位置に配設した比較例 1 よりも小さい。

【0060】

(実施形態 2)

50

< 偏波保存 P C F の構成 >

図 9 は、本発明の実施形態 2 に係る偏波保存 P C F 2 0 を示す。なお、実施形態 1 と同一部分は同一符号で示す。

【 0 0 6 1 】

この偏波保存 P C F 2 0 では、ファイバ横断面において、コア 2 1 a に隣接した 6 つの細孔のうち、コア 2 1 a を挟んで対向するように配設された一対の細孔 2 1 c ' は他の細孔 2 1 c よりも大孔径のものである一方、コア 2 1 a を挟んで対向するように配設された他の二対の細孔 2 1 c はコア 2 1 a に隣接したもの以外の他の細孔 2 1 c と同径の小孔径のものである。これによって、偏波保存 P C F 2 0 が光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる 2 つの偏波モードを有するものとなっている。

10

【 0 0 6 2 】

そして、コア 2 1 a に隣接した大孔径の細孔 2 1 c ' は、図 9 に仮想線で示す三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向き、すなわち、コア 2 1 a から遠ざかる向きにずれて配設されている。この配設位置のずれの向きは、モードフィールドにおける 2 つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が 1 . 0 に近づく向きである。また、2 つの大孔径の細孔 2 1 c ' を結ぶ線上にある、それらのそれぞれの外側の小孔径の細孔 2 1 c もまた、図 9 に仮想線で示す三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向き、すなわち、コア 2 1 a から遠ざかる向きにずれて配設されている。

20

【 0 0 6 3 】

以上の構成の偏波保存 P C F 2 0 では、大孔径の細孔 2 1 c ' の孔径が大きい場合等、これを三角格子を形成する位置からずらして配設した際に、大孔径の細孔 2 1 c ' がその外側にある小孔径の細孔 2 1 c と干渉するのが防がれる。

【 0 0 6 4 】

その他の構成、作用及び効果、並びに製造方法は実施形態 1 と同一である。

【 0 0 6 5 】

< 実験 2 >

以下の実施例 2 及び比較例 2 の偏波保存 P C F を作製し、それぞれのアスペクト比を求めた。

30

【 0 0 6 6 】

- 実施例 2 -

V A D により作成した直径 4 5 m m の無水合成石英のロッド材に、図 1 0 (a) に示す孔パターンの孔をあけた後、それを直径 6 m m となるまで延伸して母材本体を形成した。このとき、小孔径の細孔 2 1 c となるものの孔径 D_1 を 2 . 7 m m 、大孔径の細孔 2 1 c ' となるものの孔径 D_2 を 6 . 7 m m 、小孔径の細孔 2 1 c となるものの孔間のピッチ P_1 を 5 . 8 m m 、及びロッド中心から大孔径の細孔 2 1 c ' となるものまでのピッチ P_2 を 7 . 0 m m とした。母材本体の孔内部を塩素ガス処理して両端を封止した後、それを外径 2 5 m m で内孔径 8 m m の石英ガラス管の中心に配置し、これを母材としてファイバ径 1 2 5 μ m に線引き加工して作製された偏波保存 P C F 2 0 を実施例 2 とした。

40

【 0 0 6 7 】

作製された実施例 2 の偏波保存 P C F 2 0 の構成は、小孔径の細孔 2 1 c の孔径 d_1 が 1 . 9 μ m 、大孔径の細孔 2 1 c ' の孔径 d_2 が 4 . 7 μ m 、小孔径の細孔 2 1 c 間の孔ピッチ Λ_1 が 4 . 0 μ m 及びファイバ中心から大孔径の細孔 2 1 c ' までのピッチ Λ_2 が 4 . 8 μ m (すなわち、大孔径の細孔 2 1 c ' 及びその外側の小孔径の細孔 2 1 c が、それぞれ三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きに 0 . 2 0 Λ_1 ずらして配設されている。) であった。この偏波保存 P C F 2 0 について、波長 1 . 5 5 μ m で光強度分布を測定してシングルモード伝送を確認し、光強度が中心の最大値の $1 / e^2$ となる径を測定した。この結果、長径が 6 . 1 μ m 、短径が 4 . 4 μ m であり、従って、アスペクト比が 1 . 3 9 であった。また、モード複屈折率は $1 . 4 \times 10^{-3}$ であり、実施例 1 と比較

50

すると若干低い、モードフィールド径が大きいので他の光ファイバとの接続性に優れるといえる。以上の特性を表 3 に示す。

【 0 0 6 8 】

【表 3】

ロッド材	D_1	2.7 mm
	D_2	6.7 mm
	P_1	5.8 mm
	P_2	7.0 mm
ファイバ	d_1	1.9 μm
	d_2	4.7 μm
	Λ_1	4.0 μm
	Λ_2	4.8 μm
アスペクト比		1.39
モード複屈折率		1.4×10^{-3}

10

【 0 0 6 9 】

- 比較例 2 -

小孔径の細孔 210 c となるものの孔間のピッチ P_1 及びロッド中心から大孔径の細孔 210 c' となるものまでのピッチ P_1 のいずれをも 5.8 mm とし、実施例 1 の場合と同様にして作製した偏波保存 PCF 200 を比較例 2 とした。

20

【 0 0 7 0 】

作製された比較例 2 の偏波保存 PCF 200 の構成は、図 10 (b) に示すように、小孔径の細孔 210 c 間の孔ピッチ Λ_1 及びファイバ中心から大孔径の細孔 210 c' までのピッチ Λ_2 のいずれもが 4.0 μm であることを除いては実施例 1 と同一であった。この偏波保存 PCF 200 について、波長 1.55 μm で光強度分布を測定してシングルモード伝送を確認し、光強度が中心の最大値の $1/e^2$ となる径を測定した。この結果、長径が 6.1 μm 、短径が 3.5 μm であり、従って、アスペクト比が 1.71 であった。また、モード複屈折率は 1.5×10^{-3} であり、実施例 2 と同等の性能を示した。以上の

30

【 0 0 7 1 】

【表 4】

ロッド材	D_1	2.7 mm
	D_2	6.7 mm
	P_1	5.8 mm
	P_2	5.8 mm
ファイバ	d_1	1.9 μm
	d_2	4.7 μm
	Λ_1	4.0 μm
	Λ_2	4.0 μm
アスペクト比		1.71
モード複屈折率		1.5×10^{-3}

40

【 0 0 7 2 】

- 実験結果 -

上記のように、アスペクト比は、大孔径の細孔 21 c' 及びその外側の小孔径の細孔 21 c を三角格子を形成する位置からずらして配設した実施例 2 の方が、大孔径の細孔 21

50

0 c' を三角格子を形成する位置に配設した比較例 2 よりも小さい。

【0073】

(実施形態 3)

< 偏波保存 PCF の構成 >

図 11 は、本発明の実施形態 3 に係る偏波保存 PCF 20 を示す。なお、実施形態 1 と同一部分は同一符号で示す。

【0074】

この偏波保存 PCF 20 では、ファイバ横断面において、コア 21a に隣接した 6 つの細孔のうち、コア 21a を挟んで対向するように配設された一対の細孔 21c を結ぶ直線上にある細孔は他の細孔よりも小孔径のものである一方、コア 21a を挟んで対向するよう
10
に配設された他の二対の細孔 21c' を含むその他の細孔は大孔径のものである。また、ファイバ横断面において、コア 21a を挟んで対向するように配設されコア 21a に隣接した大孔径の細孔 21c' を含む大孔径の細孔群を有する一対の領域が大孔径細孔領域 31 を構成している一方、コア 21a を挟んで対向するように配設されコア 21a に隣接した小孔径の細孔 21c を含む小孔径の細孔群を有する一対の領域が小孔径細孔領域 32 を構成している。以上の構成によって、偏波保存 PCF 20 が光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる 2 つの偏波モードを有するものとなっている。

【0075】

そして、コア 21a に隣接した小孔径の細孔 21c は、図 11 に仮想線で示す三角格子
20
を形成する位置からファイバ半径方向内向き、すなわち、コア 21a に近づく向きにずれて配設されている。この配設位置のずれの向きは、モードフィールドにおける 2 つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が 1.0 に近づく向きである。また、コア 21a に隣接した小孔径の細孔 21c を結ぶ線にある、それらの外側の小孔径の細孔 21c もまた、図 9 に仮想線で示す三角格子を形成する位置からファイバ半径方向内向き、すなわち、コア 21a に近づく向きにずれて配設されている。つまり、大孔径細孔領域 31 の各細孔 21c' が三角格子を形成する位置に配設されている一方、小孔径細孔領域 32 の各細孔 21c が三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きにずれて配設されている。

【0076】

以上の構成の偏波保存 PCF 20 は、クラッド 21b に構成されたフォトニッククリスタル構造の孔間隔に対する細孔の孔径の比が全体的に大きいためにゼロ分散波長が短波長側にシフトしたものである。

【0077】

その他の構成、作用及び効果、並びに製造方法は実施形態 1 と同一である。

【0078】

< 実験 3 >

以下の実施例 3 及び比較例 3 の偏波保存 PCF を作製し、それぞれのアスペクト比を求めた。

【0079】

- 実施例 3 -

VAD により作成した直径 4.5 mm の無水合成石英のロッド材に、図 12 (a) に示す孔パターンの孔をあけた後、それを直径 6 mm となるまで延伸して母材本体を形成した。このとき、小孔径の細孔 21c となるものの孔径 D_1 を 1.0 mm、大孔径の細孔 21c' となるものの孔径 D_2 を 2.3 mm、小孔径の細孔 21c となるものの孔間のピッチ P_1 を 3.3 mm、及びロッド中心から大孔径の細孔 21c' となるものまでのピッチ P_2 を 2.8 mm とした。母材本体の孔内部を塩素ガス処理して両端を封止した後、それを外径 2.5 mm で内径 8 mm の石英ガラス管の中心に配置し、これを母材としてファイバ径 125 μ m に線引き加工して作製された偏波保存 PCF 20 を実施例 3 とした。

【0080】

10

20

30

40

50

作製された実施例 3 の偏波保存 P C F 2 0 の構成は、小孔径の細孔 2 1 c の孔径 d_1 が $0.7 \mu\text{m}$ 、大孔径の細孔 2 1 c ' の孔径 d_2 が $1.6 \mu\text{m}$ 、小孔径の細孔 2 1 c 間の孔ピッチ Λ_1 が $2.3 \mu\text{m}$ 及びファイバ中心から大孔径の細孔 2 1 c ' までのピッチ Λ_2 が $2.0 \mu\text{m}$ (すなわち、小孔径の細孔 2 1 c が三角格子を形成する位置からファイバ半径方向内向きに $0.13 \Lambda_1$ ずれて配設されている。) であった。そして、アスペクト比は 1.10 であった。また、モード複屈折率は 1.6×10^{-3} であり、高い偏波保存性を示した。以上の特性を表 5 に示す。

【 0 0 8 1 】

【表 5】

ロッド材	D_1	1.0 mm
	D_2	2.3 mm
	P_1	3.3 mm
	P_2	2.8 mm
ファイバ	d_1	$0.7 \mu\text{m}$
	d_2	$1.6 \mu\text{m}$
	Λ_1	$2.3 \mu\text{m}$
	Λ_2	$2.0 \mu\text{m}$
アスペクト比		1.10
モード複屈折率		1.6×10^{-3}

【 0 0 8 2 】

- 比較例 3 -

小孔径の細孔 2 1 0 c となるものの孔間のピッチ P_1 及びロッド中心から大孔径の細孔 2 1 0 c ' となるものまでのピッチ P_2 のいずれをも 3.3 mm とし、実施例 1 の場合と同様にして作製した偏波保存 P C F 2 0 0 を比較例 3 とした。

【 0 0 8 3 】

作製された比較例 3 の偏波保存 P C F 2 0 0 の構成は、図 1 2 (b) に示すように、小孔径の細孔 2 1 0 c 間の孔ピッチ Λ_1 及びファイバ中心から大孔径の細孔 2 1 0 c ' までのピッチ Λ_2 のいずれもが $2.3 \mu\text{m}$ であることを除いては実施例 1 と同一であった。そして、アスペクト比は 1.30 であった。また、モード複屈折率は 1.6×10^{-3} であり、実施例 3 と同等の性能を示した。以上の特性を表 6 に示す。

【 0 0 8 4 】

【表 6】

ロッド材	D_1	1.0 mm
	D_2	2.3 mm
	P_1	3.3 mm
	P_2	3.3 mm
ファイバ	d_1	$0.7 \mu\text{m}$
	d_2	$1.6 \mu\text{m}$
	Λ_1	$2.3 \mu\text{m}$
	Λ_2	$2.3 \mu\text{m}$
アスペクト比		1.30
モード複屈折率		1.6×10^{-3}

【 0 0 8 5 】

- 実験結果 -

上記のように、アスペクト比は、小孔径の細孔 21c を三角格子を形成する位置からずらして配設した実施例 3 の方が、小孔径の細孔 210c を三角格子を形成する位置に配設した比較例 3 よりも小さい。

【0086】

(実施形態 4)

< 偏波保存 PCF の構成 >

図 13 は、本発明の実施形態 4 に係る偏波保存 PCF 20 を示す。なお、実施形態 1 と同一部分は同一符号で示す。

【0087】

この偏波保存 PCF 20 では、ファイバ横断面において、コア 21a に隣接した 6 つの細孔のうち、コア 21a を挟んで対向するように配設された一対の細孔 21c' を結ぶ直線上にある細孔は他の細孔よりも大孔径のものである一方、コア 21a を挟んで対向するように配設された他の二対の細孔 21c を含むその他の細孔は小孔径のものである。また、ファイバ横断面において、コア 21a を挟んで対向するように配設されコア 21a に隣接した大孔径の細孔 21c' を含む大孔径の細孔群を有する一対の領域が大孔径細孔領域 31 を構成している一方、コア 21a を挟んで対向するように配設されコア 21a に隣接した小孔径の細孔 21c を含む小孔径の細孔群を有する一対の領域が小孔径細孔領域 32 を構成している。以上の構成によって、偏波保存 PCF 20 が光伝搬領域であるモードフィールドがファイバ横断面において相互に直交し且つ伝搬定数が異なる 2 つの偏波モードを有するものとなっている。

【0088】

そして、コア 21a に隣接した大孔径の細孔 21c' は、図 13 に仮想線で示す三角格子を形成する位置からファイバ半径方向内向き、すなわち、コア 21a から遠ざかる向きにずれて配設されている。この配設位置のずれの向きは、モードフィールドにおける 2 つの偏波モードの方向のうち一方のモードフィールド径に対する他方のモードフィールド径の比であるアスペクト比が 1.0 に近づく 向きである。また、コア 21a に隣接した大孔径の細孔 21c' を結ぶ線上にある、それらの外側の細孔 21c' もまた、図 13 に仮想線で示すように三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向き、すなわち、コア 21a から遠ざかる向きにずれて配設されている。つまり、小孔径細孔領域 32 の各細孔 21c が三角格子を形成する位置に配設されている一方、大孔径細孔領域 31 の各細孔 21c' が三角格子を形成する位置からファイバ半径方向外向きにずれて配設されている。

【0089】

実施形態 1 及び 2 のものでは、コア 21a に隣接した大孔径の細孔 21c' の外側に小孔径の細孔 21c があるので、長波長の光がその方向に放射してしまい長波長の伝送が遮断される虞があるが、以上の構成の偏波保存 PCF 20 では、コア 21a に隣接した大孔径の細孔 21c' の外側にさらに大孔径の細孔 21c' があるので、かかる不都合が解消される。

【0090】

その他の構成、作用及び効果、並びに製造方法は実施形態 1 と同一である。

【0091】

(その他の実施形態)

上記実施形態 1 ~ 4 では、母材本体 3 を石英製の筒状の被覆部形成材 12 内に配置してそれらで母材 13 を構成し、その母材 13 を線引き用ヒータ 11 で加熱すると共に延伸する線引き加工により母材本体 3 と被覆部形成材 12 とを一体化させつつ細径化して偏波保存 PCF 20 を製造したが、特にこれに限定されるものではなく、図 14 に示すように、孔 3c が封止された母材本体 3 の外周に、酸水素パーナ 5 の火炎に SiCl_4 を供給して生成した石英微粒子を堆積一体化させ石英多孔質層 6 を形成し、次いで、図 15 に示すように、石英多孔質層 6 が外周に一体に堆積した母材本体 3 をヘリウムと塩素ガスとを流通させた加熱容器 7 に配置し、外部より焼成用ヒータ 8 で加熱することにより石英多孔質層

6を焼成して透明な被覆部形成材9に変化させて母材10とした後、その母材10を線引き装置にセットし、図16に示すように、線引き用ヒータ11で線引き加工により細径化するようにしてもよい。

【0092】

また、石英製のロッド材にファイバ横断面の孔パターンに対応するようにロッド軸方向に延びる複数の孔を形成して母材を形成する母材形成工程と、母材を線引き加工により細径化する線引き工程と、を経て偏波保存PCFを製造するようにしてもよい。この場合、母材の複数の孔を封止した状態で線引き加工するようにすれば、線引き加工時の線引き張力によって母材の孔を押し潰す方向に作用する力が孔内の圧力と均衡し、孔が押し潰されることなく線引き加工を行うことができる。また、複数の孔の封止前に、その複数の孔の内壁の不純物を除去する不純物除去処理を施すようにすれば、母材の孔内の不純物を除去することができるので、製造される偏波保存PCFは低損失なものとなる。さらに、石英製のロッド材を水酸基含有量が1ppm以下の無水合成ガラスで形成されたものとするれば、製造される偏波保存PCFに含まれる水酸基の数が少なく低損失なものとなる。

10

【0093】

また、実施形態3では、ファイバ横断面に、コア21aを挟んだ一対の帯状領域による小孔径細孔領域32を構成する一方、その他の領域で大孔径細孔領域31を構成し、実施形態4では、ファイバ横断面に、コア21aを挟んだ一対の帯状領域による大孔径細孔領域31を構成する一方、その他の領域で小孔径細孔領域32を構成したが、特にこれに限定されるものではなく、図17に示すように、コア21aを中心とした例えば中心角60°や120°の扇形領域で大孔径細孔領域31及び小孔径細孔領域32をそれぞれ構成するようにしてもよい。

20

【0094】

また、上記実施形態1～3では、純粋な石英製の偏波保存PCF20としたが、特にこれに限定されるものではなく、主成分が石英のものであれば、他の元素がドーピングされたものであってもよい。

【図面の簡単な説明】

【図1】 実施形態1に係る偏波保存PCFの斜視図である。

【図2】 実施形態1に係る偏波保存PCFの横断面中心部分の正面図である。

【図3】 実施形態1に係る準備工程及び穿孔工程の説明図である。

30

【図4】 実施形態1に係る母材本体形成工程の説明図である。

【図5】 実施形態1に係る不純物除去処理工程の塩素ガス処理の説明図である。

【図6】 実施形態1に係る封止工程の説明図である。

【図7】 実施形態1に係る線引き工程の説明図である。

【図8】 実験1の実施例1及び比較例1のそれぞれの偏波保存PCFの横断面中心部分の正面図である。

【図9】 実施形態2に係る偏波保存PCFの横断面中心部分の正面図である。

【図10】 実験2の実施例2及び比較例2のそれぞれの偏波保存PCFの横断面中心部分の正面図である。

【図11】 実施形態3に係る偏波保存PCFの横断面中心部分の正面図である。

40

【図12】 実験3の実施例3及び比較例3のそれぞれの偏波保存PCFの横断面中心部分の正面図である。

【図13】 実施形態4に係る偏波保存PCFの横断面中心部分の正面図である。

【図14】 その他の実施形態の偏波保存PCFの製造方法に係る被覆部形成材形成工程の石英多孔質層の形成過程を示す説明図である。

【図15】 その他の実施形態の偏波保存PCFの製造方法に係る被覆部形成材形成工程の石英多孔質層の焼成による被覆部形成材の形成過程を示す説明図である。

【図16】 その他の実施形態の偏波保存PCFの製造方法に係る線引き工程を示す説明図である。

【図17】 その他の実施形態に係る偏波保存PCFの横断面中心部分の模式的な正面図

50

である。

【図 1 8】 従来技術に係る偏波保存 P C F の横断面中心部分の正面図である。

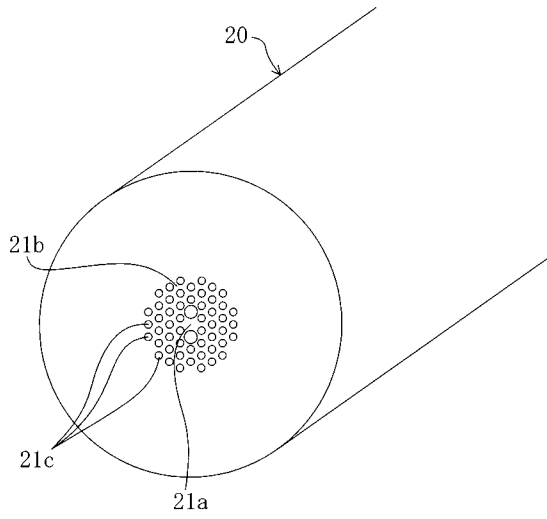
【符号の説明】

- 1 ロッド材
- 1 a , 3 a コア形成部
- 1 b , 3 b クラッド形成部
- 1 c , 3 c 孔
- 2 ロッド延伸用ヒータ
- 3 母材本体
- 4 補助パイプ
- 5 酸水素バーナ
- 6 石英多孔質層
- 7 加熱容器
- 8 焼成用ヒータ
- 9 , 1 2 被覆部形成材
- 1 0 , 1 3 母材
- 1 1 線引き用ヒータ
- 2 0 , 2 0 0 偏波保存 P C F
- 2 1 ファイバ本体
- 2 1 a , 2 1 0 a コア
- 2 1 b , 2 1 0 b クラッド
- 2 1 c , 2 1 0 c 小孔径の細孔
- 2 1 c ' , 2 1 0 c ' 大孔径の細孔
- 2 2 被覆部
- 3 1 大孔径細孔領域
- 3 2 小孔径細孔領域

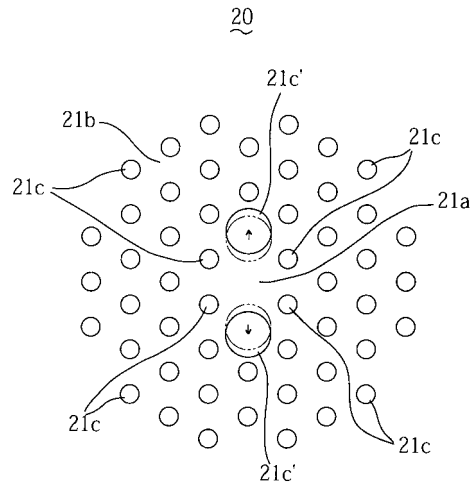
10

20

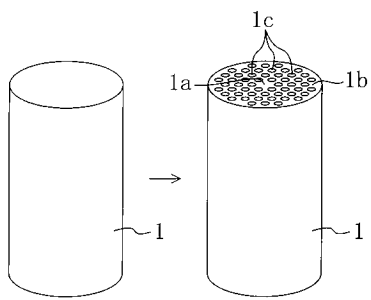
【図 1】



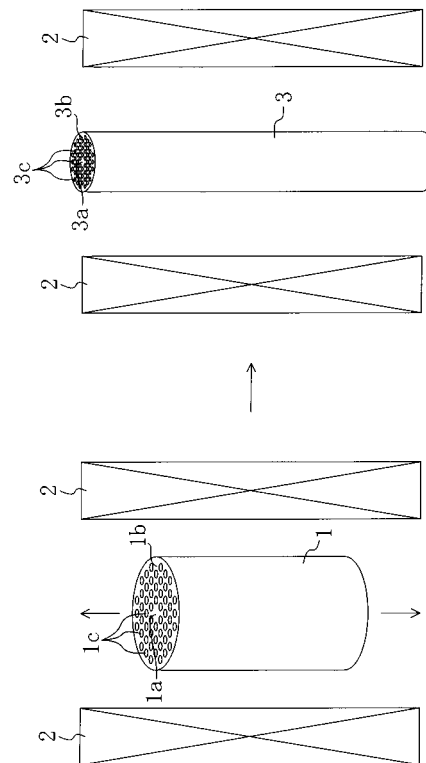
【図 2】



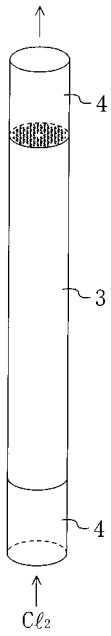
【図 3】



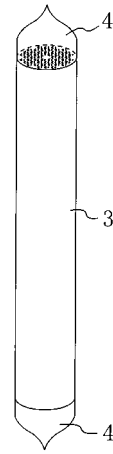
【図 4】



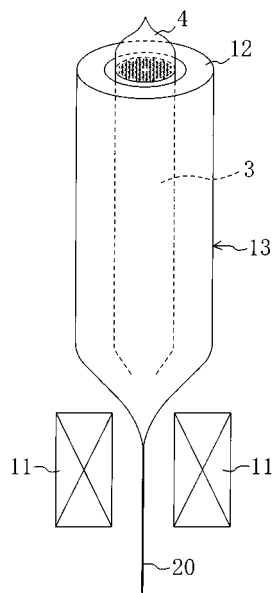
【図 5】



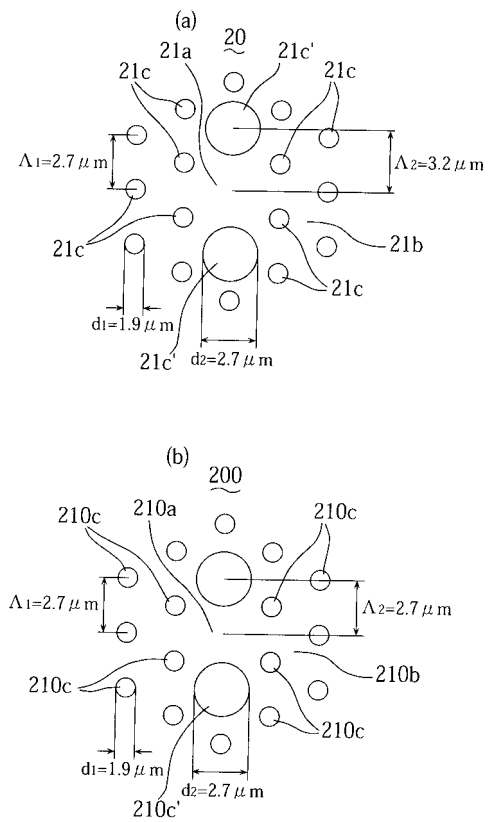
【図 6】



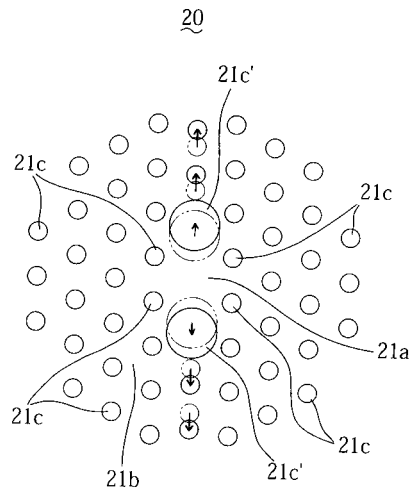
【図 7】



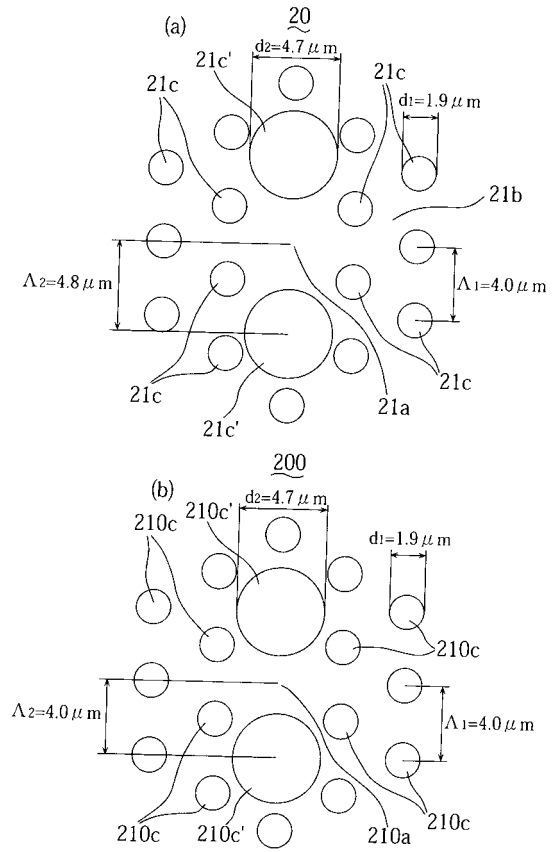
【図 8】



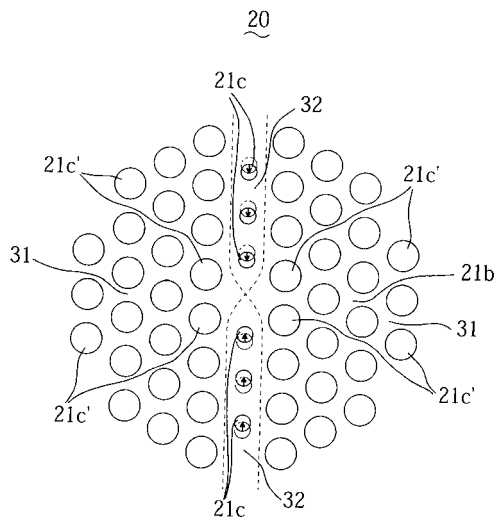
【図 9】



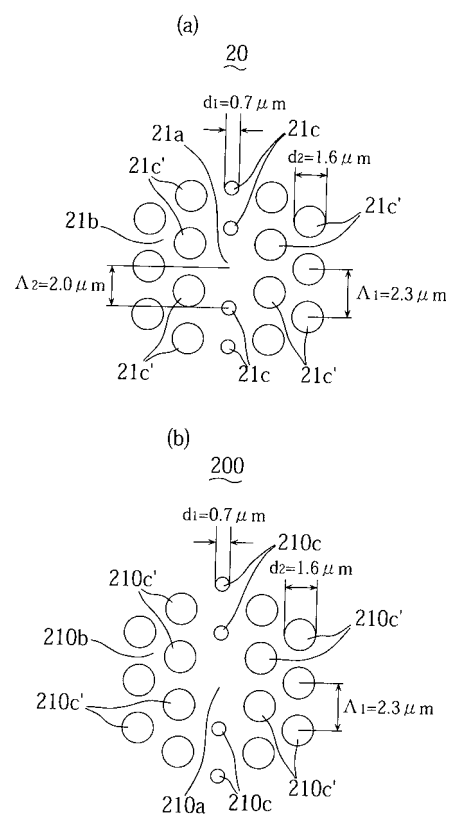
【図 10】



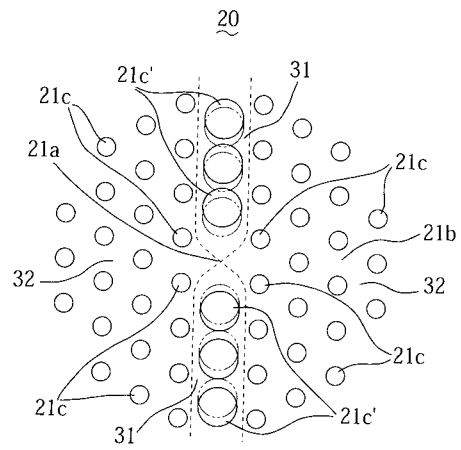
【図 11】



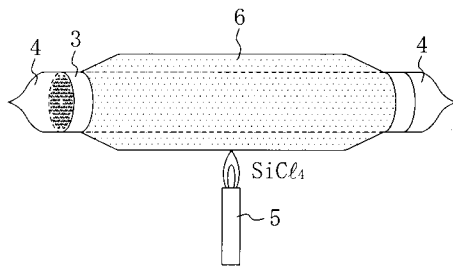
【図 12】



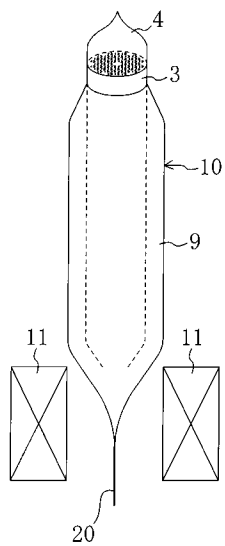
【図 13】



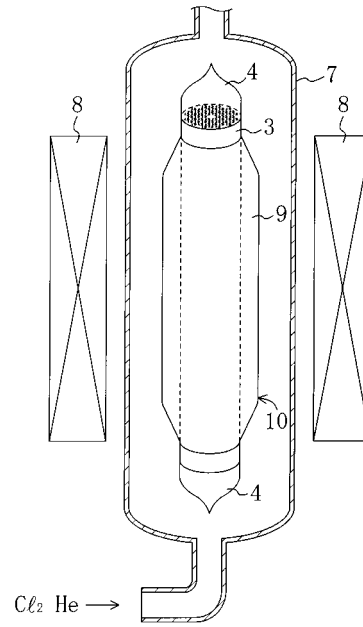
【図 14】



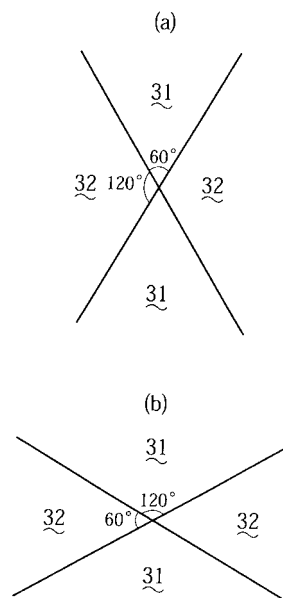
【図 16】



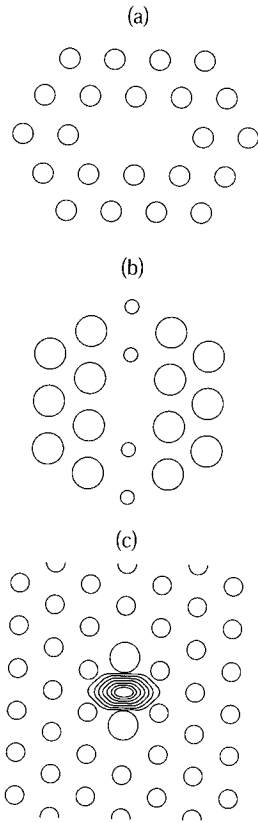
【図 15】



【図 17】



【 図 18 】



フロントページの続き

- (74)代理人 100113262
弁理士 竹内 祐二
- (74)代理人 100115059
弁理士 今江 克実
- (74)代理人 100115510
弁理士 手島 勝
- (74)代理人 100115691
弁理士 藤田 篤史
- (72)発明者 山本 哲也
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社 伊丹製作所内
- (72)発明者 田中 正俊
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社 伊丹製作所内
- (72)発明者 藤田 盛行
兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 三菱電線工業株式会社 伊丹製作所内
- (72)発明者 川西 悟基
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 鈴木 和宣
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 久保田 寛和
東京都千代田区大手町二丁目3番1号 日本電信電話株式会社内

審査官 後藤 昌夫

- (56)参考文献 特開2001-318260(JP, A)
国際公開第00/049436(WO, A1)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G02B 6/00 - 6/54