

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3640943号
(P3640943)

(45) 発行日 平成17年4月20日(2005.4.20)

(24) 登録日 平成17年1月28日(2005.1.28)

(51) Int.Cl.⁷

F I

G O 2 B 6/20

G O 2 B 6/20

Z

H O 1 S 3/06

H O 1 S 3/06

B

H O 1 S 3/10

H O 1 S 3/10

Z

請求項の数 1 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2002-239310 (P2002-239310)
 (22) 出願日 平成14年8月20日(2002.8.20)
 (65) 公開番号 特開2004-77891 (P2004-77891A)
 (43) 公開日 平成16年3月11日(2004.3.11)
 審査請求日 平成15年10月31日(2003.10.31)
 審判番号 不服2004-8719 (P2004-8719/J1)
 審判請求日 平成16年4月28日(2004.4.28)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000003263
 三菱電線工業株式会社
 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地
 (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】 フォトニッククリスタルファイバ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

光増幅成分がドーブされた光導波路をなすコアと、該コアを被覆するように設けられた第1クラッドと、該第1クラッドを被覆するように設けられ該コアに沿って延びる複数の細孔によりファイバ横断面において三角格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成された第2クラッドとを備え、該第1クラッドに入射された励起光が該第1クラッドと該第2クラッドとの界面で反射を繰り返しながら該第2クラッドで囲まれた領域内を伝播し、励起光が該コアを通過する際に該コアの光増幅成分を活性化させ、該活性化された光増幅成分が該コアを導波する光を増幅するように構成されたダブルクラッドファイバ型のフォトニッククリスタルファイバであって、

ファイバ長5 m以上で上記第2クラッドで囲まれた部分の波長(λ)630 nmの光に対する開口数(NA)が0.5以上となるように、ファイバ横断面における孔ピッチ(Λ)に対する孔径(d)の比(d/Λ)が0.5以上、且つ、波長(λ)630 nmに対する孔ピッチ(Λ)の比(Λ/λ)が4以下にそれぞれ設定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。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、長手方向に延びるコアと、そのコアを覆うように設けられコアに沿って延びる複数の細孔によりファイバ横断面において所定格子パターンが形成されてファイバ半径

方向にフォトリソニック結晶構造が構成されたクラッドと、を備えたフォトリソニッククリスタルファイバ（以下「PCファイバ」という）に関する。

【0002】

【従来の技術】

ダブルクラッドファイバは、希土類元素がドープされた光導波路をなすコアと、そのコアを被覆するように設けられた第1クラッドと、その第1クラッドを被覆するように設けられた第2クラッドとを備え、第1クラッドに入射された励起光が第1クラッドと第2クラッドとの界面で反射を繰り返しながら第2クラッドで囲まれた領域内を伝播し、励起光がコアを通過する際にコアの希土類元素を活性化させ、その活性化された希土類元素がコアを導波する光を増幅するように構成されたものであり、高出力化が可能であるという観点から近年よく使われている。

10

【0003】

ダブルクラッドファイバの場合、コアと第1クラッドとの励起光のカップリングが重要であるが、第1クラッドの外径が大きいほどコアとのカップリングが悪くなる。そのため、第1クラッドの外径は小さいことが好ましいが、そうすると励起光入射が効率よく行えないという問題が生じる。但し、開口数（NA）が大きければ、その問題は解決されることとなる。従って、一般に、0.35程度といった大きな開口数（NA）を得るべく、第2クラッドとして石英よりも低い屈折率を有する樹脂が用いられている。しかしながら、樹脂製の第2クラッドは、耐久性が劣り、また、高い伝送損失を生じるという欠点がある。

20

【0004】

また、石英に屈折率を低めるフッ素（F）やボロン（B）をドープしたもので第2クラッドを形成することも可能であるが、それでは0.2以上の開口数（NA）を得ることが困難である。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、特開平11-142672号公報には、図8に示すように、希土類元素がドープされた光導波路をなすコア11'と、そのコア11'を被覆するように設けられた第1クラッド12'と、その第1クラッド12'を被覆するように設けられた第2クラッド13'と、を備えたダブルクラッドファイバ10'であって、第2クラッド13'を、コア11'に沿って延びる複数の孔13a'が第1クラッド12'を囲うように形成された石英で構成したものが開示されている。

30

【0006】

上記のような構造であれば、第2クラッド13'の大半が低屈折率である空気で占められるため、第2クラッド13'で囲まれた部分で大きな開口数（NA）を得ることが期待された。しかしながら、本発明者らの追試によれば、かかる構造のダブルクラッドファイバでは、波長630nmの光に対するその開口数（NA）が0.14であった。

【0007】

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、大きな開口数（NA）を有するPCファイバを提供することにある。

40

【0008】

【課題を解決するための手段】

本発明者らは、第2クラッドに孔が形成されたダブルクラッドファイバにおいて、大きな開口数（NA）を得るためには、孔径を大きくして第2クラッドで空間が占める割合を大きくするというだけでは不十分であり、孔ピッチを小さくすることも必要であることを見出して本発明に想到した。

【0009】

具体的には、本発明のPCファイバは、光増幅成分がドープされた光導波路をなすコアと、該コアを被覆するように設けられた第1クラッドと、該第1クラッドを被覆するよう

50

に設けられ該コアに沿って延びる複数の細孔によりファイバ横断面において三角格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成された第2クラッドとを備え、該第1クラッドに入射された励起光が該第1クラッドと該第2クラッドとの界面で反射を繰り返しながら該第2クラッドで囲まれた領域内を伝播し、励起光が該コアを通過する際に該コアの光増幅成分を活性化させ、該活性化された光増幅成分が該コアを導波する光を増幅するように構成されたダブルクラッドファイバ型のものであって、ファイバ長5m以上で上記第2クラッドで囲まれた部分の波長(λ)630nmの光に対する開口数(NA)が0.5以上となるように、ファイバ横断面における孔ピッチ(Λ)に対する孔径(d)の比(d/Λ)が0.5以上、且つ、波長(λ)630nmに対する孔ピッチ(Λ)の比(Λ/λ)が4以下にそれぞれ設定されていることを特徴とする。

10

【0010】

PCファイバの細孔を有するクラッドの実効屈折率は、伝送させる光の波長に対する孔ピッチの比(Λ/λ)と孔ピッチに対する孔径の比(d/Λ)との関数であることが知られている。従って、クラッドで囲まれた部分の伝送させる光の波長(λ)に対する開口数(NA)もまた、それらの2つの比の関数となる。そこで、所定波長に対する開口数(NA)がある一定値(下限値)以上のものを得ようとする場合、その所定波長に対する孔ピッチの比(Λ/λ)及び孔ピッチに対する孔径の比(d/Λ)の組み合わせと開口数(NA)との関係マップにおいて、その下限値以上の開口数(NA)が得られる領域を求め、その領域内の1つの所定波長に対する孔ピッチの比(Λ/λ)と孔ピッチに対する孔径の比(d/Λ)との組み合わせに基づいて孔径(d)及び孔ピッチ(Λ)をそれぞれ決定する

20

【0011】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、クラッドの細孔の孔径及び孔ピッチがそれぞれ適正に設定されることによって従来では得られなかった大きな開口数(NA)を有するPCファイバを得ることができる。

【0012】

【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。

【0013】

30

(実施形態1)

図1は、本発明の実施形態1に係るPCファイバ10を示す。このPCファイバ10は、光を増幅させるために用いられるダブルクラッドファイバ型のものである。

【0014】

このPCファイバ10は、石英製のものであり、ファイバ中心をなすコア11と、コア11を被覆するように設けられた第1クラッド12と、第1クラッド12を被覆するように設けられた第2クラッド13と、第2クラッド13を被覆するように設けられた被覆部14と、を備えている。

【0015】

コア11は、エルビウム(Er)等の光増幅成分がドーブされた石英で形成されており、増幅対象の光が伝播する光導波路をなす。

40

【0016】

第1クラッド12は、純石英で中実形成されており、光増幅用の励起光が入射されて伝播する光導波領域をなす。

【0017】

第2クラッド13は、コア11に沿って延びる複数の細孔13aによりファイバ横断面において三角格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成された純石英で形成されており、実効屈折率が純石英よりも低いものとなって励起光をその内部に閉じ込める。この第2クラッド13の三角格子パターンにより、第2クラッド13で囲まれた部分の開口数(NA)がファイバ長5m以上において0.5以上となるよう

50

に、ファイバ横断面における孔ピッチ（ Λ ）に対する孔径（ d ）の比（ d/Λ ）が 0.5 以上、且つ、波長（ λ ）630nm に対する孔ピッチ（ Λ ）の比（ Λ/λ ）が 4 以下にそれぞれ設定されている。かかる開口数（NA）は、従来、石英のみで形成されたダブルクラッドファイバ型の PC ファイバでは得られなかったものである。

【0018】

被覆部 14 は、純石英で中実に形成されており、コア 11、第 1 及び第 2 クラッド 13 を保護する。

【0019】

この PC ファイバ 10 は、第 1 クラッド 12 に入射された励起光が第 1 クラッド 12 と第 2 クラッド 13 との界面で反射を繰り返しながら第 2 クラッド 13 で囲まれた領域内を伝播し、励起光がコア 11 を通過する際にコア 11 の光増幅成分を活性化させ、活性化された光増幅成分がコア 11 を伝播する光を増幅する。

10

【0020】

次に、本発明の実施形態に係る PC ファイバ 10 の設計方法について説明する。

【0021】

まず、PC ファイバ 10 の第 2 クラッド 13 で囲まれた部分の所定波長（ λ ）、例えば He-Ne レーザ光の波長である 630nm に対する所定ファイバ長（例えば、ファイバ長が 5m）での開口数（NA）の下限値（ NA_{min} ）を例えば 0.5 と設定する。

【0022】

次いで、所定波長に対する孔ピッチの比（ Λ/λ ）及び孔ピッチに対する孔径の比（ d/Λ ）の組み合わせと開口数（NA）との関係マップにおいて開口数（NA）が下限値（ NA_{min} ）以上となる領域を求める。具体的には、例えば図 3 に示すように、孔ピッチに対する孔径の比（ d/Λ ）を 0.1、0.2、0.3・・・0.9 としたときのそれぞれについて、所定波長に対する孔ピッチの比（ Λ/λ ）と所定波長に対する開口数（NA）との関係を求める。このとき、開口数（NA）は、ビーム伝搬法等に基づいた計算により下記式より算出する。なお、 n_1 は第 1 クラッド 12 の屈折率であり、 $n_2(\lambda)$ は第 2 クラッド 13 の実効屈折率である。

20

【0023】

【数 3】

30

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2(\lambda)}$$

【0024】

次に、図 3 より同一開口数（NA）が得られるときの所定波長に対する孔ピッチの比（ Λ/λ ）及び孔ピッチに対する孔径の比（ d/Λ ）の組み合わせを読み取る。次に、例えば図 4 に示すように、横軸を所定波長に対する孔ピッチの比（ Λ/λ ）及び縦軸を孔ピッチに対する孔径の比（ d/Λ ）とした関係マップ上にそれらの組み合わせをプロットし、開口数（NA）が同一である組み合わせについてそれらを結ぶラインを設ける。図 4 に示す例では、簡便のために、開口数（NA）が同一である組み合わせについて下記に示すそれぞれの補間曲線の式を導出し、その補間曲線を描いている。

40

【0025】

開口数（NA）= 0.7 のとき、

【0026】

【数 4】

$$\frac{d}{\Lambda} \geq -0.0226 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 + 0.1859 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right) + 0.584, \frac{\Lambda}{\lambda} \leq 3$$

【 0 0 2 7 】

開口数 (N A) = 0 . 6 のとき、

【 0 0 2 8 】

【 数 5 】

10

$$\frac{d}{\Lambda} \geq -0.299 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 + 0.2366 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right) + 0.4539, \frac{\Lambda}{\lambda} \leq 4$$

【 0 0 2 9 】

開口数 (N A) = 0 . 5 のとき、

【 0 0 3 0 】

【 数 6 】

20

$$\frac{d}{\Lambda} \geq -0.0270 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 + 0.2484 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right) + 0.3363, \frac{\Lambda}{\lambda} \leq 5$$

【 0 0 3 1 】

開口数 (N A) = 0 . 4 のとき、

【 0 0 3 2 】

【 数 7 】

30

$$\frac{d}{\Lambda} \geq -0.0200 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 + 0.2285 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right) + 0.2455, \frac{\Lambda}{\lambda} \leq 6$$

【 0 0 3 3 】

開口数 (N A) = 0 . 3 のとき、

【 0 0 3 4 】

【 数 8 】

40

$$\frac{d}{\Lambda} \geq -0.0128 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 + 0.1944 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right) + 0.1523, \frac{\Lambda}{\lambda} \leq 8$$

【 0 0 3 5 】

開口数 (N A) = 0 . 2 のとき、

【 0 0 3 6 】

【 数 9 】

50

$$\frac{d}{\Lambda} \geq -0.0106 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right)^2 + 0.1871 \left(\frac{\Lambda}{\lambda} \right) + 0.0254, \frac{\Lambda}{\lambda} \leq 10$$

【 0 0 3 7 】

図 4 の横軸に沿って見てみると、所定波長に対する孔ピッチの比 (Λ / λ) が小さいほど開口数 (NA) が大きくなっている。つまり、これは、孔ピッチに対する孔径の比 (d / Λ) が同一である場合には、所定波長に対する孔ピッチの比 (Λ / λ) が小さいほど開口数 (NA) が大きいことを意味する。また、図 4 の縦軸に沿って見てみると、孔ピッチに対する孔径の比 (d / Λ) が大きいほど開口数 (NA) が大きくなっている。つまり、これは、所定波長に対する孔ピッチの比 (Λ / λ) が同一である場合には、孔ピッチに対する孔径の比 (d / Λ) が大きいほど開口数 (NA) が大きいことを意味する。従って、所定波長 (λ) に対する開口数 (NA) の下限値 (NA_{min}) が得られるラインを含んでそれよりも上側の領域における組み合わせによれば、所定波長 (λ) に対する開口数 (NA) が下限値 (NA_{min}) 以上のものを得ることができる。

10

【 0 0 3 8 】

次いで、孔ピッチ (Λ) から孔径 (d) を減じた細孔 1 3 a 間の壁厚の最小値 (T_{min}) を設定する。これによって下記関係式が成立する。

【 0 0 3 9 】

【 数 1 0 】

$$\frac{d}{\Lambda} \leq 1 - \frac{T_{min}}{\Lambda}$$

20

【 0 0 4 0 】

この P C ファイバ 1 0 は、後述するように、サポート管 1 1 4 にコアロッド 1 1 1、石英ロッド 1 1 2 及び石英キャピラリ 1 1 3 を充填してプリフォーム 1 0 0 を作製し、そのプリフォーム 1 0 0 を線引き加工して製造されるものである。ここで、例えば、細孔 1 3 a 間の壁厚の最小値 (T_{min}) を $0.2 \mu m$ と設定すれば、線引き加工時に石英キャピラリ 1 1 3 の管壁の破裂して孔が潰れるのを抑止することができ、安定した P C ファイバ 1 0 の製造が可能となり、また、細孔 1 3 a 間の壁厚の最小値 (T_{min}) を $0.5 \mu m$ と設定すれば、線引き加工時に石英キャピラリ 1 1 3 の孔がガラスの表面張力により潰れるのを抑止することができ、より安定した P C ファイバ 1 0 の製造が可能となる。

30

【 0 0 4 1 】

図 4 は、所定波長の長さ如何によらず同一の関係マップとなるように一般化したものであることから、 $\lambda = 1 (\mu m)$ としたときにも同一の関係マップが成立する。そこで、例えば図 5 に示すように、 $\lambda = 1 (\mu m)$ とした関係マップに上記関係式を描き入れると (図 5 では $T_{min} = 0.2 (\mu m)$ 及び $0.5 (\mu m)$ について図示している。)、細孔 1 3 a 間の壁厚が最小値 (T_{min}) 以上となる領域が区画される。従って、上記関係式の領域における組み合わせによれば、細孔 1 3 a 間の壁厚が最小値 (T_{min}) 以上であるものを得ることができる。

【 0 0 4 2 】

そして、上記の両領域が重なるところにおける 1 つの所定波長に対する孔ピッチの比 (Λ / λ) 及び孔ピッチに対する孔径の比 (d / Λ) の組み合わせを選定し、それに基づいて孔径 (d) 及び孔ピッチ (Λ) をそれぞれ決定する。

40

【 0 0 4 3 】

以上のような設計方法によって、開口数 (NA) の大きいものから小さいものまで任意の開口数 (NA) の P C ファイバ 1 0 を設計することができる。

【 0 0 4 4 】

次に、本発明の実施形態に係る P C ファイバ 1 0 の製造方法について説明する。

【 0 0 4 5 】

まず、エルビウム (Er) 等の光増幅成分がドーブされた石英製のコアロッド 1 1 1 を 1 本と、それと外径である純石英製の石英ロッド 1 1 2 及び石英キャピラリ 1 1 3 を多数

50

本ずつと、純石英製の円筒状のサポート管 114 を 1 本と、を準備する。このとき、石英キャピラリ 113 については、上記の PC ファイバ 10 の設計で決定した孔径 (d) 及び孔ピッチ (Λ) に対応したものを準備する。

【0046】

次いで、コアロッド 111、石英ロッド 112 及び石英キャピラリ 113 をサポート管 114 内に充填する。このとき、横断面において、コアロッド 111 を中心としてその周りに石英ロッド 112 を最密状に配設し、さらにその周りに石英キャピラリ 113 を最密状に配設する。以上のようにして、図 6 に示すように、コアロッド 111、石英ロッド 112 及び石英キャピラリ 113 の束がサポート管 114 で保持されたプリフォーム 100 が構成される。なお、サポート管 114 への石英キャピラリ 113 の充填時における変形や破損を回避するためには、外径が 150 μm 以上の石英キャピラリ 113 を用いることが好ましい。

10

【0047】

そして、プリフォーム 100 を線引き加工機にセットし、プリフォーム 100 に線引き炉で加熱延伸する線引き加工を施すことにより細径化 (ファイバー化) する。このとき、コアロッド 111、石英ロッド 112、石英キャピラリ 113 及びサポート管 114 が軟化し、相互に融着すると共に縮径され、コアロッド 111 がコア 11 に、石英ロッド 112 が第 1 クラッド 12 に、石英キャピラリ 113 が第 2 クラッド 13 に、そして、サポート管 114 が被覆部 14 にそれぞれ形成される。また、プリフォーム 100 は所定の縮径比で縮径されることとなるが、石英キャピラリ 113 もまたほぼ同一の縮径比 (通常、プリフォーム 100 の縮径比の 1.0 ~ 1.5 倍の縮径比) で縮径されるので、石英キャピラリ 113 の肉厚の 2 倍に縮径比を乗じたものが第 2 クラッド 13 の細孔 13a 間の壁厚となる。従って、石英キャピラリ 113 としては、肉厚の 2 倍に縮径比を乗じたものが細孔 13a 間の壁厚となるものが用いられる。

20

【0048】

(実施形態 2)

図 7 は、実施形態 2 に係る PC ファイバ 20 を示す。

【0049】

この PC ファイバ 20 は、全体が純石英製のものであり、ファイバ中心をなすコア 21 と、コア 21 を被覆するように設けられたクラッド 23 と、クラッド 23 を被覆するように設けられた被覆部 24 と、を備えている。

30

【0050】

クラッドは、コア 21 に沿って延びる複数の細孔 23a によりファイバ横断面において三角格子パターンが形成されてファイバ半径方向にフォトニック結晶構造が構成されており、実効屈折率が純石英よりも低いものとなっている。クラッド 23 の三角格子パターンは、クラッド 23 で囲まれた部分の開口数 (NA) が 0.2 以上となるように、細孔 23a の孔径 (d) 及び孔ピッチ (Λ) が設定されている。かかる開口数 (NA) は、従来の PC ファイバでは得られなかったものである。

【0051】

この PC ファイバの設計及び製造は実施形態 1 と同一である。

40

【0052】

【実施例】

(例 1)

上記実施形態 1 と同様の製造方法により、コアロッド、石英ロッド、外径が 250 μm で且つ肉厚が 60 μm である石英キャピラリ、及び、外径が 24.0 mm であるサポート管を用い、縮径比 1 / 100 としてファイバ径 240 μm の PC ファイバを作製した。

【0053】

製造された PC ファイバは、コア径が 100 μm、第 2 クラッドの細孔の孔径 (d) が 2.0 μm 及び孔ピッチ (Λ) が 2.5 μm のものであった。

【0054】

50

所定波長 (λ) が 630 nm であるとする、波長 630 nm に対する孔ピッチの比 (Λ/λ) が $2.5/0.63 = 4.0$ であり、また、孔ピッチに対する孔径の比 (d/Λ) が $2.0/2.5 = 0.8$ であることから、図 4 より、波長 630 nm の光に対する開口数 (NA) が 0.38 であることを推定した。

【0055】

この PC ファイバの第 2 クラッドで囲まれた部分の波長 630 nm の光に対する開口数 (NA) をファイバ長 10 m でファースフィールドパターンパワー分布の 5% となる径より算出したところ、開口数 (NA) が 0.44 であり、推定値に近いものであった。

【0056】

(例 2)

上記実施形態 1 と同様の製造方法により、コアロッド、石英ロッド、外径が 250 μm で且つ肉厚が 80 μm である石英キャピラリ、及び、外径が 25.0 mm であるサポート管を用い、縮径比 1/100 としてファイバ径 250 μm の PC ファイバを作製した。

【0057】

製造された PC ファイバは、コア径が 100 μm 、第 2 クラッドの細孔の孔径 (d) が 1.0 μm 及び孔ピッチ (Λ) が 2.4 μm のものであった。

【0058】

所定波長 (λ) が 630 nm であるとする、波長 630 nm に対する孔ピッチの比 (Λ/λ) が $2.4/0.63 = 3.8$ であり、また、孔ピッチに対する孔径の比 (d/Λ) が $1.0/2.4 = 0.42$ であることから、図 4 より、波長 630 nm の光に対する開口数 (NA) が 0.15 であることを推定した。

【0059】

この PC ファイバの第 2 クラッドで囲まれた部分の波長 630 nm の光に対する開口数 (NA) をファイバ長 10 m でファースフィールドパターンパワー分布の 5% となる径より算出したところ、開口数 (NA) が 0.15 であり、推定値に一致した。

【0060】

(例 3)

上記実施形態 1 と同様の製造方法により、コアロッド、石英ロッド、外径が 3000 μm で且つ肉厚が 200 μm である石英キャピラリ、及び、外径が 25.0 mm であるサポート管を用い、縮径比 1/100 としてファイバ径 250 μm の PC ファイバを作製した。

【0061】

製造された PC ファイバは、コア径が 100 μm 、第 2 クラッドの細孔の孔径 (d) が 26 μm 及び孔ピッチ (Λ) が 31 μm のものであった。

【0062】

所定波長 (λ) が 630 nm であるとする、波長 630 nm に対する孔ピッチの比 (Λ/λ) が $31/0.63 = 49.2$ であり、また、孔ピッチに対する孔径の比 (d/Λ) が $26/31 = 0.84$ であることから、波長 630 nm に対する孔ピッチの比 (Λ/λ) が大きいために波長 630 nm の光に対する開口数 (NA) が 0.2 以下であることを推定した (図 4 からは読み取れず)。

【0063】

この PC ファイバの第 2 クラッドで囲まれた部分の波長 630 nm の光に対する開口数 (NA) をファイバ長 10 m でファースフィールドパターンパワー分布の 5% となる径より算出したところ、開口数 (NA) が 0.15 であり、推定したとおりであった。

【0064】

(例 4)

上記実施形態 1 と同様の製造方法により、コアロッド、石英ロッド、外径が 200 μm で且つ肉厚が 50 μm である石英キャピラリ、及び、外径が 50.0 mm であるサポート管を用い、縮径比 1/200 としてファイバ径 250 μm の PC ファイバを作製した。

【0065】

10

20

30

40

50

製造されたPCファイバは、コア径が $100\mu\text{m}$ 、第2クラッドの細孔の孔径(d)が $0.7\mu\text{m}$ 及び孔ピッチ(Λ)が $1.0\mu\text{m}$ のものであった。

【0066】

所定波長(λ)が 630nm であるとする、波長 630nm に対する孔ピッチの比(Λ/λ)が $1.0/0.63=1.6$ であり、また、孔ピッチに対する孔径の比(d/Λ)が $0.7/1.0=0.7$ であることから、図4より、波長 630nm の光に対する開口数(NA)が 0.52 であることを推定した。

【0067】

このPCファイバの第2クラッドで囲まれた部分の波長 630nm の光に対する開口数(NA)をファイバ長 10m でファースフィールドパターンパワー分布の 5% となる径より算出したところ、開口数(NA)が 0.50 であり、推定値に近いものであった。

10

【0068】

(例5~7)

上記実施形態1と同様の製造方法により、コアロッド、石英ロッド、外径が $250\mu\text{m}$ で且つ肉厚が $15\mu\text{m}$ である石英キャピラリ、及び、外径が 24.0mm であるサポート管を用い、縮径比 $1/100$ としてファイバ径 $240\mu\text{m}$ のPCファイバを作製した(例5)。

【0069】

上記実施形態1と同様の製造方法により、コアロッド、石英ロッド、外径が $250\mu\text{m}$ で且つ肉厚が $60\mu\text{m}$ である石英キャピラリ、及び、外径が 24.0mm であるサポート管を用い、縮径比 $1/500$ としてファイバ径 $48\mu\text{m}$ のPCファイバを作製した(例6)。

20

【0070】

上記実施形態1と同様の製造方法により、コアロッド、石英ロッド、外径が $500\mu\text{m}$ で且つ肉厚が $15\mu\text{m}$ である石英キャピラリ、及び、外径が 24.0mm であるサポート管を用い、縮径比 $1/100$ としてファイバ径 $240\mu\text{m}$ のPCファイバを作製した(例7)。

【0071】

これらのいずれの場合も、線引き加工の際にキャピラリ孔が潰れて第2クラッドに細孔が形成されなかった。これは、石英キャピラリの肉厚の2倍に縮径比を乗じて求められる細孔間の壁厚が非常になくなるためであると考えられる。

30

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施形態1に係るPCファイバの斜視図である。

【図2】 本発明の実施形態1に係るPCファイバの第2クラッド部分の拡大断面図である。

【図3】 所定波長に対する孔ピッチの比(Λ/λ)と開口数(NA)との関係を示すグラフである。

【図4】 所定波長に対する孔ピッチの比(Λ/λ)及び孔ピッチに対する孔径の比(d/Λ)の組み合わせと開口数(NA)との関係マップを示すグラフである。

【図5】 孔ピッチ(Λ)及び孔ピッチに対する孔径の比(d/Λ)の組み合わせと開口数(NA)との関係マップを示すグラフである。

40

【図6】 プリフォームの断面図である。

【図7】 実施形態2に係るPCファイバの斜視図である。

【図8】 従来技術のダブルクラッドファイバの断面図である。

【符号の説明】

10, 20 PCファイバ

10' ダブルクラッドファイバ

11, 11', 21 コア

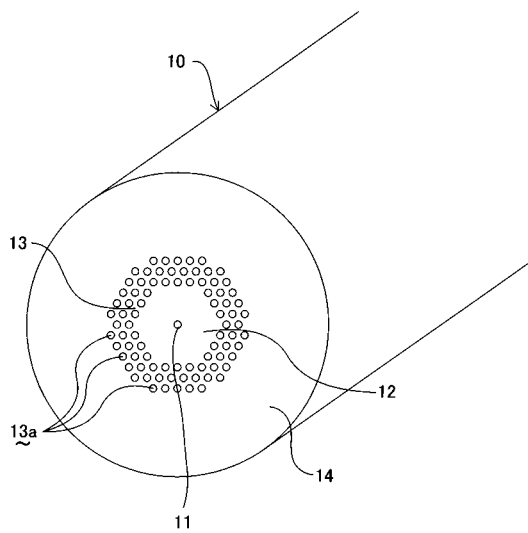
12, 12' 第1クラッド

13, 13' 第2クラッド

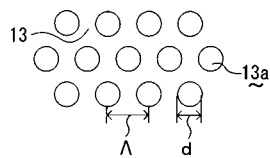
50

- 1 3 a , 2 3 a 細孔
- 1 3 a ' 孔
- 1 4 , 2 4 被覆部
- 2 3 クラッド
- 1 1 0 プリフォーム
- 1 1 1 コアロッド
- 1 1 2 石英ロッド
- 1 1 3 石英キャピラリ
- 1 1 4 サポート管

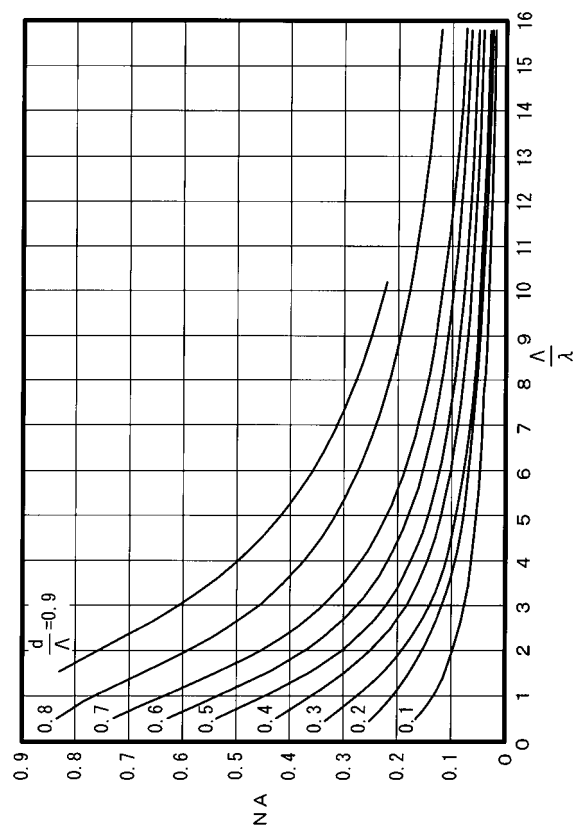
【 図 1 】



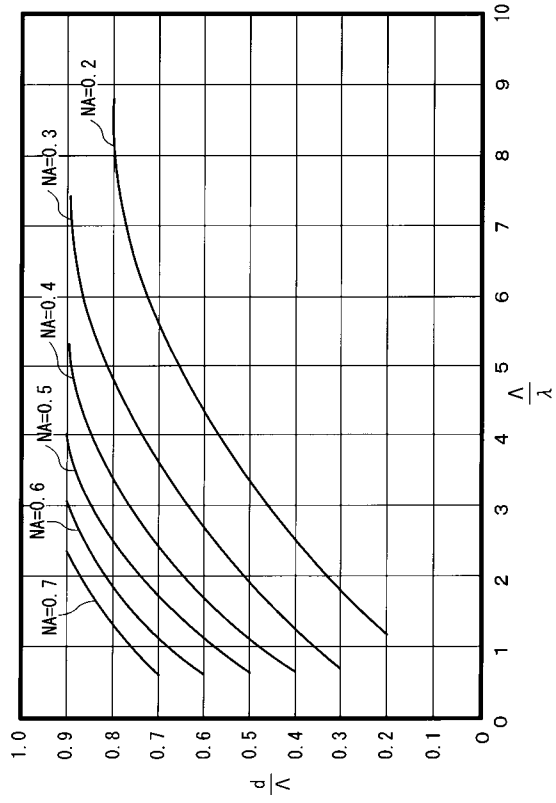
【 図 2 】



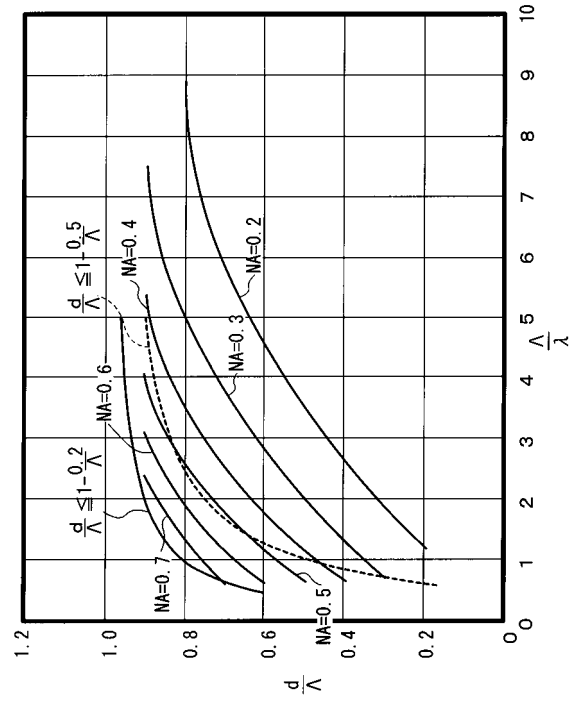
【 図 3 】



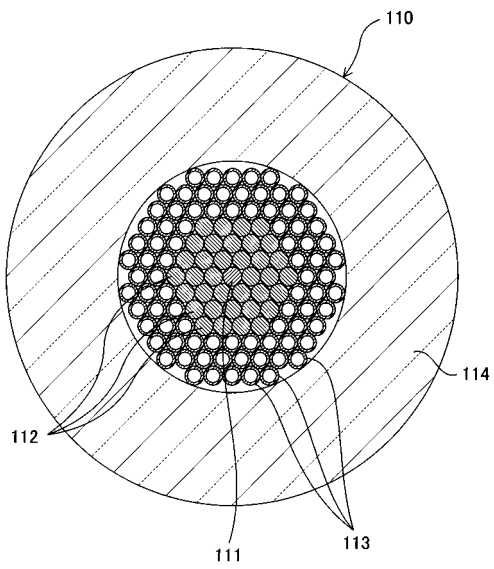
【 図 4 】



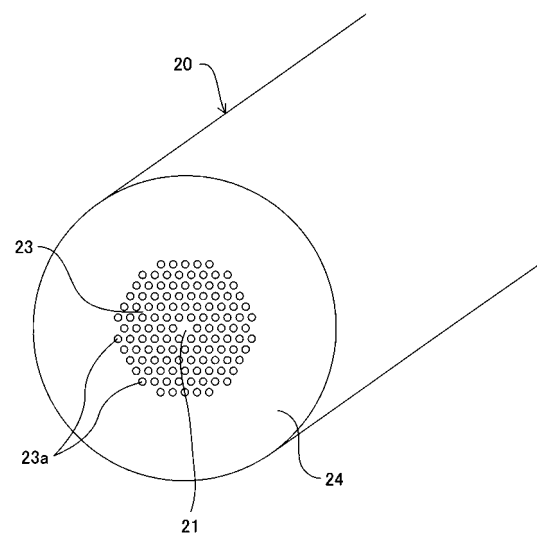
【 図 5 】



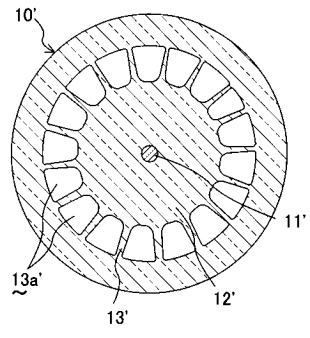
【 図 6 】



【 図 7 】



【 図 8 】



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 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 山取 真也
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 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 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
- (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

合議体

審判長 瀧本 十良三

審判官 向後 晋一

審判官 山下 崇

- (56)参考文献 特開平11-142672(JP,A)
特開2002-506533(JP,A)
J.K.Sahu et al., "Jacketed air-clad cladding pumped ytterbium-doped fiber laser with wide toning range", ELECTRONICS LETTERS, 30th August 2001, Vol.37, No.18, P.1116-1117
T.A.Birks et al., "Endlessly single-mode photonic crystal fiber", OPTICS LETTERS, 1st July 1997, Vol.22, No.13, P.961-963

- (58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

G02B 6/00 - 6/02

G02B 6/10, 6/16 - 6/22

G02B 6/44