

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2004年8月26日 (26.08.2004)

PCT

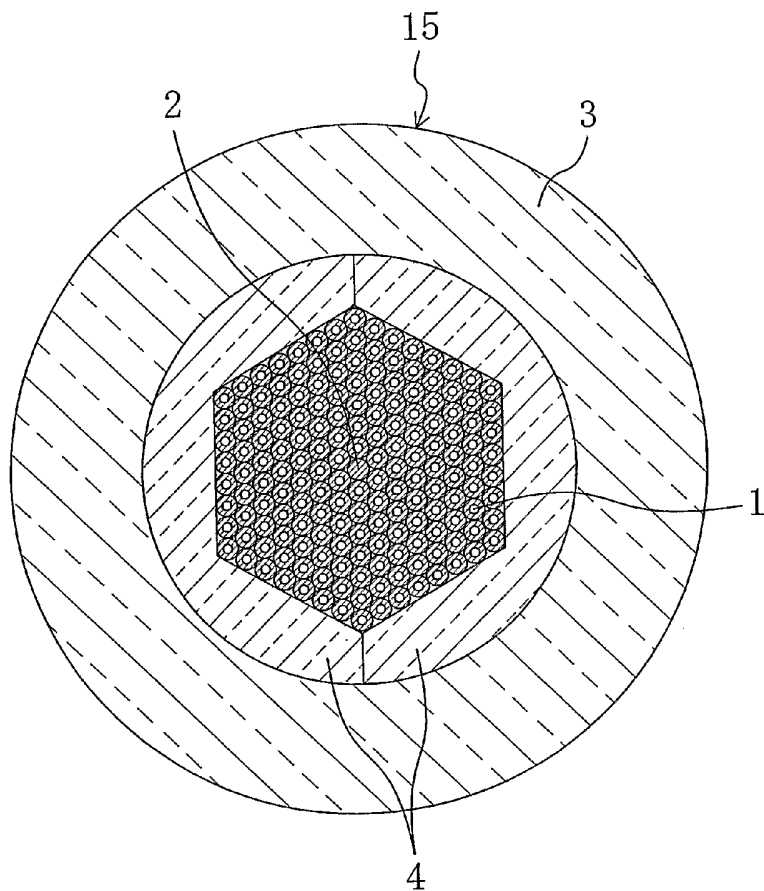
(10) 国際公開番号
WO 2004/071977 A1

- (51) 国際特許分類: C03B 37/012, 37/027, G02B 6/00
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2004/001333
- (22) 国際出願日: 2004年2月9日 (09.02.2004)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2003-033548 2003年2月12日 (12.02.2003) JP
- (71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 三菱電線工業株式会社 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒6640027 兵庫県伊丹市池尻4丁目3番地 Hyogo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 木下 貴陽 (KINOSHITA, Takaharu). 長江 伸定 (NAGAE, Nobusada). 福田 秋彦 (FUKUDA, Akihiko).
- (74) 代理人: 前田 弘, 外(MAEDA, Hiroshi et al.); 〒5500004 大阪府大阪市西区朝本町1丁目4番8号 本町中島ビル Osaka (JP).
- (81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI,

[続葉有]

(54) Title: METHOD OF PRODUCING PHOTONIC CRYSTAL FIBER

(54) 発明の名称: フォトニッククリスタルファイバの製造方法



(57) Abstract: A method of producing a photonic crystal fiber (20). A spacer (4) formed by spacer pieces is provided in a support tube (3) such that the outline of a traverse cross section of the inner wall of the support tube (3) has a substantially right polygonal shape in which a core rod (2) and capillaries (1) can be filled or the capillaries (1) can be filled at a highest density. The core rod (2) as a solid core of the fiber and the capillaries (1) as a clad portion of the fiber are filled in the spacer (4) to produce a preform (15). Alternatively, a core portion-forming space as a hollow core portion of the fiber is formed and the capillaries (1) are filled in the space to produce the preform (15). The preform (15) is heated and drawn into a fiber.

(57) 要約: フォトニッククリスタルファイバ(20)の製造方法である。サポート管(3)内に、その内壁の横断面輪郭を、コアロッド(2)及び複数のキャピラリ(1)、又は、複数のキャピラリ(1)の最密充填が可能な略正多角形に形成するように、複数のスペーサ片で構成されたスペーサ(4)を配設すると共に、その中実のコア部となるコアロッド

(2) 及びクラッド部となる複数のキャピラリ(1)、又は、中空のコア部となるコア部形成空間を形

[続葉有]

WO 2004/071977 A1



NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU,

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

フォトリソグラフィッククリスタルファイバの製造方法

5 技術分野

本発明は、コアと、そのコアを囲うように設けられコアに沿って伸びる複数の細孔を有するクラッド（多孔部）と、を備えたファイバ本体を有するフォトリソグラフィッククリスタルファイバ（以下、「PCF（Photonic Crystal Fiber）」と称する）の製造方法に関する。

10

背景技術

コア部とクラッド部とで構成される光ファイバは、光を伝搬する媒体として非常によく知られている。その中でも、近年、従来の光ファイバでは実現できなかった新しい波長域での通信が可能であり、通信の高速化やコストダウンが期待される光ファイバとして、PCFが注目されている。PCFは、ファイバの中心に中実又は中空に形成されたコア部と、コア部を囲うように設けられ、コア部に沿って伸びる複数の細孔を有するクラッド部とを備えている。このPCFは、クラッド部に囲われたコア部に光を閉じこめて伝搬するものであるが、細孔の大きさや間隔を変えることにより光の波長分散を自由に制御できる。

15

PCFの製造方法としては、円筒状のサポート管に、クラッド部となる複数のキャピラリを横断面において最密状態を構成するように充填すると共に、中実のコア部となるコアロッドを中心軸位置に配置、又は、中空のコア部となるコア空間を中心軸位置に形成することによりプリフォームを作製し、そのプリフォームを加熱及び延伸して細径化するという方法がある。この方法は、積み重ね（Stack）&線引き（Draw）法と呼ばれており、細孔数の多いPCFも比較的容易に作製

25

できるため汎用性のある方法である。

ところが、この積み重ね（Stack）&線引き（Draw）法においては、充填する極小外径の円筒状のキャピラリが、サポート管の大口径の円筒内を周方向に自由に転がってしまい、また、サポート管内にキャピラリを充填中にキャピラリの位置

がサポート管内で固定できないため、円筒状のサポート管内に複数の円筒状のキャピラリを最密状態に充填することが、極めて困難であるという問題がある。例えば、第6図に示すように、キャピラリ1が完全に充填されず、キャピラリ1同士間に隙間ができたたり、キャピラリ1の配列が崩れて、コア部を形成するコアロッド2の中心軸が、サポート管3の中心軸からずれてしまうことがある。この場合、線引き加工後にフォトニッククリスタルとして機能するキャピラリ1の割合は70%程度である。そこで、JP2002-97034Aには、サポート管3内に充填するキャピラリ1が最密充填されるように、サポート管3の内壁の横断面輪郭を略正六角形に形成することが記載されている。

- 10 上記のようにサポート管3の内壁を略正六角形に形成することは、キャピラリ1を最密充填するのには有効である。しかしながら、サポート管3の内壁の横断面輪郭を略正六角形に形成するには、一般的な研削加工を用いざるを得ず、そのため、円柱状のロッドの中央部を精度良くその横断面が略正六角形になるように削り出すのは困難であり、また、加工できるサポート管3の長さはせいぜい20
- 15 0mm程度までと短いものになってしまう。従って、かかる方法は、ファイバ長の長いPCFを製造するには不向きである。このように、サポート管3の内壁を略正六角形にする方法は、技術的にもコスト的にも実現性に乏しいものである。

また、光の偏光や干渉を利用した光ファイバセンサやコヒーレント光通信等には、伝搬光の偏光状態が保持され、偏波安定性が高い偏波保持ファイバを使用している。上述のPCFも、その波長分散特性を生かして偏波保持用のPCFとしての使用が検討されている。このような偏波保持用のPCFを作製するには、コア部、又は、コア部近辺の細孔配置に工夫を凝らし、例えばコア部の横断面形状を楕円形状や長方形にしたり、コア部に隣接する細孔の一部を他の細孔とは異なる径にしたりすればよい。

- 25 しかしながら、この特に軸性が重要視される偏波保持用のPCFにおいても、上述のような、サポート管内に複数のキャピラリを最密状態に充填することが、極めて困難であるという問題があるため、クラッド部の全ての細孔がフォトニッククリスタルとして機能するPCFを製造することは困難である。

発明の開示

本発明の目的は、容易に且つ確実にクラッド部となるキャピラリを最密充填することが可能なPCFの製造方法を提供することである。

本発明のPCFの製造方法は、中実又は中空のコア部と、該コア部を被覆するよう
5 うに設けられ該コア部に沿って延びる複数の細孔が該コア部を囲むように形成されたクラッド部と、を有するフォトニッククリスタルファイバの製造方法であつて、サポート管内に、中実のコア部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、中空のコア部となるコア部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工程と、上記プリ
10 フォームを加熱及び延伸してファイバ状に延伸する工程と、を備え、上記サポート管内に、その内壁の横断面輪郭をコアロッド及び複数のキャピラリ、又は、複数のキャピラリの最密充填が可能な略正多角形に形成するように複数のスペーサ片で構成されたスペーサを配設することを特徴とする。

上記の製造方法によれば、サポート管とキャピラリとの間に、サポート管の内
15 壁の横断面輪郭をコアロッド及び複数のキャピラリ、又は、複数のキャピラリの最密充填が可能な略正多角形に形成するようなスペーサを設けることになる。このスペーサを設けることにより、サポート管内でのキャピラリの配列乱れや偏心を防止でき、ほぼ全てのキャピラリがスペーサを介して最密充填状態でサポート管で束ねられた状態にプリフォームが作製され、そのプリフォームを線引き加工
20 して細径化することとなり、充填されたキャピラリのほぼ100%が線引き加工後にフォトニッククリスタルとして機能することとなる。また、キャピラリの配列はスペーサによって規制されるので、容易に且つ確実にクラッド部となるキャピラリを最密充填することができる。さらに、スペーサは複数のスペーサ片から構成されることから、スペーサの内壁の横断面輪郭を略多角形に形状加工する際
25 に、スペーサ片の内壁を所定の形状に容易に且つ精度良く加工することができ、また、長尺のサポート管にも対応することが可能になり、ファイバ長の長いPCFを製造することができる。

本発明のPCFの製造方法は、上記スペーサを配設することで上記サポート管の内壁の横断面輪郭を略正六角形に形成してもよい。

上記の製造方法によれば、スペーサ内壁の横断面輪郭は略正六角形になる。そのため、サポート管内に同径の円筒状のキャピラリを充填する際には、スペーサの内壁の1つの面を敷き詰めるようにして複数本のキャピラリを並列に並べ第1層を形成する作業と、次いで、第1層における1対のキャピラリの間に配置されるようにキャピラリを載せてゆき第2層を形成する作業とを繰り返すだけで、サポート管内にキャピラリを最密充填することができる。これにより、キャピラリの配列の乱れを配慮する必要がほとんどなく、サポート管内へのキャピラリの充填作業がより効率的なものとなり、容易に且つ確実にクラッド部となるキャピラリを最密充填することができる。

10 本発明のPCFの製造方法は、上記スペーサの内壁の横断面輪郭の形状が、該スペーサ内に上記コアロッド及び複数のキャピラリ、又は上記複数のキャピラリを最密充填して作製されたプリフォームをファイバ状に延伸する際に、該スペーサの内壁に臨む全てのキャピラリが該内壁に接するように寸法設定されていてもよい。

15 上記の製造方法によれば、線引き加工時におけるキャピラリの自由度が極めて低くなるので、キャピラリの配置のずれがより有効に抑止されることになる。また、スペーサの内壁の横断面輪郭の形状を調整することにより、様々なキャピラリの径に対応できる。

20 本発明のPCFの製造方法は、上記スペーサの内壁の横断面輪郭を形成する略正多角形の形状が、相隣り合う辺が上記サポート管に充填されるキャピラリの最大径の $1/2$ 以下の半径の円弧により連結されて形成されていてもよい。

ここで、スペーサの略多角形の内壁輪郭形状は、いわゆる多角形のほか、例えば、相隣り合う辺を円弧により連結されたような角部が丸みを帯びたものをも含む。上記の製造方法によれば、相隣り合う辺を円弧により連結して略多角形を形成する場合、その円弧の半径はキャピラリの最大径の $1/2$ 以下になる。ここに
25 おいて、その円弧の半径がキャピラリの最大径の $1/2$ より大きくなると、角部に配置されるキャピラリの収まりが悪くなり、その部分からキャピラリの最密充填性が損なわれてしまうことになる。

本発明のPCFの製造方法は、上記スペーサは、上記サポート管との間に長さ

方向に延びる挿通孔を構成する欠損部を有しており、上記挿通孔に構造認識ロッド又はキャピラリを嵌め入れてもよい。

上記の製造方法によれば、スペーサのサポート管との間の欠損部に構造認識ロッド又はキャピラリを配設して線引き加工することとなり、線引き加工後のPCFには、PCFの内部構造と一定の配置関係を持ちファイバ長さ方向に連続的な構造認識用マークが設けられることになる。この構造認識用マークは、偏波保持用のPCFにおいて、ファイバの内部構造を認識するのに有効であり、偏波面（1対の偏波保持用細孔の中心を結ぶ直線を含みファイバ横断面に垂直な面）の位置を容易に認識することができる。

10

図面の簡単な説明

第1図は、本発明の実施形態1に係るPCF用のプリフォームの断面模式図である。

第2図は、本発明の実施形態1に係るPCFの斜視図である。

15 第3図は、本発明の実施形態2に係る偏波保持用PCF用のプリフォームの断面模式図である。

第4図は、本発明の実施形態2に係る偏波保持用PCFの斜視図である。

第5図は、一般的なPCFの製造装置の概略構成図である。

第6図は、従来のプリフォームの断面模式図である。

20

発明を実施するための最良の形態

以下、本発明の実施形態を詳細に説明する。以下の実施形態ではコア部が中空である場合を例に説明するが、本発明のPCFの製造方法は、コア部が中空である場合にも適用できる。

25 第5図は、一般的に用いられるPCF製造装置100を示す。

このPCF製造装置100は、吸引用チャンバー50、プリフォーム送り出し装置51、熔融炉52、線径制御部53及び巻き取り部54を備えている。

吸引用チャンバー50は、上面を有する円筒状に形成されており、後述のプリフォーム15のサポート管3の上側から外嵌めするように設けられている。吸引

用チャンバー50の側面からは排気系配管が延び、真空ポンプに接続されている。そして、その真空ポンプによって吸引用チャンバー50及びサポート管3内、つまり、キャピラリ1の外部を減圧するようになっている。

プリフォーム送り出し装置51は、上下方向に延びる支柱部51a、支柱部51aに上下移動可能に設けられた移動部51b、移動部51bから側方に延びるように設けられたプリフォーム保持部51cを有する。このプリフォーム送り出し装置51では、プリフォーム保持部51cによりプリフォーム15を鉛直状態に保持し、移動部51bが支柱部51a上を上から下へ移動して、プリフォーム15をその熔融炉52に所定の速度で送るようになっている。

10 熔融炉52は、ヒーター52aを備えており、プリフォーム15の下部をその内部に取り込み、プリフォーム15を加熱熔融するものである。

線径制御ユニット53は、線径測定器53a、線径制御部53b及びキャプスタン53cを備えており、線径測定器53aにより非接触でPCF20の外径を測定し、線径制御部53bを介して、プリフォーム送り出し装置51のプリフォーム15の送り速度や、キャプスタン53cの回転速度にフィードバックして、PCF20の外径を所定値に合わせるものである。

巻き取り部54は、ボビン54a、ローラー54b及びダンサーローラー54cを備えており、得られたPCF20の張力を一定に保持しながらPCF20をボビン54aに巻き取るものである。

20 次に、上述のPCF製造装置100を用いて、本発明の製造方法を工程を追って説明する。

(実施形態1)

以下に、本発明の実施形態1に係るPCFの製造方法について工程を追って説明する。

25 <準備工程>

石英製の円筒状のキャピラリ1を複数本と、キャピラリ1と同外径で同長さの石英製の円柱状のコアロッド2を1本と、キャピラリ1と同長さで大口径の石英製の円筒状のサポート管3と、サポート管3と同長さの石英製のスペーサ片4を1組と、を準備する。

スペーサ片 4 は、円筒状の管を周方向に半割にした形状で、その内壁はその横断面輪郭が半正六角形になるように凹んでいるものである。本実施形態の場合はスペーサ片 4 が 2 個で 1 組となる。また、スペーサ 4 の内壁の横断面輪郭の形状は、スペーサ 4 内に複数本のキャピラリ 1 を最密充填して作製された後述のプリ
5 フォーム 1 5 をファイバ状に延伸する際に、スペーサ 4 の内壁に臨む全てのキャピラリ 1 がスペーサ 4 の内壁に接するように寸法設定されている。

<プリフォーム作製工程>

第 1 図に示すように、複数本のキャピラリ 1 及びコアロッド 2 を貫通状態にサポート管 3 内に充填する。具体的には、サポート管 3 内に 1 組のスペーサ片 4 を
10 挿入し、続いてそのスペーサ 4 内に多数本のキャピラリ 1 及びコアロッド 2 を充填する。このとき、スペーサ 4 の内壁の 1 つの面を敷き詰めるようにして複数本のキャピラリ 1 を並列に並べて第 1 層を形成し、続いて形成された第 1 層における 1 対のキャピラリ 1 の間に配置されるようにキャピラリ 1 を載せてゆき第 2 層を形成する。このようにして複数の層を形成し、且つサポート管 3 の中心軸位置
15 にコアロッド 2 が配置されるようにすることにより、サポート管 3 内に複数本のキャピラリ 1 が充填されると共に、コアロッド 2 がサポート管 3 の中心軸の位置に配置されたプリフォーム 1 5 を作製する。

また、上述の充填方法は、まず、サポート管 3 内にスペーサ 4 を配設し、その後その中にキャピラリ 1 を充填していくものであるが、まずスペーサ 4 内にキャ
20 ピラリ 1 を充填し、その後それをサポート管 3 内に挿入していくものでもよい。

さらに、プリフォーム 1 5 の両端面を加熱して、キャピラリ 1 の両端を封止してもよい。これにより、線引き加工時における空気中の水分との反応によるキャピラリ内面への水酸基の形成を抑止することができ、水酸基に起因する PCF の
25 伝送損失を低減できる。

<線引き加工工程>

プリフォーム作製工程で作製したプリフォーム 1 5 を、上述のプリフォーム送り出し装置 5 1 のプリフォーム保持部 5 1 c にセットする。さらにプリフォーム 1 5 のサポート管 3 の上端を、吸引用チャンバー 5 0 に嵌め込む。

次いで、プリフォーム送り出し装置 5 1 を作動させ、プリフォーム 1 5 の下部

を溶融炉 5 2 によって加熱し、プリフォーム 1 5 の下側からファイバ状に線引きする。このとき、隣接するキャピラリ 1 同士、スペーサ片 4 同士、キャピラリ 1 とスペーサ片 4、キャピラリ 1 とコアロッド 2、スペーサ片 4 とサポート管 3 は相互に融着一体化することとなる。このようにして、第 2 図に示すような中実に
5 形成されたコア部 7 と、コア部 7 を囲うように設けられ且つコア部 7 に沿って延びる複数の細孔 9 からなるクラッド部 8 と、これらを被覆するように設けられたサポート部 1 0 とを有する P C F 2 0 が得られる。

次いで、線径制御ユニット 5 3 の線径測定器 5 3 a によって線引き直後の P C F 2 0 の外径を測定し、線径制御部 5 3 b によってその外径測定値を基にプリフ
10 ォーム送り出し装置 5 1 のプリフォーム 1 5 の送り速度及びキャプスタン 5 3 c の回転速度を制御し、P C F 2 0 の外径を所定値に調整する。

次いで、外径が所定値に調整された P C F 2 0 を巻き取り部 5 4 のローラー 5 4 b 及びダンサーローラー 5 4 c を経由させ、同時にダンサーローラー 5 4 c によって一定の張力をかけながら、ボビン 5 4 a に巻き取る。

15 以上のような P C F 2 0 の製造方法によれば、サポート管 3 とキャピラリ 1 との間に、サポート管 3 の内壁の横断面輪郭をコアロッド 2 及び複数のキャピラリ 1 の最密充填が可能な正六角形に形成するようなスペーサ 4 を設けることとなる。このスペーサ 4 を設けることにより、サポート管 3 内にキャピラリ 1 を充填する際には、スペーサ 4 の内壁の 1 つの面を敷き詰めるようにして複数本のキャ
20 ピラリ 1 を並列に並べ第 1 層を形成する作業と、次いで、第 1 層における 1 対のキャピラリ 1 の間に配置されるようにキャピラリ 1 を載せてゆき第 2 層を形成する作業とを繰り返すだけで、サポート管 3 内にキャピラリ 1 を最密充填することができる。これにより、サポート管 3 内でのキャピラリ 1 の配列乱れや偏心を防止でき、ほぼ全てのキャピラリ 1 がスペーサ 4 を介して最密充填状態でサポート
25 管 3 で束ねられた状態にプリフォーム 1 5 が作製され、そのプリフォーム 1 5 を線引き加工して細径化することとなり、充填されたキャピラリ 1 のほぼ 1 0 0 % が線引き加工後にフォトニッククリスタルとして機能することとなる。加えて、サポート管 3 の内壁付近のキャピラリ充填率がコア部周辺と変わらないので、線引き加工時のキャピラリ束の収縮は均一となり、キャピラリ束内に形成される隙

間（格子欠陥）は最小限に抑えられる。また、スペーサ 4 は、周方向に分割できる 2 個のスペーサ片 4 から構成されることから、スペーサ 4 の内壁の横断面輪郭を半正六角形に形状加工する際に、スペーサ片 4 の内壁を所定の形状に容易に且つ精度良く加工することができ、サポート管 3 内にスペーサ片 4 を挿入する際に
5 も、容易に且つ確実にサポート管 3 内にスペーサ片 4 を配設することができる。また、これにより、長尺のサポート管 3 にも対応することができ、よりファイバ長の長い P C F 2 0 を製造することも可能になる。

さらに、スペーサ 4 の正六角形の内壁輪郭の形状は、サポート管 3 及びスペーサ 4 内に複数のキャピラリ 1 を最密充填して作製されたプリフォーム 4 を線引き
10 加工により細径化する際に、スペーサ 4 の内壁に臨む全てのキャピラリ 1 がその内壁に接するように寸法設定されているので、線引き加工時におけるキャピラリ 1 の自由度が極めて低くなり、キャピラリ 1 の配置のずれがより有効に抑止されることとなる。また、プリフォーム作製時にスペーサ 4 の内壁とキャピラリ 1 との間に形成される隙間は極めて小さく設定されることとなり、スペーサ 4 の内壁
15 付近から順次キャピラリ 1 を充填していくことにより最密充填状態となるので、キャピラリ 1 の配列が乱れないように配慮する必要がほとんどなく、サポート管 3（スペーサ 4）内へのキャピラリ 1 の充填作業がより効率的なものとなり、容易に且つ確実にクラッド部 8 となるキャピラリ 1 を最密充填することができる。

次に、具体的に行った実験について説明する。

20 本発明例として、上記実施形態と同一の方法で、石英製の円筒状のサポート管 3 内にその内壁の横断面輪郭が正六角形になる半割の円筒状のスペーサ片 4 を 1 組配設して、外径 1 2 5 μm 、コア部 7 の径 5 μm の P C F 2 0 及び外径 1 2 5 μm 、コア部 7 の径 2 . 5 μm の P C F 2 0 をそれぞれ作製した。また、比較例として、スペーサ片 4 を配設しないこと以外は本発明例と同様にして P C F 2 0
25 をそれぞれ作製した。

そして、それぞれ得られた P C F 2 0 について、コア部 7 の中心軸とファイバ中心軸とのずれを測定した。

結果を表 1 に示す。

表 1

	中心軸のずれ(μm)	
コア部径(μm)	5	2.5
比較例	1.1	0.8
発明例	0.15	0.2

5

表 1 によれば、コア部 7 の径が $5\ \mu\text{m}$ である場合、中心軸のずれは比較例において $1.1\ \mu\text{m}$ で、発明例において $0.15\ \mu\text{m}$ となっており、本発明によって中心軸のずれは約 $1/7$ に低減しているといえる。また、コア部 7 の径が $2.5\ \mu\text{m}$ である場合、中心軸のずれは比較例において $0.8\ \mu\text{m}$ で、発明例において $0.2\ \mu\text{m}$ となっており、本発明によって中心軸のずれは約 $1/4$ に低減していることが分かる。特にスペーサを設けない従来の方法によってコア部 7 の径が大きい PCF 20 を作製する場合、充填するキャピラリ 1 及びコアロッド 2 の径が大きくなりその分、配列乱れによるずれが大きくなるという問題があるが、本発明の方法においては、コア部 7 の径が $5\ \mu\text{m}$ の場合、中心軸とファイバ中心軸とのずれが約 $1/7$ に減っているようにこの問題は解決している。このように、コア部 7 径の大きい PCF 20 において本発明はより効果的に働くものである。

15

(実施形態 2)

以下に、本発明の実施形態 2 に係る PCF の製造方法について工程を追って説明する。

20

< 準備工程 >

石英製の小外径の円筒状のキャピラリ 1 を複数本と、石英製の小外径のファイバの内部構造を識別するための円筒状の構造認識キャピラリ 6 を 2 本と、石英製の小外径の円筒状の偏波保持用キャピラリ 5 を 2 本と、キャピラリ 1 と同外径で同長さの石英製の円柱状のコアロッド 2 を 1 本と、キャピラリ 1 及びコアロッド 2 より短尺で石英製の円筒状のサポート管 3 と、サポート管 3 と同長さの石英製のスペーサ片 4 を 1 組と、を準備する。

25

スペーサ片 4 は、円筒状の管を周方向に半割にした形状で、その内壁はその横断面輪郭が半正六角形になるように凹んでいるものである。本実施形態の場合

スペーサ片 4 が 2 個で 1 組となる。また、スペーサ 4 の内壁の横断面輪郭の形状は、スペーサ 4 内に複数本のキャピラリ 1 を最密充填して作製された後述のプリフォームをファイバ状に延伸する際に、スペーサ 4 の内壁に臨む全てのキャピラリ 1 がスペーサ 4 の内壁に接するように寸法設定されている。そして、各スペーサ片 4 の外側の角部には、構造認識キャピラリ 6 を配設するための欠損部が設けられている。

構造認識キャピラリ 6 は、中空の円筒状のものを例示したが、中実の円柱状のロッドでもよい。この場合、線引き加工後に後述する構造認識用マーク 11 として見分けがつくように、構造認識キャピラリ 6 の屈折率は、他の構成材料の屈折率と異なることがより好ましい。

<プリフォーム作製工程>

第 3 図に示すように、複数本のキャピラリ 1、2 本の偏波保持用キャピラリ 5、2 本の構造認識キャピラリ 6 及びコアロッド 2 を貫通状態にサポート管 3 内に充填する。具体的には、サポート管 3 内に 1 組のスペーサ片 4 を挿入し、且つ、スペーサ片 4 とサポート管 3 との間のスペーサ片 4 の欠損部から構成された挿通孔に構造認識キャピラリ 6 を嵌め入れて配置し、続いて、そのスペーサ 4 内に複数本のキャピラリ 1 及びコアロッド 2 を充填する。このとき、スペーサ 4 の内壁の 1 つの面を敷き詰めるようにして複数本のキャピラリ 1 を並列に並べて第 1 層を形成し、続いて形成された第 1 層における 1 対のキャピラリの間配置されるようにキャピラリ 1 を載せてゆき第 2 層を形成する。このようにして複数の層を形成し、且つサポート管 3 の中心軸位置にコアロッド 2 が、スペーサ片 4 同士の接面上の所定の位置に 2 本の偏波保持用キャピラリ 5 が配置されるようにする。上述の方法により、サポート管 3 内に複数本のキャピラリ 1 が充填されると共に、サポート管 3 の中心軸の位置にコアロッド 2 が、その外側のスペーサ片 4 同士の接面上の所定の位置に偏波保持用キャピラリ 5 が、さらにその外側のサポート管 3 に接しスペーサ片 4 同士の接面上の位置に構造認識キャピラリ 6 が、それぞれ配設されるプリフォーム 15 を作製する。

また、上述の充填方法は、まず、サポート管 3 内にスペーサ 4 及び構造認識キャピラリ 6 を配設し、その後その中にキャピラリ 1 を充填していくものであるが、

まずスペーサ 4 内にキャピラリ 1 を充填し、その後それを構造認識キャピラリ 6 と一緒にサポート管 3 内に挿入していくものでもよい。

さらに、プリフォーム 15 の両端面を加熱して、キャピラリ 1 の両端を封止してもよい。これにより、線引き加工時における空気中の水分との反応によるキャピラリ内面への水酸基の形成を抑止することができ、水酸基に起因する P C F の伝送損失を低減できる。

<線引き加工工程>

プリフォーム作製工程で作製したプリフォーム 15 を実施形態 1 と同様な方法によってファイバ状に線引きする。このとき、隣接するキャピラリ 1 同士、スペーサ片 4 同士、キャピラリ 1 とスペーサ片 4、キャピラリ 1 とコアロッド 2、キャピラリ 1 と偏波保持用キャピラリ 5、スペーサ片 4 とサポート管 3、スペーサ片 4 と構造認識キャピラリ 6、構造認識キャピラリ 6 とサポート管 3 は相互に融着一体化することとなる。このようにして、第 4 図に示すような中実形成されたコア部 7 と、コア部 7 を囲うように設けられ且つコア部 7 に沿って延びる複数の細孔 9 及び 1 対の偏波保持用の細孔 9' からなるクラッド部 8 と、偏波面の位置を特定する構造認識用マーク 11 と、これらを被覆するように設けられたサポート部 10 とを有する偏波保持用の P C F 20 が得られる。

次いで、線径制御ユニット 53 及び巻き取り部 54 での工程が続くが、実施形態 1 のものと実質的に同じであるため、その説明は省略する。

以上のような P C F 20 の製造方法によれば、実施形態 1 の作用及び効果と合わせて、偏波保持用の P C F 20 として機能し、偏波保持用キャピラリ 5 及び構造認識キャピラリ 6 がスペーサ片 4 の接面上の所定の位置に配置された状態で線引き加工が施されているので、得られた P C F 20 には、ファイバの内部構造と一定の配置関係を持ったファイバ長さ方向に連続的な構造認識用マーク 11 が設けられることとなる。これにより、構造認識用マーク 11 を手がかりに P C F 20 の内部構造を特定することができ、偏波面の位置を容易に認識することができる。

また、上記実施形態 1 及び 2 では、その内壁の横断面輪郭が正六角形であるスペーサが用いられたが、特にこれに限定されるものではなく、例えば、相隣り合

う辺が円弧により連結されたような角部が丸みを帯びた略正六角形のものであってもよい。但し、その場合、円弧の半径をキャピラリの最大径の $1/2$ 以下とすることが好ましい。キャピラリの最大径の $1/2$ よりも大きくすると、角部に配置されるキャピラリの収まりが悪くなり、その部分からキャピラリの最密充填性が損なわれるためである。

5 なお、本発明は本実施形態に限定されるものではなく、他の構成のものであってもよい。

産業上の利用可能性

10 以上のように、本発明は、中実又は中空のコア部と、該コア部を被覆するように設けられ該コア部に沿って延びる複数の細孔が該コア部を囲むように形成されたクラッド部と、を有するPCFの製造に適している。

15

20

25

請求の範囲

1. 中実又は中空のコア部と、該コア部を被覆するように設けられ該コア部に沿って延びる複数の細孔が該コア部を囲むように形成されたクラッド部と、を有する
- 5 フォトニッククリスタルファイバの製造方法であって、
- サポート管内に、中実のコア部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、中空のコア部となるコア部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工程と、
- 上記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工程と、
- 10 を備え、
- 上記サポート管内に、その内壁の横断面輪郭をコアロッド及び複数のキャピラリ、又は、複数のキャピラリの最密充填が可能な略正多角形に形成するように複数のスペーサ片で構成されたスペーサを配設す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。
- 15 2. 請求項1に記載され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、
- 上記スペーサを配設することで上記サポート管の内壁の横断面輪郭を略正六角形に形成す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。
3. 請求項1に記載され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、
- 20 上記サポート管の内壁の横断面輪郭の形状は、該サポート管内に上記コアロッド及び複数のキャピラリ、又は上記複数のキャピラリを最密充填して作製された上記プリフォームをファイバ状に延伸する際に、該スペーサの内壁に臨む全てのキャピラリが該内壁に接するように寸法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の製造方法。
4. 請求項1に記載され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、
- 25 上記スペーサの内壁の横断面輪郭を形成する略正多角形の形状は、相隣り合う辺が上記サポート管に充填されるキャピラリの最大径の $1/2$ 以下の半径の円弧により連結されて形成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の製造方法。
5. 請求項1に記載され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、

上記スペーサは、上記サポート管との間に長さ方向に延びる挿通孔を構成する欠損部を有しており、

上記挿通孔に構造認識ロッド又はキャピラリを嵌め入れ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。

5

10

15

20

25

FIG. 1

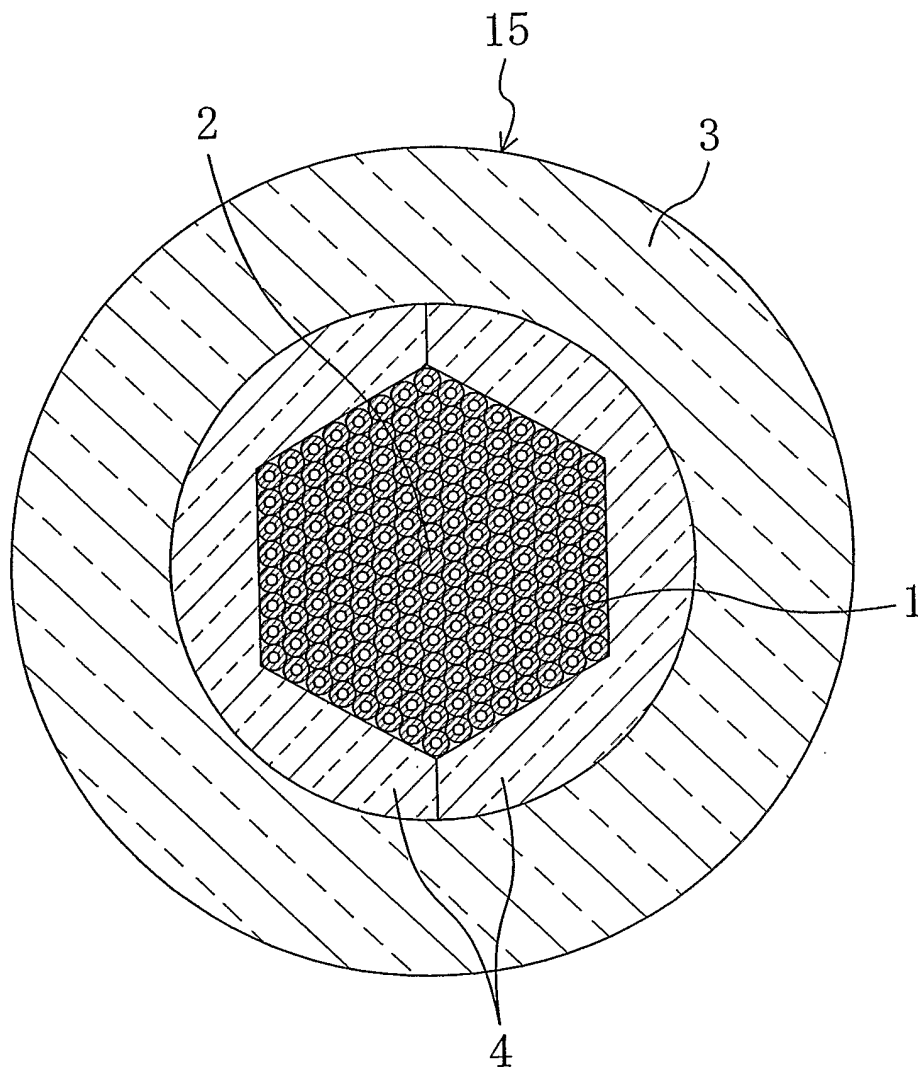


FIG. 2

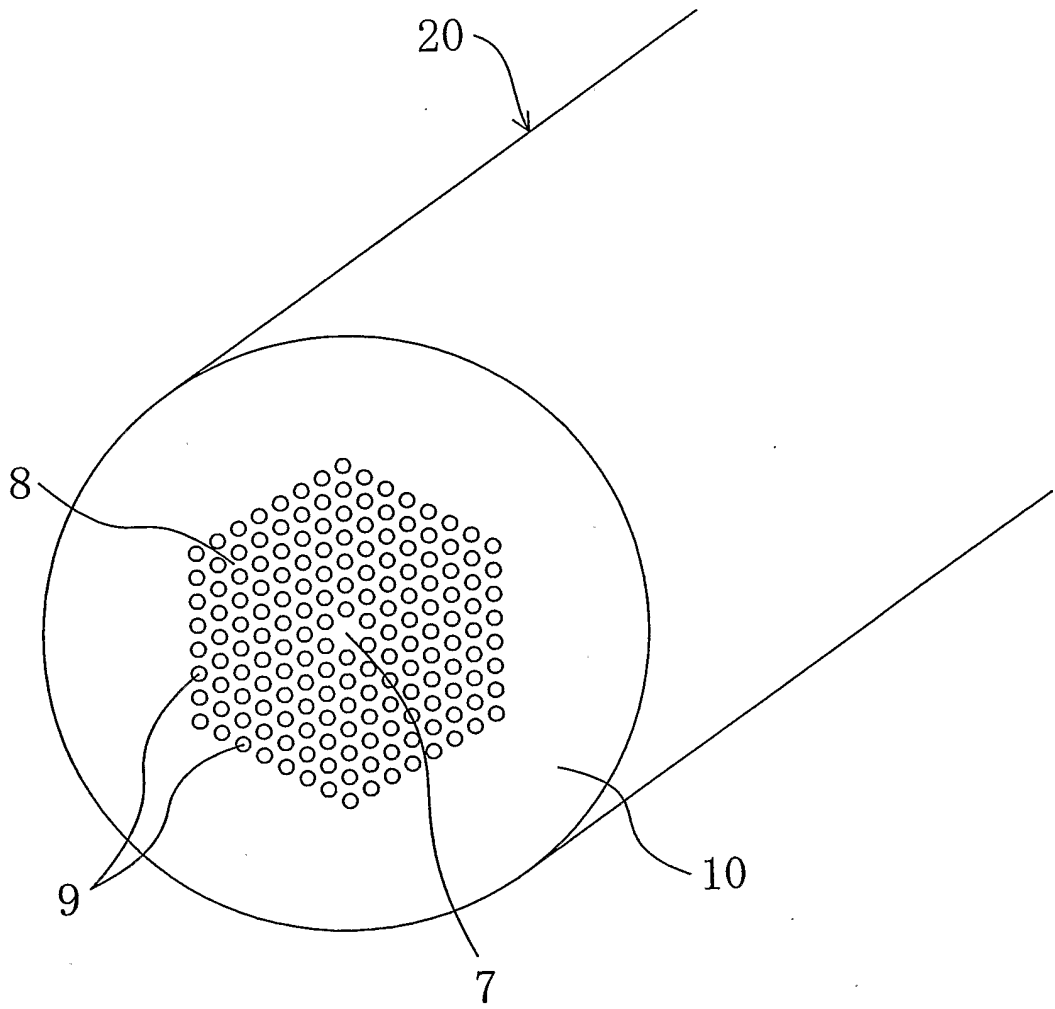


FIG. 3

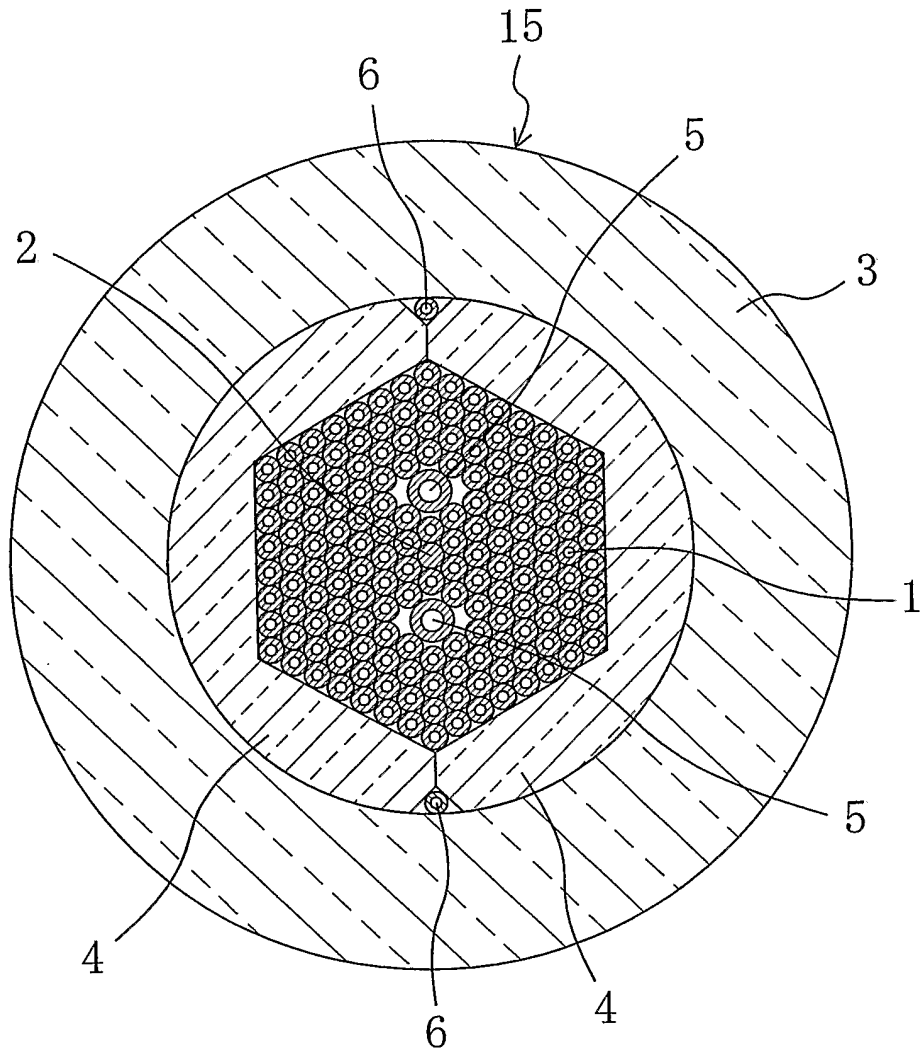


FIG. 4

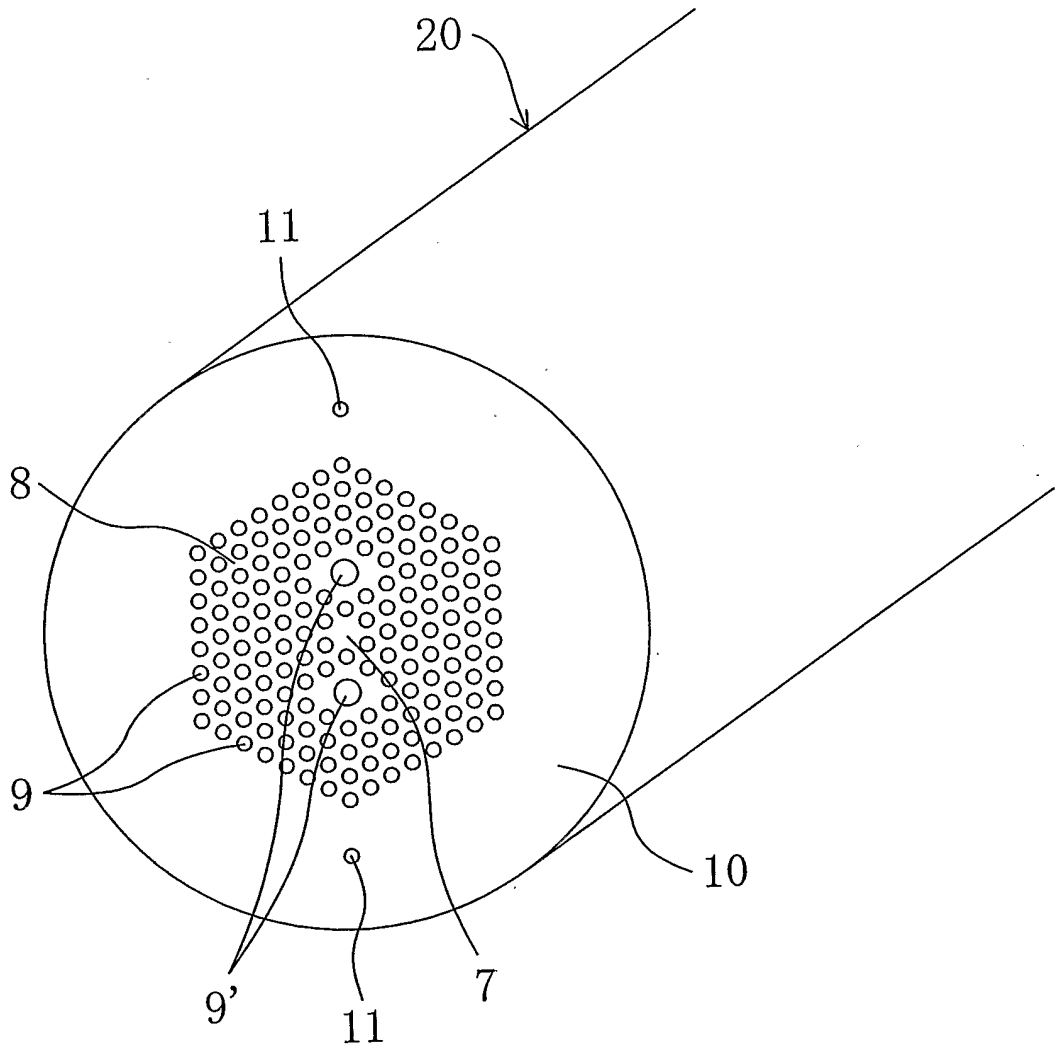


FIG. 5

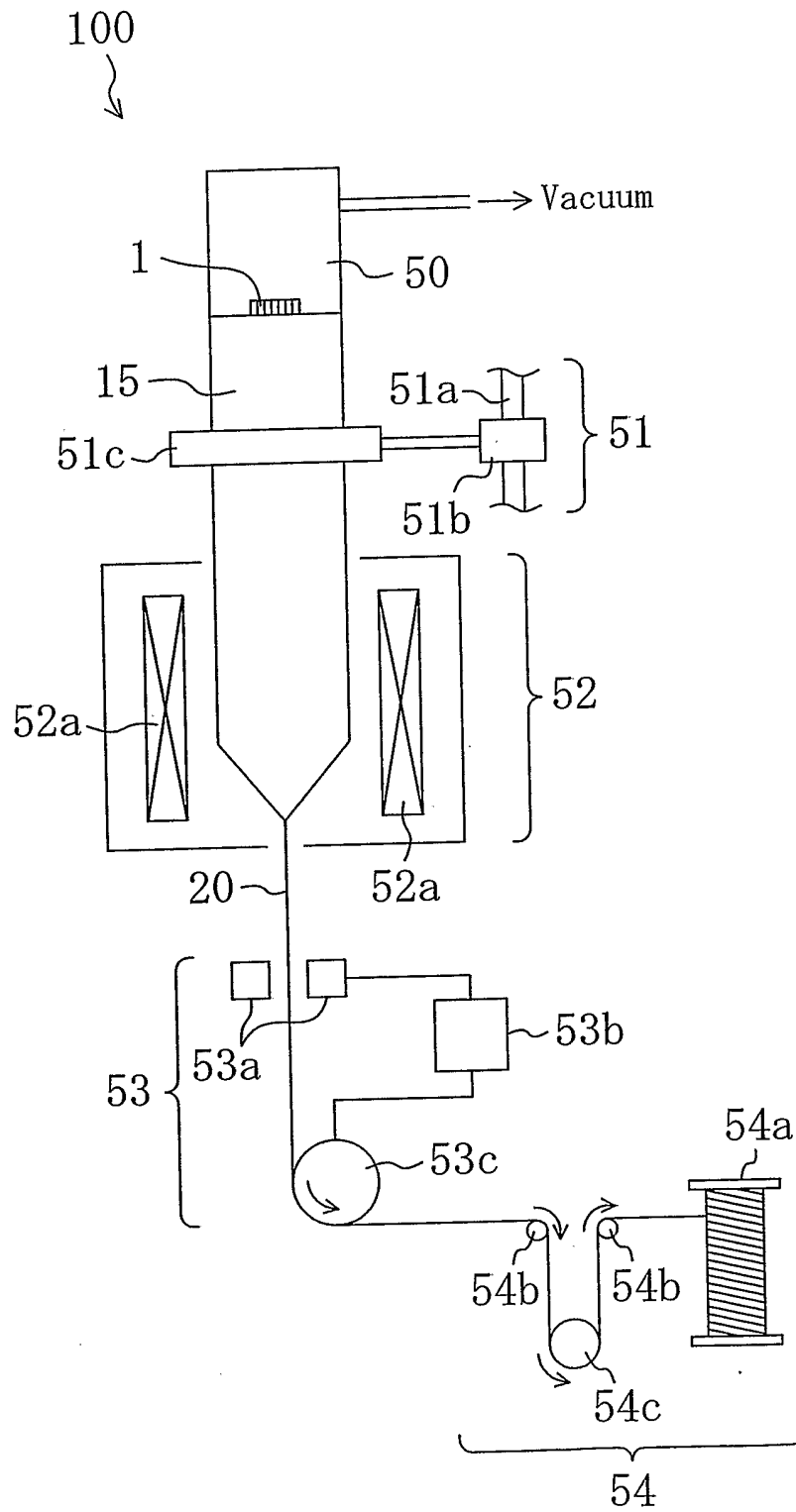
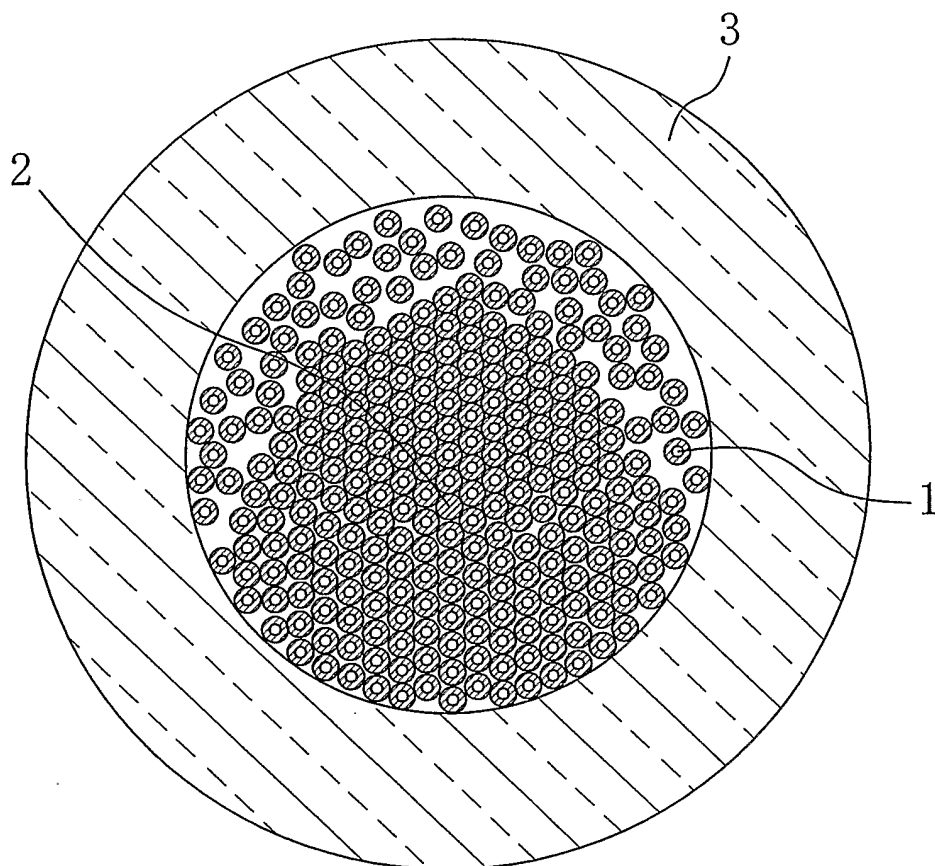


FIG. 6



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/001333

<p>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl⁷ C03B37/012, C03B37/027, G02B6/00</p> <p>According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC</p>																			
<p>B. FIELDS SEARCHED</p> <p>Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl⁷ C03B37/00-37/16</p> <p>Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched</p> <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:33%;">Jitsuyo Shinan Koho</td> <td style="width:16%;">1922-1996</td> <td style="width:33%;">Jitsuyo Shinan Toroku Koho</td> <td style="width:18%;">1996-2004</td> </tr> <tr> <td>Kokai Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1971-2004</td> <td>Toroku Jitsuyo Shinan Koho</td> <td>1994-2004</td> </tr> </table> <p>Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) WPI</p>			Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004	Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004									
Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004																
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004																
<p>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</p> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width:10%;">Category*</th> <th style="width:70%;">Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages</th> <th style="width:20%;">Relevant to claim No.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align:center;">A</td> <td>EP 1325893 A1 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.), 09 July, 2003 (09.07.03), Claims 1 to 5 & JP 2002-97034 A Claims 1 to 5 & US 2003/56550 A1 & WO 02/24590 A1</td> <td style="text-align:center;">1-5</td> </tr> <tr> <td style="text-align:center;">A</td> <td>EP 1234806 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.), 28 August, 2002 (28.08.02), Par. No. [0032] & JP 2002-249335 A Par. No. [0047] & US 2002/118938 A1</td> <td style="text-align:center;">1-5</td> </tr> </tbody> </table> <p><input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.</p> <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:50%; border:none;"> * Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed </td> <td style="width:50%; border:none;"> "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family </td> </tr> </table> <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width:50%;">Date of the actual completion of the international search 11 March, 2004 (11.03.04)</td> <td style="width:50%;">Date of mailing of the international search report 06 April, 2004 (06.04.04)</td> </tr> <tr> <td>Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office</td> <td>Authorized officer</td> </tr> <tr> <td>Facsimile No.</td> <td>Telephone No.</td> </tr> </table>			Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.	A	EP 1325893 A1 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.), 09 July, 2003 (09.07.03), Claims 1 to 5 & JP 2002-97034 A Claims 1 to 5 & US 2003/56550 A1 & WO 02/24590 A1	1-5	A	EP 1234806 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.), 28 August, 2002 (28.08.02), Par. No. [0032] & JP 2002-249335 A Par. No. [0047] & US 2002/118938 A1	1-5	* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family	Date of the actual completion of the international search 11 March, 2004 (11.03.04)	Date of mailing of the international search report 06 April, 2004 (06.04.04)	Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer	Facsimile No.	Telephone No.
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.																	
A	EP 1325893 A1 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.), 09 July, 2003 (09.07.03), Claims 1 to 5 & JP 2002-97034 A Claims 1 to 5 & US 2003/56550 A1 & WO 02/24590 A1	1-5																	
A	EP 1234806 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.), 28 August, 2002 (28.08.02), Par. No. [0032] & JP 2002-249335 A Par. No. [0047] & US 2002/118938 A1	1-5																	
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family																		
Date of the actual completion of the international search 11 March, 2004 (11.03.04)	Date of mailing of the international search report 06 April, 2004 (06.04.04)																		
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer																		
Facsimile No.	Telephone No.																		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/001333

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 04-224129 A (Fujikura Densen Kabushiki Kaisha), 13 August, 1992 (13.08.92), Claim 1 (Family: none)	1-5
A	JP 57-92303 A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), 08 June, 1982 (08.06.82), Claims 1, 2 (Family: none)	1-5

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
 Int. Cl. 7 C03B37/012, C03B37/027, G02B6/00

B. 調査を行った分野
 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
 Int. Cl. 7 C03B37/00-37/16

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの
 日本国実用新案公報 1922-1996
 日本国公開実用新案公報 1971-2004
 日本国実用新案登録公報 1996-2004
 日本国登録実用新案公報 1994-2004

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)
 WPI

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	EP 1325893 A1 (MITSUBISHI CABLE INDUSTRIES, LTD.) 2003.07.09, 請求項1-5 & JP 2002-97034 A, 請求項1-5 & US 2003/56550 A1 & WO 02/24590 A1	1-5
A	EP 1234806 A2 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 2002.08.28, 【0032】 & JP 2002-249335 A, 【0047】 & US 2002/118938 A1	1-5
A	JP 04-224129 A (藤倉電線株式会社) 1992.08.13, 請求項1 (ファミリーなし)	1-5

C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー
 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 11.03.2004
 国際調査報告の発送日 06.4.2004

国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 塩見 篤史	4T 3342
電話番号 03-3581-1101 内線 3463		

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリ*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 57-92303 A (日本電信電話公社) 1982.06.08, 請求項1, 2 (ファミリーなし)	1-5