

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2014 年 11 月 6 日(06.11.2014)



(10) 国際公開番号
WO 2014/178293 A1

- (51) 国際特許分類:
C03B 37/018 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2014/061089
- (22) 国際出願日: 2014 年 4 月 18 日(18.04.2014)
- (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:
61/818,226 2013 年 5 月 1 日(01.05.2013) US
- (71) 出願人: 古河電気工業株式会社(FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 権田 智洋(GONDA, Tomohiro); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 今村 勝徳(IM-AMURA, Katsunori); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP). 宮部 亮(MIYABE, Ryo); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気

工業株式会社内 Tokyo (JP). 杉崎 隆一(SUGIZAKI, Ryuichi); 〒1008322 東京都千代田区丸の内二丁目 2 番 3 号 古河電気工業株式会社内 Tokyo (JP).

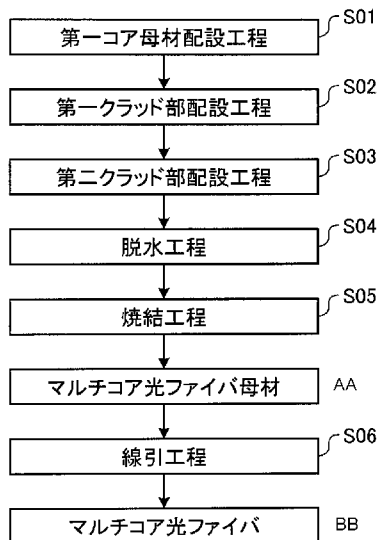
(74) 代理人: 酒井 宏明, 外(SAKAI, Hiroaki et al.); 〒1006020 東京都千代田区霞が関三丁目 2 番 5 号 霞が関ビルディング 酒井国際特許事務所 Tokyo (JP).

(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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING OPTICAL FIBER BASE MATERIAL, AND METHOD FOR PRODUCING OPTICAL FIBER

(54) 発明の名称: 光ファイバ母材の製造方法、及び光ファイバの製造方法



- S01 First core base material arrangement step
S02 First clad part arrangement step
S03 Second clad part arrangement step
S04 Dehydration step
S05 Sintering step
S06 Drawing step
AA Multi-core optical fiber base material
BB Multi-core optical fiber

(57) Abstract: A method for producing an optical fiber base material, which involves a first base material preparation step of preparing a first base material that comprises multiple glass base materials and a first clad part arranged among the multiple glass base materials and a second clad part arrangement step of arranging a second clad part in such a manner that the second clad part can surround the first base material, wherein, in the second clad part arrangement step, a raw material gas and a combustion gas are ejected from a burner to produce glass microparticles, and the first base material and the burner are moved relatively to each other in the direction of the length of the first clad part to deposit the glass microparticles on the first clad part.

(57) 要約: 複数のガラス母材と、前記複数のガラス母材同士の間配置された第一クラッド部を有する第一母材を準備する第一母材準備工程と、前記第一母材を囲むように第二クラッド部を配設する第二クラッド部配設工程と、を備え、前記第二クラッド部配設工程は、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、前記第一母材と前記バーナを前記第一クラッド部の長手方向に相対移動させ、前記第一クラッド部に前記ガラス微粒子を堆積する光ファイバ母材の製造方法。



(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, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR),

OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

光ファイバ母材の製造方法、及び光ファイバの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバ母材の製造方法、及び光ファイバの製造方法に関するものである。

背景技術

[0002] マルチコアファイバ (Multi-Core Fiber: MCF) は、1本の光ファイバに複数のコアを備えた光ファイバであり、省スペースに多くのコア部を設けることができる新しいタイプの光ファイバである。このマルチコアファイバにより、大容量のイメージ伝送や空間多重伝送等の新たな光伝播の実現が期待されている。

[0003] マルチコアファイバの製造方法としては、例えばスタック&ドロウ法やドリル法などがある。

スタック&ドロウ法とは、コアを形成するためのガラスロッド（コア母材）の周囲に、屈折率がコアよりも低いクラッドを形成するためのガラスロッドを配置し、これらをガラスからなるジャケット管の内部に挿入したものを加熱延伸して光ファイバ母材を形成するというものである（例えば特許文献1参照）。

また、ドリル法とは、ガラスからなるロッド状の元材にドリルで空孔（貫通孔）を形成し、この空孔にコアを形成するためのガラスロッド（コア母材）を挿入して、光ファイバ母材を形成するというものである（例えば特許文献2参照）。

[0004] しかしながら、スタック&ドロウ法では、コア母材をジャケット管内部に挿入して加熱延伸するため、コアの位置精度が低下してしまう問題があった。また、ドリル法では、ロッド状の元材にドリルで空孔を形成するため、加工費が高くなり、高コストとなってしまう問題があった。

そこで、特許文献3には、コアを形成するための複数のコア母材を所定の位置に配列し、これらのコア母材の外側からガラス微粒子を堆積し、クラッドとなる多孔質層を形成した後、さらに焼結することによってマルチコアファイバ母材を得るマルチコアファイバ母材の製造方法が開示されている。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開平8－119656号公報

特許文献2：特開平9－90143号公報

特許文献3：特開昭57－82805号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] しかしながら、特許文献3に記載のマルチコアファイバ母材の製造方法のように、配置したコア母材の外側からガラス微粒子を堆積し、クラッドを形成する場合、コア母材の間の隙間を十分に埋めることができない場合があった。この場合、その後焼結を行っても、コアで囲まれる内部の領域に大きな空隙が生じたり、焼結時にその空隙が埋められるのに伴ってマルチコアファイバ母材に変形や歪が生じ、母材が割れたり、コアの位置精度が低下する等の問題が生じる場合があった。さらに、このマルチコアファイバ母材からマルチコアファイバを線引きしたときには、光ファイバ内に空隙が生じたり、コアの位置精度が低下する等、マルチコアファイバの品質が低下してしまう場合があった。

[0007] 本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、低コストで良質な光ファイバ母材を製造することができるマルチコアファイバ母材の製造方法、及びこれを用いた光ファイバの製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0008] 上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法は、複数のガラス母材と、前記複数のガラス母材同士の

間に配置された第一クラッド部を有する第一母材を準備する第一母材準備工程と、前記第一母材を囲むように第二クラッド部を配設する第二クラッド部配設工程と、を備え、前記第二クラッド部配設工程は、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、前記第一母材と前記バーナを前記第一クラッド部の長手方向に相対移動させ、前記第一クラッド部に前記ガラス微粒子を堆積することを特徴とする。

[0009] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一クラッド部は、前記第一母材の断面が円形に近づくように配置されることを特徴とする。

[0010] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一母材準備工程は、前記複数のガラス母材の一つである中心ガラス母材を配設する中心ガラス母材配設工程と、前記中心ガラス母材の外周に前記複数のガラス母材の他の少なくとも一つである外周ガラス母材を配設する外周ガラス母材配設工程と、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、配設された前記複数のガラス母材と前記バーナを前記複数のガラス母材の長手方向に相対移動させ、前記中心ガラス母材に前記ガラス微粒子を堆積する第一クラッド部配設工程と、を有することを特徴とする。

[0011] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一クラッド部配設工程において、前記複数のガラス母材をそれぞれのガラス母材の中心軸回りに回転させながら前記中心ガラス母材に前記ガラス微粒子を堆積することを特徴とする。

[0012] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一母材準備工程は、隣接する前記複数のガラス母材同士の間隙間に、ガラスロッドを配置するガラスロッド配置工程を有することを特徴とする。

[0013] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一母材準備工程は、前記複数のガラス母材の一つである中心ガラス母材を配設する中心ガラス母材配設工程と、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、配設された前記中心ガラス母材と前記バーナ

を前記中心ガラス母材の長手方向に相対移動させ、前記中心ガラス母材に前記ガラス微粒子を堆積する第一クラッド部配設工程と、前記第一クラッド部を配設した前記中心ガラス母材の外周に前記複数のガラス母材の他の少なくとも一つである外周ガラス母材を配設する外周ガラス母材配設工程と、を有することを特徴とする。

[0014] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、第一クラッド部配設工程の後に、前記第一クラッド部の外周に前記第一母材の長手方向に延在する凹部を形成する凹部形成工程を有し、前記外周ガラス母材配設工程は、前記凹部に対応する位置に前記外周ガラス母材を配設することを特徴とする。

[0015] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一クラッド部は、前記第一母材の長手方向に延在する凹部が形成された円柱状部材であり、前記第一母材準備工程は、前記凹部に対応する位置に前記ガラス母材を配設するガラス母材配設工程を有することを特徴とする。

[0016] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一クラッド部は、粉末成形体からなることを特徴とする。

[0017] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一クラッド部は、ガラスからなることを特徴とする。

[0018] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第一クラッド部は、半焼結ガラスからなることを特徴とする。

[0019] また、本発明のマルチコアファイバ母材の製造方法の一態様は、前記第二クラッド部配設工程の後に、さらに、第二クラッド部の外周に少なくとも一つのガラス母材を配設する第二ガラス母材配設工程と、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、配設された前記第二クラッド部と前記バーナを前記複数のガラス母材の長手方向に相対移動させ、前記第二クラッド部に前記ガラス微粒子を堆積して第三クラッド部を配設する第三クラッド部配設工程と、を備えることを特徴とする。

[0020] また、本発明の光ファイバの製造方法は、上述の光ファイバ母材の製造方

法によって製造された光ファイバ母材を線引きすることを特徴とする。

発明の効果

[0021] 本発明によれば、クラッドでの空隙の発生を無くし、コア位置精度を高くできるので、低コストで良質なマルチコアファイバ母材およびマルチコアファイバを製造することができる。

図面の簡単な説明

[0022] [図1]図1は、本発明の第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法によって製造されるマルチコアファイバ母材の断面図である。

[図2]図2は、本発明の第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法のフロー図である。

[図3A]図3Aは、本発明の第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法に用いられるコア母材の断面を示す概略説明図である。

[図3B]図3Bは、本発明の第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法に用いられるコア母材の全体を示す概略説明図である。

[図4A]図4Aは、第一コア母材配設工程の概略説明図であり、複数のコア母材の配置を示す断面図である。

[図4B]図4Bは、第一コア母材配設工程の概略説明図であり、複数のコア母材の配置を示す概略説明図である。

[図4C]図4Cは、ダミー母材および把持具を示す概略説明図である。

[図4D]図4Dは、スペーサを示す概略説明図である。

[図5A]図5Aは、第一クラッド部配設工程の概略説明図である。

[図5B]図5Bは、第一クラッド部配設工程の概略説明図である。

[図6]図6は、第二クラッド部配設工程の概略説明図である。

[図7]図7は、第二クラッド部配設工程の概略説明図である。

[図8]図8は、脱水工程及び焼結工程において用いられる電気炉の概略説明図である。

[図9]図9は、線引き工程において用いられる線引き装置の概略説明図である。

[図10]図10は、マーカを備えたマルチコアファイバ母材の断面図である。

[図11]図 1 1 は、本発明の第二実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法の概略説明図である。

[図12]図 1 2 は、本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法のフロー図である。

[図13]図 1 3 は、本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法の概略説明図である。

[図14]図 1 4 は、本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法の変形例を示す図である。

[図15]図 1 5 は、本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法の変形例を示す図である。

[図16]図 1 6 は、本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法の変形例を示す図である。

[図17]図 1 7 は、本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法の変形例を示す図である。

[図18]図 1 8 は、本発明の第四実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法のフロー図である。

[図19]図 1 9 は、本発明の第四実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法の概略説明図である。

[図20]図 2 0 は、コア母材を多角形状に配設する場合を説明する図である。

発明を実施するための形態

[0023] 以下に、図面を参照して本発明の実施形態に係るマルチコアファイバ母材の製造方法、及びマルチコアファイバの製造方法についての実施の形態を説明する。なお、この実施の形態によりこの発明が限定されるものではない。また、図面の記載において、同一または対応する要素には適宜同一の符号を付している。また、図面は模式的なものであり、各要素の寸法の関係、各要素の比率などは、現実と異なる場合があることに留意する必要がある。図面の相互間においても、互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれている場合がある。

[0024] (第一実施形態)

まず、本発明の第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 (光ファイバ母材) の製造方法によって製造されるマルチコアファイバ母材 1 について説明する。このマルチコアファイバ母材 1 は、図 1 に示すように、複数のコア部 10 と、これらのコア部 10 の外周に形成されたクラッド部 13 とを備えている。

複数のコア部 10 は、マルチコアファイバ母材 1 の中心軸に設けられた中心コア部 11 と、この中心コア部 11 の外周に設けられた複数の外周コア部 12 とから構成されている。それぞれのコア部 10 は、例えばゲルマニウムなどがドーパされた屈折率の高い石英系ガラスによって構成されている。

クラッド部 13 は、コアよりも屈折率の低い材料で構成されており、例えば屈折率調整用のドーパントが添加されていない純石英ガラスなどで構成されている。

[0025] 次に、本発明の第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法、及びマルチコアファイバの製造方法について説明する。

第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法は、例えば図 2 に示すように、第一コア母材配設工程 S01 と、第一クラッド部配設工程 S02 と、第二クラッド部配設工程 S03 と、脱水工程 S04 と、焼結工程 S05 とを備えている。ここで、第一コア母材配設工程 S01 と第一クラッド部配設工程 S02 とは第一母材準備工程を構成している。

以下に、各工程について詳細に説明する。

[0026] (第一コア母材配設工程 S01)

第一ガラス母材であるコア母材 20 は、図 3A、3B に示すように、光ファイバ母材のコア部となるコア部 10 と、このコア部 10 を囲むように形成されたクラッド部 23 とから構成されており、一方向に延在する円柱形状をしている。なお、クラッド部 23 はマルチコアファイバ母材 1 のクラッド部 13 の一部となる部分であり、たとえばクラッド部 13 と同じ材料、クラッド部 13 と同じ屈折率の材料、またはクラッド部 13 よりも屈折率が低い材

料で構成されている。コア母材 20 は、VAD (Vapor phase Axial Deposition) 法、OVD (Outside Vapor Deposition) 法、MCVD (Modified Chemical Vapor Deposition) 法などの周知の方法を用いて製造できる。

[0027] 第一コア母材配設工程 S01 では、図 4A に示すように、マルチコアファイバ母材 1 の中心軸に相当する位置に、ガラス母材の一つである中心ガラス母材としての中心コア母材 21 を配置する中心ガラス母材配設工程を行うとともに、この中心コア母材 21 の外周側に、ガラス母材の他の少なくとも一つである外周ガラス母材としての外周コア母材 22 を配置する外周ガラス母材配設工程を行う。外周コア母材 22 は、たとえば、中心コア母材 21 との距離が等距離であり、かつ隣接する外周コア母材 22 同士の距離が等距離となるように配置する。また、このとき中心コア母材 21 と外周コア母材 22 の距離は、後述する焼結工程での体積収縮を考慮して決定されていることが好ましい。

図 4B、C に示すように、コア母材 20 の両端部には、ガラスからなるダミー母材 30 を溶着することが好ましい。これにより、後述する母材製造装置の把持具でコア母材 20 を把持する場合、ダミー母材 30 部分を把持でき、コア母材 20 の良品部分をより有効に使用できる。

また、マルチコアファイバ母材 1 の中心軸に相当する位置に配置されるコア母材 20 (中心コア母材 21) のダミー母材 31 が、中心コア母材 21 の外周に配置するコア母材 20 (外周コア母材 22) のダミー母材 32 よりも長く、かつ太いことが好ましい。これにより、後の工程で、中心コア母材 21 のダミー母材 31 のみを把持することが容易となり、中心コア母材 21 のダミー母材 31 のみを把持することでマルチコアファイバ母材 1 全体を保持できる。

コア母材 20 は、母材製造装置の把持具 33 に取り付けられる。これによってコア母材 20 が所定の位置に配設される。このとき、把持具 33 はコア

母材 20 のダミー母材 30 の部分を把持する。

この把持具 33 は、コア母材 20 間の配置関係を維持しつつ、中心コア母材 21 の中心軸を中心としてコア母材 20 全体を回転（公転）させることができる。また、さらにそれぞれのコア母材 20 をコア母材 20 の軸心回りに回転（自転）させることができる構造としても良い。把持具 33 の材質としては、金属やテフロン（登録商標）等を用いることができる。

[0028] （第一クラッド部配設工程 S02）

次に、前述のように配置されたそれぞれのコア母材 20 の間の隙間を埋めるように第一クラッド部 24 を形成することによって、第一クラッド部 24 を配設する。第一実施形態において、第一クラッド部 24 は、図 5 A、5 B に示すように、母材製造装置に備えられたガラス微粒子供給部によってコア母材 20（特に中心コア母材 21）の周囲にガラス微粒子が堆積されることによって形成される。

本実施形態においては、図示しないガラス微粒子供給部は、ガラス微粒子合成用のバーナ 36 に、ガラス原料ガス及び燃焼ガスである H_2 ガスと O_2 ガスとを供給し、噴出させる。ガラス原料ガスとしてはたとえば $SiCl_4$ ガス等を用いることができる。

[0029] このバーナ 36 は、燃焼ガスによって形成される火炎中でガラス原料ガスを火炎加水分解させてガラス微粒子を合成する。本実施形態においては、図 5 A に示すように、隣接する外周コア母材 22 の間の隙間からコア母材 20 の間の隙間を埋めるようにガラス微粒子を堆積させ、ガラス微粒子からなる第一クラッド部 24 を形成する。このとき、コア母材 20 の中心同士を結ぶ線 L が全て覆われるように第一クラッド部 24 を形成する。これにより、第一クラッド部 24 が配設される。

また、図 5 B に示すように、バーナ 36 とコア母材 20 は、コア母材 20 の延在方向に相対的に往復移動が可能であり、コア母材 20 の延在方向に均一にガラス微粒子を堆積させることができる。なお、この実施の形態では、バーナ 36 を移動させてガラス微粒子を堆積させているが、バーナ 36 を固

定して、コア母材 20 を往復移動させてもよい。さらに、このバーナ 36 は、中心コア母材 21 の軸心に直交する方向に進退可能に設けられている。

[0030] ここで、コア母材 20 の間の隙間をより均一に埋めるためには、全ての隣接する外周コア母材 22 の間から、同量のガラス微粒子を堆積させることが好ましい。したがって、本実施形態のように外周コア母材 22 が 6 本であり、バーナ 36 が 3 本である場合は、バーナ 36 を所定回数往復移動させた後、中心コア母材 21 の中心軸回りにコア母材 20 全体を 60° 回転（公転）させ、バーナ 36 を別の隣接する外周コア母材 22 の間に移動させて、所定回数往復移動させガラス微粒子を堆積させる。これを繰り返して第一クラッド部 24 を形成することが好ましい。

また、コア母材 20 の延在方向の同一箇所を複数のバーナで加熱すると、加熱部位が高温になりすぎて中心コア母材 21 が変形する等の問題が生じる場合がある。したがって、本実施形態のように複数のバーナを用いる場合は、各バーナ 36 がコア母材 20 の延在方向の別の位置を加熱するようにバーナ 36 を往復移動させることが好ましい。なお、バーナ 36 は 1 本でもよい。

また、第一クラッド部 24 が形成されるまでは、中心コア母材 21 を中心コア母材の軸心回りに回転（自転）させながらガラス微粒子を堆積させてもよい。これにより、中心コア母材 21 の外周に均一に第一クラッド部 24 を形成できる。

さらに、全てのコア母材 20 を各コア母材の軸心回りに回転（自転）させながらガラス微粒子を堆積させてもよい。これにより、中心コア母材 21 の外周に隙間を残したまま隣接する外周コア母材 22 の間の隙間がガラス微粒子で塞がれてしまうことを抑制することができる。

また、堆積するガラス微粒子の嵩密度が低いと、後述する脱水焼結工程での収縮が大きくなり、コア位置精度の低下につながる恐れがある。そのため、バーナ 36 のほかに、燃焼ガスのみを供給する別の焼き締めバーナをさらに設けて堆積したガラス微粒子を焼き締めて、嵩密度を上げてよい。好ま

しい嵩密度は 0.5 g/cm^3 以上である。焼き締めバーナは、ガラス原料を供給するバーナ36と同じ数だけ設けることが好ましく、対応するバーナ36とコア母材20の延在方向の同じ位置を隣接する外周コア母材22の間隙から加熱するように設けてもよく、対応するバーナ36と同じ隣接する外周コア母材22の間隙からバーナ36の後を追って加熱するように設けてもよい。

このようにすることで、空隙が形成されることがなく、コア母材20の間の隙間を埋めるようにガラス微粒子を堆積させることができる。

また、このとき、図5Aに示すように、外周コア母材22の中心同士を結ぶ線Lが全て覆われるようにして、外周コア母材22の略半分以上を第一クラッド部24に埋めることが好ましい。これにより次に説明する第二クラッド部配設工程で空隙が形成されることがなく、ガラス微粒子を堆積させることができる。

第一コア母材配設工程S01および第一クラッド部配設工程S02により、複数のガラス母材であるコア母材20と、コア母材20同士の上に配置された第一クラッド部24とを有する第一母材が準備される。なお、このとき、第一クラッド部24は、第一母材の断面（図5A参照）が円形に近づくように配置されることが好ましい。これにより、その後形成される多孔質母材38の断面を円形になりやすくなる。

[0031]（第二クラッド部配設工程S03）

次いで、第一クラッド部24を形成した後に、図6に示すように、第一母材の外周コア母材22及び第一クラッド部24を囲うようにガラス微粒子を堆積させ、第二クラッド部25を形成する。このとき、図5Bの場合と同様に、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、第一母材とバーナを第一クラッド部24の長手方向に相対移動させ、第一クラッド部24にガラス微粒子を堆積する。これにより、第二クラッド部25が配設され、マルチコアファイバ母材1の元母材としての多孔質母材38が形成される。

ここで、第二クラッド部 25 を形成する際には、図 7 に示すように、コア母材 20 を中心コア母材 21 の中心軸回りに回転させながらガラス微粒子を堆積させることが好ましい。

なお、第二クラッド部 25 を形成した後に、断面がより真円に近い円形となるように第二クラッド部 25 に対して削り加工を行っても良い。

[0032] (脱水工程 S04、焼結工程 S05)

次に、脱水工程 S04 及び焼結工程 S05 を行う。図 8 は、脱水工程 S04 及び焼結工程 S05 において用いる電気炉 40 の概略説明図である。脱水工程 S04 及び焼結工程 S05 は以下のようにして行われる。

電気炉 40 は、多孔質母材 38 を把持するための把持部 41a を有する回転昇降機構 41 と、対象物を収容する石英ガラス製の炉心管 43 と、該炉心管 43 の上蓋 42 と、炉心管 43 の外周に備えられ外部から多孔質母材 38 を加熱するヒータ 44 と、炉心管 43 の外周で断熱材 45 を介してヒータ 44 を収容している炉体 46 と、を備えている。

さらに、炉心管 43 は、窒素ガス、ヘリウムガスなどの不活性ガスや、塩素ガスなどの脱水ガスを炉心管 43 内に供給するためのガス供給口 47 を下部に、使用済みのガスを炉心管 43 外に排出するためのガス排出口 48 を上部に備える。

[0033] 脱水工程 S04、焼結工程 S05 においては、炉心管 43 内部には、ガス供給口 47 からヘリウム (He) 等の不活性ガス、塩素ガス (Cl₂) 等の脱水ガス等、脱水焼結に必要なガスを所定の流量導入し、ガス排出口 48 から適量のガスを排出することにより、炉心管 43 内の圧力を所定の値に保っている。

多孔質母材 38 は、中心コア母材 21 に溶着されたダミー母材 31 を回転昇降機構 41 の把持部 41a によって把持され、炉心管 43 内を回転しながら降下する。これによって、多孔質母材 38 の端部から順にヒータ 44 により高温に加熱された領域を通過することで加熱されて脱水される。その後、温度を昇温させてから、脱水時と同様に多孔質母材 38 の端部から順に高温

に加熱された領域を通過することで焼結される。これにより、第一クラッド部 24 及び第二クラッド部 25 がガラス化し、マルチコアファイバ母材 1 が得られる。

このとき、外周コア母材 22 は把持部 41a により把持されていない。そのため、堆積されたガラス微粒子が焼結して体積が収縮すると、それに合わせて外周コア母材 22 が中心コア母材 21 の方向に移動する。これにより外周コア母材 22 が長手方向に湾曲することを抑制でき、さらにコア位置精度の高いマルチコアファイバ母材 1 が得られる。

なお、脱水工程 S04、焼結工程 S05 は上記に限らず、周知の方法を用いることができる。たとえば、脱水焼結雰囲気は、減圧下でもよく、また加熱方式も均熱方式でもよい。また、脱水工程 S04 と焼結工程 S05 を別の工程で行ってもよい。

また、この実施の形態では、第一クラッド部配設工程 S02 の後に第二クラッド部配設工程 S03 を行ったが、第一クラッド部配設工程 S02 の後に脱水・焼結工程を設けて第一クラッドを予めガラス化し、その後、第二クラッド部配設工程 S03 を行ってもよい。これにより、焼結による体積収縮による外周コアの移動をより束縛することなくガラス化が可能となり、より一層コア位置精度の高いマルチコアファイバ母材が得られる。

[0034] 以下に、さらにマルチコアファイバの製造方法を説明する。マルチコアファイバ 5 の製造方法は、さらに線引工程 S06 を備えている。

[0035] (線引工程 S06)

線引工程 S06 では上述のようにして製造されたマルチコアファイバ母材 1 を線引きする。図 9 は、本実施の形態にて線引工程 S06 に用いる線引装置 50 を示す説明図である。以下に線引工程 S06 についてさらに詳細に説明する。

[0036] はじめに、マルチコアファイバ母材 1 を線引装置 50 の電気炉（線引炉）内に配置し、マルチコアファイバ母材 1 の一端を線引炉内のヒータ 51 によって加熱溶融してマルチコアファイバ 4 を鉛直方向下向きに引き出す。

次に、加熱溶融して引き出されたマルチコアファイバ4の外径を外径測定器53で監視しつつ、マルチコアファイバ4の外周表面に紫外線硬化性樹脂を被覆装置54で塗付し、その後、紫外線照射装置55によって紫外線を照射し、塗布した紫外線硬化性樹脂を硬化させて1次被覆層を形成する。

[0037] 次に、さらにこの1次被覆層上に紫外線硬化性樹脂を被覆装置56でさらに塗付し、その後、紫外線照射装置57によって紫外線を照射し、塗布した紫外線硬化性樹脂を硬化させて2次被覆層を形成し、被覆したマルチコアファイバ5とする。なお、各紫外線硬化性樹脂した後にも図示しない外径測定器を設けてもよい。また、形成する被覆層の層数はマルチコアファイバ5の使用目的等に応じて適宜調整され、被覆層の層数に応じた数の被覆装置、紫外線照射装置及び外径測定器が配置される。また、複数の被覆層を一括して塗布し、硬化させる方法を用いても良い。

次いで、ガイドローラ58は、被覆層が形成されたマルチコアファイバ5を巻取機59に案内し、巻取機59が、マルチコアファイバ5をボビンに巻き取る。このようにして被覆層を有するマルチコアファイバ5が製造される。

[0038] 以上のような構成とされた第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材1の製造方法によれば、複数のコア母材20と、複数のコア母材20同士の上に配置された第一クラッド部24とを有する第一母材を準備する第一母材準備工程を行うので、確実に複数のコア母材20の間の隙間をガラス微粒子により充填することができ、空隙、内部の変形、または歪（適宜空隙等とする）の少ない良質なマルチコアファイバ母材1を製造することが可能となる。

このようなマルチコアファイバ母材1を用いて製造されるマルチコアファイバ5は、変形や歪が抑制されているので、より良好な特性が得られる良質なものである。

[0039] また、第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材1の製造方法においては、第一クラッド部配設工程S02において、隣接する外周コア母材22の間の隙間からガラス微粒子を堆積させる構成とされているので、確実に中心

コア母材 2 1 と外周コア母材 2 2 との間の隙間、及び隣接する外周コア母材 2 2 の間の隙間をガラス微粒子によって埋めることができる。

[0040] また、第二クラッド部配設工程 S 0 3 において、中心コア母材 2 1 及び外周コア母材 2 2 を、マルチコアファイバ母材 1 の中心軸を中心に回転させながらガラス微粒子を堆積させる構成とされているので、第二クラッド部 2 5 をより確実に断面円形状に形成することができる。

[0041] また、図 1 0 に示すように、第二クラッド部配設工程 S 0 3 において、第二クラッド部 2 5 を形成する位置に、ガラスロッドからなるマーカ M を配置して、第二クラッド部 2 5 に、コア部の位置特定等のためのマーカ M を設ける構成としてもよい。マーカ M としては、焼結後の第二クラッド部 2 5 とは屈折率が異なるガラスからなるガラスロッドや、着色されたガラスからなるものを用いることができる。

[0042] (第二実施形態)

次に、本発明の第二実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法、及びマルチコアファイバ 5 の製造方法について説明する。なお、第一実施形態と同様の構成のものについては、同一の符号を付して記載し、詳細な説明を省略する。

[0043] 第二実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法は、図 2 に示すフローと同様であるが、第一母材準備工程において、第一コア母材配設工程として第一コア母材配設工程 S 0 1 の代わりに第一コア母材配設工程 S 1 1 を備え、第一クラッド部配設工程として第一クラッド部配設工程 S 0 2 の代わりに第一クラッド部配設工程 S 1 2 を備えている点が異なる。第二クラッド部配設工程 S 0 3 と、脱水工程 S 0 4 と、焼結工程 S 0 5 は、第一実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法と同様の構成であるので詳細な説明を省略する。

[0044] (第一コア母材配設工程 S 1 1)

第一コア母材配設工程 S 1 1 は、図 1 1 に示すように中心コア母材 2 1 の外周に外周コア母材 2 2 を配置する。これによってコア母材 2 0 が所定の位

置に配設される。このとき、中心コア母材 2 1 と外周コア母材 2 2 が接するように配置した場合に、コア同士の間隔が所望の間隔となるように、各コア母材 2 0 のコア部とクラッド部の外径比が調整されていることが好ましい。これにより、各コア母材 2 0 を安定して配置できる。

なお、このとき、所定の位置に配設されたコア母材 2 0 の両端部にコア母材 2 0 の外周形状と略等しい形状の貫通孔を備える円板からなるスペーサ（図 4 D 参照）を設けることが好ましい。これにより、より安定して各コア母材 2 0 を配置できる。また、スペーサとしてクラッド部と同じ材料からなるものを用いた場合は、後の工程で取り外す必要がない。

[0045]（第一クラッド部配設工程 S 1 2）

次に、図 1 1 に示すように、中心コア母材 2 1 と外周コア母材 2 2 との間隙間に、ガラスロッド 6 0 を配置するガラスロッド配置工程を行う。このガラスロッド 6 0 は、クラッド部 1 3 と同じ材料またはクラッド部 1 3 と同じ屈折率の材料とされている。さらに、第一実施形態と同様に前述の外周コア母材 2 2 同士の間隙間を埋めるように、ガラス微粒子 6 1 を堆積させる。これによって、ガラスロッド 6 0 とガラス微粒子 6 1 とからなる第一クラッド部 2 4 が配設される。この場合も、コア母材 2 0 の中心同士を結ぶ線が全て覆われるように第一クラッド部 2 4 を配設する。

次いで、第一実施形態と同様に第二クラッド部配設工程 S 0 3 にて第二クラッド部 2 5 を配設する。その後、脱水工程 S 0 4、焼結工程 S 0 5 を順に行い、第二実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 が製造される。

なお、本実施形態においては、ガラスからなるコア母材 2 0 が互いに密着しているので、ガラス微粒子 6 1 を焼結しても、その焼結による体積収縮により外周コア母材 2 2 が移動することがない。したがって、第二クラッド部配設工程 S 0 3 において、コア母材 2 0 をまとめて把持するダミー母材を両端に 1 本ずつ設ければよい。これにより、第二クラッド部配設工程 S 0 3、脱水工程 S 0 4、焼結工程 S 0 5 で、安定して母材を把持することが可能である。

そして、このマルチコアファイバ母材 1 を用いて第一実施形態と同様にして線引工程 S 0 6 を行い、マルチコアファイバ 5 が製造される。

[0046] 以上のような構成とされた本発明の第二実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法によれば、第一コア母材配設工程 S 1 1 において、中心コア母材 2 1 と外周コア母材 2 2 を配置するとともに、中心コア母材 2 1 及び外周コア母材 2 2 との間の隙間を埋めるガラスロッド 6 0 を配置する構成とされているので、中心コア母材及び外周コア母材との間の隙間を確実にガラスロッド 6 0 によって埋めることができ、マルチコアファイバ母材 1 のクラッド部 1 3 に空隙等が生じることを抑制できる。

[0047] (第三実施形態)

次に、本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法、及びマルチコアファイバ 5 の製造方法について説明する。なお、第一実施形態と同様の構成のものについては、同一の符号を付して記載し、詳細な説明を省略する。

[0048] 第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法は、図 1 2 に示すように、第一母材準備工程としての第一クラッド部配設及び第一コア母材配設工程 S 2 1 と、第二クラッド部配設工程 S 0 3 と、脱水工程 S 0 4 と、焼結工程 S 0 5 とを備えている。第二クラッド部配設工程 S 0 3 と、脱水工程 S 0 4 及び焼結工程 S 0 5 については、第一実施形態と同様の構成であるので、詳細な説明を省略する。

[0049] (第一クラッド部配設及び第一コア母材配設工程 S 2 1)

第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法では、まず、第一コア母材配設工程のうち中心ガラス母材配設工程を行い、その後に第一クラッド部配設工程を行い、その後に外周ガラス母材配設工程を行う。すなわち、図 1 3 に示すように、まず、一つのコア母材 2 0 (中心コア母材 2 1) を配設する。つぎに、中心コア母材 2 1 を囲うように、ガラス微粒子を中心コア母材 2 1 に堆積させ、第一クラッド部 2 4 を形成する。このとき、図 5 B の場合と同様に、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス

微粒子を生成し、中心コア母材 2 1 とバーナを中心コア母材 2 1 の長手方向に相対移動させ、中心コア母材 2 1 にガラス微粒子を堆積する。次に、この第一クラッド部 2 4 の所定の位置（外周コア母材 2 2 が配置される位置）に、外周コア母材 2 2 の形状に対応する凹部 7 0 を、削り加工によって形成する（凹部形成工程）。

このとき、中心コア母材 2 1 と外周コア母材 2 2 の距離は、後述する焼結工程での体積収縮を考慮して決定されていることが好ましい。

また、第一クラッド部 2 4 を形成した後、第一クラッド部 2 4 を脱水し、さらに気泡が残る程度までガラス化された状態（半焼結ガラス状態または半透明ガラス状態とする）または気泡が消えるまでガラス化された状態にしてから、削り加工によって凹部 7 0 を形成してもよい。これにより、半焼結ガラスからなる第一クラッド部 2 4 は削りやすい硬さとなるので、削り加工が容易になり、凹部 7 0 が形成し易くなる。

[0050] 次いで、外周ガラス母材配設工程を行う。すなわち、第一クラッド部 2 4 に形成した凹部 7 0 の位置に外周コア母材 2 2 を配置する。これによって外周コア母材 2 2 が所定の位置に配設される。この場合も、コア母材 2 0 の中心同士を結ぶ線が全て覆われるように第一クラッド部 2 4 が配設されることとしてもよい。

[0051] （第二クラッド部配設工程 S 0 3）

次に、第一実施形態の第二クラッド部配設工程 S 0 3 と同様に、ガラス微粒子を外周コア母材 2 2 及び第一クラッド部 2 4 を囲うように堆積させ、第二クラッド部 2 5 を形成する。

次いで、脱水工程 S 0 4、焼結工程 S 0 5 を順に行い、第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 が製造される。

そして、このマルチコアファイバ母材 1 を用いて第一実施形態と同様にし線引工程 S 0 6 を行い、マルチコアファイバ 5 が製造される。

[0052] 以上のような構成とされた本発明の第三実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法によれば、第一クラッド部配設工程において、第一クラ

ッド部 24 に外周コア母材 22 を收容するための凹部 70 が設けられているので、中心コア母材 21 と外周コア母材 22 との間の隙間を確実に埋めることができる。

[0053] なお、第三実施形態では、第一クラッド部配設工程において、中心コア母材 21 の周囲にガラス微粒子を堆積して削り加工によって凹部 70 を形成する場合について説明したが、例えば、図 14 に示すように、例えば特開平 6-51139 号公報等に記載される粉末成形法によりコア母材 20 の形状に応じた凹部 82 および貫通孔 81 が形成されたクラッド部 13 と同じ材料またはクラッド部 13 と同じ屈折率の材料からなる、円柱状部材としてのシリカ成形体 80 を作製し、中心に貫通孔 81 を設け、所定の位置に中心コア母材 21 と外周コア母材 22 とを配設する構成とされても良い。また、図 15 に示すように、シリカ成形体 80 の成形時において予めシリカ成形体 80 の中心に中心コア母材 21 を配設する構成としても良い。

また、図 16 に示すように、クラッド部 13 と同じ材料またはクラッド部 13 と同じ屈折率の材料からなり、コア母材 20 の形状に応じた貫通孔 91 及び凹部 92 を有する、円柱状部材としての石英ガラス材 90 を用いても良い。

なお、石英ガラス材 90 を用いた場合は、第二実施形態と同様にして、クラッド部と同じ材料からなるスペーサを用いることが好ましく、また、第二クラッド部配設工程 S03 において、コア母材 20 をまとめて把持するダミー母材を両端に 1 本ずつ設ける構成とすることができる。

[0054] また、第一クラッド部配設及び第一コア母材配設工程並びに第二クラッド部配設工程については、図 17 に示すようにしてもよい。まず、一つのコア母材 20（中心コア母材 21）を配設し、次に、中心コア母材 21 を囲うようにガラス微粒子を中心コア母材 21 に堆積させて第一クラッド部 24 を形成する。次に、第一クラッド部 24 の外周に外接するか、外周に対してわずかの隙間を設けて、外周コア母材 22 を配置する。さらに、ガラス微粒子を外周コア母材 22 及び第一クラッド部 24 を囲うように堆積させ、第二クラ

ッド部 25 を形成する。なお、第一クラッド部 24 を形成した後、第一クラッド部 24 をさらに半焼結ガラス状態、あるいはガラス状態にしてから、外周コア母材 22 を配置することが好ましい。これにより、第一クラッド部 24 の硬さが高まるので、外周コア母材 22 がその配置時に第一クラッド部 24 と接触した場合にも、第一クラッド部 24 の割れが抑制される。なお、第一クラッド部 24 を半焼結ガラス状態、あるいはガラス状態とする代わりに、第一クラッド部 24 の外周を焼き締めバーナ等で焼き締めるなどして、第一クラッド部 24 の外周表面のみを高密度にしてもよい。

[0055] (第四実施形態)

次に、本発明の第四実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法、及びマルチコアファイバ 5 の製造方法について説明する。なお、第一実施形態と同様の構成のものについては、同一の符号を付して記載し、詳細な説明を省略する。

[0056] 第四実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法は、例えば図 18 に示すように、第一コア母材配設工程 S01 と、第一クラッド部配設工程 S02 と、第二クラッド部配設工程 S03 と、第二ガラス母材配設工程としての第二コア母材配設工程 S31 と、第三クラッド部配設工程 S32 と、脱水工程 S04 と、焼結工程 S05 とを備えている。第一コア母材配設工程 S01、第一クラッド部配設工程 S02、第二クラッド部配設工程 S03 と、脱水工程 S04 と、焼結工程 S05 とについては、第一実施形態と同様の構成であるので、詳細な説明を省略する。なお、第一コア母材配設工程 S01、第一クラッド部配設工程 S02 に代えて第一コア母材配設工程 S11、第一クラッド部配設工程 S12、または第一クラッド部配設及び第一コア母材配設工程 S21 としてもよい。

[0057] (第二コア母材配設工程 S31)

第一コア母材配設工程 S01、第一クラッド部配設工程 S02、第二クラッド部配設工程 S03 を順に行った後に、第二コア母材配設工程 S31 を行う。第二コア母材配設工程 S31 では、図 19 に示すように、第二クラッド

部 2 5 の外周側に、さらに少なくとも一つの第二ガラス母材としての第二コア母材 2 9 を所定の位置に配設する。このとき、第二クラッド部 2 5 と第二コア母材 2 9 が接するように配置した場合に、コア母材同士の間隔が所望の間隔となるように、第二クラッド部 2 5 の厚さと第二コア母材 2 9 のコア部とクラッド部の外径比が調整されていることが好ましい。さらに、コア母材同士の間隔は、焼結時のガラス微粒子の体積収縮を考慮して決定されていることが好ましい。これにより、第二コア母材 2 9 を安定して配置できるとともに、所望のコア間隔を得ることができる。

[0058] (第三クラッド部配設工程 S 3 2)

次に、第二クラッド部配設工程 S 0 3 と同様に、第二クラッド部 2 5 及び第二コア母材 2 9 を囲うように、シリカ微粒子を堆積させ、第三クラッド部 2 6 を形成する。このとき、図 5 B の場合と同様に、原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、第二クラッド部 2 5 とバーナをコア母材 2 0 の長手方向に相対移動させ、第二クラッド部 2 5 にガラス微粒子を堆積する。

なお、第三クラッド部配設工程 S 3 2 は、2 つの工程に分けて行ってもよく、第一コア母材配設工程 S 0 1 と第一クラッド部配設工程 S 0 2、第一コア母材配設工程 S 1 1 と第一クラッド部配設工程 S 1 2、または第一クラッド部配設及び第一コア母材配設工程 S 2 1 と同様の工程に置き換えてもよい。また、第二クラッド部配設工程 S 0 3 を行った後に脱水、焼結し、ガラス化した後に第三クラッド部配設工程 S 3 2 を行ってもよい。

次いで、脱水工程 S 0 4、焼結工程 S 0 5 を順に行い、第四実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 が製造される。

そして、このマルチコアファイバ母材 1 を用いて第一実施形態と同様にして線引工程 S 0 6 を行い、マルチコアファイバ 5 が製造される。

[0059] 以上のような構成とされた本発明の第四実施形態に係るマルチコアファイバ母材 1 の製造方法においては、第二クラッド部配設工程 S 0 3 の後に、第二クラッド部 2 5 の外周に少なくとも一つのコア母材 2 0 を配設する第二コ

ア母材配設工程 S 3 1 と、第二クラッド部 2 5 及び第二コア母材配設工程 S 3 1 において配設された少なくとも一つ以上のコア母材 2 0 を囲うようにガラス微粒子を堆積し第三クラッド部 2 6 を配設する第三クラッド部配設工程 S 3 2 とを備えている。

この構成により、外周コア母材 2 2 が同心円状に層状に複数配置される場合であっても、段階的にクラッド部を形成し、確実に隣接するコア母材 2 0 同士の間隙を埋めることができる。

[0060] なお、たとえば第一実施形態では、脱水工程 S 0 4、焼結工程 S 0 5 を行い、第一クラッド部 2 4 及び第二クラッド部 2 5 をガラス化しているが、この際に、完全に透明ガラス状態になるまでガラス化せずに、半焼結ガラス状態または半透明ガラス状態にとどめてもよい。ここで、「半透明ガラス状態」とは、全体的にほぼ均一に独立気泡を含んでいる状態で、外観上白濁しており不透明である状態をいう。これに対して、「透明ガラス状態」とは、一部の不良状態の部分に残る微少な独立気泡を除いて全体的にほぼ均一に独立気泡を含んでいない状態で、外観上透明である状態をいう。また、「独立気泡」とは、半透明ガラス層の内部に形成され周囲雰囲気と物理的に隔離された気泡、あるいは空間をいう。

このような半焼結ガラス状態とされたマルチコアファイバ母材 1 の内部の気泡は、その後の線引工程 S 0 6 において消失させることができるので、マルチコアファイバ 4 内に残存しないようにできる。

このように、光ファイバ母材を半焼結状態で形成し、内部の気泡はその後の線引工程において消失させるようにすれば、光ファイバ母材を完全に焼結させるための加熱に要するエネルギーを節約できる。

[0061] たとえば、石英ガラス微粒子からなる第一クラッド部 2 4 及び第二クラッド部 2 5 の嵩密度が約 0.7 g/cm^3 の場合は、以下の脱水・焼結条件によって、第一クラッド部 2 4 及び第二クラッド部 2 5 を、内部が実質的に真空の独立気泡を含む半透明ガラス層とすることができる。なお、「真空」とは、JIS Z 8126 における定義、すなわち、「大気圧より低い圧力の

気体で満たされている特定の空間の状態」のことをいう。

[0062] 脱水条件

脱水温度 : 1100℃

脱水時間 : 3時間

母材回転数 : 10回転/分

ガス種及び流量 : 窒素 10リットル/分

塩素 0.5リットル/分

焼結条件

焼結温度 : 1400℃

昇温速度 : 2℃/分

焼結温度保持時間 : 3時間

炉内圧力 : 100Pa

母材回転数 : 10回転/分

[0063] 脱水処理及び焼結処理が終了した段階の第一クラッド部24及び第二クラッド部25は、周囲雰囲気と物理的に隔離された独立気泡を含有する状態となっている。この「半透明ガラス状態」では、周囲雰囲気と物理的に隔離された気泡である独立気泡を、全体的にはほぼ均一に含んでおり、外観上白濁しており不透明な状態である。また、表面は滑らかで光沢を有している。このときの第一クラッド部24及び第二クラッド部25の密度は、たとえば最終的に完全に透明なガラスとなったときの密度（石英ガラスの密度、 2.2 g/cm^3 ）の95%、すなわち、 2.09 g/cm^3 である。

[0064] なお、第一クラッド部24及び第二クラッド部25を実質的に周囲雰囲気とは隔離された独立気泡を有する状態とするには、平均密度が 1.8 g/cm^3 以上、好ましくは 2.0 g/cm^3 以上であれば良い。

[0065] また、この後の線引工程での気泡残留防止の観点からは、減圧下で行う焼結工程の圧力については上限が存在する。様々な条件での実験の結果、線引工程での気泡残留を極力少なくするためには、焼結工程における圧力は1000Pa以下が特に好ましい。

[0066] 本発明の実施の形態によれば、コア位置精度が高く、大型のマルチコアファイバ母材を製造することができる。

なお、上記の実施形態により本発明が限定されるものではない。上述した各構成要素を適宜組み合わせる構成したものも本発明に含まれる。また、さらなる効果や変形例は、当業者によって容易に導き出すことができる。よって、本発明のより広範な態様は、上記の実施の形態に限定されるものではなく、様々な変更が可能である。

[0067] 例えば、本発明は、コア母材に代えて中空のガラスキャピラリーを用い、空孔を有する光ファイバを形成する場合にも適用可能である。また、本発明により製造する光ファイバ母材および光ファイバのコア部の数は7、19に限定されない。上記の実施形態では、中心コア母材21の周囲に外周コア母材22を配設する場合について説明したが、中心コアを配設せず、コア母材を円環状や多角形状に配設する構成としても良い。この場合、中心コア母材の代わりに、例えばクラッド部と同じ材質からなるガラスロッドを設ければよい。すなわち、たとえば四角形状に配設する場合は、図20に示すように、まず、クラッド部13と同じ材質からなるガラスロッド60を配設し、ガラスロッド60を囲うようにガラス微粒子をガラスロッド60に堆積させて第一クラッド部24を形成し、第一クラッド部24の所定の位置に、外周コア母材22の形状に対応する凹部70を、削り加工によって形成する。次に、第一クラッド部24に形成した凹部70の位置にコア母材20（外周コア母材22）を配置する。さらに、ガラス微粒子を外周コア母材22を囲うように堆積させ、第二クラッド部25を形成する。なお、この場合も、第一クラッド部24を形成した後、第一クラッド部24をさらに半焼結ガラス状態にしてから、外周コア母材22を配置することが好ましい。または、第一クラッド部24を半焼結ガラス状態とする代わりに、第一クラッド部24の外周を焼き締めバーナで焼き締めてもよい。

ただし、粉末成形法により第一クラッド部を配設する場合は、中心にガラスロッドを配設する必要はなく、中実な粉末成形体を準備すればよい。

また、本発明は特にコア部の数が３以上の場合の光ファイバ母材および光ファイバを製造する場合に有効であり、光ファイバの断面においてコア部の配置が、正多角形または円形となるように配置されている構成とする場合に特に有効である。

[0068] また、ガラス微粒子を堆積させる方法としては、可燃性Ｓｉ源（たとえばＯＭＣＴＳ（オクタメチルシクロテトラシロキサン）等）を噴霧、滴下し、これを燃焼させる方法を用いてもよい。

産業上の利用可能性

[0069] 以上のように、本発明に係る光ファイバ母材の製造方法、及び光ファイバの製造方法は、主にマルチコアファイバに適用して好適なものである。

符号の説明

- [0070] １ マルチコアファイバ母材
４、５ マルチコアファイバ
１０ コア部
１１ 中心コア部
１２ 外周コア部
１３ クラッド部
２０ コア母材
２１ 中心コア母材
２２ 外周コア母材
２３ ガラス層
２４ 第一クラッド部
２５ 第二クラッド部
２６ 第三クラッド部
２９ 第二コア母材
３０、３１、３２ ダミー母材 ３３ 把持具
３４ スペーサ
３４ａ 貫通孔

- 3 5 ガラス微粒子供給部
- 3 6 バーナ
- 3 8 多孔質母材
- 4 0 電気炉
- 4 1 回転昇降機構
- 4 1 a 把持部
- 4 2 上蓋
- 4 3 炉心管
- 4 4 ヒータ
- 4 5 断熱材
- 4 6 炉体
- 4 7 ガス供給口
- 4 8 ガス排出口
- 4 9 真空ポンプ
- 5 0 線引装置
- 5 1 ヒータ
- 5 3 外径測定器
- 5 4 被覆装置
- 5 5 紫外線照射装置
- 5 6 被覆装置
- 5 7 紫外線照射装置
- 5 8 ガイドローラ
- 5 9 巻取機
- 6 0 ガラスロッド
- 7 0 凹部
- 8 0 シリカ成形体
- 8 1、9 1 貫通孔
- 8 2、9 2 凹部

90 石英ガラス材

M マーカ

請求の範囲

- [請求項1] 複数のガラス母材と、前記複数のガラス母材同士の上に配置された第一クラッド部を有する第一母材を準備する第一母材準備工程と、
前記第一母材を囲むように第二クラッド部を配設する第二クラッド部配設工程と、
を備え、
前記第二クラッド部配設工程は、
原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、前記第一母材と前記バーナを前記第一クラッド部の長手方向に相対移動させ、前記第一クラッド部に前記ガラス微粒子を堆積することを特徴とする光ファイバ母材の製造方法。
- [請求項2] 前記第一クラッド部は、前記第一母材の断面が円形に近づくように配置されることを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ母材の製造方法。
- [請求項3] 前記第一母材準備工程は、
前記複数のガラス母材の一つである中心ガラス母材を配設する中心ガラス母材配設工程と、
前記中心ガラス母材の外周に前記複数のガラス母材の他の少なくとも一つである外周ガラス母材を配設する外周ガラス母材配設工程と、
原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、配設された前記複数のガラス母材と前記バーナを前記複数のガラス母材の長手方向に相対移動させ、前記中心ガラス母材に前記ガラス微粒子を堆積する第一クラッド部配設工程と、
を有することを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ母材の製造方法。
- [請求項4] 前記第一クラッド部配設工程において、前記複数のガラス母材をそれぞれのガラス母材の中心軸回りに回転させながら前記中心ガラス母材に前記ガラス微粒子を堆積することを特徴とする請求項3に記載の

光ファイバ母材の製造方法。

[請求項5] 前記第一母材準備工程は、隣接する前記複数のガラス母材同士の間隙間に、ガラスロッドを配置するガラスロッド配置工程を有することを特徴とする請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の光ファイバ母材の製造方法。

[請求項6] 前記第一母材準備工程は、
前記複数のガラス母材の一つである中心ガラス母材を配設する中心ガラス母材配設工程と、

原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、配設された前記中心ガラス母材と前記バーナを前記中心ガラス母材の長手方向に相対移動させ、前記中心ガラス母材に前記ガラス微粒子を堆積する第一クラッド部配設工程と、

前記第一クラッド部を配設した前記中心ガラス母材の外周に前記複数のガラス母材の他の少なくとも一つである外周ガラス母材を配設する外周ガラス母材配設工程と、

を有することを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ母材の製造方法。

[請求項7] 第一クラッド部配設工程の後に、前記第一クラッド部の外周に前記第一母材の長手方向に延在する凹部を形成する凹部形成工程を有し、

前記外周ガラス母材配設工程は、前記凹部に対応する位置に前記外周ガラス母材を配設することを特徴とする請求項6に記載の光ファイバ母材の製造方法。

[請求項8] 前記第一クラッド部は、前記第一母材の長手方向に延在する凹部が形成された円柱状部材であり、

前記第一母材準備工程は、前記凹部に対応する位置に前記ガラス母材を配設するガラス母材配設工程を有することを特徴とする請求項1または2に記載の光ファイバ母材の製造方法。

[請求項9] 前記第一クラッド部は、粉末成形体からなることを特徴とする請求

項 8 に記載の光ファイバ母材の製造方法。

[請求項10] 前記第一クラッド部は、ガラスからなることを特徴とする請求項 8 に記載の光ファイバ母材の製造方法。

[請求項11] 前記第一クラッド部は、半焼結ガラスからなることを特徴とする請求項 8 に記載の光ファイバ母材の製造方法。

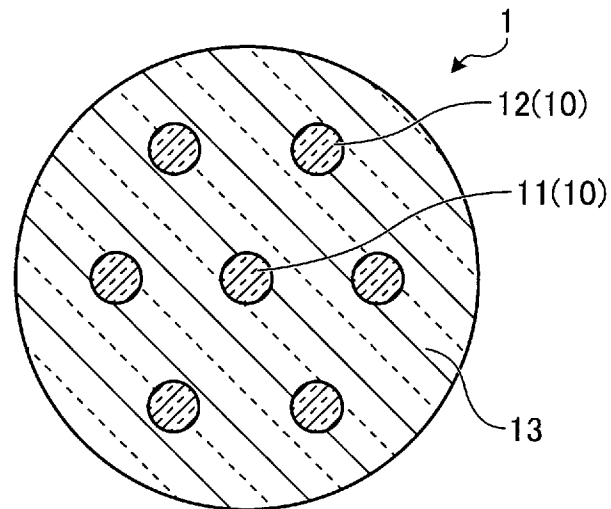
[請求項12] 前記第二クラッド部配設工程の後に、さらに、
第二クラッド部の外周に少なくとも一つのガラス母材を配設する第二ガラス母材配設工程と、

原料ガスおよび燃焼ガスをバーナから噴出させてガラス微粒子を生成し、配設された前記第二クラッド部と前記バーナを前記複数のガラス母材の長手方向に相対移動させ、前記第二クラッド部に前記ガラス微粒子を堆積して第三クラッド部を配設する第三クラッド部配設工程と、

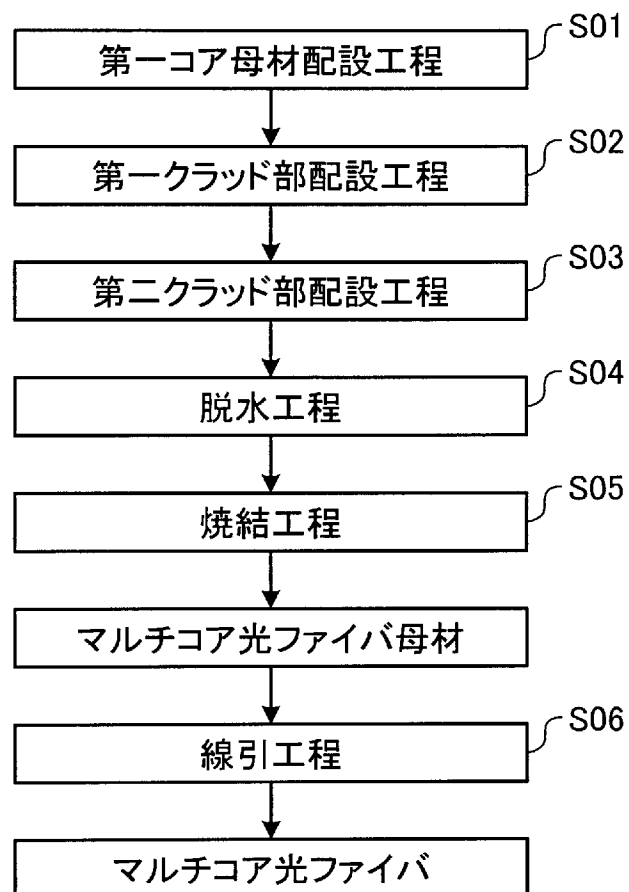
を備えることを特徴とする請求項 1 から請求項 11 のいずれか一項に記載の光ファイバ母材の製造方法。

[請求項13] 請求項 1 から請求項 12 のいずれか一項に記載の光ファイバ母材の製造方法によって製造された光ファイバ母材を線引きすることを特徴とする光ファイバの製造方法。

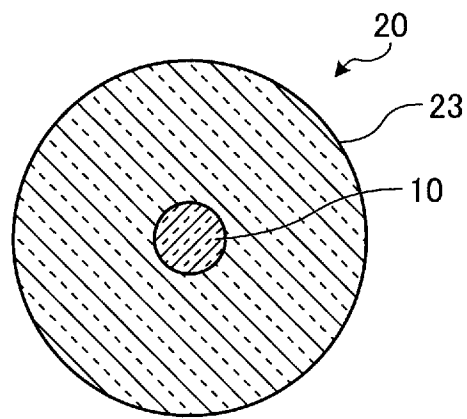
[図1]



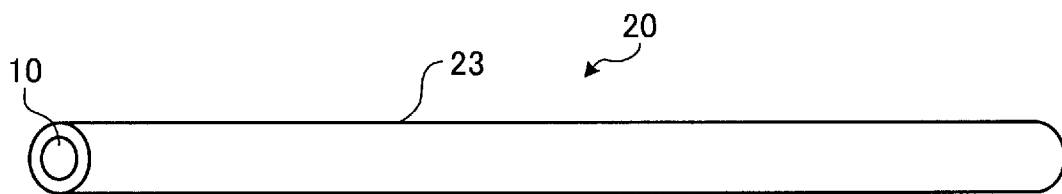
[図2]



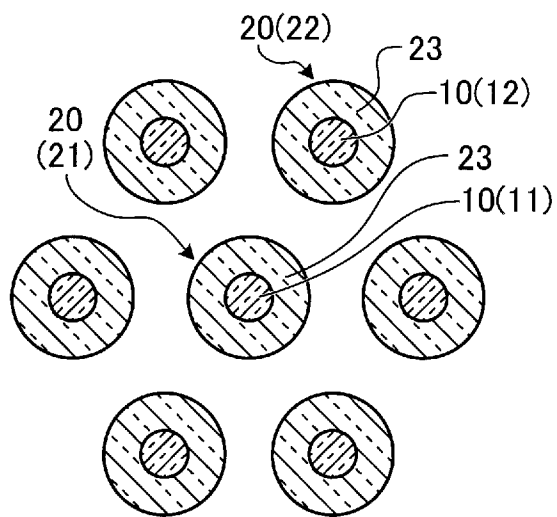
[図3A]



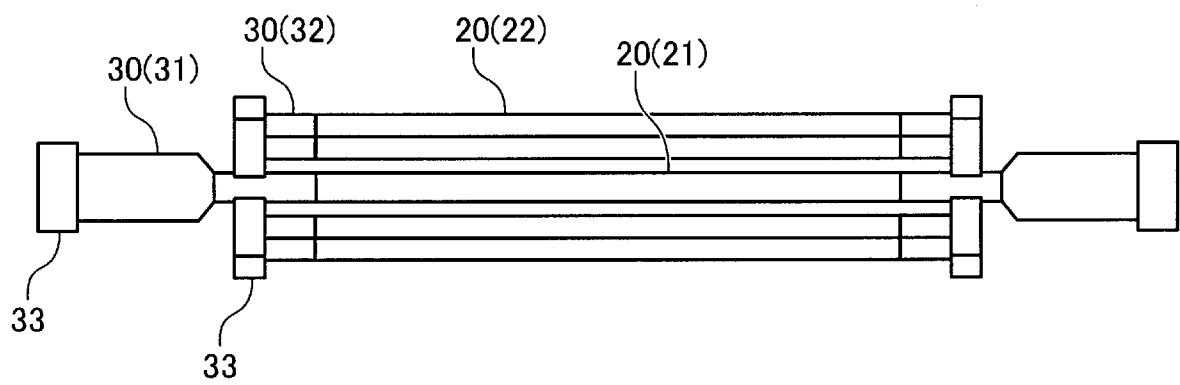
[図3B]



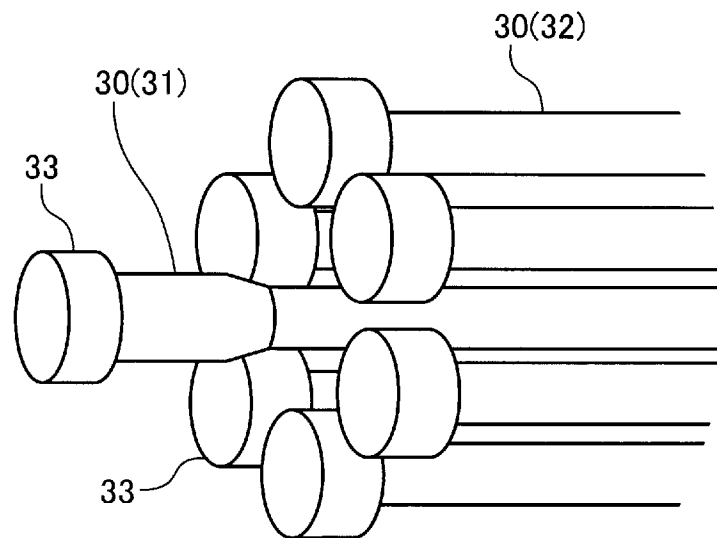
[図4A]



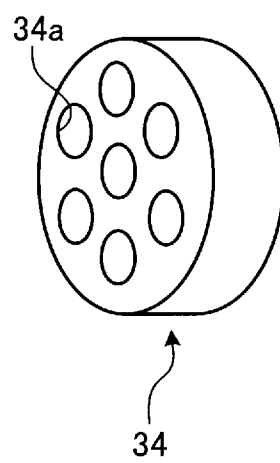
[図4B]



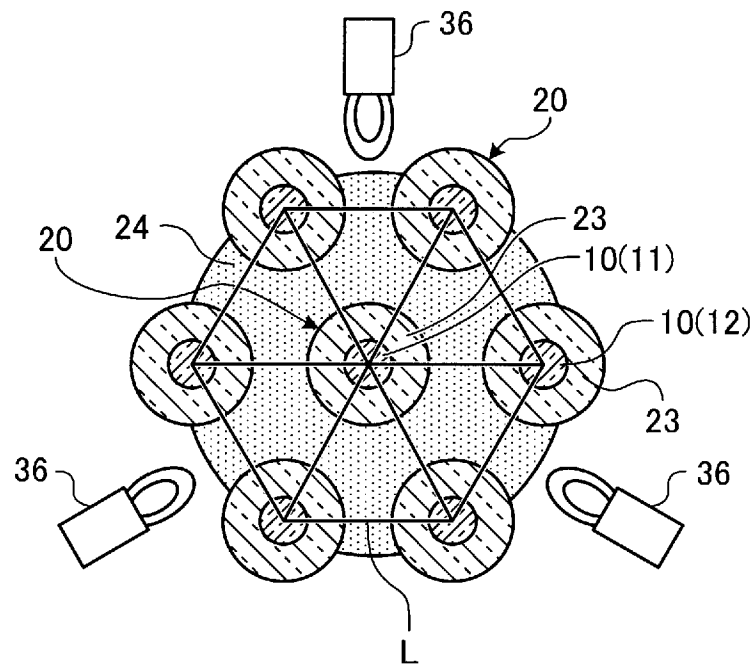
[図4C]



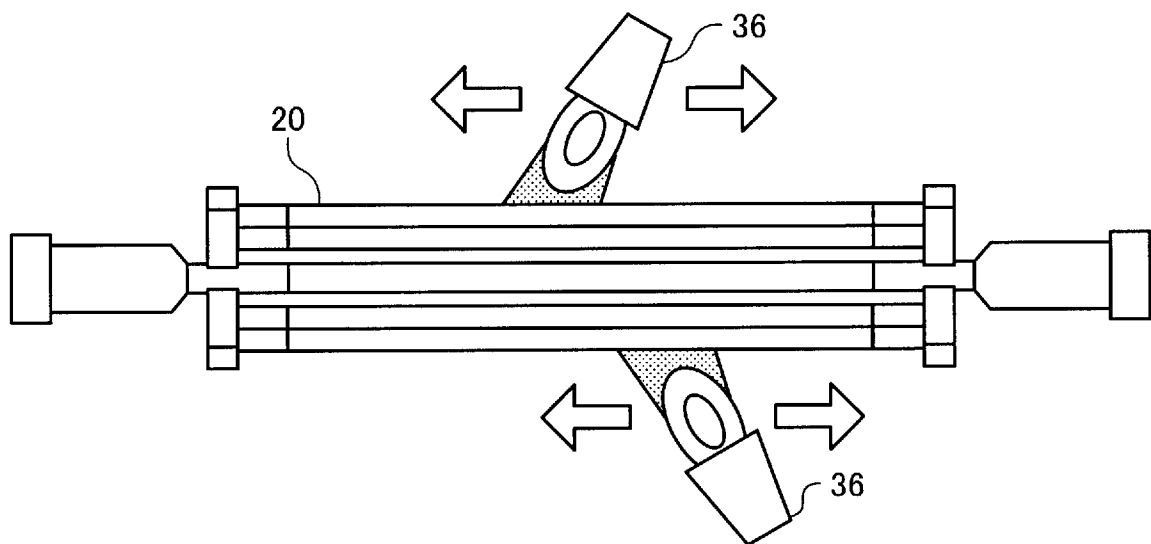
[図4D]



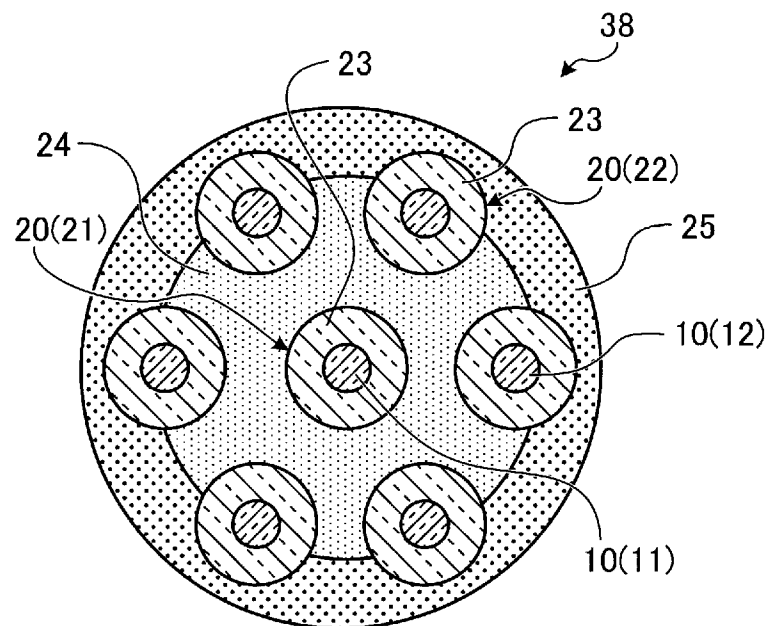
[図5A]



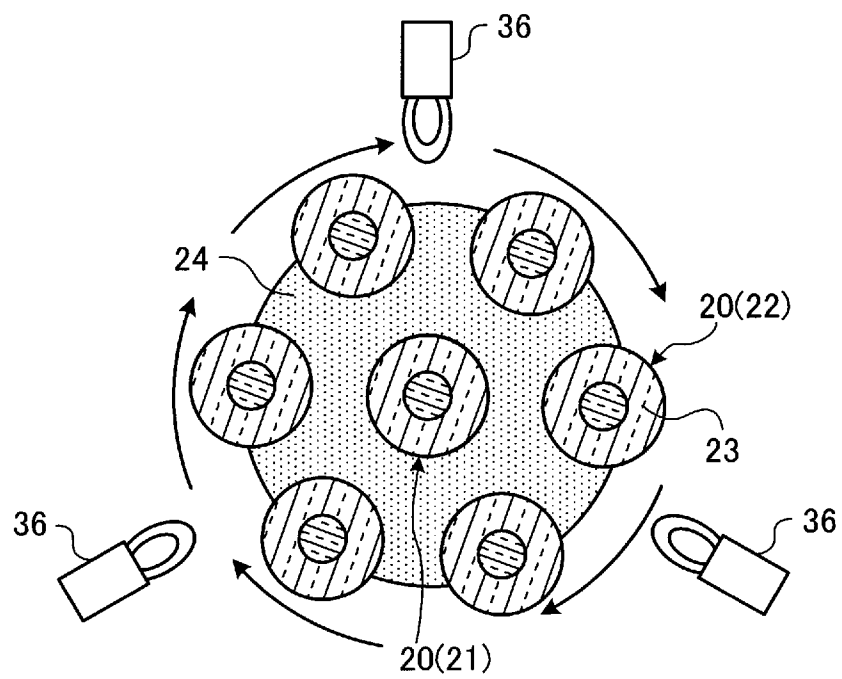
[図5B]



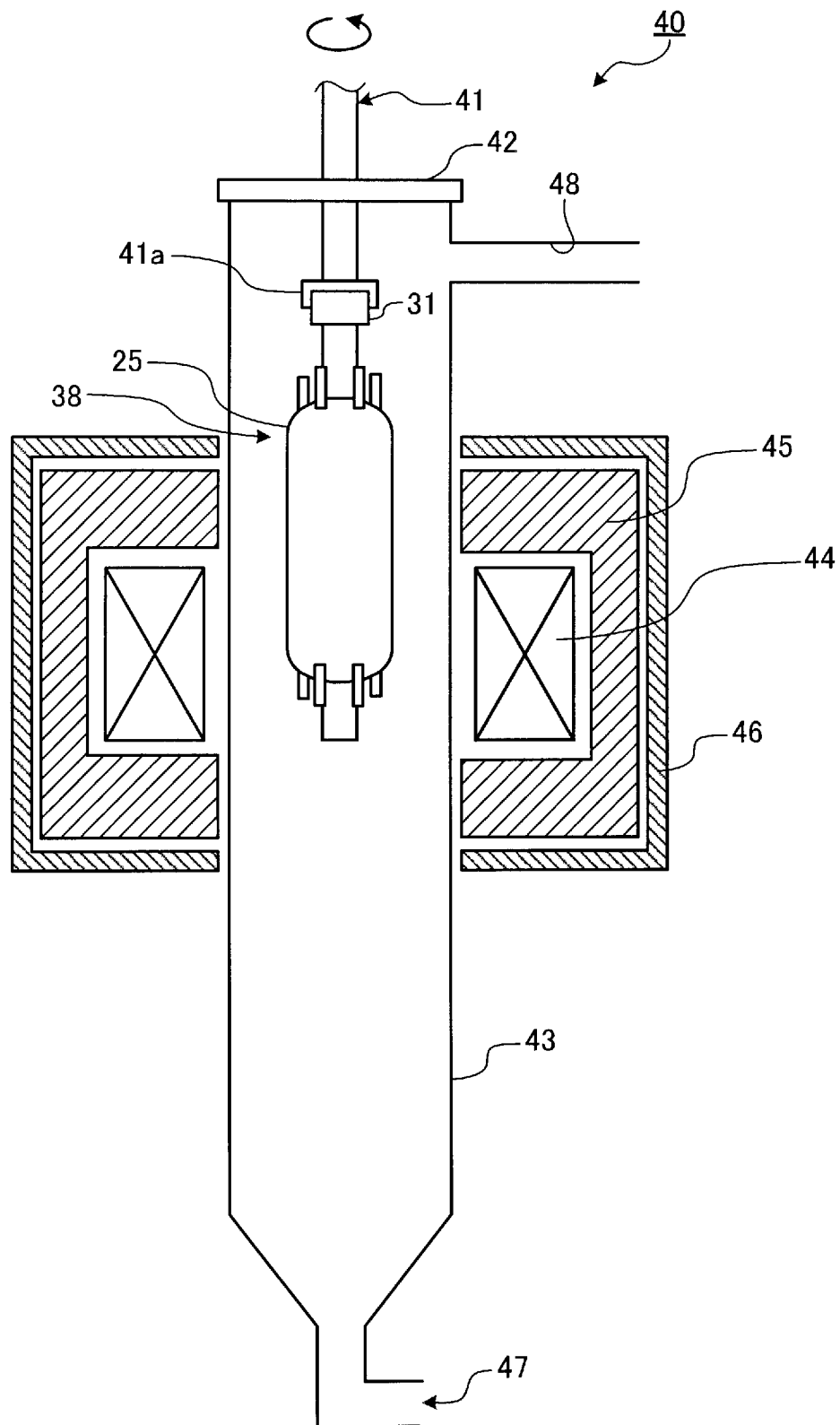
[図6]



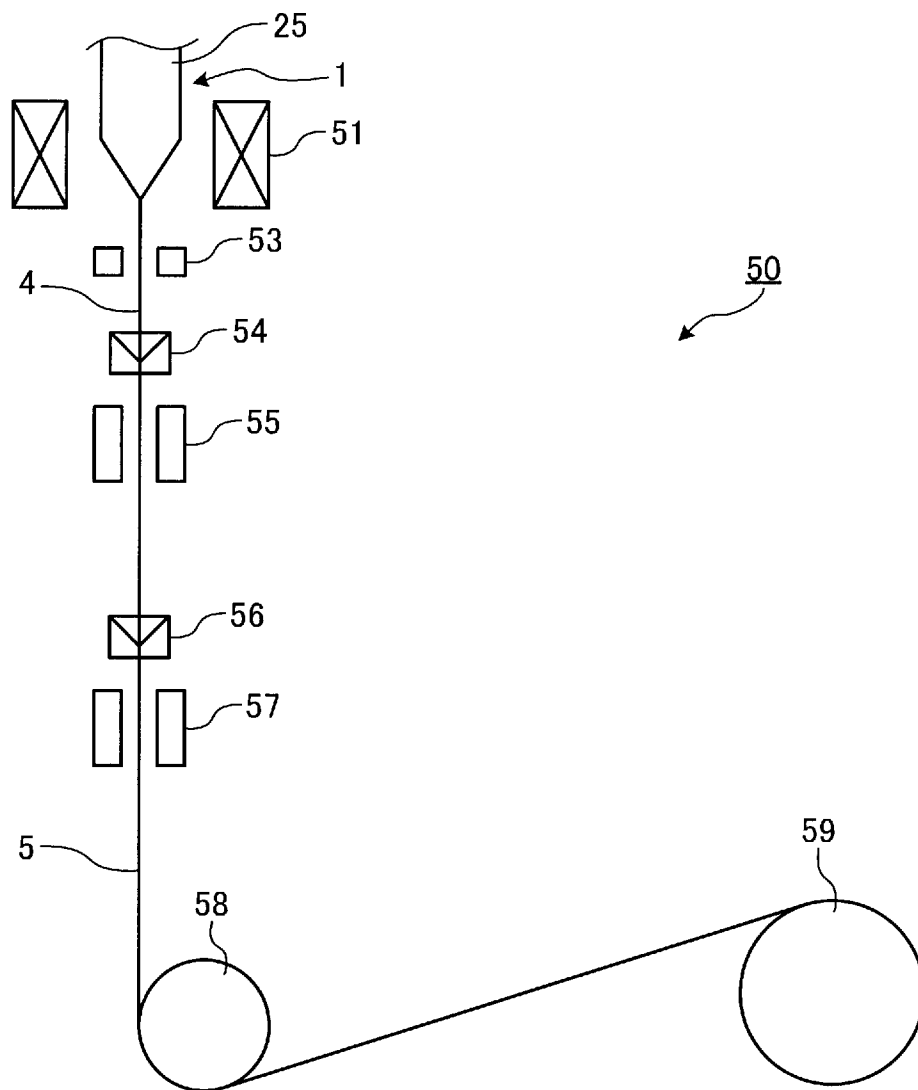
[図7]



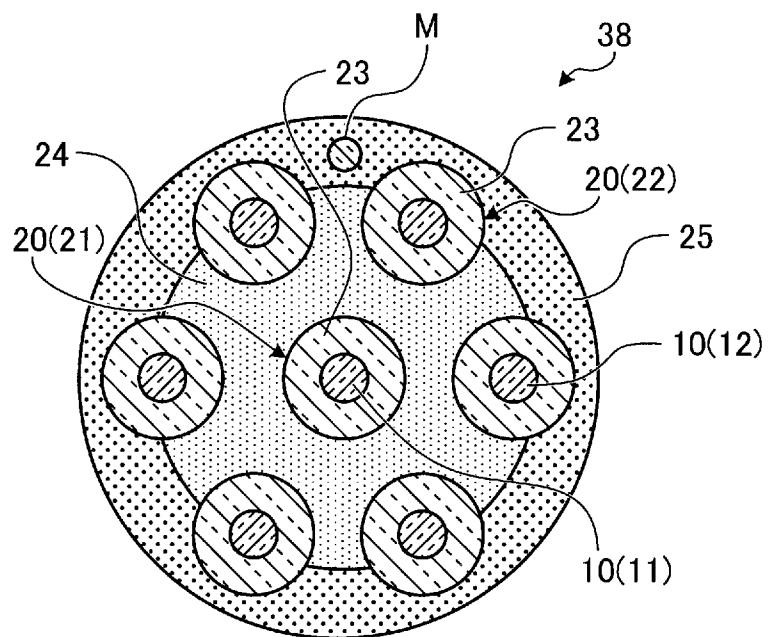
[図8]



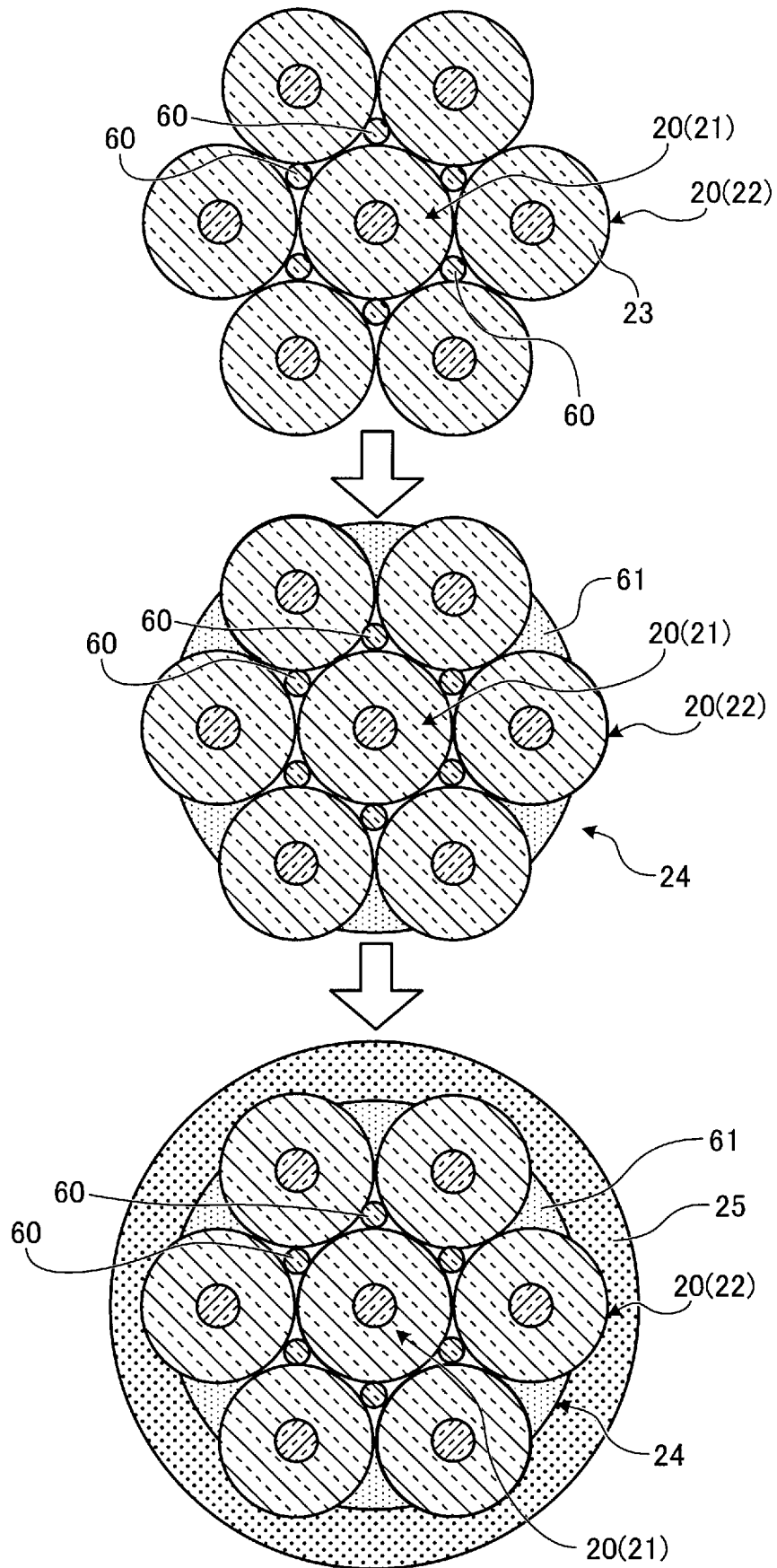
[図9]



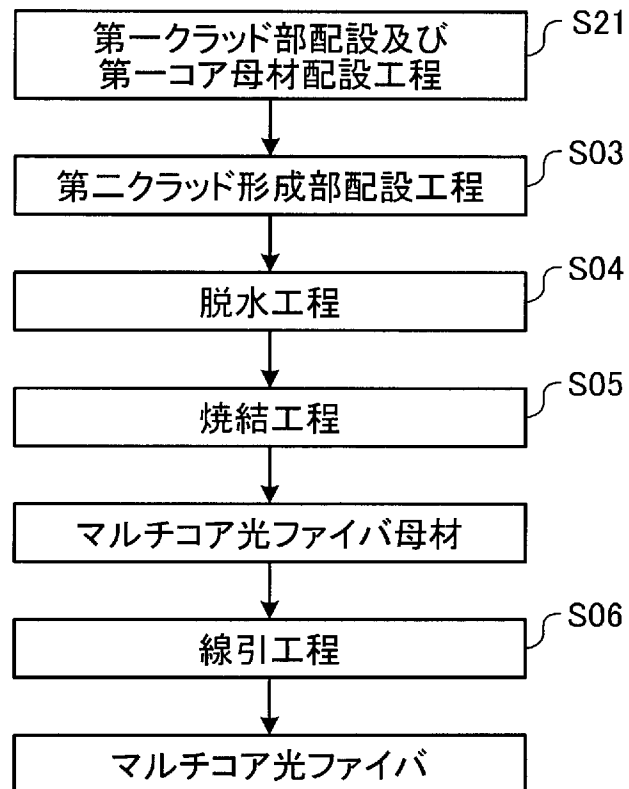
[図10]



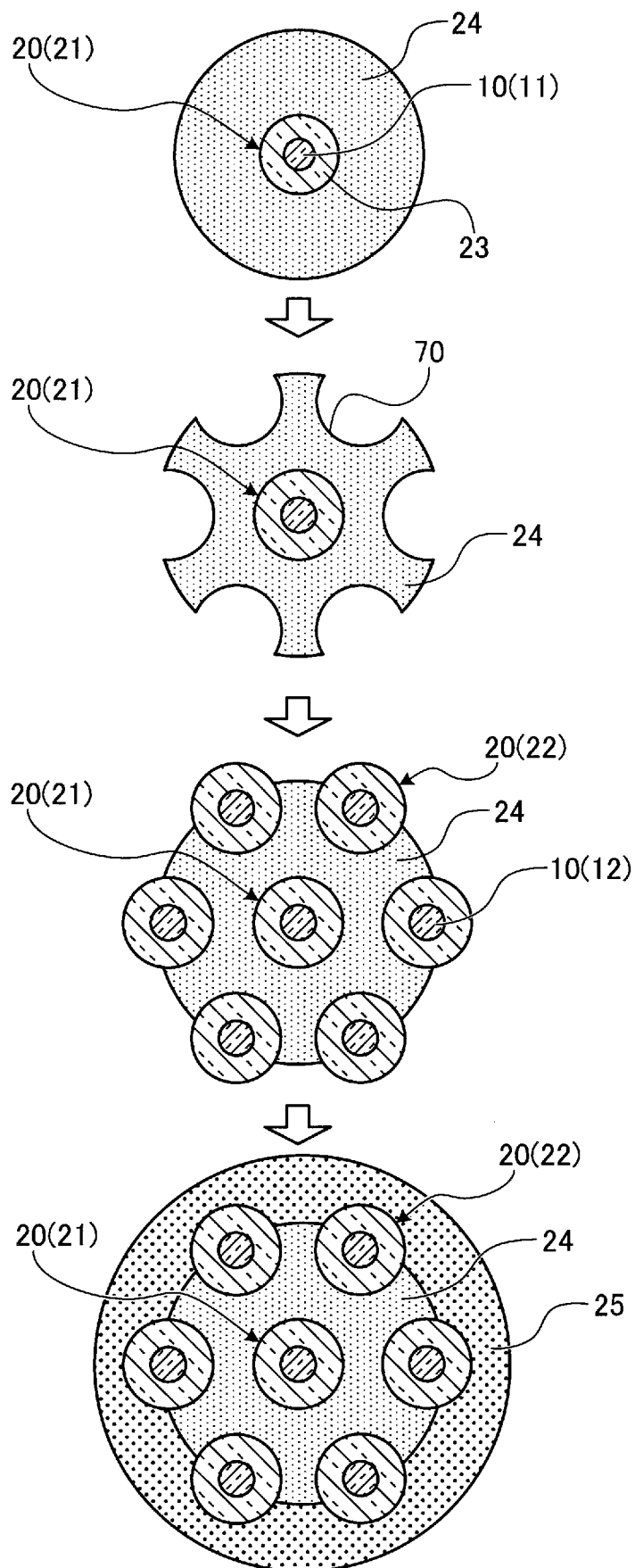
[図11]



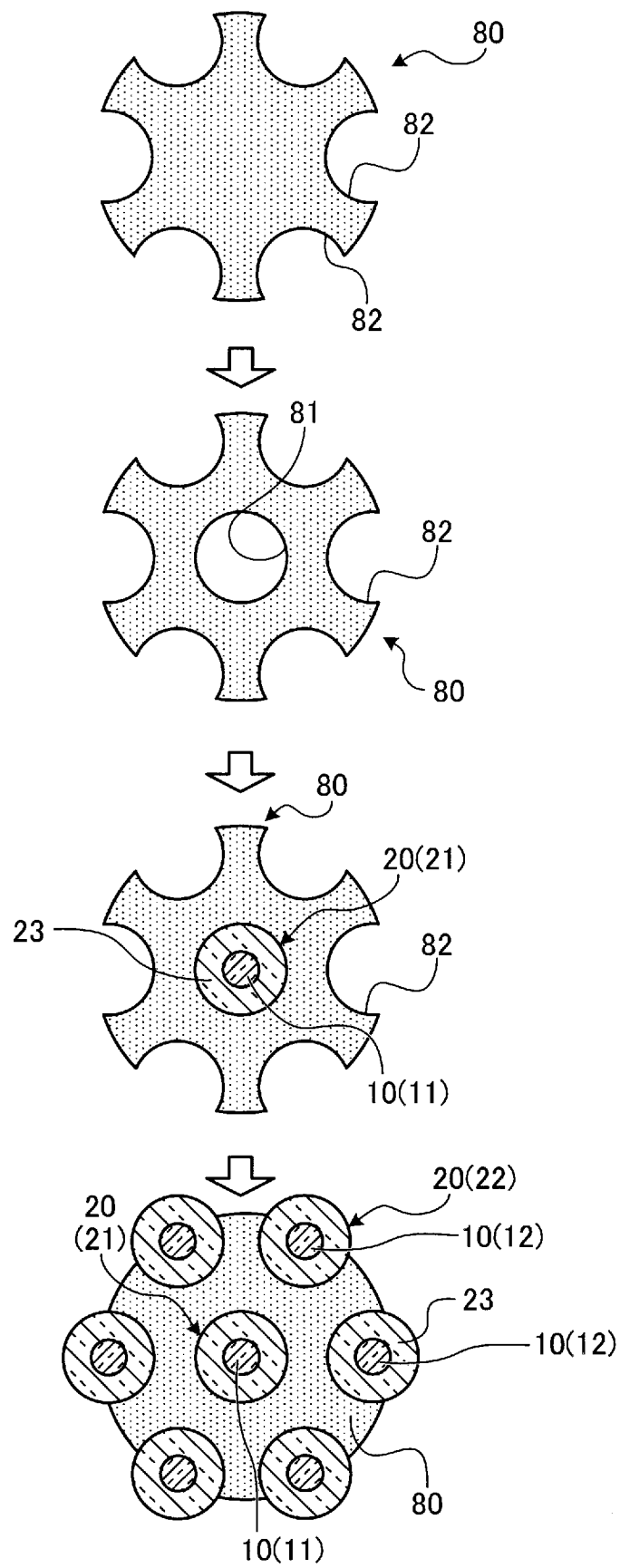
[図12]



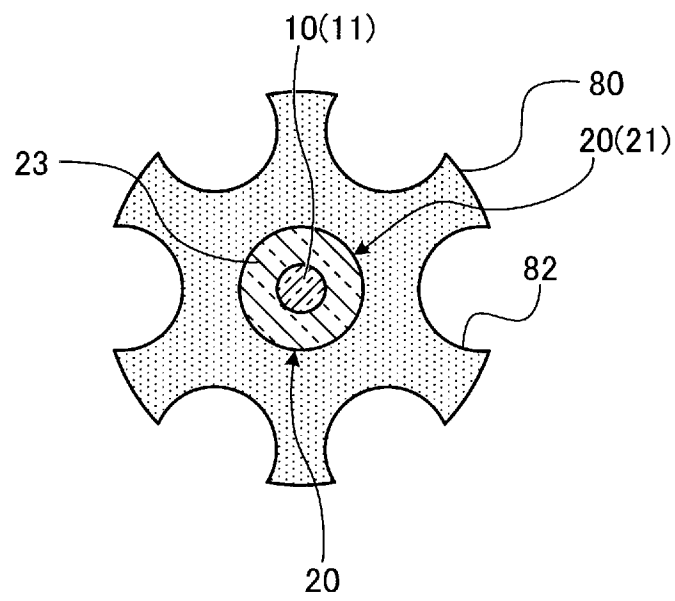
[図13]



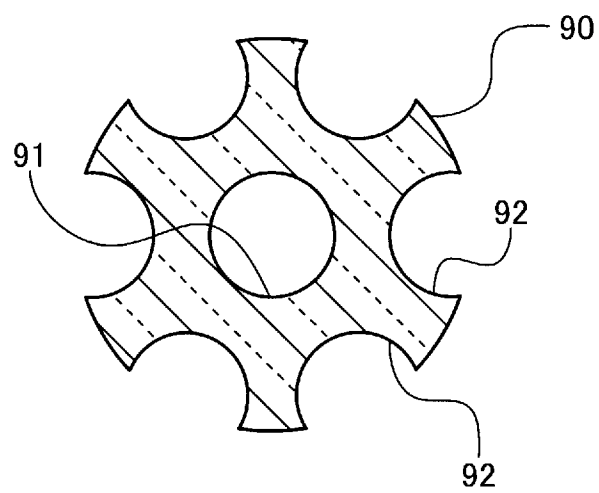
[図14]



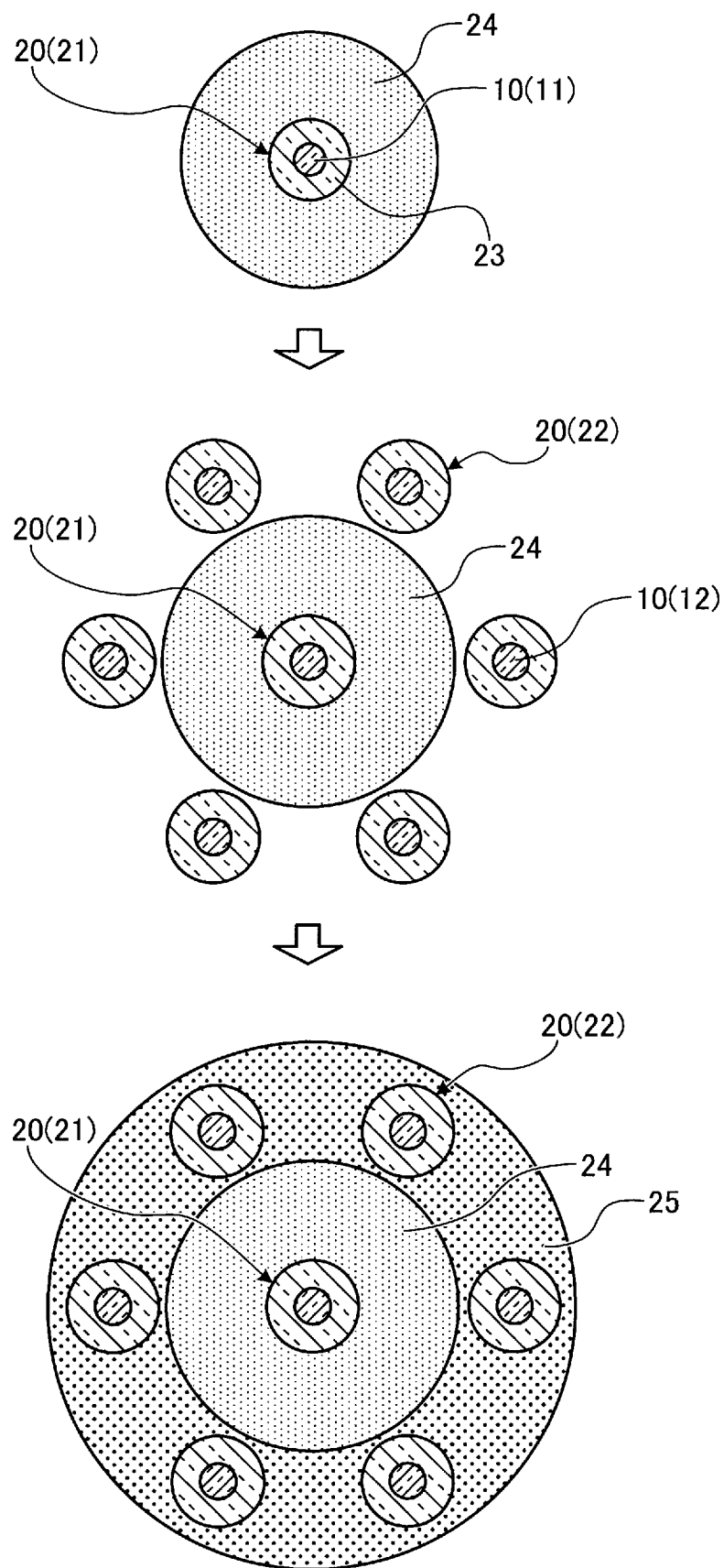
[図15]



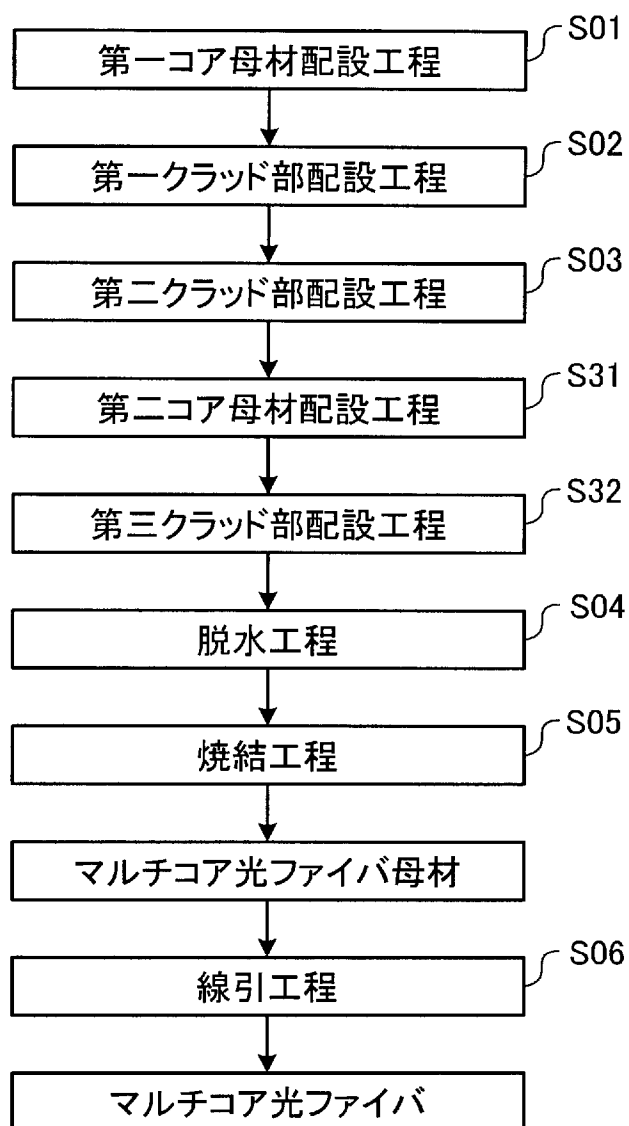
[図16]



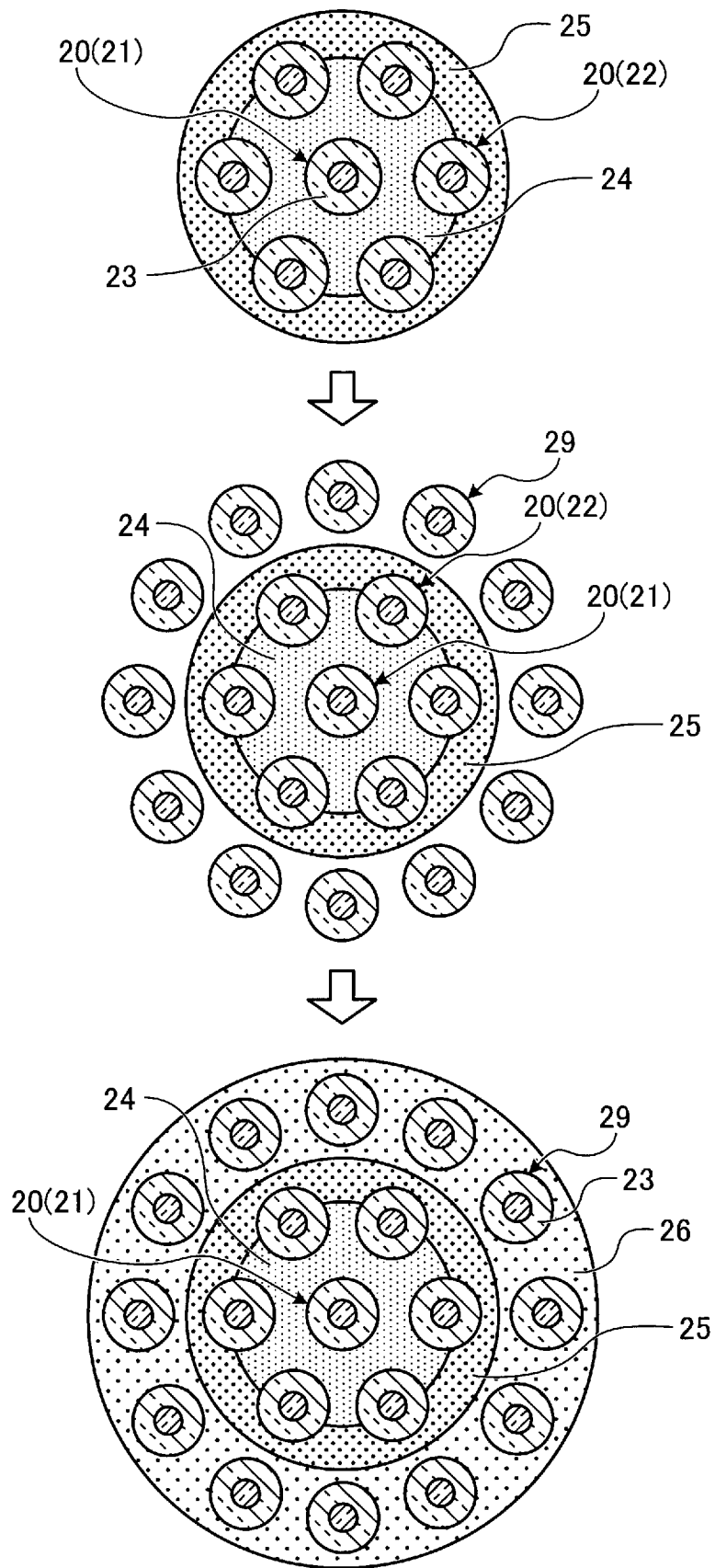
[図17]



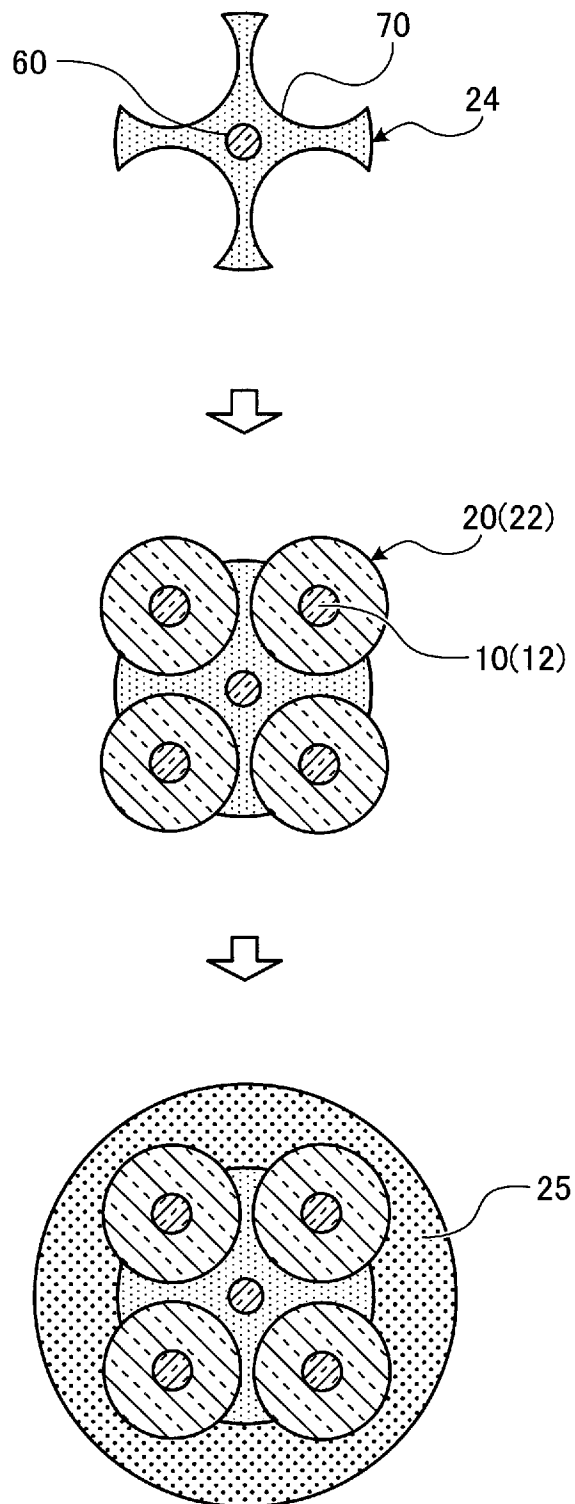
[図18]



[図19]



[図20]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/061089

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C03B37/018 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C03B37/018

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2014
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2014	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2014

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 57-82805 A (Nippon Telegraph & Telephone Public Corp.), 24 May 1982 (24.05.1982), claims; page 2, lower right column, line 11 to page 3, upper left column, line 11; fig. 3 (Family: none)	1-4, 13 5 6-12
Y	US 5944867 A (ALCATEL FIBRES OPTIQUES), 31 August 1999 (31.08.1999), column 4, lines 55 to 59; fig. 4 & US 5792233 A & EP 713844 A1 & DE 69512866 D & DE 69512866 T & FR 2727398 A & DK 713844 T	5

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* 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 application or patent 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
02 May, 2014 (02.05.14)

Date of mailing of the international search report
27 May, 2014 (27.05.14)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2014/061089

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P, X	JP 2013-177269 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 09 September 2013 (09.09.2013), claims; paragraphs [0022] to [0030]; fig. 1 to 17 (Family: none)	1-4, 13

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C03B37/018 (2006.01) i

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（I P C））

Int.Cl. C03B37/018

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 4 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 4 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 4 年

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）

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 請求項の番号
X Y A	JP 57-82805 A（日本電信電話公社）1982.05.24, 特許請求の範囲, 第2頁右下欄第11行-第3頁左上欄第11行, 第3図（ファミリーなし）	1-4, 13 5 6-12
Y	US 5944867 A（ALCATEL FIBRES OPTIQUES）1999.08.31, 第4欄第55 行-第59行, 第4図 & US 5792233 A & EP 713844 A1 & DE 69512866 D & DE 69512866 T & FR 2727398 A & DK 713844 T	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

の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

0 2 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査報告の発送日

2 7 . 0 5 . 2 0 1 4

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）
郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5
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）

田中 則充

4 T

9 7 3 0

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 4 6 5

C (続き) . 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 請求項の番号
P, X	JP 2013-177269 A (日本電信電話株式会社) 2013. 09. 09, 特許請求 の範囲, 【0022】 - 【0030】 , 図 1-図 17 (ファミリーなし)	1-4, 13