

(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 3 月 6 日(06.03.2014)

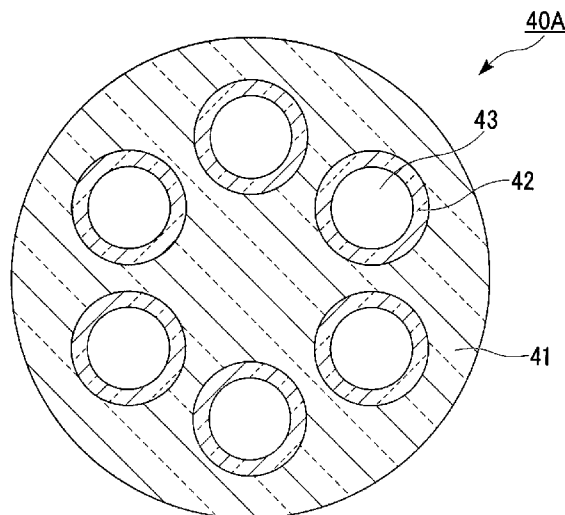


(10) 国際公開番号
WO 2014/034810 A1

- (51) 国際特許分類:
C03B 37/012 (2006.01) **G02B 6/04** (2006.01)
G02B 6/00 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2013/073221
- (22) 国際出願日: 2013 年 8 月 29 日(29.08.2013)
- (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 2012-192595 2012 年 8 月 31 日(31.08.2012) JP
- (71) 出願人: 株式会社フジクラ (FUJIKURA LTD.)
[JP/JP]; 〒1358512 東京都江東区木場 1 丁目 5 番
1 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 石田 格 (ISHIDA Itaru); 〒2858550 千葉県
佐倉市六崎 1 4 4 0 番地 株式会社フジクラ
佐倉事業所内 Chiba (JP). 王朝陽 (WANG Zhaoyang); 〒2858550 千葉県佐倉市六崎 1 4 4 0 番地
株式会社フジクラ 佐倉事業所内 Chiba (JP).
- (74) 代理人: 志賀 正武, 外 (SHIGA Masatake et al.); 〒
1006620 東京都千代田区丸の内一丁目 9 番 2 号
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, IS, 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.
- (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))

(54) Title: OPTICAL FIBER AND OPTICAL FIBER PRODUCING METHOD

(54) 発明の名称: 光ファイバおよび光ファイバの製造方法



(57) Abstract: This optical fiber producing method is a method for producing an optical fiber having a plurality of cores, the method including the steps of: preparing a first glass rod that includes a plurality of low-refractive-index areas arranged separately from one another in a region that serves as a common clad part having a second refractive index, wherein fluorine is added to the low-refractive-index areas, and the low-refractive-index areas have a third refractive index lower than the second refractive index; forming holes inside the low-refractive-index areas, respectively; preparing a plurality of second glass rods each of which includes a part that serves as a core having a first refractive index higher than the second refractive index, and a part that serves as a clad that is arranged around the part to serve as a core and has a fourth refractive index lower than the first refractive index; inserting the second glass rods into the holes formed in the low-refractive-index areas, respectively, so that the first glass rod and the second glass rods are integrated, whereby a glass base material is prepared; and subjecting the glass base material to fiber drawing.

(57) 要約:

[続葉有]



WO 2014/034810 A1



本発明の製造方法は、複数のコアを有する光ファイバの製造方法であって、第二の屈折率を有する共通クラッド部となる領域内に互いに離隔して配置された複数の低屈折率領域を備え、前記低屈折率領域にはフッ素が添加され、かつ、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有する第一のガラスロッドを準備し、前記複数の低屈折率領域のそれぞれの内部に空孔を形成し、前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアとなる部分と、前記コアとなる部分の周囲に配置され、前記第一の屈折率よりも低い第四の屈折率を有するクラッドとなる部分と、を備えた第二のガラスロッドを複数準備し、前記複数の低屈折率領域内に形成されたそれぞれの空孔内に前記第二のガラスロッドを挿入し、前記第一のガラスロッドと前記第二のガラスロッドとを一体化してガラス母材を作製し、前記ガラス母材を線引きする線引きする。

明 細 書

発明の名称：光ファイバおよび光ファイバの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバおよび光ファイバの製造方法に関する。

本願は、2012年8月31日に提出された特願2012-192595号に基づき優先権を主張し、その内容をここに援用する。

背景技術

[0002] 光ファイバを高機能化するために、複雑な構造を有する光ファイバが製品化されている。このような複雑な構造を有する光ファイバを製造する方法も複雑である。

このような光ファイバとしては、マルチコア光ファイバが挙げられる。マルチコア光ファイバは、1本の光ファイバに、複数のコアが設けられた構造を有し、近年、伝送容量を大幅に拡大できる光ファイバとして注目を集めている。

マルチコア光ファイバ用のガラス母材の作製方法としては、例えば、石英クラッド材に貫通孔を形成し、その貫通孔にコア材を挿入して、石英クラッド材及びコア材の両者を加熱し、一体化するコラプス法が挙げられる。石英クラッド材に貫通孔を形成する方法としては、一般的にドリルによる穿孔加工が用いられる（例えば、特許文献1参照）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：日本国特開2011-168464号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] マルチコア光ファイバは、伝送容量を大幅に拡大できるという特長を持つ光ファイバであることから、長距離伝送用途において、その特長を発揮し得る光ファイバである。すなわち、マルチコア光ファイバは、長尺使用が想定

されるため、マルチコア光ファイバ用のガラス母材も大型化が必要となる。しかしながら、ガラス母材の大型化に伴って、石英クラッド材に対するドリルによる穿孔加工の加工長も長くなるため、貫通孔の曲がりが顕著となるという課題があった。仮に、石英クラッド材に形成された貫通孔が曲がったまま、貫通孔にコア材を挿入することができて、ガラス母材とコア材を一体化し、一体化されたガラス母材を線引きして、光ファイバが得られたとしても、光ファイバの長手方向において、コア間の距離が近付いてしまい、コア間でクロストークが劣化する可能性があった。

[0005] 本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであって、加工曲がりおよびクロストークの劣化を抑制した光ファイバおよび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

[0006] 上記課題を解決するため、本発明の第一態様における複数のコアを有する光ファイバの製造方法は、第二の屈折率を有する共通クラッド部となる領域内に互いに離隔して配置された複数の低屈折率領域を備え、前記低屈折率領域にはフッ素が添加され、かつ、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有する第一のガラスロッドを準備し、前記複数の低屈折率領域のそれぞれの内部に空孔を形成し、前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアとなる部分と、前記コアとなる部分の周囲に配置され、前記第一の屈折率よりも低い第四の屈折率を有するクラッドとなる部分と、を備えた第二のガラスロッドを複数準備し、前記複数の低屈折率領域内に形成されたそれぞれの空孔内に前記第二のガラスロッドを挿入し、前記第一のガラスロッドと前記第二のガラスロッドとを一体化してガラス母材を作製し、前記ガラス母材を線引きする線引きする。

[0007] 本発明の第二態様における複数のコアを有する光ファイバの製造方法は、第二の屈折率を有する共通クラッド部となる領域内に環状の低屈折率領域を備え、前記低屈折率領域にはフッ素が添加され、かつ、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有する第一のガラスロッドを準備し、前記低屈折率

領域内に、互いに離隔する複数の空孔を形成し、前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアとなる部分と、前記コアとなる部分の周囲に配置され、前記第一の屈折率よりも低い第四の屈折率を有するクラッドとなる部分と、を備えた第二のガラスロッドを複数準備し、前記低屈折率領域内に形成されたそれぞれの空孔内に前記第二のガラスロッドを挿入し、前記第一のガラスロッドと前記第二のガラスロッドとを一体化してガラス母材を作製し、前記ガラス母材を線引きする線引きする。

[0008] 本発明の第二態様の製造方法においては、前記第一のガラスロッドを準備する際に、前記共通クラッド部となる領域の中央に前記低屈折率領域を設け、前記空孔を形成する際に、前記共通クラッド部となる領域に形成された前記低屈折率領域内に空孔を形成することが好ましい。

[0009] 本発明の第二態様の製造方法においては、前記第一のガラスロッドを準備する際に、前記共通クラッド部となる領域に、同心円状に前記低屈折率領域を複数設けることが好ましい。

[0010] 本発明の第一態様又は第二態様の製造方法においては、前記ガラス母材の作製と、前記線引きとを同時に行うことが好ましい。

[0011] 本発明の第三態様における複数のコアを有する光ファイバは、第二の屈折率を有する共通クラッドと、前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアと、前記コアの周囲に配置されて前記第四の屈折率を有するクラッドとを備えるとともに、前記共通クラッド内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路と、前記光ファイバ導波路の周囲に設けられ、フッ素が添加され、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有する低屈折率部を含む。

[0012] 本発明の第四態様における複数のコアを有する光ファイバは、複数のコアを有する光ファイバであって、第二の屈折率を有する共通クラッドと、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有するとともに、フッ素が添加され、前記共通クラッド内に設けられた環状の低屈折率部と、前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアと、前記コアの周囲に配置されて前記

第四の屈折率を有するクラッドとを備えるとともに、前記低屈折率部内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路とを含む。

[0013] 本発明の第四態様における光ファイバにおいては、前記共通クラッドの中央に、前記光ファイバ導波路が設けられ、当該光ファイバ導波路の周囲に前記低屈折率部が設けられたことが好ましい。

[0014] 本発明の第四態様における光ファイバにおいては、前記共通クラッド内に、同心円状に前記低屈折率部が複数設けられたことが好ましい。

発明の効果

[0015] 本発明の第一態様、第二態様、第三態様、及び第四態様によれば、加工曲がりおよびクロストークの劣化を抑制した光ファイバを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]ガラス母材の屈折率プロファイルの一例を示す模式図である。

[図2]図1に示す屈折率プロファイルを有するガラス母材に対して、石英クラッドとフッ素添加クラッドとの境界部において、ドリルによる穿孔加工を行った場合の一例を示す模式図である。

[図3]図1に示す屈折率プロファイルを有するガラス母材に対して、石英クラッドとフッ素添加クラッドとの境界部において、ドリルによる穿孔加工を行った場合の他の例を示す模式図である。

[図4]石英クラッドとフッ素添加クラッドとの境界部において、ドリルによる穿孔加工を行った場合の加工面の状態の一例を示す模式図である。

[図5]石英クラッドとフッ素添加クラッドとの境界部において、ドリルによる穿孔加工を行った場合の加工面の状態の他の例を示す模式図である。

[図6]図1に示す屈折率プロファイルを有するガラス母材に対して、フッ素添加クラッドにおいて、ドリルによる穿孔加工を行った場合を示す模式図である。

[図7]ガラス母材の屈折率プロファイルの他の例を示す模式図である。

[図8]本発明の第一実施形態における第一のガラスロッドの一例を示す概略断

面図である。

[図9]本発明の第一実施形態における空孔が形成された第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図10]本発明の第一実施形態におけるガラス母材を示す概略断面図である。

[図11]本発明の第一実施形態における光ファイバを示す概略断面図である。

[図12]本発明の第二実施形態における第一のガラスロッドの一例を示す概略断面図である。

[図13]本発明の第二実施形態における空孔が形成された第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図14]本発明の第二実施形態におけるガラス母材を示す概略断面図である。

[図15]本発明の第二実施形態における光ファイバを示す概略断面図である。

[図16]本発明の第三実施形態における第一のガラスロッドの一例を示す概略断面図である。

[図17]本発明の第三実施形態における空孔が形成された第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図18]本発明の第三実施形態におけるガラス母材を示す概略断面図である。

[図19]本発明の第三実施形態における光ファイバを示す概略断面図である。

[図20]本発明の第四実施形態における第一のガラスロッドの一例を示す概略断面図である。

[図21]本発明の第四実施形態における空孔が形成された第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図22]本発明の第四実施形態におけるガラス母材を示す概略断面図である。

[図23]本発明の第四実施形態における光ファイバを示す概略断面図である。

[図24]本発明の第五実施形態における第一のガラスロッドの一例を示す概略断面図である。

[図25]本発明の第五実施形態における空孔が形成された第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図26]本発明の第五実施形態におけるガラス母材を示す概略断面図である。

[図27]本発明の第五実施形態における光ファイバを示す概略断面図である。

[図28]本発明の第六実施形態における第一のガラスロッドの一例を示す概略断面図である。

[図29]本発明の第六実施形態における空孔が形成された第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図30]本発明の第六実施形態におけるガラス母材を示す概略断面図である。

[図31]本発明の第六実施形態における光ファイバを示す概略断面図である。

[図32]比較例における第二のガラスロッドを有する第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図33]比較例における空孔付きの第一のガラスロッドを示す概略断面図である。

[図34]比較例におけるガラス母材を示す概略断面図である。

[図35]比較例における光ファイバを示す概略断面図である。

[図36A]空孔付きの第一のガラスロッドの空孔位置の計測方法を示す模式図であり、空孔付きの第一のガラスロッドを示す斜視図である。

[図36B]空孔付きの第一のガラスロッドの空孔位置の計測方法を示す模式図であり、第一のガラスロッドの加工開始端面を示す側面図である。

[図36C]空孔付きの第一のガラスロッドの空孔位置の計測方法を示す模式図であり、第一のガラスロッドの加工終了端面を示す側面図である。

[図37]光ファイバのコアの位置の計測方法を示す模式図である。

発明を実施するための形態

[0017] 本発明の光ファイバおよび光ファイバの製造方法の実施の形態について説明する。

なお、本実施の形態は、発明の趣旨をより良く理解させるために具体的に説明するものであり、特に指定のない限り、本発明を限定するものではない。

[0018] 石英ガラスからなるガラス母材に対する、ドリルによる穿孔加工における加工曲がりの対策としては、（１）適切なドリルツールの選択（ツールの剛

性、ドリル径、砥粒密度、砥粒径など）、（２）ドリルによる穿孔加工条件の適正化（加工速度、ドリル回転数など）が知られている。

本発明者等は、鋭意検討を重ねた結果、ドリルによる穿孔加工における加工曲がりと、ガラス母材の断面内における組成分布とは相関があることを見出した。

以下、ドリルによる穿孔加工における加工曲がりと、ガラス母材の断面内における組成分布との相関について、具体的に説明する。

[0019] ここで、図１に示すような屈折率プロファイルを有するガラス母材について考える。

このガラス母材は、中心にゲルマニウムが添加された石英ガラスからなる高屈折率コア１と、高屈折率コア１の周囲に設けられて高屈折率コア１よりも屈折率が低く、かつ、石英ガラスからなる内側クラッド２と、内側クラッド２の周囲に設けられて内側クラッド２よりも屈折率が低く、フッ素が添加された低屈折率クラッド３（以下、「フッ素添加クラッド」と言う。）と、フッ素添加クラッド３の周囲に設けられて内側クラッド２と屈折率が等しく、石英ガラスからなる外側クラッド４を有する構造を有する。

[0020] このような屈折率プロファイルを有するガラス母材に対して、ドリルによる穿孔加工を行う場合について考える。

例えば、図２に示すように、フッ素添加クラッド３と外側クラッド４との境界部において、ドリルツール１１による穿孔加工を行うと、図２において矢印で示す方向、すなわち、フッ素添加クラッド３とは反対側に向く方向（ガラス母材の外側方向）に加工曲がりが生じる傾向がある。

一方、図３に示すように、内側クラッド２とフッ素添加クラッド３の境界部において、ドリルツール１１による穿孔加工を行うと、図３において矢印で示す方向、すなわち、フッ素添加クラッド３とは反対側に向く方向（ガラス母材の内側方向）に加工曲がりが生じる傾向がある。

[0021] 石英ガラスにフッ素を添加すると、石英ガラス中の一部の $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ 結合が切断され、その結合が切断された部分にフッ素（ F ）が結合して、 S

i-F結合を形成する。すると、ガラス構造の密度がより低く（疎）なり、Si-F結合を形成している部分の密度や弾性率が低下する。よって、図2や図3に示すような屈折率プロファイルを有するガラス母材において、純粋な石英ガラスからなる内側クラッド2とフッ素添加クラッド3との境界部において、または、純粋な石英ガラスからなる外側クラッド4とフッ素添加クラッド3との境界部において、ドリルツール11による穿孔加工を行った場合、ガラス構造の密度が低い（疎）フッ素添加クラッド3がより促進的に穿孔される。その結果、図4の模式図に示すように、石英ガラス部21（内側クラッド2、外側クラッド4）とフッ素添加石英ガラス部22（フッ素添加クラッド3）の境界部に対して垂直に、ドリルツール11による穿孔加工を行おうとしても、加工面23は、ガラス母材の長手方向に対して傾くように形成される。

そして、加工面23が傾いた状態で穿孔加工を続けると、図5に示すように、ドリルツール11にかかる剛性によって、加工面23に沿って、ドリルツール11の先端が曲がり、その結果として、加工曲がりが生じると考えられる。

[0022] これに対して、図6に示すように、フッ素添加クラッド3のみに、ドリルツール11による穿孔加工を行った場合、ドリルツール11は、ガラス構造の密度が低い（疎）領域のみにに対して穿孔加工を行うことになる。このため、ドリルツール11がガラス母材の長手方向に対して傾くことがなく、フッ素添加クラッド3の長手方向（ガラス母材の長手方向）に沿って、穿孔加工が行われる。その結果、穿孔加工の加工長全長において、加工曲がりが抑えられる。

[0023] すなわち、本発明では、ガラス母材の断面において、穿孔加工を行う領域とそれ以外の領域との間に屈折率差を設けることにより、ガラス母材の長手方向全長において、穿孔加工時の加工曲がりを抑制し、結果的に、光ファイバの長手方向全長において、コアが所望の位置に設けられたマルチコア光ファイバを製造することが可能となる。

[0024] 本発明において、有効なフッ素添加量を、無添加の純粋石英ガラスに対する、低屈折率クラッド（フッ素添加クラッド3）の比屈折率差（ Δn ）によって定義する。本発明において、比屈折率差（ Δn ）は0.01%以上であることが好ましい。比屈折率差（ Δn ）が0.01%未満であると、加工曲がりが発生するおそれがある。また、フッ素が添加された石英ガラスからなるクラッド（以下、「フッ素添加クラッド」と言う。）を有する純シリカコアファイバに孔開加工を行う場合には、図7に示すように、純シリカコア31の周囲に設けられたフッ素添加クラッド32において、穿孔加工領域のフッ素添加量を変えて、低屈折率フッ素添加クラッド33を形成することによって、内側クラッド32Aまたは外側クラッド32Bに対する、低屈折率フッ素添加クラッド33の比屈折率差（ Δn ）を設けることができる。

[0025] （1）第一実施形態

図8に示すように、共通クラッド部となる領域41内に、互いに離隔して配置された複数の低屈折率領域42を備えた第一のガラスロッド40を作製する。

低屈折率領域42は、第一のガラスロッド40（共通クラッド部となる領域41）に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つ設けられている。

共通クラッド部となる領域41は、石英ガラスから構成され、低屈折率領域42は、フッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0026] また、共通クラッド部となる領域41の屈折率（第二の屈折率）を n_2 、低屈折率領域42の屈折率（第三の屈折率）を n_3 とすると、 $n_3 < n_2$ の関係を満たしている。

低屈折率領域42において、全周方向にわたって、フッ素添加量は均一であることが好ましい。また、低屈折率領域42において、全周方向にわたって、比屈折率差のばらつきは0.01%未満であることが好ましい。

ここで、無添加の純粋石英ガラスの屈折率（ここでは、共通クラッド部となる領域41の屈折率）を n_2 、純粋石英ガラスにおけるある部分において、ドーパントが添加された領域（ドーパント（ここでは、フッ素）添加領域）

があり、その部分の屈折率（ここでは、低屈折率領域 42 の屈折率）を n_3 と定義したとき、比屈折率差 Δ は、下記の式（1）によって定義される。

[0027] [数1]

$$\Delta \equiv \frac{n_3^2 - n_2^2}{2n_3^2} \times 100 \cong \frac{n_3 - n_2}{n_3} \times 100 \quad [\%]$$

[0028] このような構造を有する第一のガラスロッド 40 の製造方法を説明する。

まず、石英ガラス管の内部において、中心に純粋石英ガラスロッド、純粋石英ガラスロッドの周囲にフッ素添加石英ガラスロッド、さらに、フッ素添加石英ガラスロッドの周囲に純粋石英ガラスロッドを配置する。

次に、ガラスロッドが配置された石英ガラス管の一端を封止し、開放している他端から石英ガラス管内を真空引きしながら、その石英ガラス管全体を加熱することにより、石英ガラス管を軟化させて、石英ガラス管内の隙間を埋め、図 8 に示す構造の第一のガラスロッド 40 を得る。

[0029] また、低屈折率領域 42 の直径、第一のガラスロッド 40 における低屈折率領域 42 の配置は、後工程で、それぞれの低屈折率領域 42 内に形成される空孔に挿入される第二のガラスロッドの直径、および、所望のマルチコア光ファイバの光学特性（クロストーク）に応じて適宜調整される。

[0030] 次に、図 9 に示すように、それぞれの低屈折率領域 42 内に、ドリルによる穿孔加工により、空孔 43 を形成する。この穿孔加工では、共通クラッド部となる領域 41 と低屈折率領域 42 の屈折率差によって、空孔 43 は低屈折率領域 42 の長手方向（第一のガラスロッド 40 の長手方向）に沿って加工されて行くため、加工曲がりが少ない。

なお、図 9 には、低屈折率領域 42 の中央部に空孔 43 を形成する場合を例示したが、本発明は、これに限定されない。本発明にあっては、低屈折率領域内であれば、空孔を形成する位置は低屈折率領域の中央部でなくてもよい。

このようにして、空孔 43 の加工曲がりが少ない空孔付きの第一のガラス

ロッド４０Ａが得られる。

- [0031] 次に、コアとなる部分５１と、コアとなる部分５１の周囲に配置されたクラッドとなる部分５２と、を備えた第二のガラスロッド５０を６本準備する（図１０参照）。

この第二のガラスロッド５０では、コアとなる部分５１は、共通クラッド部となる領域４１の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッドとなる部分５２は、コアとなる部分５１よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

- [0032] 次に、低屈折率領域４２内に形成されたそれぞれの空孔４３内に、上記の第二のガラスロッド５０を挿入する。

- [0033] 次に、第二のガラスロッド５０が挿入された第一のガラスロッド４０Ａを加熱することによって、第一のガラスロッド４０Ａと第二のガラスロッド５０を一体化して、図１０に示すような断面を有するガラス母材６０を得る。

- [0034] 得られたガラス母材６０には、各第二のガラスロッド５０の周囲にフッ素が添加された低屈折率領域４２が残っているが、この低屈折率領域４２がマルチコア光ファイバのコア間のクロストークを抑制する効果も奏する。

- [0035] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材６０を線引きすることにより、図１１に示すようなマルチコア型の光ファイバ７０が得られる。

ガラス母材６０を線引きする方法としては、特に限定されるものではなく、公知の方法が用いられる。

線引き後の光ファイバ７０は、公知の手法により、各種樹脂で被覆することが好ましい。

- [0036] 光ファイバ７０は、第二の屈折率を有する共通クラッド７１と、共通クラッド７１内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路８０とから概略構成されている。

光ファイバ導波路８０は、第二のガラスロッド５０と同様の構成を有し、コア８１は、共通クラッド７１の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッド８２は、コア８１よりも低い屈

折率（第四の屈折率）を有する。

[0037] 光ファイバ導波路 80 は、共通クラッド 71 に対して同心円状に、ほぼ等間隔に 6 つ設けられている。

また、光ファイバ導波路 80 の周囲に低屈折率部 72 が設けられている。

共通クラッド 71 は石英ガラスから構成され、低屈折率部 72 はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0038] また、共通クラッド 71 の屈折率（第二の屈折率）を n_2 、低屈折率部 72 の屈折率（第三の屈折率）を n_3 とすると、 $n_3 < n_2$ の関係を満たしている。

[0039] 本実施形態の光ファイバ 70 は、空孔 43 の加工曲がりが少ないガラス母材 60 を線引きして得られているので、クロストークの劣化が抑制されているから、伝送容量を大幅に向上することができる。

[0040] また、本発明の実施形態によれば、上記の加工曲がりの抑制以外にも以下の効果を奏する。

従来、ガラス母材に対してドリルによる穿孔加工を行った後、形成された空孔の内表面の平滑化、加工時に生じたクラックの除去、空孔径の微調整などを目的として、空孔内の研磨やエッチング加工などを行っている。空孔内の研磨やエッチング加工では、空孔の内表面を 0.01～0.3 mm 程度削っている。

本発明の実施形態によれば、ガラス母材における、空孔を形成する領域が、フッ素が添加された低屈折率領域であるので、空孔内の研磨性やエッチング加工性に優れ、より短時間で加工できるといった効果も得られる。

[0041] なお、本実施形態では、第一のガラスロッドおよび光ファイバに、空孔が 6 つ設けられた場合を例示したが、本発明はこれに限定されない。本発明にあっては、空孔の数は、所望の光ファイバの光学特性（クロストーク）に応じて適宜調整される。

[0042] （２）第二実施形態

図 12 に示すように、共通クラッド部となる領域 91 内に、互いに離隔して配置された複数の低屈折率領域 92 を備えた第一のガラスロッド 90 を作

製する。

低屈折率領域 9 2 は、共通クラッド部となる領域 9 1 の中央に設けられた低屈折率領域 9 2 A と、低屈折率領域 9 2 A の周囲に、共通クラッド部となる領域 9 1 に対して同心円状に、ほぼ等間隔に 6 つ設けられた低屈折率領域 9 2 B と、を備えている。

共通クラッド部となる領域 9 1 は石英ガラスから構成され、低屈折率領域 9 2 はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0043] また、共通クラッド部となる領域 9 1 の屈折率（第二の屈折率）を n_{12} 、低屈折率領域 9 2 の屈折率（第三の屈折率）を n_{13} とすると、 $n_{13} < n_{12}$ の関係を満たしている。

低屈折率領域 9 2 において、全周方向にわたって、フッ素添加量は均一であることが好ましい。また、低屈折率領域 9 2 において、全周方向にわたって、比屈折率差のばらつきは 0.01% 未満であることが好ましい。

[0044] このような構造を有する第一のガラスロッド 9 0 の製造方法を説明する。

まず、石英ガラス管の内部において、中心にフッ素添加石英ガラスロッド、フッ素添加石英ガラスロッドの周囲に純粋石英ガラスロッド、純粋石英ガラスロッドの周囲にフッ素添加石英ガラスロッド、さらに、フッ素添加石英ガラスロッドの周囲に純粋石英ガラスロッドを配置する。

次に、ガラスロッドが配置された石英ガラス管の一端を封止し、開放している他端から石英ガラス管内を真空引きしながら、その石英ガラス管全体を加熱することにより、石英ガラス管を軟化させて、石英ガラス管内の隙間を埋め、図 1 2 に示す構造の第一のガラスロッド 9 0 を得る。

[0045] また、低屈折率領域 9 2 の直径、第一のガラスロッド 9 0 における低屈折率領域 9 2 の配置は、後工程で、それぞれの低屈折率領域 9 2 内に形成される空孔に挿入される第二のガラスロッドの直径、および、所望のマルチコア光ファイバの光学特性（クロストーク）に応じて適宜調整される。

[0046] 次に、図 1 3 に示すように、それぞれの低屈折率領域 9 2 内において、第二のガラスロッドを挿入する位置に、ドリルによる穿孔加工により、空孔 9

3を形成する。この穿孔加工では、共通クラッド部となる領域91と低屈折率領域92の屈折率差によって、空孔93は低屈折率領域92の長手方向（第一のガラスロッド90の長手方向）に沿って加工されて行くため、加工曲がりが少ない。

このようにして、空孔93の加工曲がりが少ない空孔付きの第一のガラスロッド90Aが得られる。

[0047] 次に、コアとなる部分101と、コアとなる部分101の周囲に配置されたクラッドとなる部分102と、を備えた第二のガラスロッド100を7本準備する（図14参照）。

この第二のガラスロッド100では、コアとなる部分101は、共通クラッド部となる領域91の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッドとなる部分102は、コアとなる部分101よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0048] 次に、低屈折率領域92内に形成されたそれぞれの空孔93内に、上記の第二のガラスロッド100を挿入する。

[0049] 次に、第二のガラスロッド100が挿入された第一のガラスロッド90Aを加熱することによって、第一のガラスロッド90Aと第二のガラスロッド100を一体化して、図14に示すような断面を有するガラス母材110を得る。

[0050] 得られたガラス母材110には、各第二のガラスロッド100の周囲にフッ素が添加された低屈折率領域92が残っているが、この低屈折率領域92がマルチコア光ファイバのコア間のクロストークを抑制する効果も奏する。

[0051] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材110を線引きすることにより、図15に示すようなマルチコア型の光ファイバ120が得られる。

ガラス母材110を線引きする方法としては、特に限定されるものではなく、公知の方法が用いられる。

線引き後の光ファイバ120は、公知の手法により、各種樹脂で被覆することが好ましい。

[0052] 光ファイバ120は、第二の屈折率を有する共通クラッド121と、共通クラッド121内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路130とから概略構成されている。

光ファイバ導波路130は、第二のガラスロッド100と同様の構成を満たし、コア131は、共通クラッド121の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッド132は、コア131よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0053] 光ファイバ導波路130は、共通クラッド121の中央に1つと、共通クラッド121の周囲を囲み、共通クラッド121に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つとが設けられている。

また、光ファイバ導波路130の周囲に低屈折率部122が設けられている。

共通クラッド121は石英ガラスから構成され、低屈折率部122はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0054] また、共通クラッド121の屈折率（第二の屈折率）を n_{12} 、低屈折率部122の屈折率（第三の屈折率）を n_{13} とすると、 $n_{13} < n_{12}$ の関係を満たしている。

[0055] 本実施形態の光ファイバ120は、空孔93の加工曲がりが少ないガラス母材110を線引きして得られているので、クロストークの劣化が抑制されているから、伝送容量を大幅に向上することができる。

[0056] （3）第三実施形態

図16に示すように、共通クラッド部となる領域141内に、互いに離隔して配置された複数の低屈折率領域142を備えた第一のガラスロッド140を作製する。

低屈折率領域142は、共通クラッド部となる領域の中央に設けられた低屈折率領域142Aと、共通クラッド部となる領域141に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つ設けられた低屈折率領域142Bと、低屈折率領域142Bの周囲に、共通クラッド部となる領域141に対して同心円状に、ほ

ば等間隔に6つ設けられた低屈折率領域142Cと、を備えている。

共通クラッド部となる領域141は石英ガラスから構成され、低屈折率領域142はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0057] また、共通クラッド部となる領域141の屈折率（第二の屈折率）を n_{22} 、低屈折率領域142の屈折率（第三の屈折率）を n_{23} とすると、 $n_{23} < n_{22}$ の関係を満たしている。

低屈折率領域142において、全周方向にわたって、フッ素添加量は均一であることが好ましい。また、低屈折率領域142において、全周方向にわたって、比屈折率差のばらつきは0.01%未満であることが好ましい。

[0058] このような構造を有する第一のガラスロッド140の製造方法を説明する。

まず、石英ガラス管の内部において、中心にフッ素添加石英ガラスロッド、その周囲に純粋石英ガラスロッド、その周囲にフッ素添加石英ガラスロッド、その周囲に純粋石英ガラスロッド、その周囲にフッ素添加石英ガラスロッド、さらに、その周囲に純粋石英ガラスロッドを配置する。

次に、ガラスロッドが配置された石英ガラス管の一端を封止し、開放している他端から石英ガラス管内を真空引きしながら、その石英ガラス管全体を加熱することにより、石英ガラス管を軟化させて、石英ガラス管内の隙間を埋め、図16に示す構造の第一のガラスロッド140を得る。

[0059] また、低屈折率領域142の直径、第一のガラスロッド140における低屈折率領域142の配置は、後工程で、それぞれの低屈折率領域142内に形成される空孔に挿入される第二のガラスロッドの直径、および、所望のマルチコア光ファイバの光学特性（クロストーク）に応じて適宜調整される。

[0060] 次に、図17に示すように、それぞれの低屈折率領域142内において、第二のガラスロッドを挿入する位置に、ドリルによる穿孔加工により、空孔143を形成する。この穿孔加工では、共通クラッド部となる領域141と低屈折率領域142の屈折率差によって、空孔143は低屈折率領域142の長手方向（第一のガラスロッド140の長手方向）に沿って加工されて行

くため、加工曲がりが少ない。

このようにして、空孔１４３の加工曲がりが少ない空孔付きの第一のガラスロッド１４０Ａが得られる。

[0061] 次に、コアとなる部分１５１と、コアとなる部分１５１の周囲に配置されたクラッドとなる部分１５２と、を備えた第二のガラスロッド１５０を１３本準備する（図１８参照）。

この第二のガラスロッド１５０では、コアとなる部分１５１は、共通クラッド部となる領域１４１の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッドとなる部分１５２は、コアとなる部分１５１よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0062] 次に、低屈折率領域１４２内に形成されたそれぞれの空孔１４３内に、上記の第二のガラスロッド１５０を挿入する。

[0063] 次に、第二のガラスロッド１５０が挿入された第一のガラスロッド１４０Ａを加熱することによって、第一のガラスロッド１４０Ａと第二のガラスロッド１５０を一体化して、図１８に示すような断面を有するガラス母材１６０を得る。

[0064] 得られたガラス母材１６０には、各第二のガラスロッド１５０の周囲にフッ素が添加された低屈折率領域１４２が残っているが、この低屈折率領域１４２がマルチコア光ファイバのコア間のクロストークを抑制する効果も奏する。

[0065] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材１６０を線引きすることにより、図１９に示すようなマルチコア型の光ファイバ１７０が得られる。

ガラス母材１６０を線引きする方法としては、特に限定されるものではなく、公知の方法が用いられる。

線引き後の光ファイバ１７０は、公知の手法により、各種樹脂で被覆することが好ましい。

[0066] 光ファイバ１７０は、第二の屈折率を有する共通クラッド１７１と、共通クラッド１７１内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路１８

0とから概略構成されている。

光ファイバ導波路180は、第二のガラスロッド150と同様の構成を満たし、コア181は、共通クラッド171の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッド182は、コア181よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0067] 光ファイバ導波路180は、共通クラッド171の中央に1つと、その周囲を囲み、共通クラッド171に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つと、その周囲を囲み、共通クラッド171に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つとが設けられている。

また、光ファイバ導波路180の周囲に低屈折率部172が設けられている。

共通クラッド171は石英ガラスから構成され、低屈折率部172はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0068] また、共通クラッド171の屈折率（第二の屈折率）を n_{22} 、低屈折率部172の屈折率（第三の屈折率）を n_{23} とすると、 $n_{23} < n_{22}$ の関係を満たしている。

[0069] 本実施形態の光ファイバ170は、空孔143の加工曲がりが少ないガラス母材160を線引きして得られているので、クロストークの劣化が抑制されているから、伝送容量を大幅に向上することができる。

[0070] （4）第四実施形態

図20に示すように、共通クラッド部となる領域191内に、共通クラッド部となる領域191に対して同心円状に、環状の低屈折率領域192を備えた第一のガラスロッド190を作製する。

共通クラッド部となる領域191は石英ガラスから構成され、低屈折率領域192はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0071] また、共通クラッド部となる領域191の屈折率（第二の屈折率）を n_{32} 、低屈折率領域192の屈折率（第三の屈折率）を n_{33} とすると、 $n_{33} < n_{32}$ の関係を満たしている。

低屈折率領域 192 において、全周方向にわたって、フッ素添加量は均一であることが好ましい。また、低屈折率領域 192 において、全周方向にわたって、比屈折率差のばらつきは 0.01%未満であることが好ましい。

[0072] このような構造を有する第一のガラスロッド 190 の作製には、VAD (Vapor phase Axial Deposition) 法や CVD (chemical vapor deposition) 法などの一般的な光ファイバ用プリフォームの製造方法を適用することができる。

[0073] また、低屈折率領域 192 の内径および外径は、後工程で、低屈折率領域 192 内に形成される空孔に挿入される第二のガラスロッドの直径、および、所望のマルチコア光ファイバの光学特性（クロストーク）に応じて適宜調整される。

[0074] 次に、図 21 に示すように、低屈折率領域 192 内において、第二のガラスロッドを挿入する位置に、ドリルによる穿孔加工により、空孔 193 を形成する。この穿孔加工では、低屈折率領域 192 内に、互いに離隔して、共通クラッド部となる領域 191 に対して同心円状に、ほぼ等間隔に 6 つの空孔 193 を形成する。

この穿孔加工では、共通クラッド部となる領域 191 と低屈折率領域 192 の屈折率差によって、空孔 193 は低屈折率領域 192 の長手方向（第一のガラスロッド 190 の長手方向）に沿って加工されて行くため、加工曲がりが少ない。

なお、図 21 には、低屈折率領域 192 の中央部に空孔 193 を形成する場合を例示したが、本発明は、これに限定されない。本発明にあつては、低屈折率領域内であれば、空孔を形成する位置は低屈折率領域の中央部でなくともよい。

このようにして、空孔 193 の加工曲がりが少ない空孔付きの第一のガラスロッド 190A が得られる。

[0075] 次に、コアとなる部分 201 と、コアとなる部分 201 の周囲に配置されたクラッドとなる部分 202 と、を備えた第二のガラスロッド 200 を 6 本

準備する（図 22 参照）。

この第二のガラスロッド 200 では、コアとなる部分 201 は、共通クラッド部となる領域 191 の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッドとなる部分 202 は、コアとなる部分 201 よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0076] 次に、低屈折率領域 192 内に形成されたそれぞれの空孔 193 内に、上記の第二のガラスロッド 200 を挿入する。

[0077] 次に、第二のガラスロッド 200 が挿入された第一のガラスロッド 190 A を加熱することによって、第一のガラスロッド 180 A と第二のガラスロッド 200 を一体化して、図 22 に示すような断面を有するガラス母材 210 を得る。

[0078] 得られたガラス母材 210 には、各第二のガラスロッド 200 の周囲にフッ素が添加された低屈折率領域 192 が残っているが、この低屈折率領域 192 がマルチコア光ファイバのコア間のクロストークを抑制する効果も奏する。

[0079] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材 210 を線引きすることにより、図 23 に示すようなマルチコア型の光ファイバ 220 が得られる。

ガラス母材 210 を線引きする方法としては、特に限定されるものではなく、公知の方法が用いられる。

線引き後の光ファイバ 220 は、公知の手法により、各種樹脂で被覆することが好ましい。

[0080] 光ファイバ 220 は、第二の屈折率を有する共通クラッド 221 と、共通クラッド 221 内に、共通クラッド 221 に対して同心円状に配置された環状の低屈折率部 222 と、低屈折率部 222 内に、互いに離隔して、共通クラッド 221 に対して同心円状に、ほぼ等間隔に配置された 6 つの光ファイバ導波路 230 とから概略構成されている。

光ファイバ導波路 230 は、第二のガラスロッド 200 と同様の構成を有し、コア 231 は、共通クラッド 221 の屈折率（第二の屈折率）よりも高

い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッド２３２は、コア２３１よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0081] 共通クラッド２２１は石英ガラスから構成され、低屈折率部２２２はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0082] また、共通クラッド２２１の屈折率（第二の屈折率）を n_{32} 、低屈折率部２２２の屈折率（第三の屈折率）を n_{33} とすると、 $n_{33} < n_{32}$ の関係を満たしている。

[0083] 本実施形態の光ファイバ２２０は、空孔１９３の加工曲がりが少ないガラス母材２１０を線引きして得られているので、クロストークの劣化が抑制されているから、伝送容量を大幅に向上することができる。

[0084] （５）第五実施形態

図２４に示すように、共通クラッド部となる領域２４１内に低屈折率領域２４２を備えた第一のガラスロッド２４０を作製する。

低屈折率領域２４２は、共通クラッド部となる領域２４１の中央に設けられた低屈折率領域２４２Ａと、低屈折率領域２４２Ａの周囲に、第一のガラスロッド２４０（共通クラッド部となる領域２４１）に対して同心円状に設けられた環状の低屈折率領域２４２Ｂと、を備えている。

共通クラッド部となる領域２４１は石英ガラスから構成され、低屈折率領域２４２はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0085] また、共通クラッド部となる領域２４１の屈折率（第二の屈折率）を n_{42} 、低屈折率領域２４２の屈折率（第三の屈折率）を n_{43} とすると、 $n_{43} < n_{42}$ の関係を満たしている。

低屈折率領域２４２において、全周方向にわたって、フッ素添加量は均一であることが好ましい。また、低屈折率領域２４２において、全周方向にわたって、比屈折率差のばらつきは０．０１％未満であることが好ましい。

[0086] このような構造を有する第一のガラスロッド２４０の作製には、VAD（Vapor phase Axial Deposition）法やCVD（chemical vapor deposition）法などの一般的

な光ファイバ用プリフォームの製造方法を適用することができる。

[0087] また、低屈折率領域 242A の外径、並びに、低屈折率領域 242B の内径および外径は、後工程で、低屈折率領域 242 内に形成される空孔に挿入される第二のガラスロッドの直径、および、所望のマルチコア光ファイバの光学特性（クロストーク）に応じて適宜調整される。

[0088] 次に、図 25 に示すように、低屈折率領域 242 内において、第二のガラスロッドを挿入する位置に、ドリルによる穿孔加工により、空孔 243 を形成する。この穿孔加工では、低屈折率領域 242A 内に 1 つの空孔 243 を形成し、低屈折率領域 242B 内に、互いに離隔して、共通クラッド部となる領域 241 に対して同心円状に、ほぼ等間隔に 6 つの空孔 243 を形成する。

この穿孔加工では、共通クラッド部となる領域 241 と低屈折率領域 242 の屈折率差によって、空孔 243 は低屈折率領域 242 の長手方向（第一のガラスロッド 240 の長手方向）に沿って加工されて行くため、加工曲がりが少ない。

このようにして、空孔 243 の加工曲がりが少ない空孔付きの第一のガラスロッド 240A が得られる。

[0089] 次に、コアとなる部分 251 と、コアとなる部分 251 の周囲に配置されたクラッドとなる部分 252 と、を備えた第二のガラスロッド 250 を 7 本準備する（図 26 参照）。

この第二のガラスロッド 250 では、コアとなる部分 251 は、共通クラッド部となる領域 241 の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッドとなる部分 252 は、コアとなる部分 251 よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0090] 次に、低屈折率領域 242 内に形成されたそれぞれの空孔 243 内に、上記の第二のガラスロッド 250 を挿入する。

[0091] 次に、第二のガラスロッド 250 が挿入された第一のガラスロッド 240A を加熱することによって、第一のガラスロッド 240A と第二のガラスロ

ッド250を一体化して、図26に示すような断面を有するガラス母材260を得る。

[0092] 得られたガラス母材260には、各第二のガラスロッド250の周囲にフッ素が添加された低屈折率領域242が残っているが、この低屈折率領域242がマルチコア光ファイバのコア間のクロストークを抑制する効果も奏する。

[0093] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材260を線引きすることにより、図27に示すようなマルチコア型の光ファイバ270が得られる。

ガラス母材260を線引きする方法としては、特に限定されるものではなく、公知の方法が用いられる。

線引き後の光ファイバ270は、公知の手法により、各種樹脂で被覆することが好ましい。

[0094] 光ファイバ270は、第二の屈折率を有する共通クラッド271と、共通クラッド271の中央に配置された低屈折率部272（272A）と、低屈折率部272（272A）内に配置された1つの光ファイバ導波路280と、共通クラッド271内に、共通クラッド271に対して同心円状に配置された環状の低屈折率部272（272B）と、低屈折率部262（262B）内に、互いに離隔して、共通クラッド261に対して同心円状に、ほぼ等間隔に配置された6つの光ファイバ導波路280とから概略構成されている。

光ファイバ導波路280は、第二のガラスロッド250と同様の構成を有し、コア281は、共通クラッド271の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッド282は、コア281よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0095] 共通クラッド271は石英ガラスから構成され、低屈折率部272はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0096] また、共通クラッド271の屈折率（第二の屈折率）を n_{42} 、低屈折率部272の屈折率（第三の屈折率）を n_{43} とすると、 $n_{43} < n_{42}$ の関係を満た

している。

[0097] 本実施形態の光ファイバ270は、空孔243の加工曲がりが少ないガラス母材260を線引きして得られているので、クロストークの劣化が抑制されているから、伝送容量を大幅に向上することができる。

[0098] (6) 第六実施形態

図28に示すように、共通クラッド部となる領域291内に低屈折率領域292を備えた第一のガラスロッド290を作製する。

低屈折率領域292は、共通クラッド部となる領域の中央に設けられた低屈折率領域292Aと、低屈折率領域292Aの周囲に、共通クラッド部となる領域281に対して同心円状に設けられた環状の低屈折率領域292Bと、低屈折率領域292Bの周囲に、共通クラッド部となる領域291に対して同心円状に設けられた環状の低屈折率領域292Cと、を備えている。

共通クラッド部となる領域291は石英ガラスから構成され、低屈折率領域292はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

[0099] また、共通クラッド部となる領域291の屈折率（第二の屈折率）を n_{52} 、低屈折率領域292の屈折率（第三の屈折率）を n_{53} とすると、 $n_{53} < n_{52}$ の関係を満たしている。

低屈折率領域292において、全周方向にわたって、フッ素添加量は均一であることが好ましい。また、低屈折率領域292において、全周方向にわたって、比屈折率差のばらつきは0.01%未満であることが好ましい。

[0100] このような構造を有する第一のガラスロッド290の作製には、VAD (Vapor phase Axial Deposition) 法やCVD (chemical vapor deposition) 法などの一般的な光ファイバ用プリフォームの製造方法を適用することができる。

[0101] また、低屈折率領域292Aの外径、低屈折率領域292Bの内径および外径、並びに、低屈折率領域292Cの内径および外径は、後工程で、低屈折率領域292内に形成される空孔に挿入される第二のガラスロッドの直径、および、所望のマルチコア光ファイバの光学特性（クロストーク）に応じ

て適宜調整される。

[0102] 次に、図29に示すように、低屈折率領域292内において、第二のガラスロッドを挿入する位置に、ドリルによる穿孔加工により、空孔293を形成する。この穿孔加工では、低屈折率領域292A内に1つの空孔293を形成する。また、低屈折率領域292B内に、互いに離隔して、共通クラッド部となる領域291に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つの空孔293を形成する。さらに、低屈折率領域292C内に、互いに離隔して、共通クラッド部となる領域291に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つの空孔293を形成する。

この穿孔加工では、共通クラッド部となる領域291と低屈折率領域292の屈折率差によって、空孔293は低屈折率領域292の長手方向（第一のガラスロッド290の長手方向）に沿って加工されて行くため、加工曲がりが少ない。

このようにして、空孔293の加工曲がりが少ない空孔付きの第一のガラスロッド290Aが得られる。

[0103] 次に、コアとなる部分301と、コアとなる部分301の周囲に配置されたクラッドとなる部分302と、を備えた第二のガラスロッド300を13本準備する（図30参照）。

この第二のガラスロッド300では、コアとなる部分301は、クラッドとなる部分302の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッドとなる部分302は、コアとなる部分301よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0104] 次に、低屈折率領域292内に形成されたそれぞれの空孔293内に、上記の第二のガラスロッド300を挿入する。

[0105] 次に、第二のガラスロッド300が挿入された第一のガラスロッド290Aを加熱することによって、第一のガラスロッド290Aと第二のガラスロッド300を一体化して、図30に示すような断面を有するガラス母材310を得る。

[0106] 得られたガラス母材 310 には、各第二のガラスロッド 300 の周囲にフッ素が添加された低屈折率領域 292 が残っているが、この低屈折率領域 292 がマルチコア光ファイバのコア間のクロストークを抑制する効果も奏する。

[0107] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材 310 を線引きすることにより、図 31 に示すようなマルチコア型の光ファイバ 320 が得られる。

ガラス母材 310 を線引きする方法としては、特に限定されるものではなく、公知の方法が用いられる。

線引き後の光ファイバ 320 は、公知の手法により、各種樹脂で被覆することが好ましい。

[0108] 光ファイバ 320 は、第二の屈折率を有する共通クラッド 321 と、共通クラッド 321 の中央に配置された低屈折率部 322A (322) と、低屈折率部 322A (322) 内に配置された 1 つの光ファイバ導波路 330 と、共通クラッド 321 内において、低屈折率部 322A (322) の周囲に、共通クラッド 321 に対して同心円状に配置された環状の低屈折率部 322B (322) と、低屈折率部 322B (322) 内に、互いに離隔して、共通クラッド 321 に対して同心円状に配置された 6 つの光ファイバ導波路 330 と、共通クラッド 321 内において、低屈折率部 322B (322) の周囲に、共通クラッド 321 に対して同心円状に配置された環状の低屈折率部 322C (322) と、低屈折率部 322C (322) 内に、互いに離隔して、共通クラッド 321 に対して同心円状に配置された 6 つの光ファイバ導波路 330 とから概略構成されている。

光ファイバ導波路 330 は、第二のガラスロッド 300 と同様の構成を有し、コア 331 は、共通クラッド 321 の屈折率（第二の屈折率）よりも高い屈折率（第一の屈折率）を有する。また、クラッド 332 は、コア 331 よりも低い屈折率（第四の屈折率）を有する。

[0109] 共通クラッド 321 は石英ガラスから構成され、低屈折率部 322 はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

- [0110] また、共通クラッド321の屈折率（第二の屈折率）を n_{52} 、低屈折率部322の屈折率（第三の屈折率）を n_{53} とすると、 $n_{53} < n_{52}$ の関係を満たしている。
- [0111] 本実施形態の光ファイバ320は、空孔293の加工曲がりが少ないガラス母材310を線引きして得られているので、クロストークの劣化が抑制されているから、伝送容量を大幅に向上することができる。
- [0112] 以上、本発明の好ましい実施形態を説明し、上記で説明してきたが、これらは本発明の例示的なものであり、限定するものとして考慮されるべきではないことを理解すべきである。追加、省略、置換、およびその他の変更は、本発明の範囲から逸脱することなく行うことができる。従って、本発明は、前述の説明によって限定されていると見なされるべきではなく、特許請求の範囲によって制限されている。

実施例

- [0113] 以下、実施例および比較例により本発明をさらに具体的に説明するが、本発明は以下の実施例に限定されない。

[0114] [実施例1]

図12に示すように、共通クラッド部となる領域91内に、互いに離隔して配置された複数の低屈折率領域92を備えた第一のガラスロッド90を製作した。

低屈折率領域92は、共通クラッド部となる領域91の中央に設けられた低屈折率領域92Aと、低屈折率領域92Aの周囲に、共通クラッド部となる領域81に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つ設けられた低屈折率領域92Bと、を備えている。

共通クラッド部となる領域91は石英ガラスから構成され、低屈折率領域92はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

第一のガラスロッド90の外径は100mm、長さは1000mmであった。また、低屈折率領域92の外径は19mmであった。

また、共通クラッド部となる領域91の屈折率（第二の屈折率）を n_{12} 、

低屈折率領域 92 の屈折率（第三の屈折率）を n_{13} とすると、 $n_{13} < n_{12}$ の関係を満たしていた。さらに、低屈折率領域 92 の比屈折率差は 0.7% であった。

[0115] 次に、図 13 に示すように、それぞれの低屈折率領域 92 内において、第二のガラスロッドを挿入する位置に、ドリルによる穿孔加工により、空孔 93 を形成した。

このとき、ドリルツールの先端の外径を 18 mm とし、穿孔加工による加工長を 1000 mm とし、第一のガラスロッド 90 の長手方向に沿って貫通孔を形成し、空孔付きの第一のガラスロッド 90A を得た。

次に、コアとなる部分 101 と、コアとなる部分 101 の周囲に配置されたクラッドとなる部分 102 と、を備えた第二のガラスロッド 100 を 7 本準備した（図 14 参照）。

次に、低屈折率領域 92 内に形成されたそれぞれの空孔 93 内に、上記の第二のガラスロッド 100 を挿入した。

次に、第二のガラスロッド 100 が挿入された第一のガラスロッド 90A を加熱することによって、第一のガラスロッド 90A と第二のガラスロッド 100 を一体化して、図 14 に示すような断面を有するガラス母材 110 を得た。

[0116] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材 110 を線引きすることにより、図 15 に示すような外径 140 μm のマルチコア型の光ファイバ 120 を得た。

光ファイバ 120 は、第二の屈折率を有する共通クラッド 121 と、共通クラッド 121 内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路 130 とから概略構成されている。

光ファイバ導波路 130 は、共通クラッド 121 の中央に 1 つと、その周囲を囲み、共通クラッド 121 に対して同心円状に、ほぼ等間隔に 6 つとが設けられている。

光ファイバ導波路 130 は、コア 131 が、共通クラッド 121 の屈折率

(第二の屈折率)よりも高い屈折率(第一の屈折率)を有する。また、クラッド132が、コア131よりも低い屈折率(第四の屈折率)を有する。

また、光ファイバ導波路130の周囲に低屈折率部122が設けられている。

また、共通クラッド121の屈折率(第二の屈折率)を n_{12} 、低屈折率部122の屈折率(第三の屈折率)を n_{13} とすると、 $n_{13} < n_{12}$ の関係を満たしていた。

[0117] [実施例2]

図24に示すように、共通クラッド部となる領域241内に低屈折率領域242を備えた第一のガラスロッド240を作製した。

低屈折率領域242は、共通クラッド部となる領域241の中央に設けられた低屈折率領域242Aと、低屈折率領域242Aの周囲に、共通クラッド部となる領域241に対して同心円状に設けられた環状の低屈折率領域242Bと、を備えている。

共通クラッド部となる領域241は石英ガラスから構成され、低屈折率領域242はフッ素が添加された石英ガラスから構成されている。

共通クラッド部となる領域241の外径は100mm、長さは1000mmであった。

また、低屈折率領域242の厚さは19mmであった。

また、共通クラッド部となる領域241の屈折率(第二の屈折率)を n_{42} 、低屈折率領域242の屈折率(第三の屈折率)を n_{43} とすると、 $n_{43} < n_{42}$ の関係を満たしていた。さらに、低屈折率領域242の比屈折率差は0.7%であった。

[0118] 次に、図25に示すように、低屈折率領域242内において、第二のガラスロッドを挿入する位置に、ドリルによる穿孔加工により、空孔243を形成した。この穿孔加工では、低屈折率領域242A内に1つの空孔243を形成し、低屈折率領域242B内に、互いに離隔して、共通クラッド部となる領域241に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つの空孔243を形成し

た。

このとき、ドリルツールの先端の外径を18mmとし、穿孔加工による加工長を1000mmとし、第一のガラスロッド240の長手方向に沿って貫通孔を形成し、空孔付きの第一のガラスロッド240Aを得た。

次に、コアとなる部分251と、コアとなる部分251の周囲に配置されたクラッドとなる部分252と、を備えた第二のガラスロッド250を7本準備した(図26参照)。

次に、低屈折率領域242内に形成されたそれぞれの空孔243内に、上記の第二のガラスロッド250を挿入した。

次に、第二のガラスロッド250が挿入された第一のガラスロッド240Aを加熱することによって、第一のガラスロッド240Aと第二のガラスロッド250を一体化して、図26に示すような断面を有するガラス母材260を得た。

[0119] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材260を線引きすることにより、図27に示すような外径140μmのマルチコア型の光ファイバ270を得た。

光ファイバ270は、第二の屈折率を有する共通クラッド271と、共通クラッド271の中央に配置された低屈折率部272(272A)と、低屈折率部272(272A)内に配置された1つの光ファイバ導波路280と、共通クラッド271内に、共通クラッド271に対して同心円状に配置された環状の低屈折率部272(272B)と、低屈折率部272(272B)内に、互いに離隔して、共通クラッド271に対して同心円状に、ほぼ等間隔に配置された6つの光ファイバ導波路280とから概略構成されている。

光ファイバ導波路280は、コア281が、共通クラッド271の屈折率(第二の屈折率)よりも高い屈折率(第一の屈折率)を有する。また、クラッド282が、コア281よりも低い屈折率(第四の屈折率)を有する。

また、光ファイバ導波路280の周囲に低屈折率部272が設けられてい

る。

また、共通クラッド271の屈折率（第二の屈折率）を n_{42} 、低屈折率部272の屈折率（第三の屈折率）を n_{43} とすると、 $n_{43} < n_{42}$ の関係を満たしていた。

[0120] [比較例]

図32に示すように、共通クラッド部となる領域341と、領域341の中央に、コアとなる部分351、コアとなる部分351の周囲に配置されたクラッドとなる部分352、および、部分352の周囲に配置されたフッ素が添加された低屈折率部353を備えた第二のガラスロッド350とを有する第一のガラスロッド340を作製した。

第一のガラスロッド340の外径は100mm、長さは1000mmであった。

また、共通クラッド部となる領域341の屈折率を n_{102} 、低屈折率部353の屈折率を n_{103} とすると、 $n_{103} < n_{102}$ の関係を満たしていた。

[0121] 次に、図33に示すように、共通クラッド部となる領域341において、コア材を挿入する位置（ここでは、低屈折率部353の周囲）に、ドリルによる穿孔加工により、共通クラッド部となる領域341に対して同心円状に、ほぼ等間隔に6つの空孔342を形成した。

このとき、ドリルツールの先端の外径を18mmとし、穿孔加工による加工長を1000mmとし、第一のガラスロッド340の長手方向に沿って貫通孔を形成し、空孔付きの第一のガラスロッド340Aを得た。

次に、コアとなる部分351、コアとなる部分351の周囲に配置されたクラッドとなる部分352、および、その周囲に配置されたフッ素が添加された低屈折率部353を備えた第二のガラスロッド350を6本準備した（図34参照）。

次に、共通クラッド部となる領域341内に形成されたそれぞれの空孔342内に、上記の第二のガラスロッド350を挿入した。

次に、第二のガラスロッド350が挿入された第一のガラスロッド340

Aを加熱することによって、第一のガラスロッド340Aと第二のガラスロッド350を一体化して、図34に示すような断面を有するガラス母材360を得た。

[0122] 次に、上記の方法で製造されたガラス母材360を線引きすることにより、図35に示すような外径140 μ mのマルチコア型の光ファイバ370を得た。

光ファイバ370は、共通クラッド371と、共通クラッド371の中央に配置された光ファイバ導波路380と、共通クラッド371内において、中央に配置された光ファイバ導波路380の周囲に、互いに離隔して、共通クラッド371に対して同心円状に配置された6つの光ファイバ導波路380とから概略構成されている。

光ファイバ導波路380は、コア371と、コア371の周囲に配置されたクラッド372と、クラッド372の周囲に配置されたフッ素が添加された低屈折率領部373とから構成されている。

また、クラッド361の屈折率を n_{102} 、低屈折率領部373の屈折率を n_{103} とすると、 $n_{103} < n_{102}$ の関係を満たしていた。

[0123] [評価]

実施例1および2と比較例について、以下の3つの方法により、加工曲がり量の評価を行った。

(1) 空孔付きの第一のガラスロッドの空孔位置の計測による加工曲がり量の評価

実施例1および2と比較例の第一のガラスロッドに穿孔加工を行った後、図36に示すように、第一のガラスロッド390の加工開始端面391と加工終了端面392において、空孔393の位置を計測した。

ここで、加工開始端面391において、第一のガラスロッド390の中心(コア394の中心)から、6つの空孔393の中心までの距離をそれぞれ R_{s1} 、 R_{s2} 、 R_{s3} 、 R_{s4} 、 R_{s5} 、 R_{s6} と定義し、距離 $R_{s1} \sim R_{s6}$ を計測した。そして、これらの距離 $R_{s1} \sim R_{s6}$ の平均値を加工開

始端面 391 における空孔位置 R_s と定義した。

同様に、加工終了端面 392 において、第一のガラスロッド 390 の中心（コア 394 の中心）から、6 つの空孔 393 の中心までの距離をそれぞれ R_{e1} 、 R_{e2} 、 R_{e3} 、 R_{e4} 、 R_{e5} 、 R_{e6} と定義し、距離 $R_{e1} \sim R_{e6}$ を計測した。そして、これらの距離 $R_{e1} \sim R_{e6}$ の平均値を加工終了端面 392 における空孔位置 R_e と定義した。

そして、第一のガラスロッド 390 における加工曲がり量 ΔR を $|R_s - R_e|$ と定義した。即ち、加工曲がり量 ΔR を「 $R_s - R_e$ 」の絶対値と定義した。結果を表 1 に示す。

[0124] (2) 光ファイバのコアの位置の計測による加工曲がり量の評価

実施例 1 および 2 と比較例で得られた光ファイバについて、図 37 に示すように、上記の加工開始端面に相当する端面と加工終了端面に相当する端面において、光学顕微鏡により、コア間の距離を計測した。

加工開始端面に相当する端面において、中央のコア 401 の中心から、6 つの外側にあるコア 402 の中心までの距離をそれぞれ Λ_{s1} 、 Λ_{s2} 、 Λ_{s3} 、 Λ_{s4} 、 Λ_{s5} 、 Λ_{s6} と定義し、距離 $\Lambda_{s1} \sim \Lambda_{s6}$ を計測した。そして、これらの距離 $\Lambda_{s1} \sim \Lambda_{s6}$ の平均値を加工開始端面に相当する端面におけるコア間距離 Λ_s と定義した。

同様に、加工終了端面に相当する端面において、中央のコア 401 の中心から、6 つの外側コア 402 の中心までの距離をそれぞれ Λ_{e1} 、 Λ_{e2} 、 Λ_{e3} 、 Λ_{e4} 、 Λ_{e5} 、 Λ_{e6} と定義し、距離 $\Lambda_{e1} \sim \Lambda_{e6}$ を計測した。そして、これらの距離 $\Lambda_{e1} \sim \Lambda_{e6}$ の平均値を加工終了端面に相当する端面におけるコア間距離 Λ_e と定義した。

そして、光ファイバ 400 における加工曲がり量 $\Delta \Lambda$ を $|\Lambda_s - \Lambda_e|$ と定義した。即ち、加工曲がり量 $\Delta \Lambda$ を「 $\Lambda_s - \Lambda_e$ 」の絶対値と定義した。結果を表 1 に示す。

[0125] (3) 光ファイバのクロストークの評価

実施例 1 および 2 と比較例で得られた光ファイバについて、以下示す方法

によりクロストークを測定した。

光源から、光ファイバの一端面（第１端面）において、いずれかのコア（例えば、中央に設けられたコア）に光を入射させ、光ファイバの他端面において、光を入射したコア（例えば、中央に設けられたコア）から出力した光の強度を測定する。

また、光ファイバの他端面（第１端面とは反対側の第２端面）において、光を入射したコアとは異なるコア（例えば、中央に設けられたコアの周囲を囲むように設けられたコア）から出力した光の強度を測定する。

そして、光を入射したコア（例えば、中央に設けられたコア）から出力した光の強度と、光を入射したコアとは異なるコア（例えば、中央に設けられたコアの周囲を囲むように設けられたコア）から出力した光の強度との比率から、クロストーク値を算出する。

結果を表１に示す。

[0126] [表1]

	加工曲がり量 ΔR (mm)	加工曲がり量 ΔA (μm)	クロストーク (dB)
実施例 1	0.4	0.6	-34
実施例 2	0.2	0.3	-35
比較例	1.0	1.4	-33

[0127] 表１の結果から、実施例１および２は、比較例に比べて、加工曲がり小さいことが分かった。これにより、本発明は、加工曲がりの抑制に有効であることが確認された。

なお、加工曲がり量 ΔA が大きい程、コア間距離が近付くことを示しているとともに、コア間クロストークが劣化することを意味している。したがって、加工曲がり大きい比較例では、加工曲がり量 ΔA が大きくなっており、その結果、クロストークが劣化していることが分かる。

符号の説明

[0128] １・・・高屈折率コア、２・・・内側クラッド、３・・・低屈折率クラッド

ド、４・・・外側クラッド、２１・・・石英ガラス部、２２・・・フッ素添加石英ガラス部、２３・・・加工面、３１・・・純シリカコア、３２・・・フッ素添加クラッド、３３・・・低屈折率フッ素添加クラッド、４０・・・第一のガラスロッド、４１・・・共通クラッド部となる領域、４２・・・低屈折率領域、４３・・・空孔、５０・・・第二のガラスロッド、５１・・・コアとなる部分、５２・・・クラッドとなる部分、６０・・・ガラス母材、７０・・・光ファイバ、７１・・・共通クラッド、７２・・・低屈折率部、８０・・・光ファイバ導波路、８１・・・コア、８２・・・クラッド、１９０・・・第一のガラスロッド、１９１・・・共通クラッド部となる領域、１９２・・・低屈折率領域、１９３・・・空孔、２００・・・第二のガラスロッド、２０１・・・コアとなる部分、２０２・・・クラッドとなる部分、２１０・・・ガラス母材、２２０・・・光ファイバ、２２１・・・共通クラッド、２２２・・・低屈折率部、２３０・・・光ファイバ導波路、２３１・・・コア、２３２・・・クラッド。

請求の範囲

[請求項1]

複数のコアを有する光ファイバの製造方法であって、

第二の屈折率を有する共通クラッド部となる領域内に互いに離隔して配置された複数の低屈折率領域を備え、前記低屈折率領域にはフッ素が添加され、かつ、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有する第一のガラスロッドを準備し、

前記複数の低屈折率領域のそれぞれの内部に空孔を形成し、

前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアとなる部分と、前記コアとなる部分の周囲に配置され、前記第一の屈折率よりも低い第四の屈折率を有するクラッドとなる部分と、を備えた第二のガラスロッドを複数準備し、

前記複数の低屈折率領域内に形成されたそれぞれの空孔内に前記第二のガラスロッドを挿入し、

前記第一のガラスロッドと前記第二のガラスロッドとを一体化してガラス母材を作製し、

前記ガラス母材を線引きする線引きする光ファイバの製造方法。

[請求項2]

複数のコアを有する光ファイバの製造方法であって、

第二の屈折率を有する共通クラッド部となる領域内に環状の低屈折率領域を備え、前記低屈折率領域にはフッ素が添加され、かつ、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有する第一のガラスロッドを準備し、

前記低屈折率領域内に、互いに離隔する複数の空孔を形成し、

前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアとなる部分と、前記コアとなる部分の周囲に配置され、前記第一の屈折率よりも低い第四の屈折率を有するクラッドとなる部分と、を備えた第二のガラスロッドを複数準備し、

前記低屈折率領域内に形成されたそれぞれの空孔内に前記第二のガラスロッドを挿入し、

前記第一のガラスロッドと前記第二のガラスロッドとを一体化してガラス母材を作製し、

前記ガラス母材を線引きする線引きする光ファイバの製造方法。

[請求項3] 前記第一のガラスロッドを準備する際に、前記共通クラッド部となる領域の中央に前記低屈折率領域を設け、

前記空孔を形成する際に、前記共通クラッド部となる領域に形成された前記低屈折率領域内に空孔を形成する請求項2に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項4] 前記第一のガラスロッドを準備する際に、前記共通クラッド部となる領域に、同心円状に前記低屈折率領域を複数設ける請求項2又は請求項3に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項5] 前記ガラス母材の作製と、前記線引きとを同時に行う請求項1から請求項4のいずれか一項に記載の光ファイバの製造方法。

[請求項6] 複数のコアを有する光ファイバであって、
第二の屈折率を有する共通クラッドと、
前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアと、前記コアの周囲に配置されて前記第四の屈折率を有するクラッドとを備えるとともに、前記共通クラッド内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路と、

前記光ファイバ導波路の周囲に設けられ、フッ素が添加され、前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有する低屈折率部と
を含む光ファイバ。

[請求項7] 複数のコアを有する光ファイバであって、
第二の屈折率を有する共通クラッドと、
前記第二の屈折率よりも低い第三の屈折率を有するとともに、フッ素が添加され、前記共通クラッド内に設けられた環状の低屈折率部と、
、

前記第二の屈折率よりも高い第一の屈折率を有するコアと、前記コ

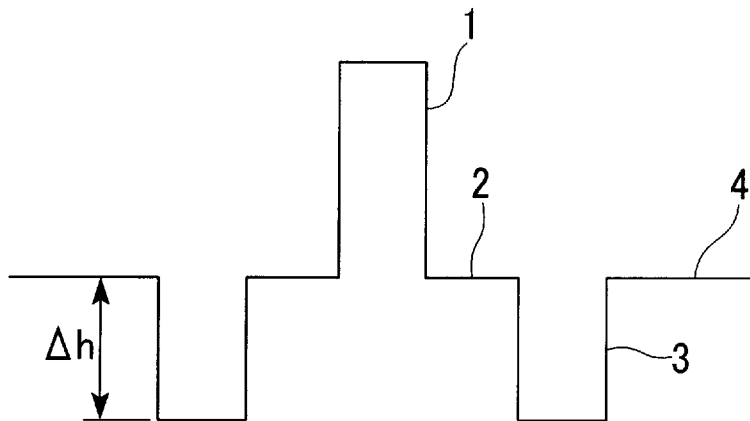
アの周囲に配置されて前記第四の屈折率を有するクラッドとを備えるとともに、前記低屈折率部内に互いに離隔して配置された複数の光ファイバ導波路と、

を含む光ファイバ。

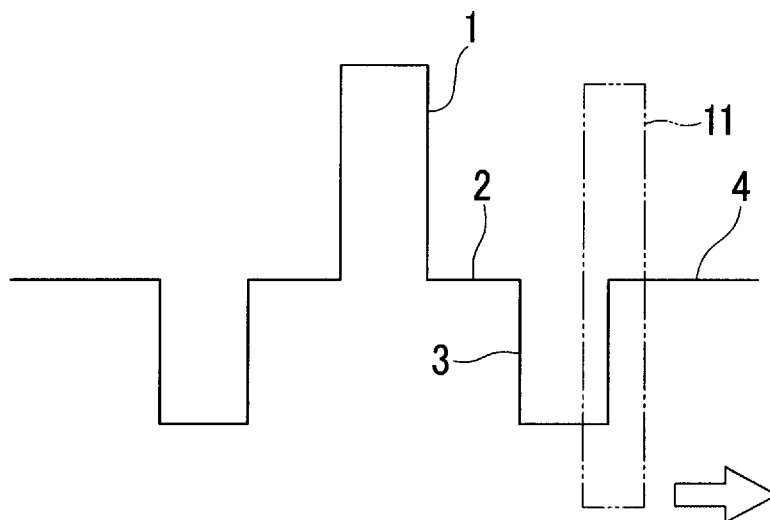
[請求項8] 前記共通クラッドの中央に、前記光ファイバ導波路が設けられ、当該光ファイバ導波路の周囲に前記低屈折率部が設けられた請求項7に記載の光ファイバ。

[請求項9] 前記共通クラッド内に、同心円状に前記低屈折率部が複数設けられた請求項7又は請求項8に記載の光ファイバ。

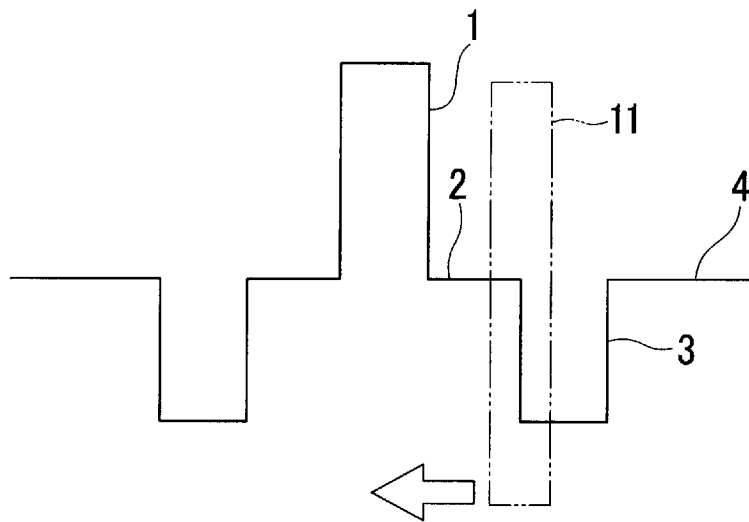
[図1]



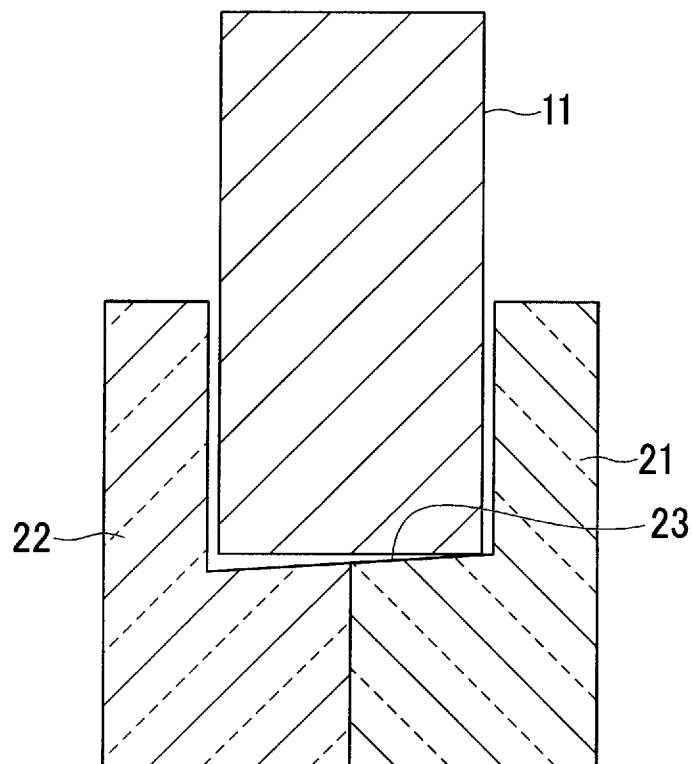
[図2]



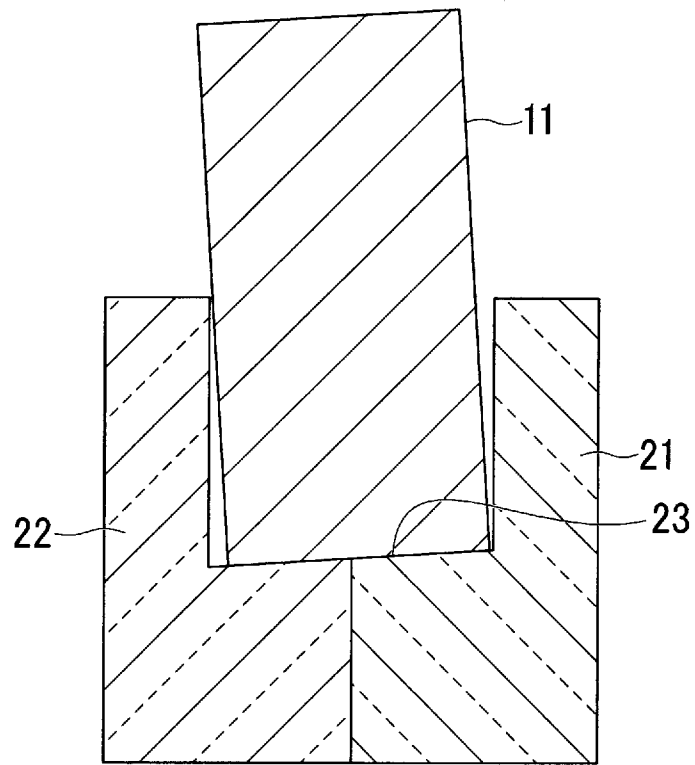
[図3]



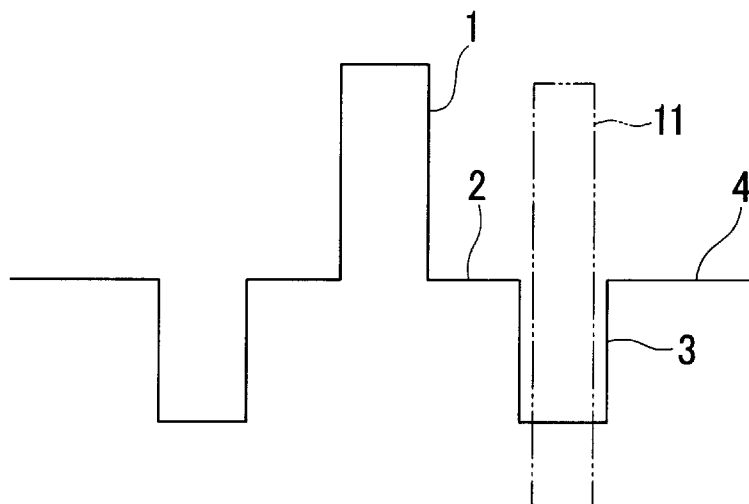
[図4]



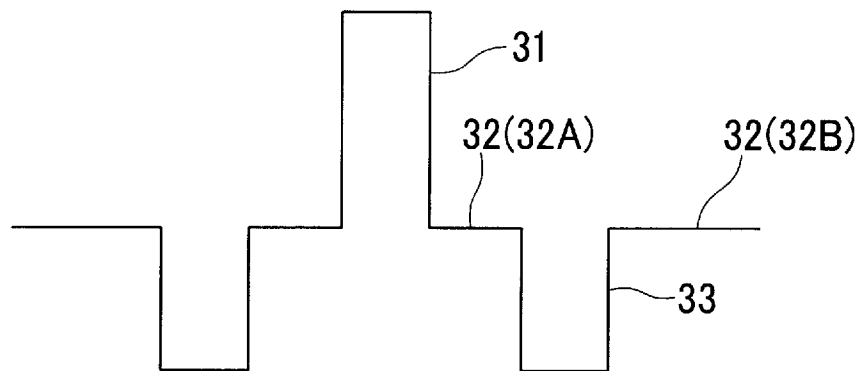
[図5]



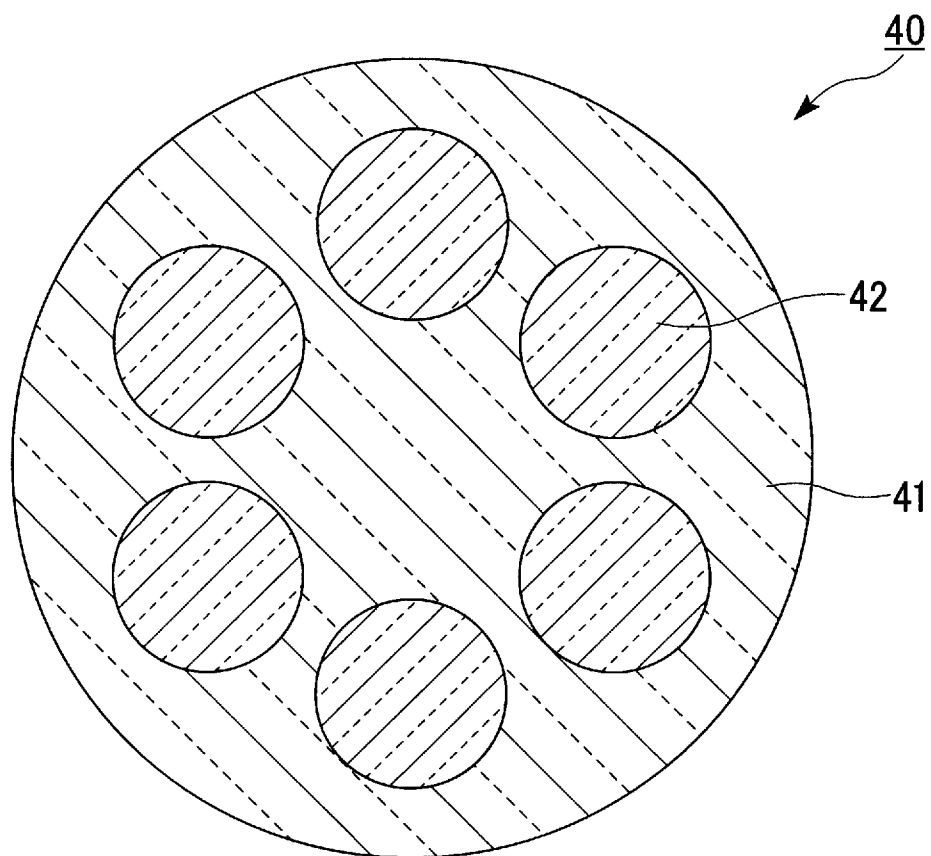
[図6]



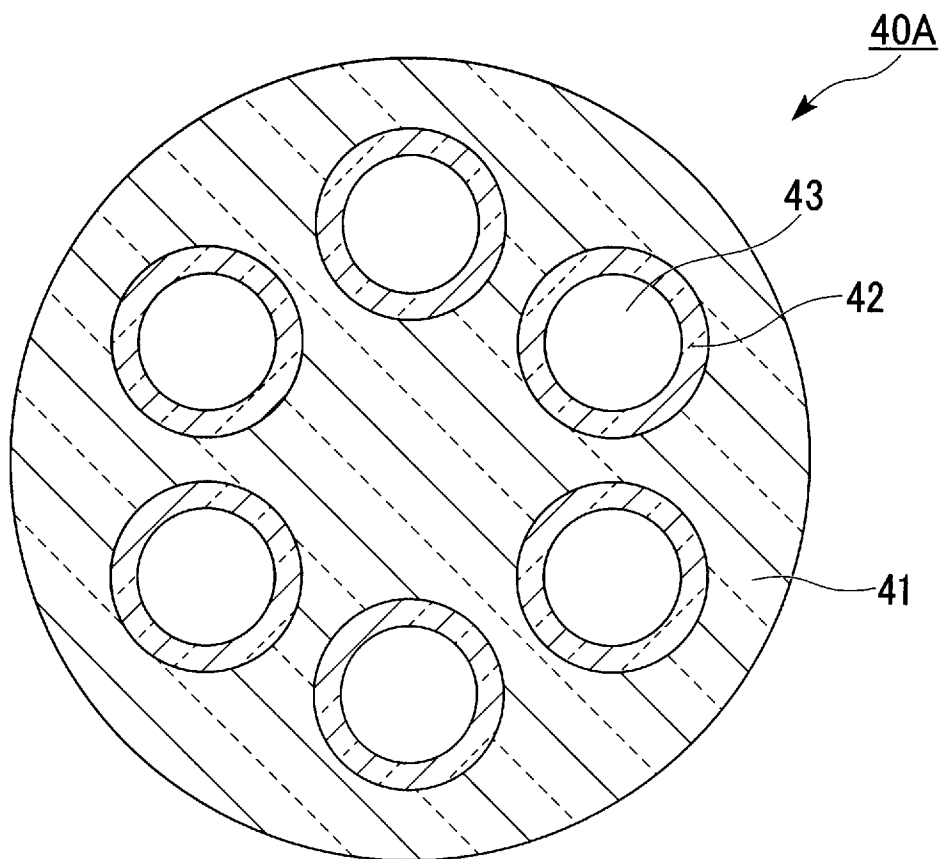
[図7]



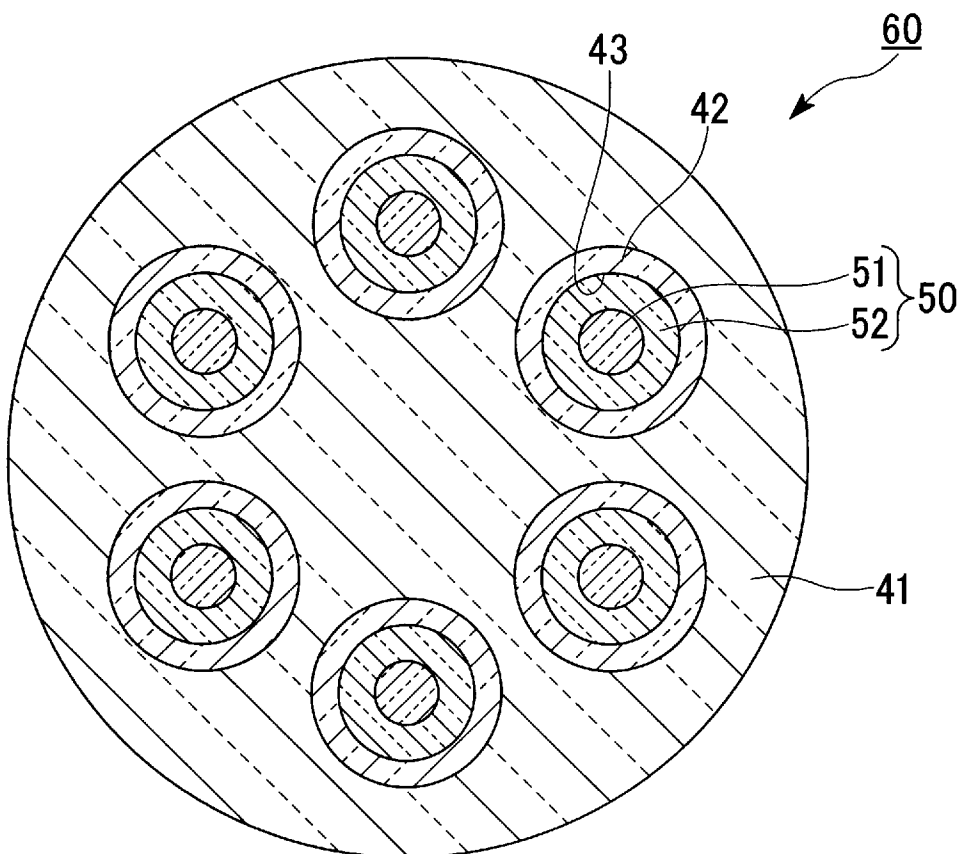
[図8]



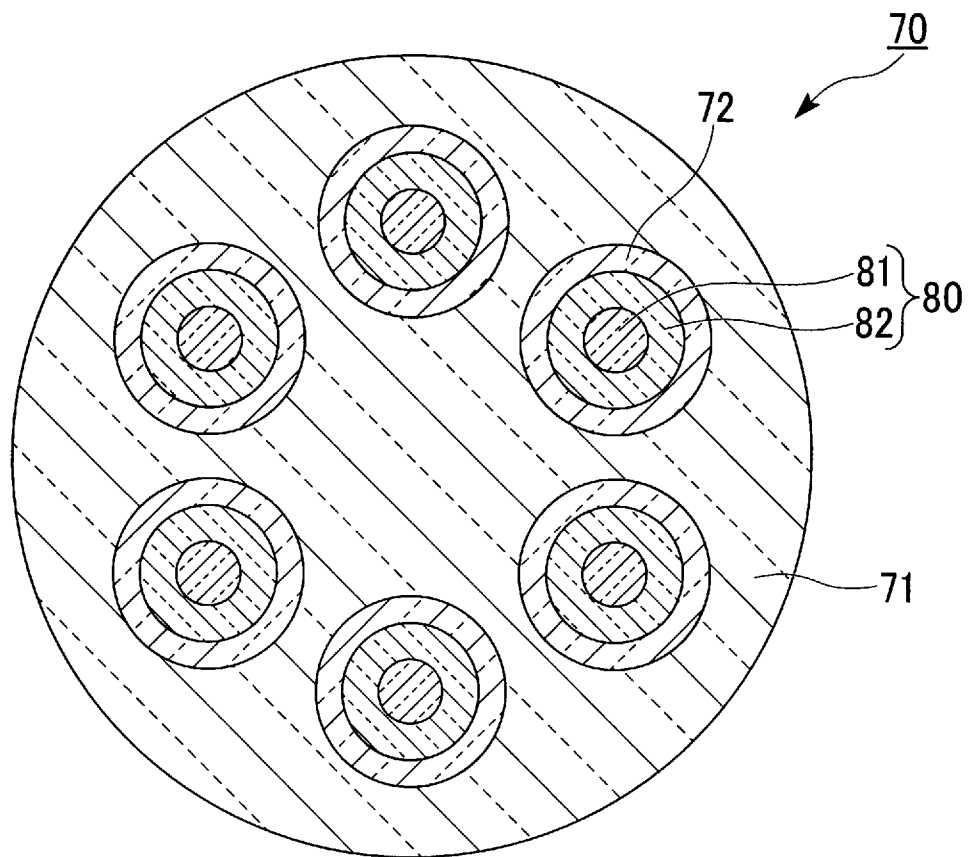
[図9]



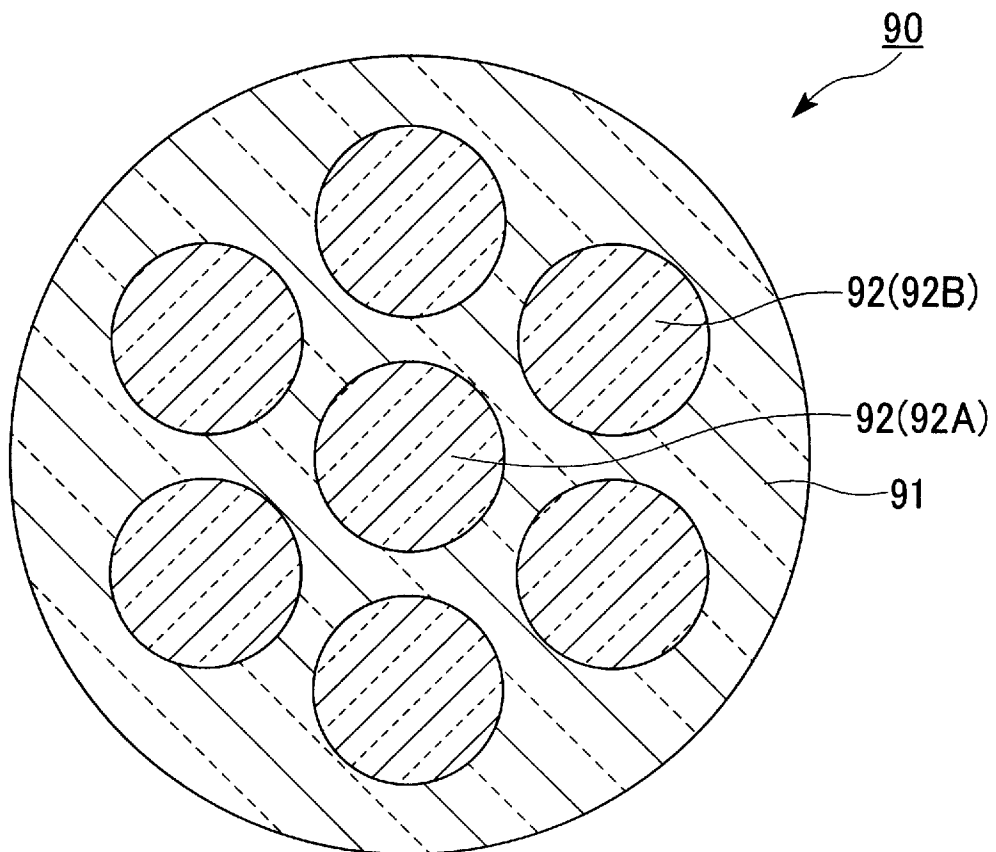
[図10]



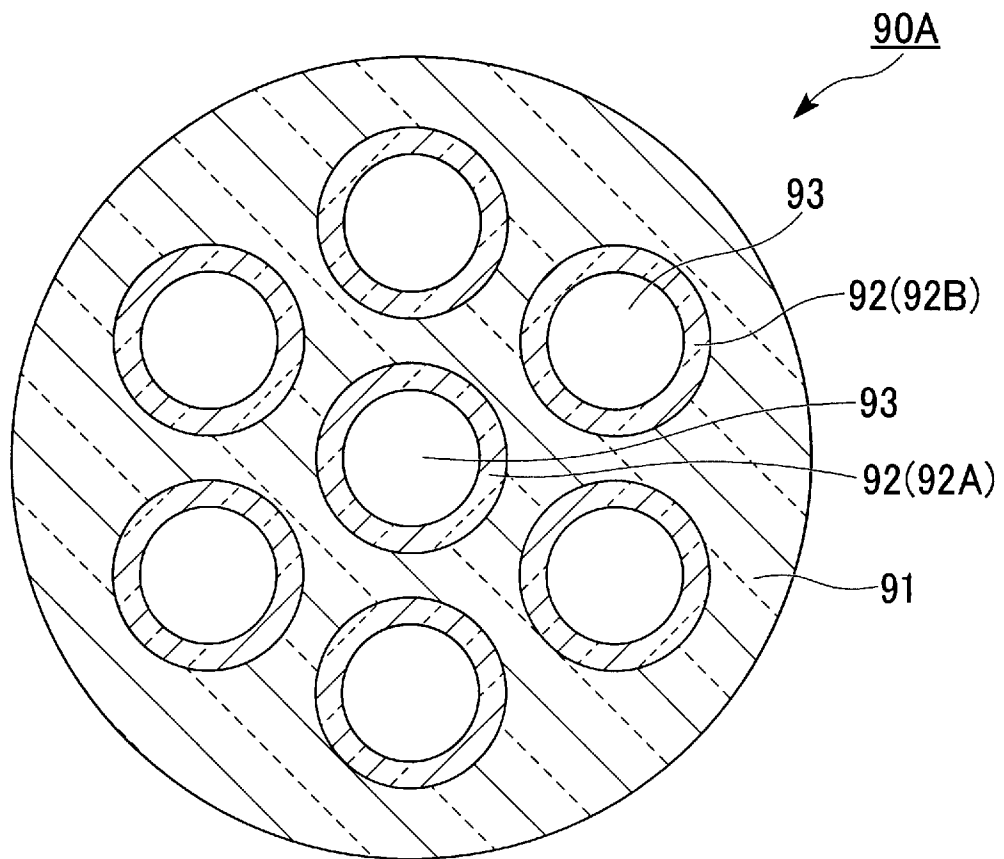
[図11]



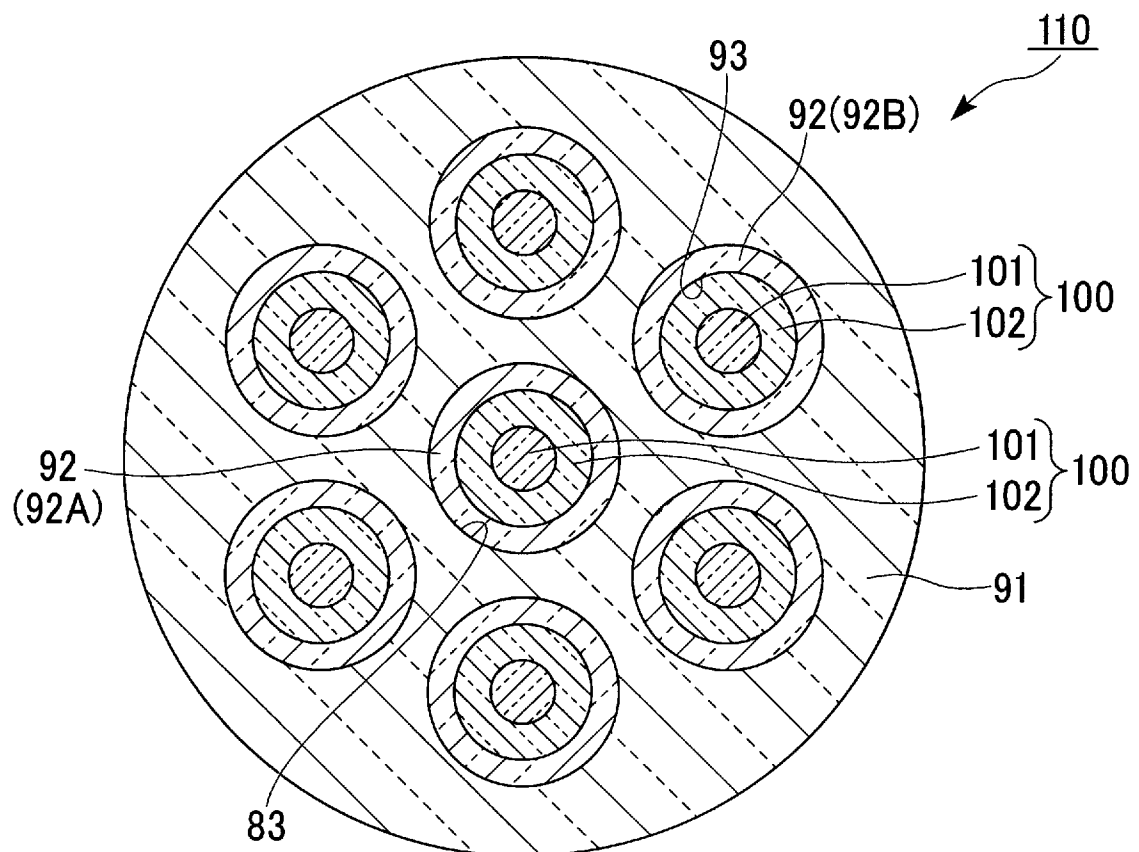
[図12]



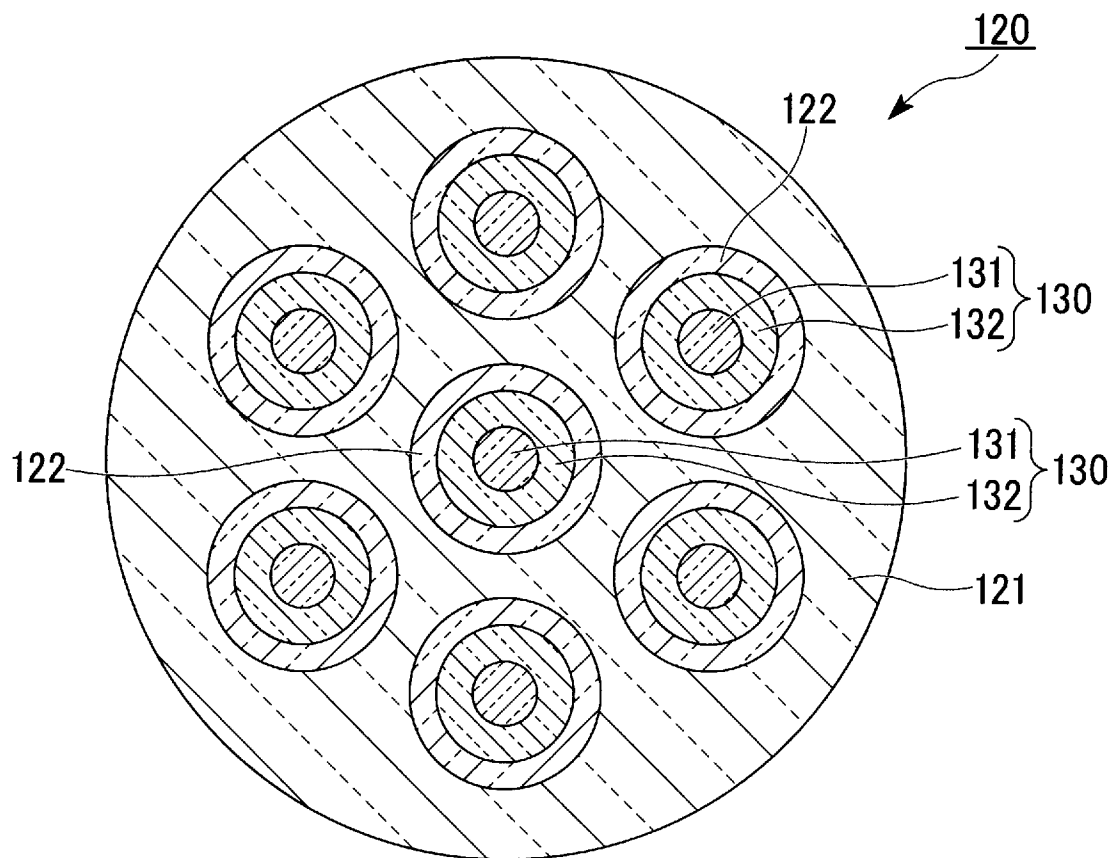
[図13]



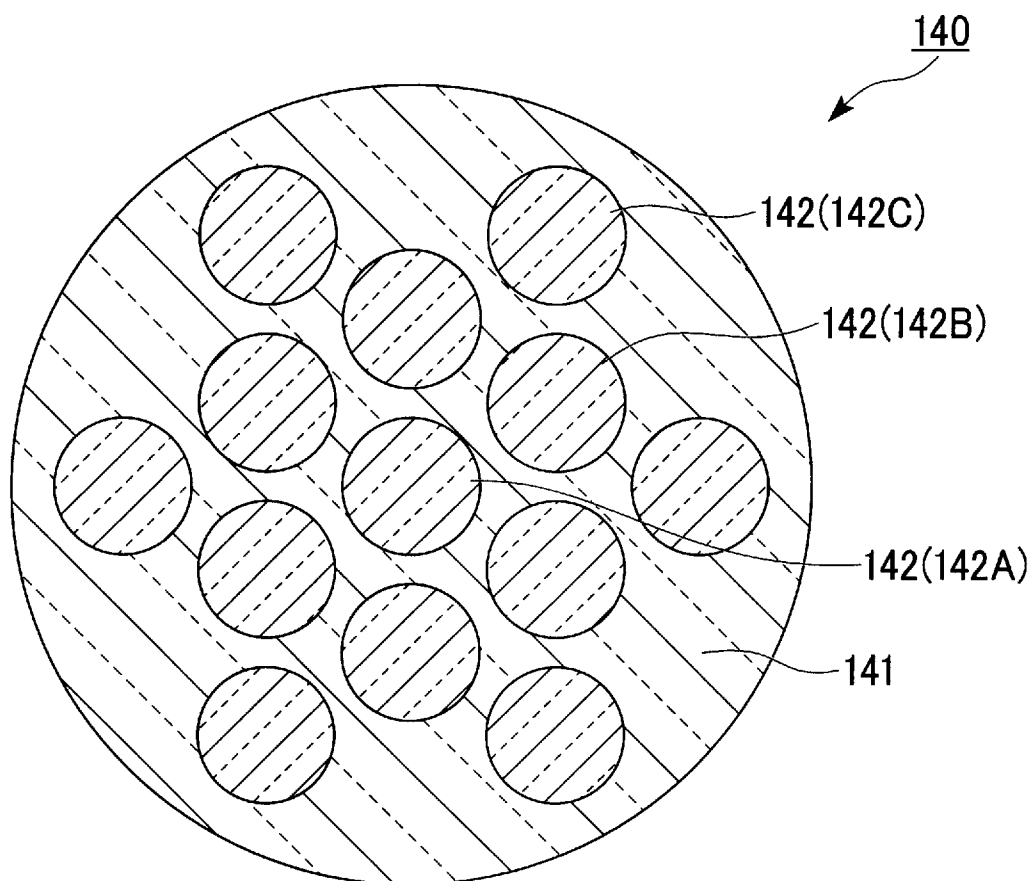
[図14]



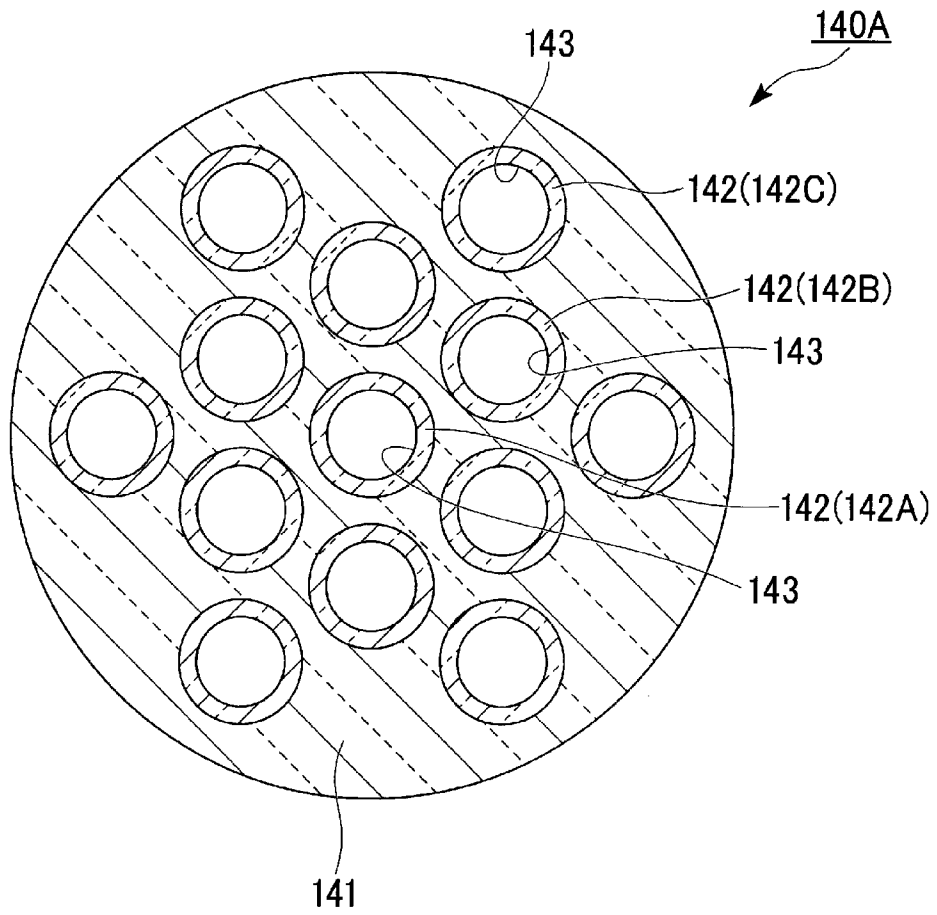
[図15]



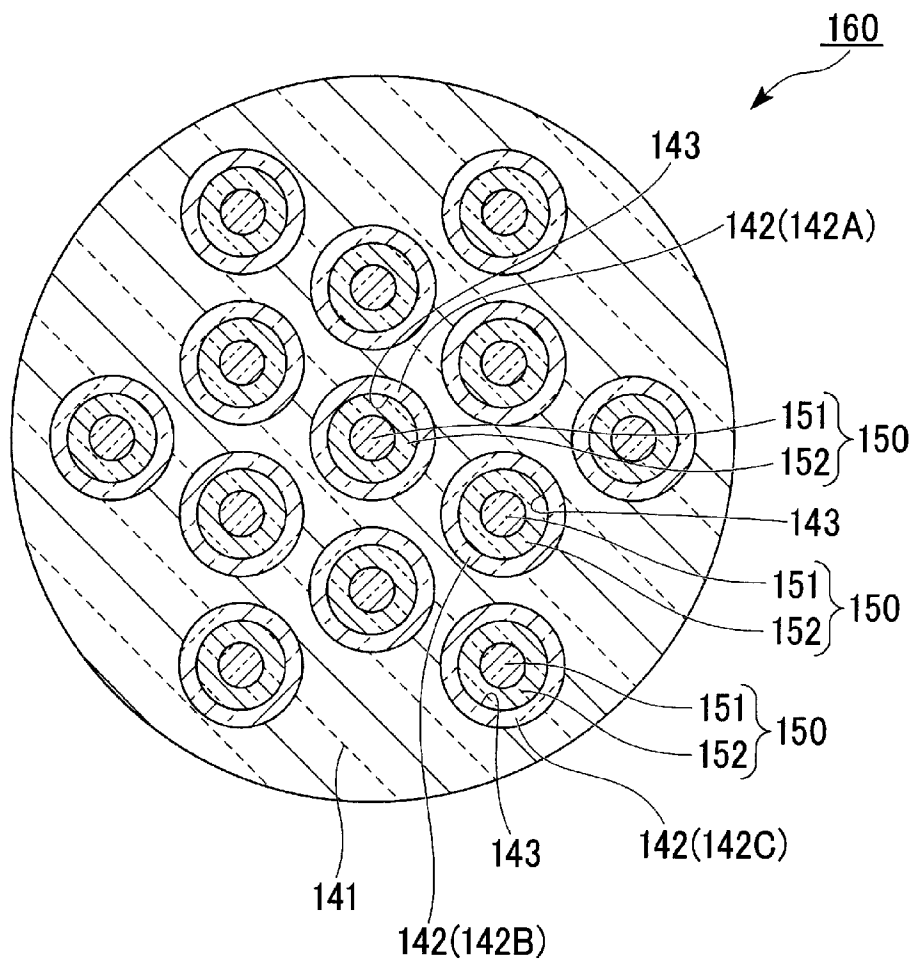
[図16]



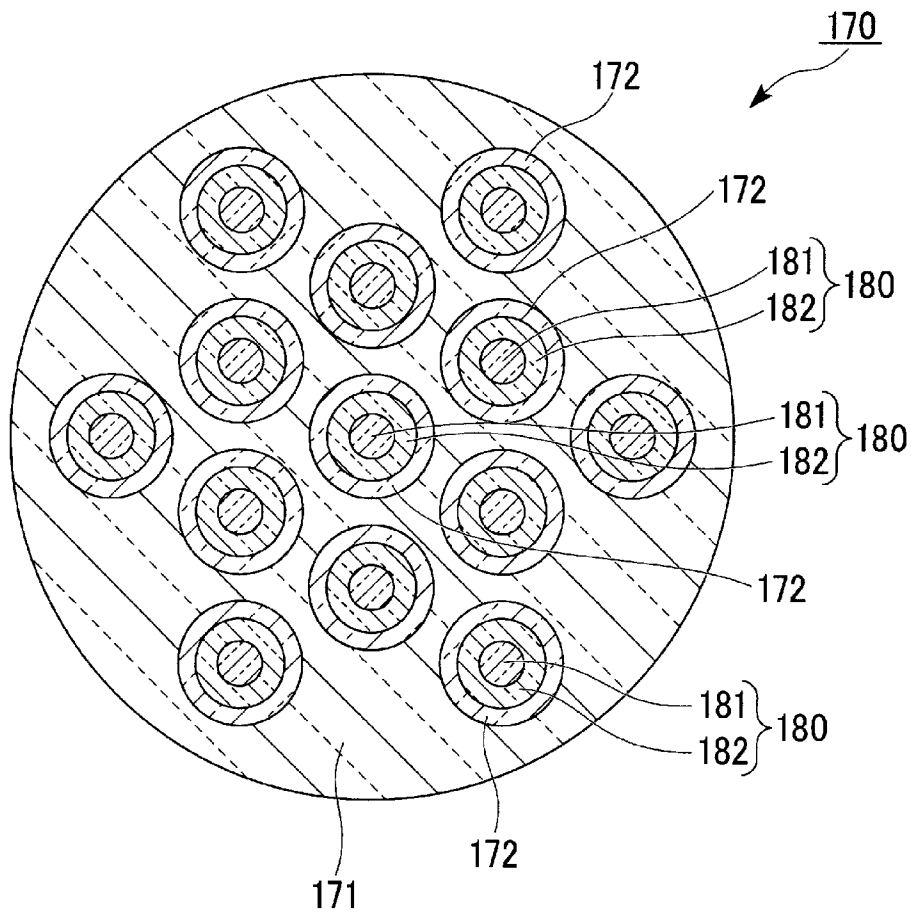
[図17]



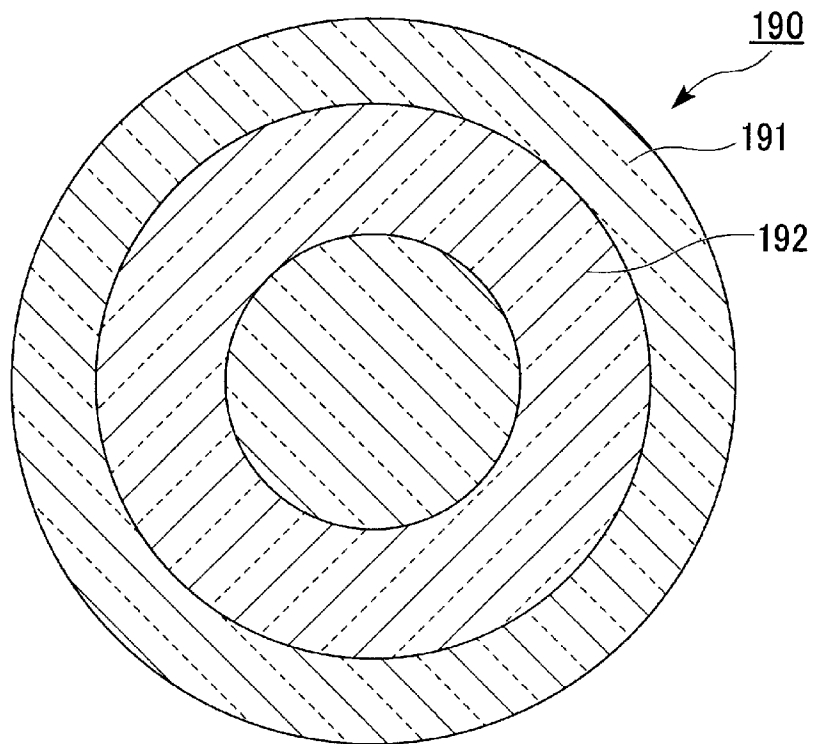
[図18]



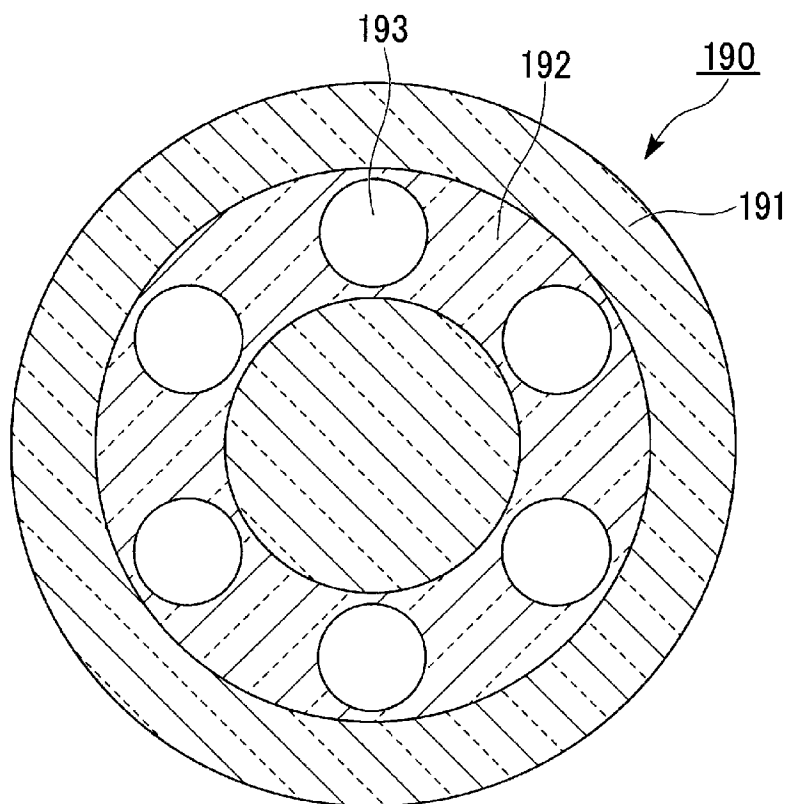
[図19]



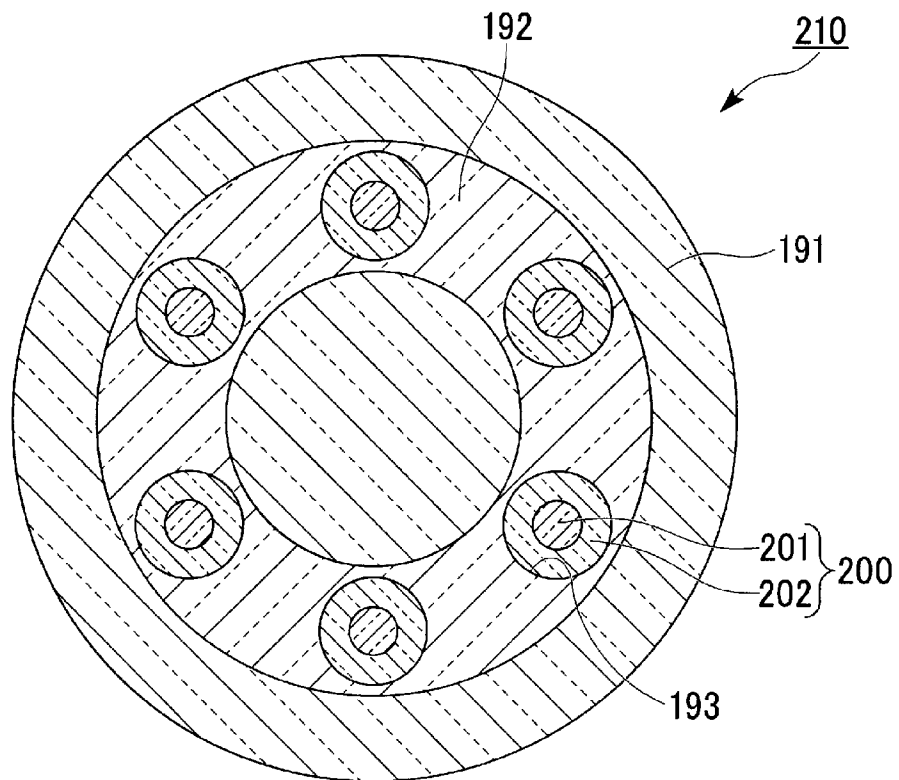
[図20]



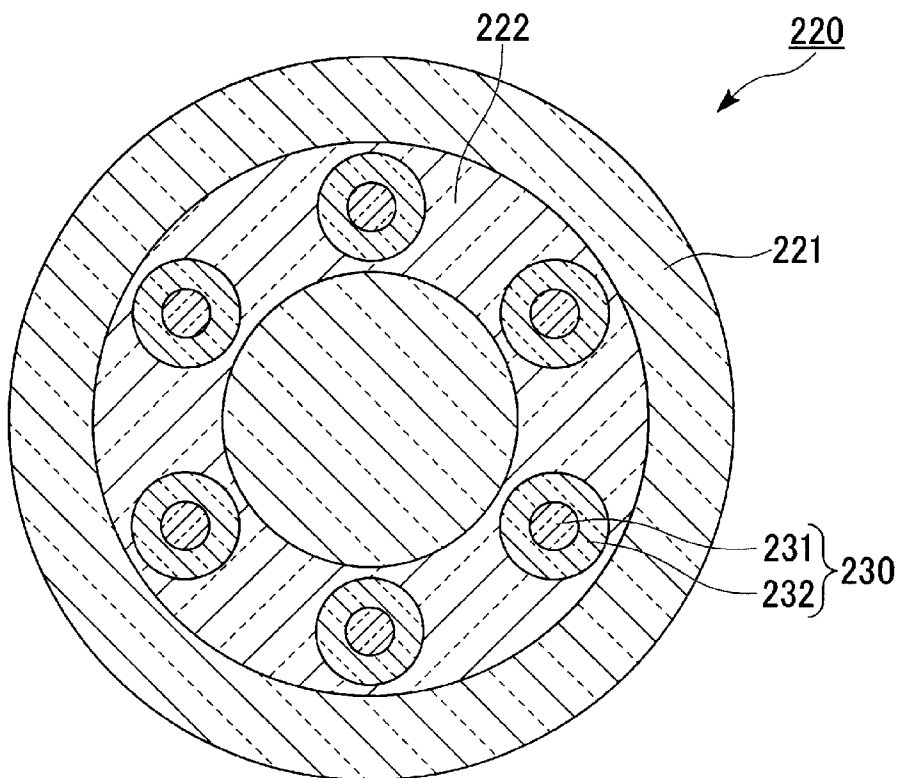
[図21]



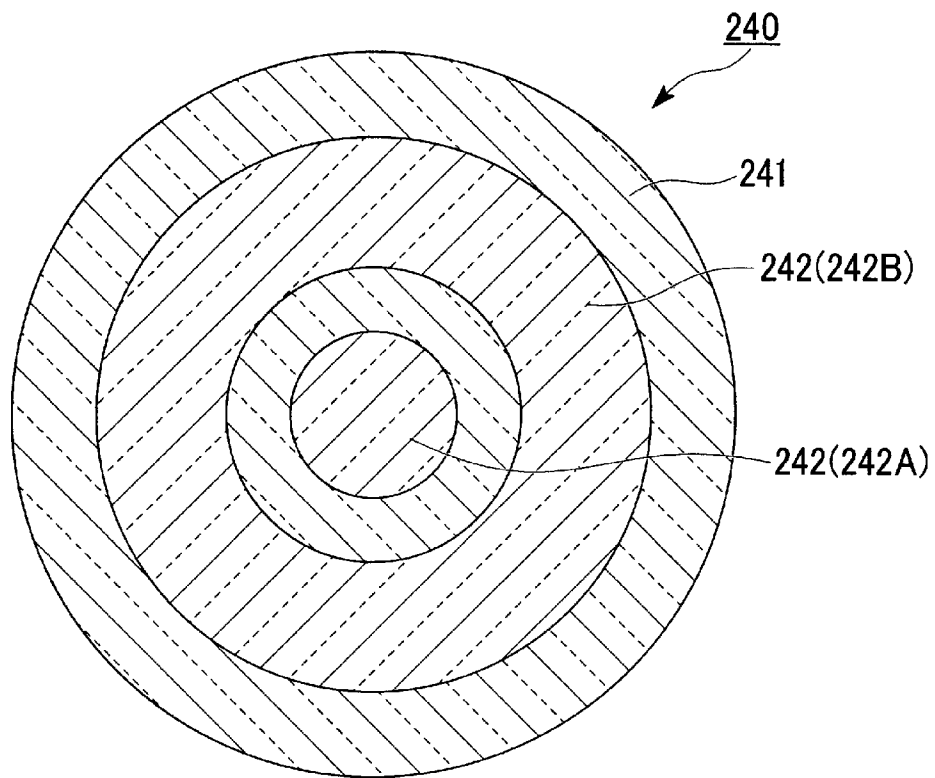
[図22]



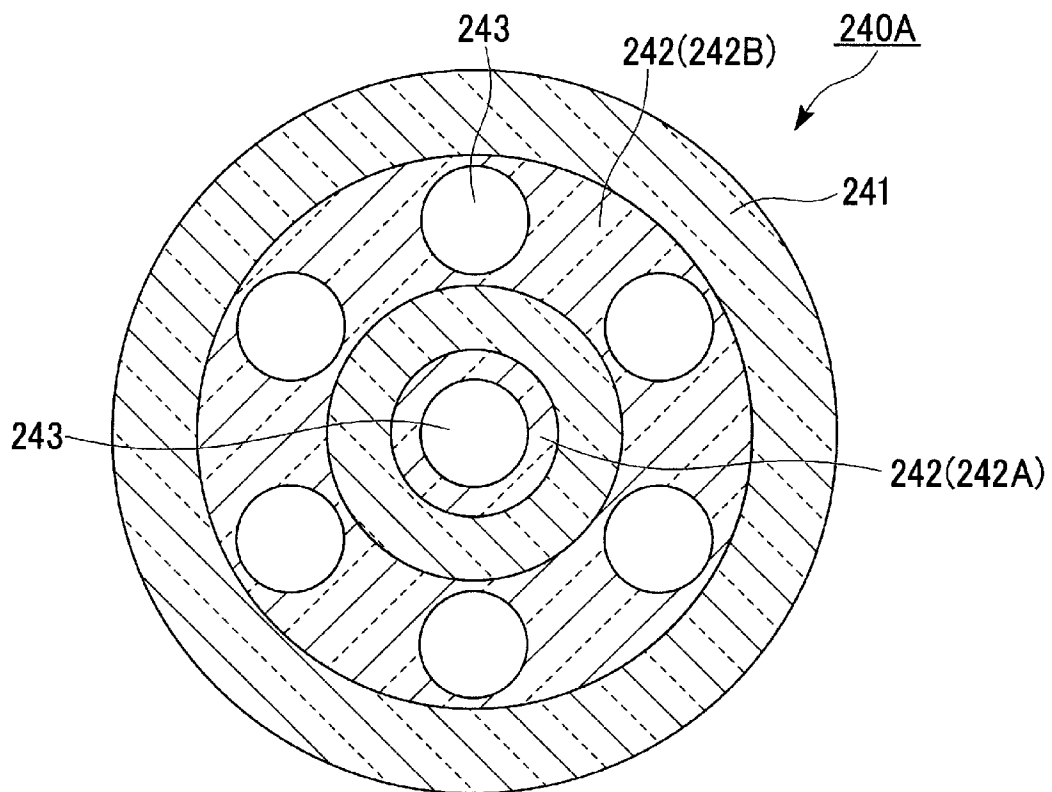
[図23]



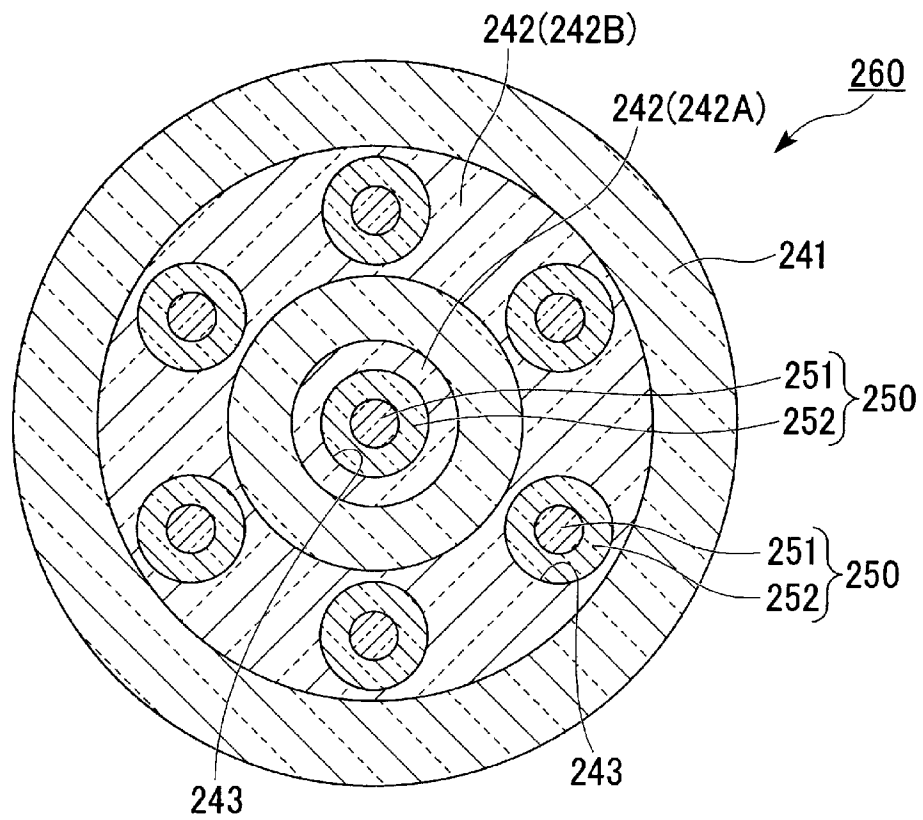
[図24]



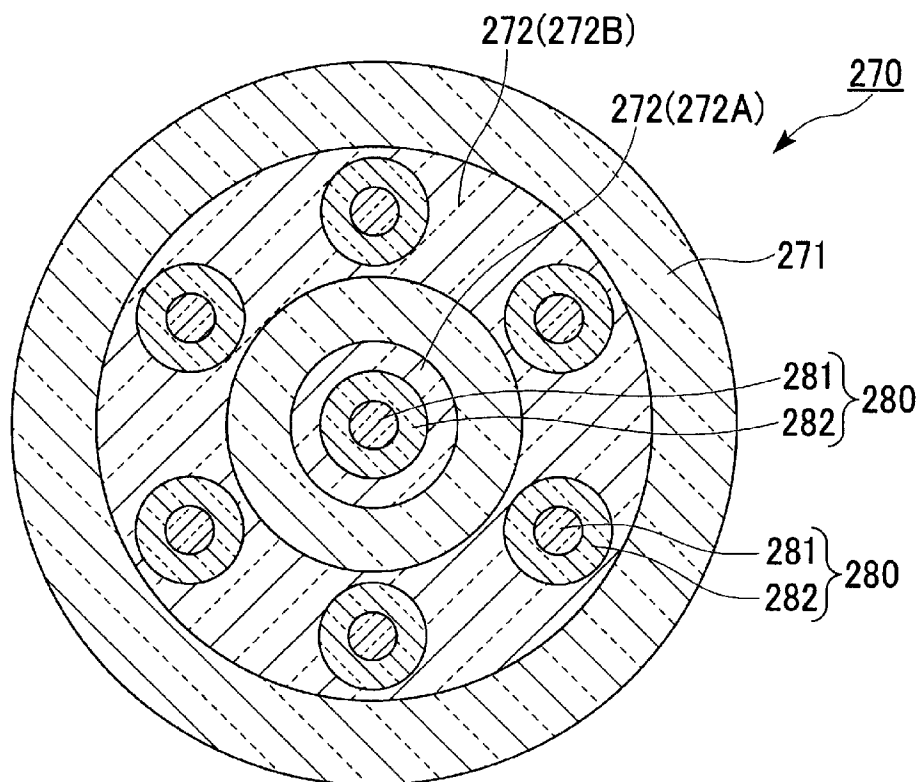
[図25]



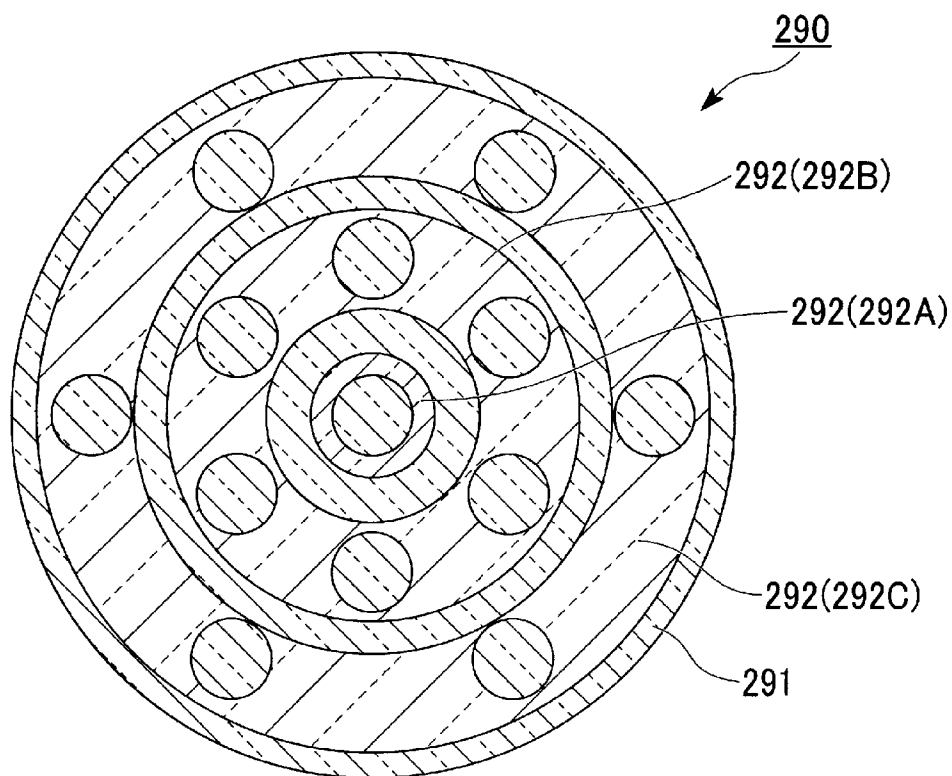
[図26]



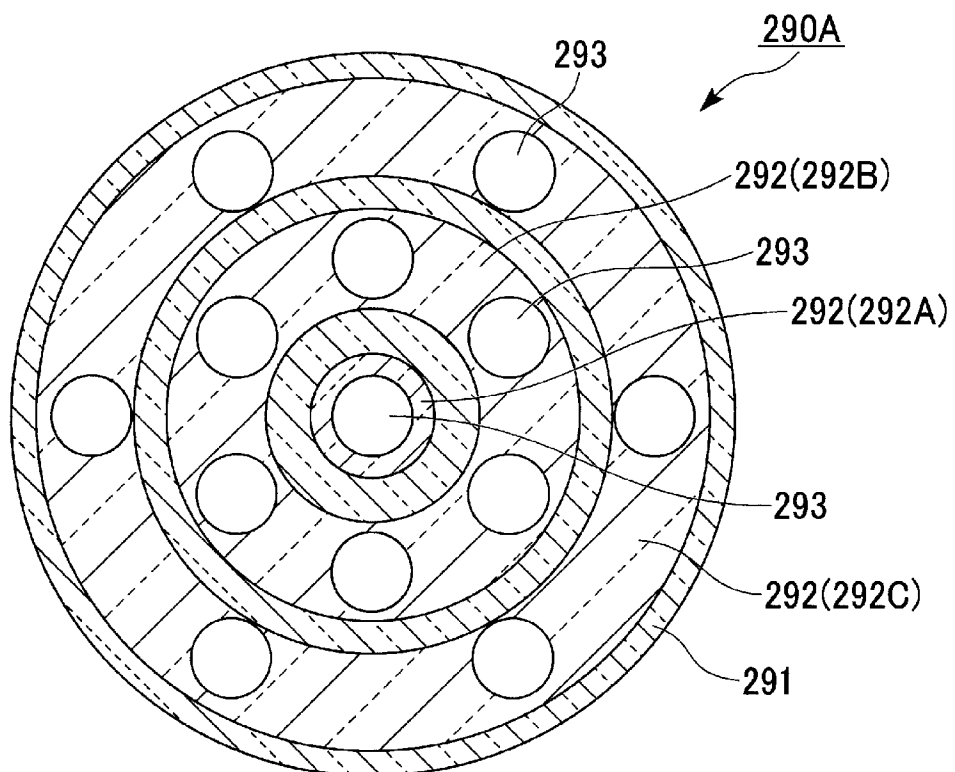
[図27]



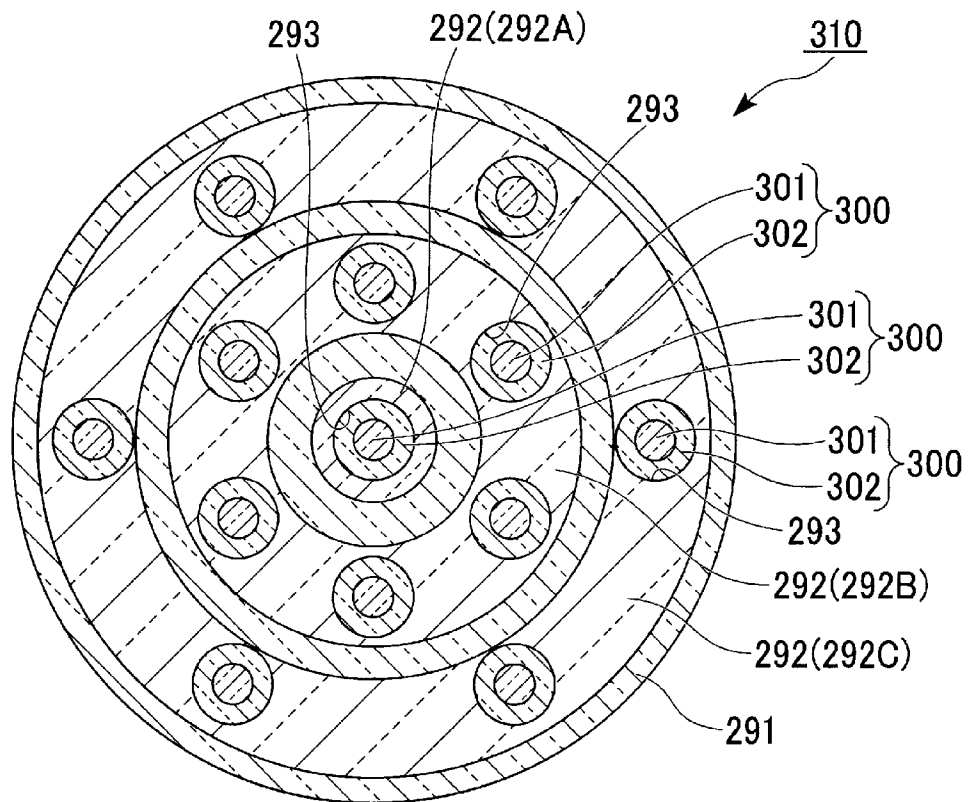
[図28]



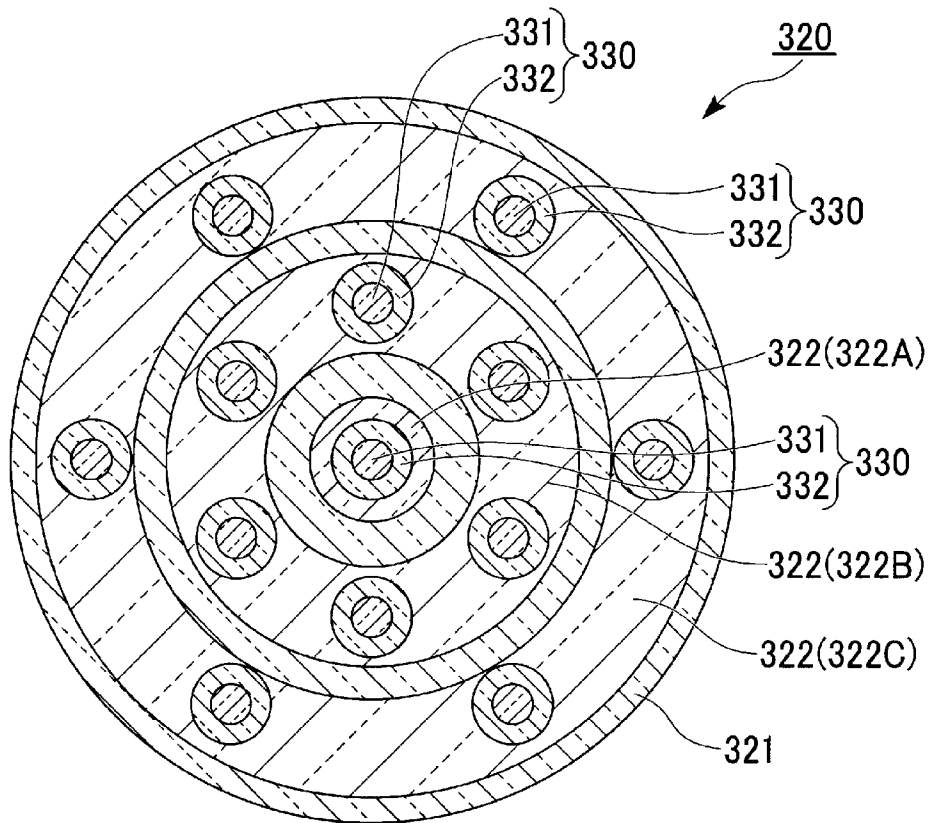
[図29]



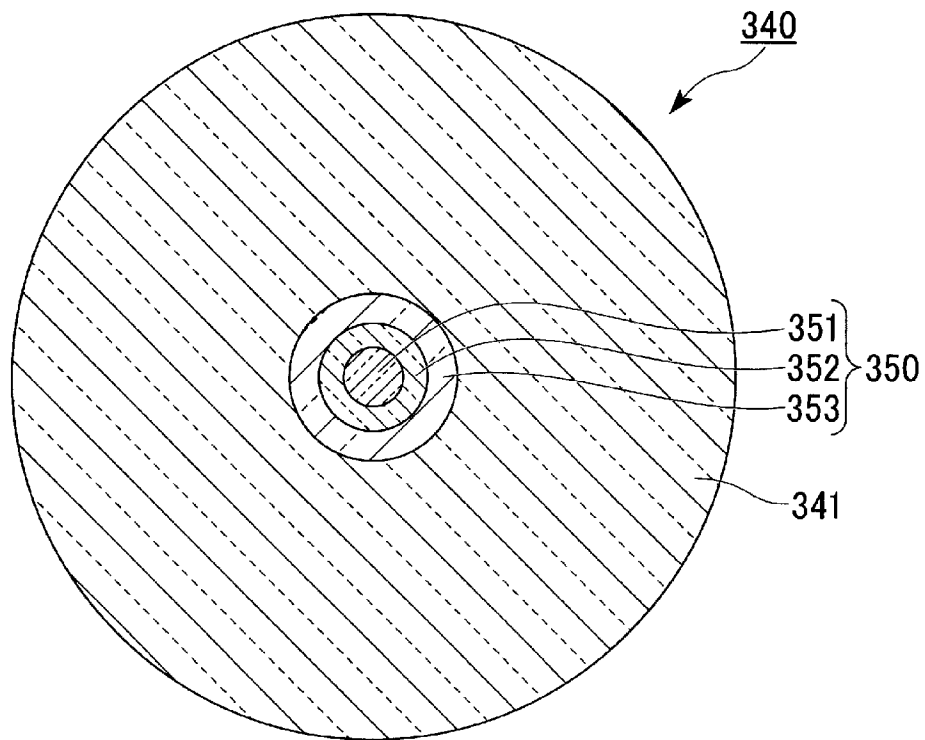
[図30]



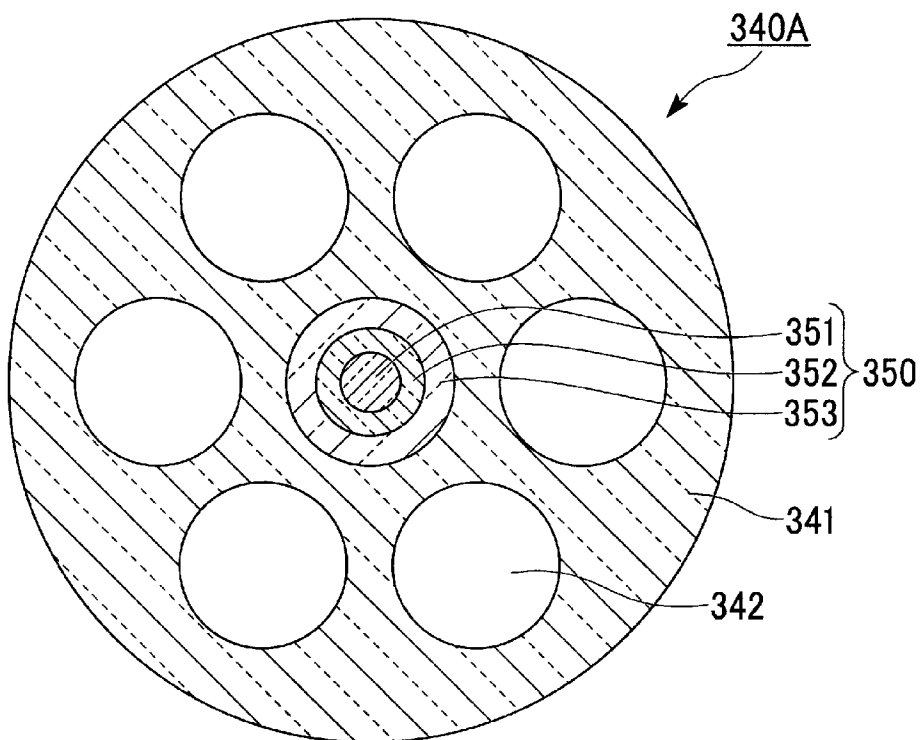
[図31]



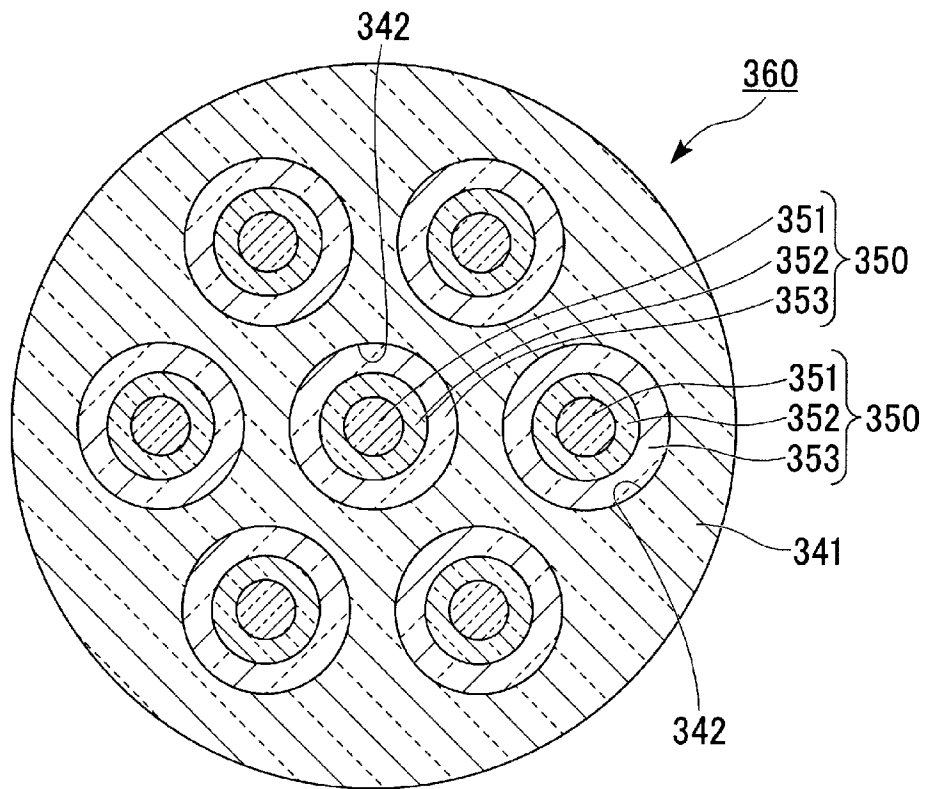
[図32]



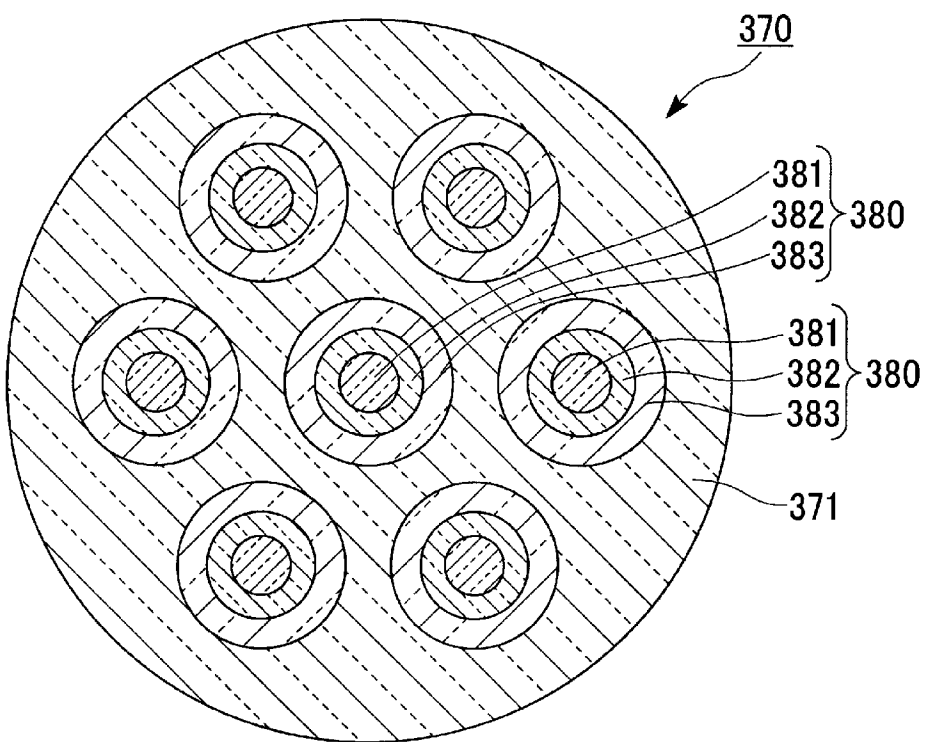
[図33]



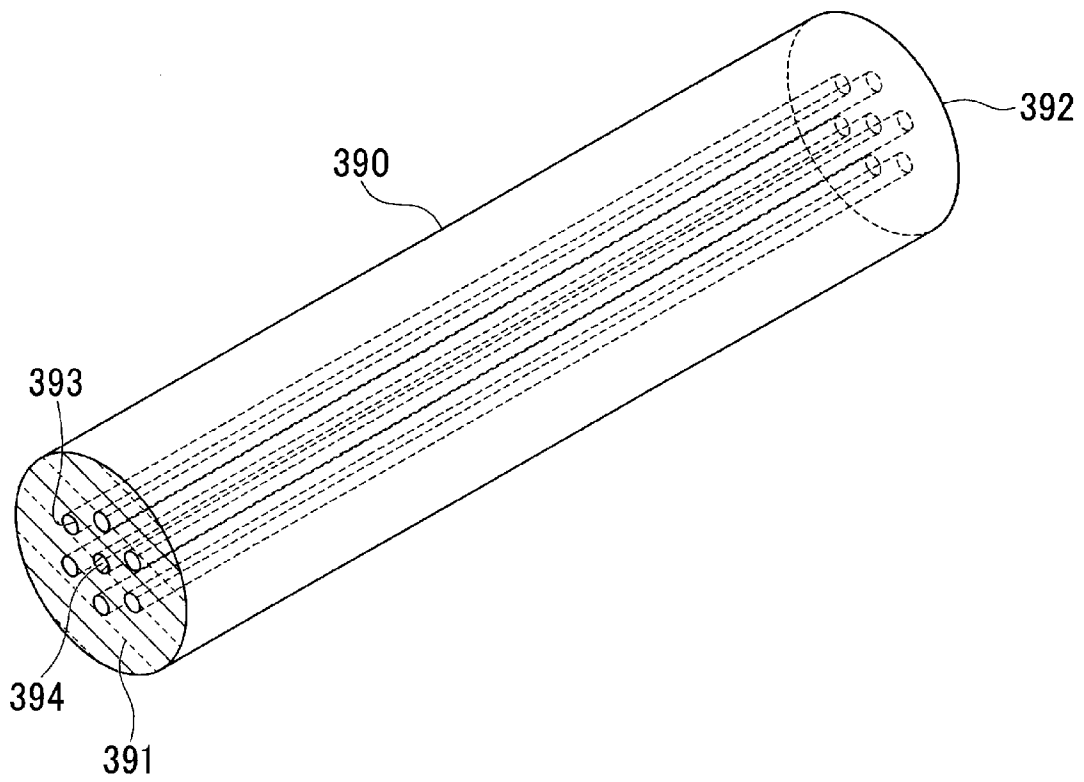
[図34]



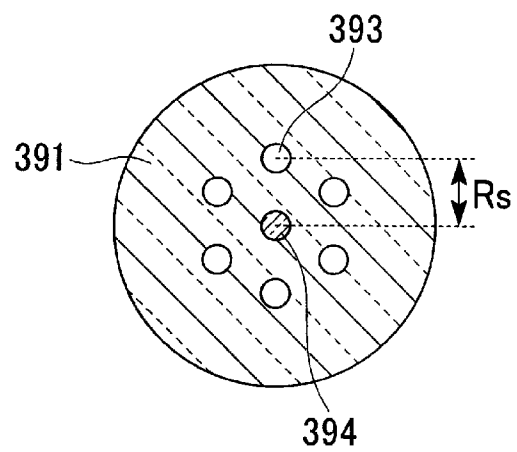
[図35]



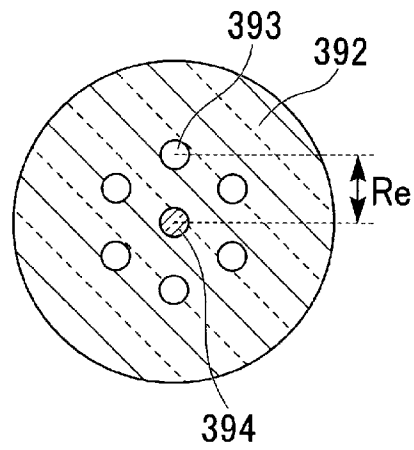
[図36A]



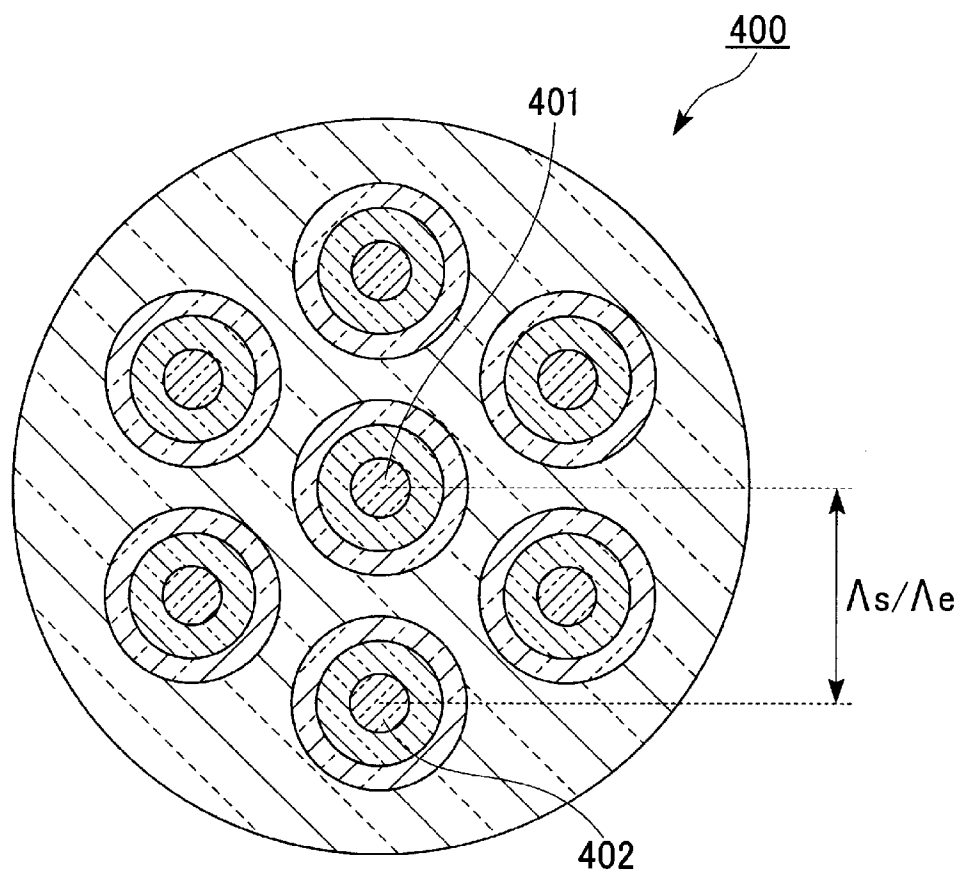
[図36B]



[図36C]



[図37]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073221

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C03B37/012(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02B6/04(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)

C03B37/00-37/16, G02B6/00, G02B6/04

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	1996-2013
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2013	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2013

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	WO 2010/082656 A1 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 22 July 2010 (22.07.2010), paragraphs [0011], [0046]; fig. 8 & US 2011/0052129 A1 & US 2013/0136410 A1 & EP 2388629 A1 & CN 102282488 A	6, 7 8, 9 1-5
Y	JP 2011-168464 A (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), 01 September 2011 (01.09.2011), fig. 1 (Family: none)	8, 9

☒ 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
12 November, 2013 (12.11.13)

Date of mailing of the international search report
26 November, 2013 (26.11.13)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2013/073221

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 2012-203035 A (Mitsubishi Cable Industries, Ltd.), 22 October 2012 (22.10.2012), claims; paragraph [0034]; fig. 7 (Family: none)	6-9
P,X	JP 5245019 B2 (Fujikura Ltd.), 24 July 2013 (24.07.2013), paragraph [0061]; fig. 1 (Family: none)	6-8
P,X	JP 2012-181282 A (Fujikura Ltd.), 20 September 2012 (20.09.2012), paragraph [0033]; fig. 1 (Family: none)	6-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））

Int.Cl. C03B37/012(2006.01)i, G02B6/00(2006.01)i, G02B6/04(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. C03B37/00-37/16, G02B6/00, G02B6/04

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 3 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 3 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 3 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	WO 2010/082656 A1（住友電気工業株式会社）2010.07.22, 【0011】、【0046】、【図8】 & US 2011/0052129 A1 & US 2013/0136410 A1 & EP 2388629 A1 & CN 102282488 A	6, 7 8, 9 1-5
Y	JP 2011-168464 A（住友電気工業株式会社）2011.09.01, 【図1】（ファミリーなし）	8, 9
P, X	JP 2012-203035 A（三菱電線工業株式会社）2012.10.22, 【特許請求の範囲】、【0034】、【図7】（ファミリーなし）	6-9

☒ 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

1 2 . 1 1 . 2 0 1 3

国際調査報告の発送日

2 6 . 1 1 . 2 0 1 3

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）

山田 貴之

4 T

4 4 2 5

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 5245019 B2 (株式会社フジクラ) 2013. 07. 24, 【0 0 6 1】、【図 1】 (ファミリーなし)	6-8
P, X	JP 2012-181282 A (株式会社フジクラ) 2012. 09. 20, 【0 0 3 3】、【図 1】 (ファミリーなし)	6-8