

(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
2016年6月30日(30.06.2016)



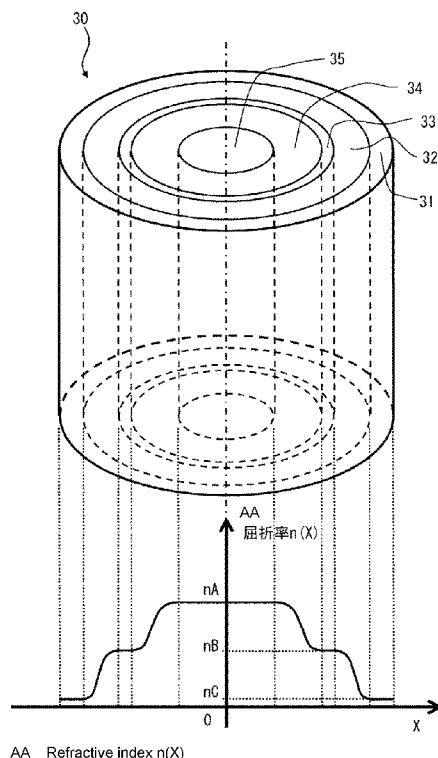
(10) 国際公開番号

WO 2016/103675 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/02 (2006.01) G02B 6/04 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2015/006372
- (22) 国際出願日: 2015年12月22日(22.12.2015)
- (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 2014-262155 2014年12月25日(25.12.2014) JP
- (71) 出願人: 株式会社クラレ(KURARAY CO., LTD.)
[JP/JP]; 〒7100801 岡山県倉敷市酒津1621番地 Okayama (JP).
- (72) 発明者: 岩川 隆一(IWAKAWA, Ryuichi); 〒9592691 新潟県胎内市倉敷町2番28号 株式会社クラレ内 Niigata (JP).
- (74) 代理人: 家入 健(IEIRI, Takeshi); 〒2210835 神奈川県横浜市神奈川区鶴屋町三丁目33番8 アサヒビルディング5階 響国際特許事務所 Kanagawa (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, 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, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ユーロッパ (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 ROD, OPTICAL FIBER, IMAGE FIBER, AND METHOD FOR MANUFACTURING OPTICAL FIBER ROD

(54) 発明の名称: 光ファイバ用ロッド、光ファイバ、イメージファイバ及び光ファイバ用ロッドの製造方法



(57) Abstract: The optical fiber rod (30) according to the present invention is provided with a central region (35), an outer peripheral region (31) formed to surround the central region (35), and an intermediate region (33) formed between the central region (35) and the outer peripheral region (31). The optical fiber rod (30) satisfies a relationship $nA > nB > nC$, wherein nA represents the refractive index of a material A created by polymerizing a monomer m_a , nB represents the refractive index of a material B created by polymerizing a monomer m_b , and nC represents the refractive index of a material C created by polymerizing a monomer m_c . The central region (35) is configured from a material created by polymerizing a monomer mixture containing the monomer m_a . The outer peripheral region (31) is configured from a material created by polymerizing a monomer mixture containing the monomer m_c . The intermediate region (33) is configured from a material created by polymerizing a monomer mixture containing the monomer m_b . The refractive index decreases in the order from the central region (35), the intermediate region (33), and the outer peripheral region (31).

(57) 要約: 本発明の光ファイバ用ロッド(30)は、中心領域(35)と、中心領域(35)を囲むように形成された外周領域(31)と、中心領域(35)と外周領域(31)との間に形成された中間領域(33)と、を備える光ファイバ用ロッドであって、単量体 m_a を重合した材料Aの屈折率を nA 、単量体 m_b を重合した材料Bの屈折率を nB 、単量体 m_c を重合した材料Cの屈折率を nC としたとき、 $nA > nB > nC$ の関係を満たし、中心領域(35)は、単量体 m_a を含む単量体混合物を重合した材料により構成され、外周領域(31)は、単量体 m_c を含む単量体混合物を重合した材料により構成され、中間領域(33)は、単量体 m_b を含む単量体混合物を重合した材料により構成され、中心領域(35)、中間領域(33)、外周領域(31)の順に屈折率が

低下する。

明 細 書

発明の名称：

光ファイバ用ロッド、光ファイバ、イメージファイバ及び光ファイバ用ロッドの製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバ用ロッド、光ファイバ、イメージファイバ及び光ファイバ用ロッドの製造方法に関する。

背景技術

[0002] 工業分野及び医療分野において、イメージファイバが広く用いられている。イメージファイバは光ファイバを複数束ねた構造であり、一般的には、各光ファイバのクラッド同士が融着して、クラッド中に複数本のコアが設けられた構造である（特許文献４）。イメージファイバの画素数（コアの本数）は、例えば１０００以上であり、コア数が２０００～数万のイメージファイバも多い。イメージファイバの外径は、一般的には、数ｍｍ以下であることが多い。この為、イメージファイバ中でのコアの直径は μm のオーダーになる。

[0003] イメージファイバを形成する材料としては、ガラス（特許文献１）又はプラスチック（特許文献２）が用いられる。プラスチック製イメージファイバは、ガラス製イメージファイバよりも柔軟である。プラスチック製光ファイバの材料としては、コアをポリスチレン、クラッドをアクリルとした例（特許文献２）や、コアをアクリル、クラッドをフッ化アクリルとした例（特許文献３）が知られている。

[0004] プラスチック製光ファイバの光伝送損失は、コア径が約１ｍｍの場合は大きな問題にならない。しかし、コア径が数 μm 以下となると、プラスチック製光ファイバにおける光の伝送損失が大きくなるという問題があった。このように伝送損失を悪化させる原因として、コアとクラッドとの密着性の低下、コアとクラッドとの界面の構造不整合が挙げられる。このような密着性や

界面の構造不整合を解決する方法の一つとして、屈折率分布型光ファイバ（G I 型光ファイバ）が知られている（特許文献 5 及び 6）。

先行技術文献

特許文献

- [0005] 特許文献1：特開平 2－2 9 1 5 0 6 号公報
特許文献2：特開 2 0 0 0－0 2 8 8 3 3 号公報
特許文献3：特開平 5－2 2 4 0 3 3 号公報
特許文献4：特開 2 0 0 8－2 0 7 9 6 号公報
特許文献5：特開 2 0 0 1－3 5 4 7 1 1 号公報
特許文献6：国際公開第 1 9 9 8／0 4 0 7 6 8 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

- [0006] イメージファイバでは、コアとクラッドとの屈折率差を大きくするほど、開口数は大きくなり、かつ、クロストークは小さくなる。そのため、イメージファイバに用いられる光ファイバでは、コアとクラッドとの屈折率差をなるべく大きくすることが好ましい。
- [0007] ここで、プラスチック製光ファイバの材料として、例えば、コアをポリスチレン、クラッドをフッ化アクリルとすると、コアとクラッドとの屈折率差は約 0. 1 5 と比較的大きくなる。しかし、ポリスチレンとフッ化アクリルとの密着性は必ずしも良好とはいえない。このように、コアとクラッドとの屈折率差を大きくするほど、コアとクラッドとの密着性が低下し、コアとクラッドとの界面の構造不整合が多くなるので、光ファイバの伝送損失が大きくなるという問題があった。
- [0008] また、屈折率分布型光ファイバの場合、ある範囲内の任意の混合比率で透明になる材料を使用する必要があるため、使用できる材料の選択肢が少なかった。特に、屈折率差が大きい材料の組み合わせほど、材料の物性が互いに異なることが多いので、任意の混合比率で透明にならずに、透明になる混合

比率の範囲が限定される傾向が顕著だった。このため、屈折率分布型光ファイバでは、コアとクラッドとの屈折率差を大きくすることが難しかった。

[0009] 本発明はこのような問題を解決するためになされたものであり、コアとクラッドとの屈折率差を大きくできて、かつ、光の伝送損失を小さくできる光ファイバ用ロッド、光ファイバ、イメージファイバ及び光ファイバ用ロッド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

[0010] 本発明に係る光ファイバ用ロッドは、

中心領域と、前記中心領域を囲むように形成された外周領域と、前記中心領域と前記外周領域との間に形成された中間領域と、を備える光ファイバ用ロッドであって、

単量体 m_a を重合した材料 A の屈折率を n_A 、単量体 m_b を重合した材料 B の屈折率を n_B 、単量体 m_c を重合した材料 C の屈折率を n_C としたとき、 $n_A > n_B > n_C$ の関係を満たし、

前記中心領域は、前記単量体 m_a を含み、かつ、前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合した材料により構成されており、

前記外周領域は、前記単量体 m_c を含み、かつ、前記単量体 m_a を含まない単量体混合物を重合した材料により構成されており、

前記中間領域は、前記単量体 m_b を含み、かつ、前記単量体 m_a 及び前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合した材料により構成されており、

前記中心領域、前記中間領域、前記外周領域の順に屈折率が低下する。

[0011] 本発明では、

前記中心領域と前記中間領域との間に形成されており、

前記単量体 m_a 及び前記単量体 m_b を含み、かつ、前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を共重合した材料により構成される、第 1 共重合領域を有することが好ましい。

[0012] 本発明では、

前記第 1 共重合領域の屈折率は、前記中心領域側から前記中間領域側に向

かって連続的に低下していることが好ましい。

[0013] 本発明では、

前記中間領域と前記外周領域との間に形成されており、

前記単量体 m_b 及び前記単量体 m_c を含み、かつ、前記単量体 m_a を含まない単量体混合物を共重合した材料により構成される、第2共重合領域を有することが好ましい。

[0014] 本発明では、

前記第2共重合領域の屈折率は、前記中間領域側から前記外周領域側に向かって連続的に低下していることが好ましい。

[0015] 本発明に係る光ファイバは、

上述の光ファイバ用ロッドを延伸することにより製造される。

[0016] 本発明に係るイメージファイバは、

上述の光ファイバを複数束ねた集合体を延伸することにより製造される。

[0017] 本発明に係る光ファイバ用ロッドの製造方法は、

中心領域と、前記中心領域を囲むように形成された外周領域と、前記中心領域と前記外周領域との間に形成された中間領域と、を備え、前記中心領域、前記中間領域、前記外周領域の順に屈折率が低下する光ファイバ用ロッドの製造方法であって、

単量体 m_a のみを重合して得られる材料Aの屈折率を n_A 、単量体 m_b のみを重合して得られる材料Bの屈折率を n_B 、単量体 m_c のみを重合して得られる材料Cの屈折率を n_C としたとき、 $n_A > n_B > n_C$ の関係を満たし、

前記単量体 m_c を含み、かつ、前記単量体 m_a を含まない単量体混合物を重合することにより、前記外周領域を形成する工程と、

前記外周領域の内側に、前記単量体 m_b を含み、かつ、前記単量体 m_a 及び前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合することにより前記中間領域を形成する工程と、

前記中間領域の内側に、前記単量体 m_a を含み、かつ、前記単量体 m_c を

含まない単量体混合物を重合することにより前記中心領域を形成する工程と、
を備える。

発明の効果

[0018] 本発明によれば、コアとクラッドとの屈折率差を大きくできて、かつ、光の伝送損失を小さくできる光ファイバ用ロッド、光ファイバ、イメージファイバ及び光ファイバ用ロッドの製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0019] [図1]実施の形態1に係る光ファイバ用ロッドの各領域の構成及び各領域の屈折率の例を示す図である。

[図2]実施の形態1に係るイメージファイバにおいて、クラッド中での複数のコアの配置を示す図である。

[図3]実施の形態1に係る光ファイバ用ロッドから、光ファイバを製造する方法を示す図である。

[図4]実施の形態1に係る光ファイバを複数束ねて集合体を製造する方法を示す図である。

[図5]実施の形態1に係る光ファイバの集合体からイメージファイバを製造する方法を示す図である。

発明を実施するための形態

[0020] [実施の形態1]

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。

[0021] 図1に、本実施の形態に係る光ファイバ用ロッド30の各領域の構成及び各領域の屈折率の例を示す。図1の各寸法は、必ずしも本実施の形態に係るロッド30の縮尺と一致しているとは限らない。図1に示すように、本実施の形態に係る光ファイバ用ロッド30は、中心領域35と、第1共重合領域34と、中間領域33と、第2共重合領域32と、外周領域31と、を有する。

[0022] 中心領域35、第1共重合領域34、中間領域33、第2共重合領域32

、外周領域 3 1 の順に屈折率が低下する。中心領域 3 5、中間領域 3 3 及び外周領域 3 1 は、領域中の屈折率は一様である。第 1 共重合領域 3 4 及び第 2 共重合領域 3 2 は、領域中において屈折率の変化を有する。

[0023] 光ファイバ用ロッド 3 0 は、単量体 m_a 、単量体 m_b 及び単量体 m_c から一つ又は複数選択された単量体混合物を重合した材料により構成されている。単量体 m_a のみを重合した材料 A の屈折率を n_A 、単量体 m_b のみを重合した材料 B の屈折率を n_B 、単量体 m_c のみを重合した材料 C の屈折率を n_C としたとき、 $n_A > n_B > n_C$ の関係を満たす。

[0024] 中心領域 3 5 は、光ファイバ用ロッド 3 0 を長さ方向（長手方向）に垂直な断面で断面視すると、断面の中心付近に形成されている。中心領域 3 5 は、単量体 m_a を含み、かつ、単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合した材料により構成される。以下、本発明において或る単量体を含まないとは、該単量体の存在によりその領域の屈折率が変化する程に含まないことを意味し、夾雑物程度、例えば 0.01 質量%程度の微量の含有を除外するものではない。

[0025] 中心領域 3 5 は、光ファイバのコアに相当する。中心領域 3 5 は、単量体 m_c 以外の他の単量体、例えば単量体 m_b を含む単量体混合物の重合体でもよい。屈折率が高くなり、コアとクラッドとの屈折率差を大きく出来るので、中心領域 3 5 の材料は、単量体 m_a のみからなる重合体である事が好ましい。

[0026] 外周領域 3 1 は、光ファイバ用ロッド 3 0 を長さ方向（長手方向）に垂直な断面で断面視すると、光ファイバ用ロッド 3 0 の外周部に、中心領域 3 5 を囲むように形成されている。外周領域 3 1 は、単量体 m_c を含み、かつ、単量体 m_a を含まない単量体混合物を重合した材料により構成される。

[0027] 外周領域 3 1 は、光ファイバのクラッドに相当する。外周領域 3 1 は、単量体 m_a 以外の他の単量体、例えば単量体 m_b を含んだ単量体混合物の重合体でもよい。屈折率が低くなり、コアとクラッドの屈折率差を大きく出来るので、外周領域 3 1 の材料は、単量体 m_c のみからなる重合体である事が好

ましい。

- [0028] 中間領域 33 は、中心領域 35 と外周領域 31 との間に形成されている。中間領域 33 は、単量体 m b を含み、かつ、単量体 m a 及び単量体 m c を含まない単量体混合物を重合した材料により構成される。中間領域 33 は、単量体 m a 及び単量体 m c 以外の他の単量体を含んでもよい。また、中間領域 33 は、単量体 m b のみからなる重合体であってもよい。
- [0029] 第 1 共重合領域 34 は、中心領域 35 と中間領域 33 との間に形成される。第 1 共重合領域 34 は、単量体 m a 及び単量体 m b を含み、かつ、単量体 m c を含まない単量体混合物を共重合した材料により構成される。
- [0030] 第 2 共重合領域 32 は、中間領域 33 と外周領域 31 との間に形成される。第 2 共重合領域 32 は、単量体 m b 及び単量体 m c を含み、かつ、単量体 m a を含まない単量体混合物を共重合した材料により構成される。
- [0031] 単量体 m a としては、単量体 m a を重合した材料 A の屈折率が高く、かつ、透明性が高いことから、ベンゼン環を持つラジカル重合性モノマを用いることが好ましい。特に、透明性が高い点からはベンジルメタクリレート、スチレン、フェニルメタクリレートを用いることが好ましく、重合時間が比較的短い点からはベンジルメタクリレート、フェニルメタクリレートを用いることが好ましい。
- [0032] 単量体 m b としては、透明性が高いことから、アルキルメタクリレート系モノマを用いることが好ましく、メチルメタクリレート（以下 MMA と称することがある）、エチルメタクリレート（以下 EMA と称することがある）などを用いる。メチルメタクリレート又はメチルアクリレートをメチル（メタ）アクリレートと称することがある。単量体 m b のみを重合して得られる材料 B の透明性が高いことから、メチルメタクリレートを用いることが好ましい。
- [0033] 単量体 m c としては、単量体 m c を重合した材料 C の屈折率が低く、かつ、透明性が高いことから、2, 2, 2 トリフルオロエチルメタクリレート（以下 3 FMA と称することがある）、2, 2, 3, 3 テトラフルオロプロピ

ルメタクリレート（以下４ＦＭＡと称することがある）などを用いることが好ましい。

[0034] 材料Ａの屈折率は、１．４５以上１．７０以下である事が好ましい。材料Ａの屈折率が１．４５より小さいと、材料Ａと材料Ｃとの屈折率差を十分大きく出来ない場合がある。材料Ａの屈折率が１．７０より大きいと、材料Ａの透明性が不十分になりやすく、材料選択の自由度が小さくなりやすい。材料Ａの屈折率は、１．５０以上１．６５以下であることがより好ましい。

[0035] 材料Ｃの屈折率は、１．３５以上１．５５以下である事が好ましい。材料Ｃの屈折率が１．３５より小さいと、材料Ｃの透明性が不十分になりやすく、材料選択の自由度が小さくなりやすい。材料Ｃの屈折率が１．５５より大きいと、材料Ａと材料Ｃとの屈折率差を十分大きく出来ない場合がある。材料Ｃの屈折率は、１．４０以上１．５０以下である事がより好ましい。

[0036] 材料Ｂの屈折率は、材料Ａの屈折率より０．０５以上の差であるのが好ましく、０．０６以上の差であるのがより好ましく、かつ、材料Ｃの屈折率より０．０５以上の差であるのが好ましく、０．０６以上の差であるのがより好ましい。この範囲であると、比較的材料選択の自由度が大きい。

[0037] 単量体 m_a がベンジルメタクリレート、単量体 m_b がメチル（メタ）アクリレート、単量体 m_c が２，２，３，３テトラフルオロプロピルメタクリレートとなる組み合わせを用いることが最も好ましい。単量体 m_a と単量体 m_b との共重合体の透明性が高く、単量体 m_b と単量体 m_c との共重合体の透明性が高いからである。

[0038] 本実施の形態に係る光ファイバ用ロッド３０では、中心領域３５と外周領域３１との間に中間領域３３を形成することにより、中心領域３５と外周領域３１との屈折率差を大きくとりながら、中心領域３５と中間領域３３との屈折率差及び外周領域３１と中間領域３３との屈折率差を小さく保つことができる。これにより、単量体 m_a 、単量体 m_b 、及び単量体 m_c として選択できる材料の自由度が増す。

[0039] 中心領域３５を材料Ａ、外周領域３１を材料Ｃにより構成して、中間領域

33を設けない構成の光ファイバ用ロッドを製造することができる。その光ファイバ用ロッドを延伸することにより、コアとクラッドとの屈折率差が大きい光ファイバを製造できる。しかし、コアとクラッドとの屈折率差の大きい材料の組み合わせであるほど、コアとクラッドとの密着性が悪化する傾向がある。コアとクラッドの界面が剥離すると、光ファイバの光学性能を悪化させる、という問題がある。

[0040] また、単量体 m_a と単量体 m_c の共重合体を中間領域33とすると、光学性能悪化の問題が改善される可能性はある。しかし、単量体 m_a と単量体 m_c との屈折率差が大きいほど、共重合体の透明性が悪化する傾向がある。

[0041] 本実施形態の光ファイバ用ロッド30は、単量体 m_b を含み、かつ、単量体 m_a 及び単量体 m_c を含まない中間領域33を有する。これにより、材料Aと材料Bとの屈折率差及び材料Bと材料Cとの屈折率差を比較的小さくできるので、共重合体の透明性が悪化する単量体の組み合わせを避ける事ができるため、界面剥離の問題を改善できる。

[0042] 本実施形態の光ファイバ用ロッド30では、中心領域35と中間領域33との間に、第1共重合領域34を有することが好ましい。これにより、中心領域35と第1共重合領域34との界面及び第1共重合領域34と中間領域33との界面が剥離しにくくなる。また、共重合体の透明性が悪化する単量体の組み合わせを用いるのを避けることができる。

[0043] 本実施形態の光ファイバ用ロッド30では、中間領域33と外周領域31との間に、第2共重合領域32を有することが好ましい。これにより、中間領域33と第2共重合領域32との界面及び第2共重合領域32と外周領域31との界面が剥離しにくくなる。また、共重合体の透明性が悪化する単量体の組み合わせを用いるのを避けることができる。

[0044] 中心領域35から中間領域33までの屈折率の値は、連続的に変化していることが好ましい。第1共重合領域34の屈折率は、中心領域35側では中心領域35の屈折率 n_A と等しく、中心領域35側から中間領域33側に向かって連続的に低下していき、中間領域33側では中間領域33の屈折率 n

Bと等しくなっている。

[0045] さらに、中間領域33から外周領域31までの屈折率の値は、連続的に変化していることが好ましい。第2共重合領域32の屈折率は、中間領域33側では中間領域33の屈折率 n_B と等しく、中間領域33側から外周領域31側に向かって連続的に低下していき、外周領域31側では外周領域31の屈折率 n_C と等しくなっている。このような構成により、それぞれの領域間の界面の剥離をより効果的に防ぐことができる。また、界面の構造不整合に起因する光ファイバの伝送損失を抑制できる。

[0046] 本実施の形態に係る光ファイバ用ロッド30において、屈折率の値が「連続的に変化」とは、 X を光ファイバ用ロッド30の長さ方向（長手方向）に対して垂直な方向の距離、 $f(X)$ を距離 X における屈折率の値としたとき、 $\{df(X)/dX\}$ が連続関数であるという意味である。本実施の形態においては、 $[\text{屈折率の差}] \leq \{(\text{中心領域35における最大屈折率}) - (\text{中間領域33における最小屈折率})\} \times 0.01$ である場合、「屈折率が同じ」とみなされる。

[0047] したがって、 $\{(\text{中心領域35における最大屈折率}) - (\text{中間領域33における最小屈折率})\} \times 0.01$ となる場合、点 (X_1) において、屈折率変化は連続的であるとみなされる。ただし、前述の式において $\Delta X > 0$ である。点 (X_1) での屈折率差が上述の式の右辺の値を越えた場合、 X 方向の屈折率分布は不連続であるとみなされる。中間領域33から外周領域31までの屈折率の値についても同様に考えられる。

[0048] 本実施の形態の光ファイバ用ロッド30において、中心領域35がコア、外周領域31がクラッド、中間領域33、第1共重合領域34及び第2共重合領域32がコアとクラッドとの遷移領域と考える事ができる。ただし、屈折率の値が連続的に変化している場合、各領域の境界が不明瞭となる場合がある。屈折率が連続変化しており境界が不明瞭な場合のコア、クラッドの寸

法の定義について説明する。

[0049] 本実施の形態では、中心領域35における屈折率の最大値を n_{MAX} としたとき、 $n_{MAX} - 0.001$ 以上 n_{MAX} 以下の屈折率となる範囲が中心領域35であり、コアに相当する。なお、本実施の形態においては、 $n_{MAX} = n_A$ となっている。

[0050] 本実施の形態では、外周領域31における屈折率の最小値を n_{MIN} としたとき、 n_{MIN} 以上 $n_{MIN} + 0.001$ 以下の屈折率となる範囲が外周領域31であり、クラッドに相当する。なお、本実施の形態においては、 $n_{MIN} = n_C$ となっている。

[0051] 本実施の形態では、中間領域33における屈折率の値は n_B となっている。

[0052] また、中心領域35、第1共重合領域34、中間領域33、第2共重合領域32、外周領域31には、単量体 m_a 、単量体 m_b 、単量体 m_c 以外に、1種以上の単量体、例えば単量体 m_d を含む領域が1つ以上あってもよい。

[0053] ただし、4種類以上の単量体が含まれる場合、それぞれの単量体のみの重合体の屈折率が最も高いものを単量体 m_a 、屈折率が最も低いものを単量体 m_c とする。すなわち、単量体 m_d の屈折率 n_D は、 n_A より小さく、 n_C より大きい。また、単量体 m_a 、単量体 m_c 以外で、ロッド30に占める単量体換算の重量割合が最も大きいものを単量体 m_b とする。すなわち、単量体 m_d の重量割合は最も小さい。

[0054] 本実施の形態の光ファイバ用ロッド30の直径を100としたとき、中心領域35の直径は40～80であることが好ましく、50～70であることがより好ましい。中心領域35の直径が40より小さいと、光ファイバ用ロッド30の面積に対する中心領域35の面積割合が小さくなるので、光ファイバのコアの面積比率が小さくなるおそれがある。中心領域35の直径が80より大きいと、光ファイバ用ロッド30の面積に対する中心領域35の面積割合が大きくなるので、中間領域33及び外周領域31が十分な幅を確保できなくなるおそれがある。

- [0055] 本実施の形態の光ファイバ用ロッド30の直径を100としたとき、外周領域31の幅は5～55であることが好ましく、5～20であることがより好ましく、7～15であることがさらに好ましい。外周領域31の幅が5より小さいと、イメージファイバを作製した時にクラッドが小さくなりすぎるので、クロストーク性能に問題が生じるおそれがある。外周領域31の幅が55より大きいと、中心領域35及び中間領域33が十分な幅を確保できなくなるおそれがある。
- [0056] 本実施の形態の光ファイバ用ロッド30の直径を100としたとき、中間領域33の幅は0.5～5である事が好ましく、0.7～3である事がより好ましく、0.7～2.5である事がさらに好ましい。中間領域33の幅が0.5より小さいと、製造工程のばらつきなどにより、本来中間領域33となる領域に単量体m_a及び単量体m_cの両方が混入して不透明となる領域が生じるおそれがある。中間領域33の幅が3より大きいと、中心領域35及び外周領域31が十分な幅を確保できなくなるおそれがある。
- [0057] 中間領域33は、中心領域35と外周領域31の間にあればよいが、2つの領域から同じだけ離れている事が好ましい。言い換えると、中間領域33は、中心領域35の最も外周側と、外周領域31の最も内周側との中間点に存在する事が好ましい。2つの領域のどちらか一方に近い場合、第1共重合領域34又は第2共重合領域32を形成することが困難になる場合がある。
- [0058] なお、ロッド30の長さ方向に垂直な断面において光ファイバ用ロッド30の中心軸を通る直線を考えるとき、この直線は、一の外周領域31及び中心軸に対し反対側に位置する外周領域31の二つの外周領域31と交差する。しかし、上述の外周領域31の幅とは、二つの外周領域31の幅の合計ではなく、一方の外周領域31の幅を意味する。中間領域33の幅についても外周領域31の幅と同様である。
- [0059] 本実施の形態に係る光ファイバ用ロッド30を加熱しながら延伸することにより、コアとクラッドの屈折率差が大きなプラスチック製光ファイバを製造できる。

[0060] プラスチック製光ファイバを複数本束ねてバンドル（集合体）を作製し、そのバンドルを延伸することにより、プラスチック製イメージファイバを製造できる。プラスチック製イメージファイバは、コアとクラッドとの屈折率差が大きいため、クロストークを小さくできる。

[0061] 光ファイバ用ロッド30には、外周領域31のさらに外側に熱可塑性樹脂からなる被覆層を形成してもよい。しかし、光ファイバ用ロッド30を延伸して製造されたプラスチック製光ファイバを用いてプラスチック製イメージファイバを製造した場合、イメージファイバの断面に占める複数のコアの合計面積の割合が少なくなる。そのため、外周領域31は光ファイバ用ロッド30の最も外周側に位置する事が好ましい。

[0062] 〈光ファイバ用ロッドの製造方法〉

本実施の形態の光ファイバ用ロッド30の製造方法としては、例えば、材料CからなるパイプCの内側に材料BからなるパイプBを配置し、さらにパイプBの内側に材料AからなるパイプAを配置してもよい。

[0063] 本実施の形態の光ファイバ用ロッド30の別の製造方法としては、例えば、円筒反応容器の回転遠心力を利用して、連続的又は断続的に単量体の組成を変化させながら、順次内周側に積層していく方法を用いてもよい。特に連続的に単量体の組成を変化させる方法を用いれば、中心領域35、中間領域33及び外周領域31のそれぞれの領域間の界面の剥離をより防ぐことができる。また、界面の構造不整合に起因する伝送損失を抑制できる。また、上述の円筒容器の代わりに、外周領域31に該当する熱可塑性樹脂の円筒体を回転させながら、内周に積層させる方法を用いてもよい。

[0064] 〈光ファイバの製造方法〉

パイプを組み合わせる方法で作製した光ファイバ用ロッド30は、例えば、パイプCの内側を排気して、加熱しながら延伸することにより、パイプC、パイプB、パイプA又はロッドAは互いに密着し、光ファイバを製造することができる。

[0065] 円筒体の内周に単量体を供給し、重合、積層する方法により作製された光

ファイバ用ロッド30から構成されるパイプ10を、図3に示すように、加熱炉12で加熱しながらローラ13で延伸することにより、光ファイバ14を製造する事ができる。

[0066] 〈イメージファイバの製造方法〉

図4に示すように、本実施の形態の光ファイバ14を複数本束ねてポリメチルメタクリレート製パイプ16に入れることにより、集合体17（バンドル）を作製する。本実施の形態のイメージファイバ1は、図5に示すように、集合体17を加熱炉18で加熱しながらローラ19で延伸することにより、イメージファイバ1を製造することができる。

[0067] すなわち、透明な熱可塑性樹脂からなるポリメチルメタクリレート製パイプ16の内部に複数の光ファイバ14を各々が平行になるよう整列して配置した後、ポリメチルメタクリレート製パイプ16の内側を排気し、加熱しながら延伸する。これにより、ポリメチルメタクリレート製パイプ16と光ファイバ14とが互いに密着し、イメージファイバ1を製造する事ができる。

[0068] 図2に示すように、上述の方法で製造された本実施の形態のイメージファイバ1は、海島構造となり、ひとつながりとなったクラッド2中に複数のコア3が離間して配置されている。本実施の形態のイメージファイバ1では、延伸された個々の光ファイバ14が1画素となる。図2では画素の大きさは直径dで示される。図2では1画素中のコア3の大きさは直径aで示される。図2では1画素中のクラッド2の大きさは幅tで示され、隣り合うコア3間の距離はtの2倍の値となる。

[0069] 本実施の形態のプラスチック製イメージファイバ1において、コア3の数は2以上である。コア3の数は、好ましくは、1000以上であり、より好ましくは、2000以上である。コア3の数の上限値には、格別な制限は無い。現在では、上限値は50000程度である。但し、技術の進歩によって、コア3の数の上限値は、益々、大きくなるであろう。

[0070] 本実施の形態のプラスチック製イメージファイバ1において、コア3の直径aは、好ましくは、1 μm 以上であり、より好ましくは1.5 μm 以上で

ある。今日において、コア3の直径 a は、現実的には $2\mu\text{m}$ 以上である。コア3の直径 a が $1\mu\text{m}$ より小さいと、製造時に混入した微細な異物により画素欠点を生じるおそれが高くなる。

[0071] 本実施の形態のプラスチック製イメージファイバ1において、コア3の直径 a は、好ましくは、 $20\mu\text{m}$ 以下である。コア3の直径 a は、より好ましくは $15\mu\text{m}$ 以下であり、更に好ましくは $10\mu\text{m}$ 以下である。コア3の直径 a が $20\mu\text{m}$ より大きいと、画像の精細さが不十分になるおそれがある。

[0072] クラッド2の幅 t は、好ましくは、 $0.2\mu\text{m}$ 以上である。より好ましくは、 $0.3\mu\text{m}$ 以上である。さらにより好ましくは、 $0.4\mu\text{m}$ 以上である。この範囲より小さいと、製造時に混入した微細な異物により画素欠点を生じるおそれが高くなる。またクロストークが大きくなるおそれがある。クラッド2の幅 t は、好ましくは、 $2\mu\text{m}$ 以下である。より好ましくは、 $1.5\mu\text{m}$ 以下である。さらにより好ましくは、 $1\mu\text{m}$ 以下である。この範囲より大きいと、イメージファイバ1の断面に占めるコア3の面積の割合が小さく、画像の明るさが不十分になるおそれがある。

[0073] 本実施の形態のイメージファイバ1の外径は、好ましくは、 4mm 以下である。イメージファイバ1の外径は、より好ましくは 3mm 以下であり、更に好ましくは 2mm 以下である。イメージファイバ1の外径は、特に好ましくは、 1.5mm 以下である。イメージファイバ1の外径が 4mm より大きいと、イメージファイバ1が柔軟性に欠け、取り扱いが困難になるおそれがある。

[0074] 本実施の形態のイメージファイバ1の外径は、好ましくは 0.2mm 以上であり、より好ましくは、 0.3mm 以上である。イメージファイバ1の外径が 0.2mm より小さいと、画素数、コア3の直径 a 、クラッド2の幅 t のいずれか1つ以上が小さくなりすぎるので、画像の精細さ、明るさなどが不十分になるおそれがある。

実施例

[0075] 以下、本実施の形態の具体的な実施例について説明する。但し、本実施の

形態は以下の実施例の内容に限定されるものではない。本実施の形態の特長が大きく損なわれない限り、各種の変形例や応用例も本実施の形態に含まれる。

[0076] [実施例 1]

〈光ファイバ用ロッドの製造方法〉

ガラス円筒容器（内径 100 mm）が、70℃の空気恒温槽中に水平に設置された。円筒容器は回転（500回転／分）している。円筒容器の回転軸と中心軸とは一致している。この条件下で、円筒容器の長さ方向の一方の端部に設けられた注入口から、混合物が注入された。混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、低屈折率モノマ（2，2，3，3テトラフルオロプロピルメタクリレート：重合体の屈折率は 1.422）との混合物であった。

[0077] 混合物の注入速度は、重合体が堆積する速度が 1 mm／時間となるよう調節された。注入後も、円筒容器の回転が 3 時間に亘って行われた。この後、加熱（120℃，3 時間）が行われた。その結果、円筒容器の内周には、低屈折率モノマのみからなる重合体で構成される外周領域 31 が、厚さ 10 mm で形成された。

[0078] 次いで、外周領域 31 を形成する工程と同様にして、注入口から、異なる種類の混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、低屈折率モノマ（2，2，3，3テトラフルオロプロピルメタクリレート：重合体の屈折率は 1.422）と、中屈折率モノマ（メチルメタクリレート：重合体の屈折率は 1.492）との混合物であった。その結果、外周領域 31 の内周には、低屈折率モノマ及び中屈折率モノマからなる重合体で構成される第 2 共重合領域 32 が、厚さ 4 mm で形成された。

[0079] 第 2 共重合領域 32 における低屈折率モノマと中屈折率モノマの混合比率は、外周側ほど低屈折率モノマが多く、内周側ほど中屈折率モノマが多かった。外周領域 31 に接する部分では中屈折率モノマは含まれず、第 2 共重合領域 32 の最も内周側では低屈折率モノマは含まれず、第 2 共重合領域 32

におけるモノマの混合比率は連続的に変化していた。

[0080] 次いで、上述の工程と同様にして、注入口から、異なる種類の混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、中屈折率モノマ（メチルメタクリレート：重合体の屈折率は1.492）との混合物であった。その結果、第2共重合領域32の内周には、中屈折率モノマのみからなる重合体で構成される中間領域33が、厚さ2mmで形成された。

[0081] 次いで、上述の工程と同様にして、注入口から、異なる種類の混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、中屈折率モノマ（メチルメタクリレート：重合体の屈折率は1.492）と、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート：重合体の屈折率は1.566）との混合物であった。その結果、中間領域33の内周には、中低屈折率モノマ及び高屈折率モノマからなる重合体で構成される第1共重合領域34が、厚さ4mmで形成された。

[0082] 第1共重合領域34における中屈折率モノマと高屈折率モノマの混合比率は、外周側ほど中屈折率モノマが多く、内周側ほど高屈折率モノマが多かった。中間領域33に接する部分では高屈折率モノマは含まれず、第1共重合領域34の最も内周側では中屈折率モノマは含まれず、モノマの混合比率は連続的に変化していた。

[0083] 次いで、上述の工程と同様にして、注入口から、異なる種類の混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート：重合体の屈折率1.566）との混合物であった。その結果、第1共重合領域34の内周には、高屈折率モノマのみからなる重合体で構成される中心領域35が、厚さ28mmで形成された。

[0084] その後、円筒容器全体を室温まで冷却した後、円筒容器を破砕して、パイプ10を取り出した。円筒容器はガラス製なので、破砕するのは容易である。パイプ10は、外径100mm、内径4mmの円筒状の形状であり、重合

体の材料から構成されている。

[0085] 以上の工程を経て、外側から順に、低屈折率モノマ（2，2，3，3テトラフルオロプロピルメタクリレート）のみの重合体からなり屈折率が1．422である外周領域31と、中屈折率モノマ（メチルメタクリレート）のみの重合体からなり屈折率が1．492である中間領域33と、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート）のみの重合体からなり屈折率が1．566である中心領域35と、を備えた、プラスチック製光ファイバ用ロッド30であるパイプ10を製造した。パイプ10は全体的に透明であった。

[0086] 〈光ファイバの製造方法〉

図3は、本実施の形態に係る光ファイバ用ロッド30からなるパイプ10から、光ファイバ14及びイメージファイバ1を製造する方法を示す図である。図3に示すように、光ファイバ用ロッド30からなるパイプ10を加熱しながら延伸することにより、本実施例に係るプラスチック製光ファイバ14を製造した。

[0087] 先ず、加熱炉12によって、パイプ10の先端部が加熱された。このとき、パイプ10の中空部11は減圧された。パイプ10をローラ13，13によって挟んで押圧しながら、線引きが行われた。得られた光ファイバ14の外径は1mmであった。この光ファイバ14が、カッタ15により長さ300mmに切断された。

[0088] 光ファイバ14からは、中空部11が消滅していた。光ファイバ14のコアの径は600μmであった。光ファイバ14のクラッドの厚さは100μmであった。すなわち、中心軸に対して片側における第1共重合領域34、第2共重合領域32、中間領域33の肉厚の合計が100μmであった。

[0089] 〈イメージファイバの製造方法〉

図4及び図5に示すように、本実施例に係る光ファイバ14を複数本束ねて作製した集合体17（バンドル）を、加熱しながら延伸することにより、本実施例に係るプラスチック製イメージファイバ1を製造した。

[0090] 図4に示すように、透明なポリメチルメタクリレート製パイプ16（外径

100 mm、肉厚2 mm) に7900本の光ファイバ14を挿入することにより、集合体17が得られた。

[0091] 図5に示すように、ポリメチルメタクリレート製パイプ16内を減圧しながら、集合体17の先端部を、加熱炉18によって加熱した。集合体17をローラ19、19によって挟んで押圧しながら、集合体17の線引きを行った。これにより、プラスチック製イメージファイバ1が得られた。イメージファイバ1の外径は500 μ m、画素径は5 μ m、コア径は3 μ m、クラッド厚さは0.5 μ mであった。すなわち、中心軸に対して片側における第1共重合領域34、第2共重合領域32、及び中間領域33の肉厚の合計が0.5 μ mであった。

[0092] [比較例1]

〈光ファイバ用ロッドの製造方法〉

比較例1の光ファイバ用ロッドの製造方法について説明する。ガラス円筒容器(内径100 mm)が、70℃の空気恒温槽中に水平に設置された。円筒容器は回転(500回転/分)している。この条件下で、円筒容器の長さ方向の一方の端部に設けられた注入口から、混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、中屈折率モノマ(メチルメタクリレート:重合体の屈折率は1.492)との混合物であった。

[0093] 混合物の注入速度は、重合体が堆積する速度が1 mm/時間となるよう調節された。注入後も、円筒容器の回転が3時間に亘って行われた。この後、加熱(120℃, 3時間)が行われた。その結果、円筒容器の内周には、中屈折率モノマのみからなる重合体で構成される外周領域31が厚さ10 mm形成された。

[0094] 次いで、外周領域31を形成する工程と同様にして、注入口から混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、中屈折率モノマ(メチルメタクリレート:重合体の屈折率は1.492)と、高屈折率モノマ(ベンジルメタクリレート:重合体の屈折率は1.566)との混合物であった。その結果、外周領域31の内周には、中屈折率モノ

マ及び高屈折率モノマからなる重合体で構成される共重合領域Xが、厚さ10mmで形成された。

[0095] 共重合領域Xにおける中屈折率モノマと高屈折率モノマの混合比率は、外周側ほど中屈折率モノマが多く、内周側ほど高屈折率モノマが多かった。外周領域31に接する部分では高屈折率モノマは含まれず、共重合領域Xの最も内周側では中屈折率モノマは含まれず、その混合比率は連続的に変化していた。

[0096] 次に、上述の工程と同様にして、注入口から混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート：重合体の屈折率は1.566）との混合物であった。その結果、共重合領域Xの内周には、高屈折率モノマのみからなる重合体で構成される中心領域35が、厚さ28mmで形成された。

[0097] その後、円筒容器全体を室温まで冷却後、円筒容器を破砕して、パイプ10を取り出した。パイプ10は、外径100mm、内径4mmの円筒状重合体からなる。

[0098] 以上の工程を経て、外側から順に、中屈折率モノマ（メチルメタクリレート）のみの重合体からなり屈折率が1.492である外周領域31と、中屈折率モノマ（メチルメタクリレート）及び高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート：重合体の屈折率1.566）とからなる重合体で構成される共重合領域Xと、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート）のみの重合体からなり屈折率が1.566である中心領域35と、を備えたパイプ10を製造した。パイプ10は全体的に透明であった。

[0099] 〈光ファイバの製造方法〉

比較例1の光ファイバ14の製造方法について説明する。実施例1のパイプ10を比較例1のパイプ10に変えたこと以外は実施例1と同様にして、比較例1のプラスチック製光ファイバ14が得られた。比較例1の光ファイバ14のコアの径は600μm、クラッドの厚さは100μmであった。

[0100] 〈イメージファイバの製造方法〉

比較例 1 のイメージファイバ 1 の製造方法について説明する。実施例 1 のプラスチック製光ファイバ 1 4 を比較例 1 のプラスチック製光ファイバ 1 4 に変えたこと以外は実施例 1 と同様にして、比較例 1 のプラスチック製イメージファイバ 1 が得られた。ファイバ 1 の外径は $500\text{ }\mu\text{m}$ 、画素径は $5\text{ }\mu\text{m}$ 、コア径は $3\text{ }\mu\text{m}$ 、クラッド厚さは $0.5\text{ }\mu\text{m}$ であった。

[0101] [比較例 2]

 <光ファイバ用ロッドの製造方法>

比較例 2 の光ファイバ用ロッドの製造方法について説明する。ガラス円筒容器（内径 100 mm ）が、 70°C の空気恒温槽中に、水平に設置された。円筒容器は回転（ 500 回転／分）している。この条件下で、円筒容器の長さ方向の一方の端部に設けられた注入口から、混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、低屈折率モノマ（2，2，3，3 テトラフルオロプロピルメタクリレート：重合体の屈折率は 1.422 ）との混合物であった。

[0102] 混合物の注入速度は、重合体が堆積する速度が 1 mm/時間 となるよう調節された。注入後も、回転が 3 時間に亘って行われた。この後、加熱（ 120°C ，3 時間）が行われた。その結果、円筒容器の内周には、低屈折率モノマのみからなる重合体で構成される外周領域 31 が、厚さ 10 mm で形成された。

[0103] 次いで、外周領域 31 を形成する工程と同様にして、注入口から混合物が注入された。この混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、低屈折率モノマ（2，2，3，3 テトラフルオロプロピルメタクリレート：重合体の屈折率は 1.422 ）と、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート：重合体の屈折率は 1.566 ）との混合物であった。その結果、外周領域 31 の内周には、低屈折率モノマ及び高屈折率モノマからなる重合体で構成される共重合領域 Y が、厚さ 10 mm で形成された。

[0104] 共重合領域 Y における低屈折率モノマと高屈折率モノマの混合比率は、外周側ほど低屈折率モノマが多く、内周側ほど高屈折率モノマが多かった。外

周領域 3 1 に接する部分では高屈折率モノマは含まれず、共重合領域 Y の最内周では低屈折率モノマは含まれず、その混合比率は連続的に変化していた。

[0105] 次いで、上述の工程と同様にして、注入口から混合物が注入された。混合物は、重合開始剤と、分子量調節用の連鎖移動剤と、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート：重合体の屈折率 1.566）との混合物であった。その結果、共重合領域 Y の内周には、高屈折率モノマのみからなる重合体で構成される中心領域 3 5 が、厚さ 2.8 mm で形成された。

[0106] その後、円筒容器全体を室温まで冷却後、円筒容器を破砕して、パイプ 10 を取り出した。パイプ 10 は、外径 100 mm、内径 4 mm の円筒状重合体からなる。

[0107] 以上の工程を経て、外側から順に、低屈折率モノマ（2, 2, 3, 3 テトラフルオロプロピルメタクリレート）のみの重合体からなり屈折率が 1.492 である外周領域 3 1 と、低屈折率モノマ（2, 2, 3, 3 テトラフルオロプロピルメタクリレート）及び高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート）とからなる重合体で構成される共重合領域 Y と、高屈折率モノマ（ベンジルメタクリレート）のみの重合体からなり屈折率が 1.566 である中心領域 3 5 と、を備えたパイプ 10 を製造した。パイプ 10 の断面には、中心から半径約 30 mm から約 40 mm の領域付近に、幅が約 8 mm の円状の白濁した不透明な領域が存在した。

[0108] [比較例 3]

比較例 3 の光ファイバ用ロッドの製造方法について説明する。中間領域 3 3 を形成せず、第 2 共重合領域 3 2 及び第 1 共重合領域 3 4 がそれぞれ厚さ 5 mm であること以外は実施例 1 と同様にして、プラスチック製光ファイバ用ロッド 30 であるパイプ 10 を製造した。上述の比較例 3 のパイプ 10 の断面には、中心から半径約 35 mm 付近に、幅が約 1 mm の円状の白濁した不透明な領域が存在した。この白濁領域は、ベンジルメタクリレートとメチルメタクリレートとを含むモノマ混合物が注入され始めた時に、このモノマ

混合物が第2共重合領域32の表面を溶解した結果、2, 2, 3, 3テトラフルオロプロピルメタクリレート、メチルメタクリレート、及びベンジルメタクリレートが含有されたモノマ混合物が生成され、それが共重合した領域であると推定される。

[0109] [実施例と比較例との比較]

表1に、実施例1及び比較例1～3に係るプラスチック製光ファイバ用ロッド30のモノマ組成を示した。表1において、4FMAは2, 2, 3, 3テトラフルオロプロピルメタクリレート、MMAはメチルメタクリレート、BZMAはベンジルメタクリレートを表している。

[0110] [表1]

	各領域のモノマ組成				
	外周領域	第2共重合領域／ 共重合領域X, Y	中間領域	第1共重合領域	中心領域
実施例1	4FMA	4FMAとMMA	MMA	MMAとBZMA	BZMA
比較例1	MMA	MMAとBZMA	なし	なし	BZMA
比較例2	4FMA	4FMAとBZMA	なし	なし	BZMA
比較例3	4FMA	4FMAとMMA	なし	MMAとBZMA	BZMA

[0111] 表2に、実施例1及び比較例1～3に係るプラスチック製光ファイバ用ロッド30の各領域の屈折率を示した。なお、表2における屈折率は、587.6nmの波長の光に対する屈折率であり、表4及び5についても同様である。

[0112] [表2]

	各領域の屈折率				
	外周領域	第2共重合領域／ 共重合領域X, Y	中間領域	第1共重合領域	中心領域
実施例1	1.422	1.422～1.492	1.492	1.492～1.566	1.566
比較例1	1.492	1.492～1.566	なし	なし	1.566
比較例2	1.422	1.422～1.566	なし	なし	1.566
比較例3	1.422	1.422～1.492	なし	1.492～1.566	1.566

[0113] 表3に、実施例1及び比較例1～3に係るプラスチック製光ファイバ用ロッド30の各領域の寸法を示した。表3における寸法の単位はmmである。各領域の厚さは、中心軸に対して片側の肉厚を示している。

[0114] [表3]

	各領域の厚さ					外径
	外周領域	第2共重合領域／ 共重合領域X, Y	中間領域	第1共重合領域	中心領域	
実施例1	10	4	2	4	28	100
比較例1	10	10	なし	なし	28	100
比較例2	10	10	なし	なし	28	100
比較例3	10	5	なし	5	28	100

[0115] 表4に、実施例1及び比較例1に係るプラスチック製光ファイバの仕様を示した。表4において、寸法の単位は μm であり、 Δn は中心領域35と外周領域31との屈折率差を示す。コア径は直径で示している。コア比率は、光ファイバに対するコアの面積の比率を示す。

[0116] [表4]

	光ファイバ 直径	コア径	クラッド厚	Δn	コア比率
実施例1	1000	600	100	0.144	36%
比較例1	1000	600	100	0.074	36%

[0117] 表5に、実施例1及び比較例1に係るプラスチック製イメージファイバ1の仕様及び評価結果を示した。表5において、寸法の単位は μm であり、 Δn は中心領域35と外周領域31との屈折率差を示し、コア比率は画素に対するコアの面積の比率を示す。

[0118] [表5]

	イメージ ファイバ直径	画素数	コア径 a	クラッド厚 t	画素径 d	Δn	コア 比率	クロス トーク
実施例1	500	7900	3	0.5	5	0.144	36%	小さい
比較例1	500	7900	3	0.5	5	0.074	36%	大きい

[0119] 実施例1及び比較例1のプラスチック製イメージファイバ1をそれぞれ長さ1mで切断し、両方の端面を研磨し、一方の端面に接眼レンズを取り付けることにより、ファイバスコープを2個作製した。これらのファイバスコープの分解能を評価した。分解能の評価は、幅1に対して間隔2の比率で黒線を複数平行に配列した種々の寸法のチャートを、ファイバスコープで観察す

ることにより行った。

[0120] 実施例 1 のイメージファイバ 1 を使用したファイバスコープは、最小 10 μm 間隔のチャートを分解能良く観察できたが、比較例 1 のイメージファイバ 1 を使用したファイバスコープは、最小 20 μm 間隔のチャートまでしか分解能良く観察できなかった。

[0121] なお、本発明は上記実施の形態に限られたものではなく、趣旨を逸脱しない範囲で適宜変更することが可能である。例えば、光ファイバ用ロッドは、円筒形状や円柱形状に限定されるものではなく、その断面が楕円形や多角形であってもよい。

[0122] この出願は、2014 年 12 月 25 日に提出された日本出願特願 2014-262155 を基礎とする優先権を主張し、その開示の全てをここに取り込む。

産業上の利用可能性

[0123] コアとクラッドとの屈折率差を大きくできて、かつ、光の伝送損失を小さくできる光ファイバ用ロッド、光ファイバ、イメージファイバ及び光ファイバ用ロッドの製造方法を提供することができる。

符号の説明

[0124]	1	イメージファイバ
	2	クラッド
	3	コア
	10	パイプ
	12, 18	加熱炉
	13, 19	ローラ
	14	光ファイバ
	15	カッタ
	16	ポリメチルメタクリレート製パイプ
	17	集合体
	30	光ファイバ用ロッド

- 3 1 外周領域
- 3 2 第 2 共重合領域
- 3 3 中間領域
- 3 4 第 1 共重合領域
- 3 5 中心領域

請求の範囲

[請求項1] 中心領域と、前記中心領域を囲むように形成された外周領域と、前記中心領域と前記外周領域との間に形成された中間領域と、を備える光ファイバ用ロッドであって、

単量体 m_a を重合した材料 A の屈折率を n_A 、単量体 m_b を重合した材料 B の屈折率を n_B 、単量体 m_c を重合した材料 C の屈折率を n_C としたとき、 $n_A > n_B > n_C$ の関係を満たし、

前記中心領域は、前記単量体 m_a を含み、かつ、前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合した材料により構成されており、

前記外周領域は、前記単量体 m_c を含み、かつ、前記単量体 m_a を含まない単量体混合物を重合した材料により構成されており、

前記中間領域は、前記単量体 m_b を含み、かつ、前記単量体 m_a 及び前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合した材料により構成されており、

前記中心領域、前記中間領域、前記外周領域の順に屈折率が低下する光ファイバ用ロッド。

[請求項2] 前記中心領域と前記中間領域との間に形成されており、

前記単量体 m_a 及び前記単量体 m_b を含み、かつ、前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を共重合した材料により構成される、第 1 共重合領域を有する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の光ファイバ用ロッド。

[請求項3] 前記第 1 共重合領域の屈折率は、前記中心領域側から前記中間領域側に向かって連続的に低下している

ことを特徴とする請求項 2 に記載の光ファイバ用ロッド。

[請求項4] 前記中間領域と前記外周領域との間に形成されており、

前記単量体 m_b 及び前記単量体 m_c を含み、かつ、前記単量体 m_a を含まない単量体混合物を共重合した材料により構成される、第 2 共重合領域を有する

ことを特徴とする請求項 1 ～ 3 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ用ロッド。

[請求項5] 前記第 2 共重合領域の屈折率は、前記中間領域側から前記外周領域側に向かって連続的に低下している

ことを特徴とする請求項 4 に記載の光ファイバ用ロッド。

[請求項6] 請求項 1 ～ 5 のいずれか 1 項に記載の光ファイバ用ロッドを延伸することにより製造される光ファイバ。

[請求項7] 請求項 6 に記載の光ファイバを複数束ねた集合体を延伸することにより製造されるイメージファイバ。

[請求項8] 中心領域と、前記中心領域を囲むように形成された外周領域と、前記中心領域と前記外周領域との間に形成された中間領域と、を備え、前記中心領域、前記中間領域、前記外周領域の順に屈折率が低下する光ファイバ用ロッドの製造方法であって、

単量体 m_a のみを重合して得られる材料 A の屈折率を n_A 、単量体 m_b のみを重合して得られる材料 B の屈折率を n_B 、単量体 m_c のみを重合して得られる材料 C の屈折率を n_C としたとき、 $n_A > n_B > n_C$ の関係を満たし、

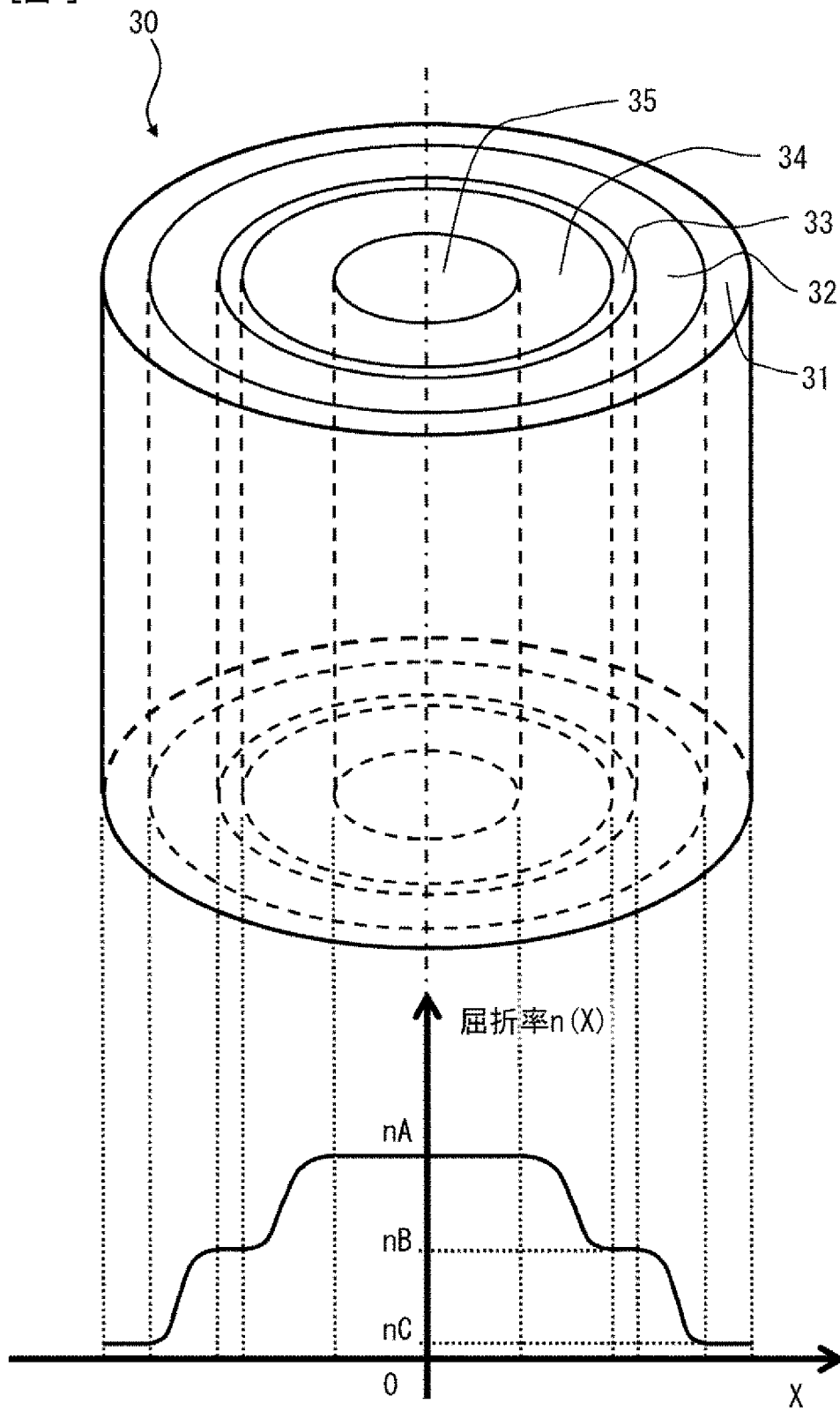
前記単量体 m_c を含み、かつ、前記単量体 m_a を含まない単量体混合物を重合することにより、前記外周領域を形成する工程と、

前記外周領域の内側に、前記単量体 m_b を含み、かつ、前記単量体 m_a 及び前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合することにより前記中間領域を形成する工程と、

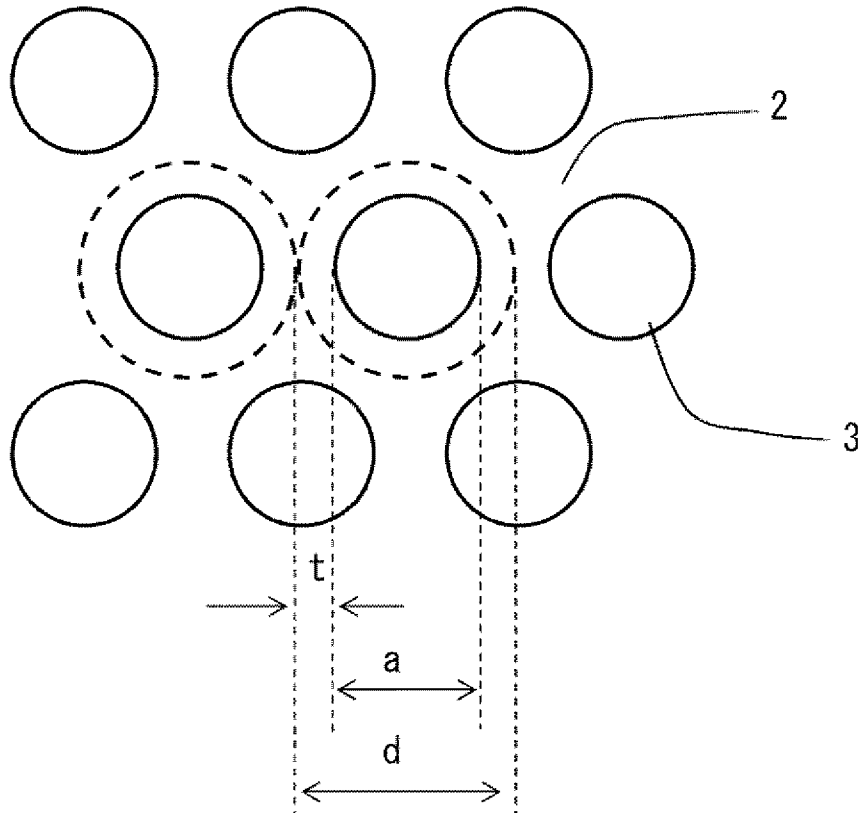
前記中間領域の内側に、前記単量体 m_a を含み、かつ、前記単量体 m_c を含まない単量体混合物を重合することにより前記中心領域を形成する工程と、

を備える光ファイバ用ロッドの製造方法。

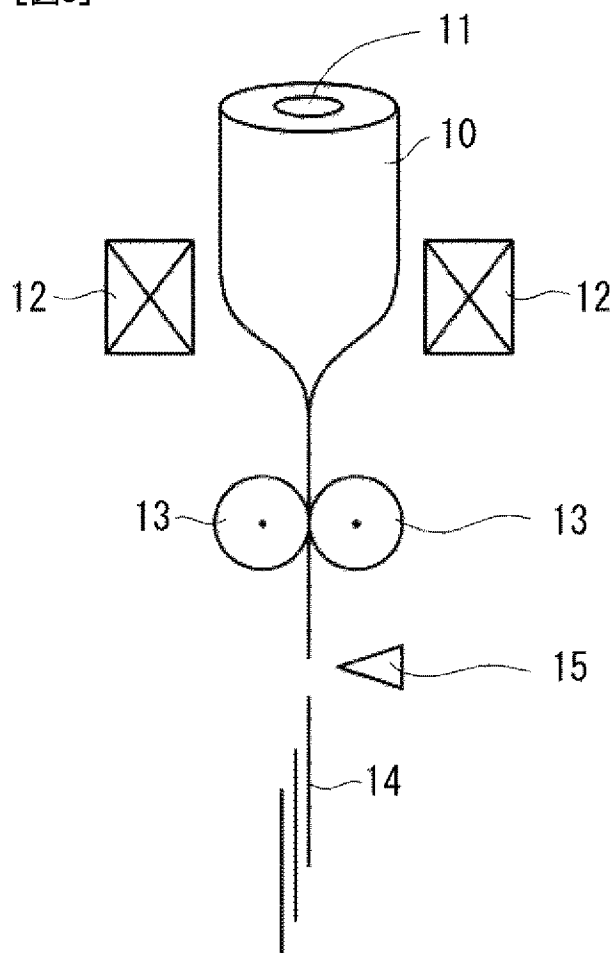
[図1]



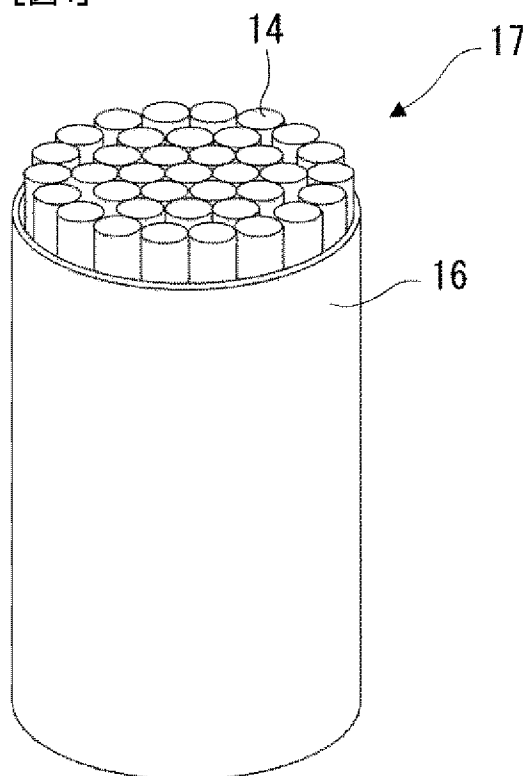
[図2]



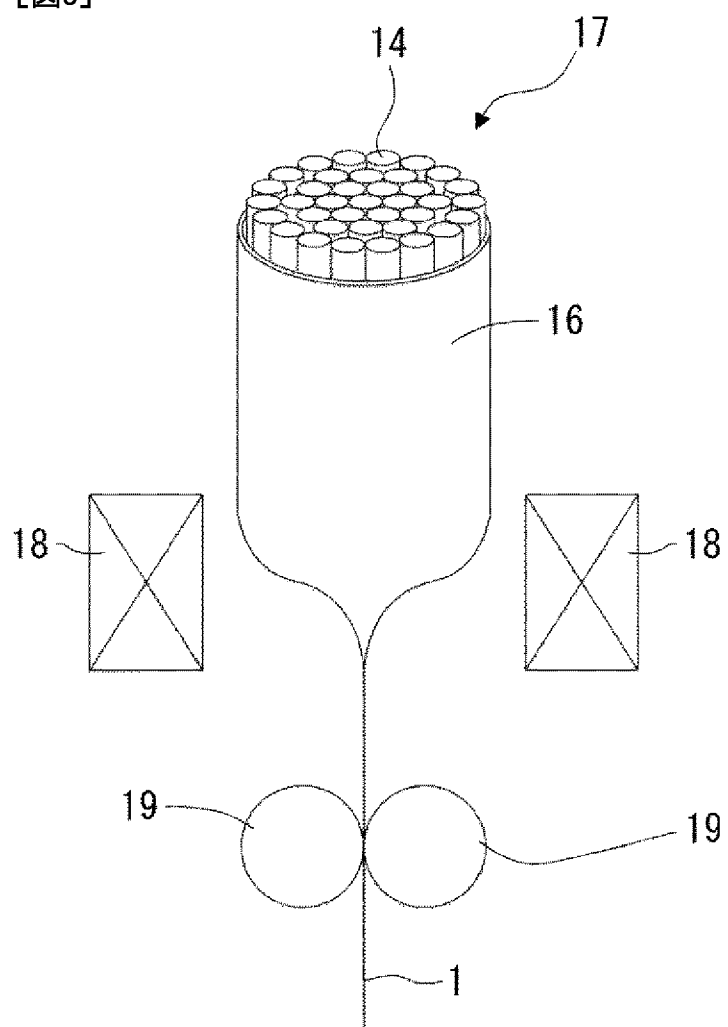
[図3]



[図4]



[図5]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/006372

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B6/02(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)

G02B6/02-6/036, G02B6/44

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	1996-2016
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2016	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2016

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	JP 11-95045 A (Mitsubishi Rayon Co., Ltd.), 09 April 1999 (09.04.1999), paragraphs [0027] to [0030], [0050], [0063], [0086], [0087]; fig. 1(a) to (c) & US 6529665 B1 column 2, line 64 to column 8, line 35; column 8, line 35; fig. 1A to 1C & WO 1999/005548 A1 & EP 1026525 A1 & EP 1176437 A2 & EP 1376167 A1 & DE 69838518 D & DE 69838554 D & DE 69838518 T & DE 69838554 T & AU 8358298 A & AU 736819 B & CA 2297159 A & CN 1269019 A & KR 10-2004-0004477 A & KR 10-0401150 B	1-7 8

☒ 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
01 March 2016 (01.03.16)

Date of mailing of the international search report
15 March 2016 (15.03.16)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2015/006372

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 98/40768 A1 (Asahi Glass Co., Ltd.), 17 September 1998 (17.09.1998), page 9, line 8 to page 10, line 21 & US 6071441 A column 6, line 35 to column 7, line 48 & WO 1998/040768 A1 & EP 911657 A1 & DE 69832355 D & DE 69832355 T & KR 10-2005-0006295 A & TW 403843 B & KR 10-2000-0010693 A & CN 1219244 A	8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B6/02(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（IPC））

Int.Cl. G02B6/02-6/036, G02B6/44

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年
日本国公開実用新案公報	1971-2016年
日本国実用新案登録公報	1996-2016年
日本国登録実用新案公報	1994-2016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	JP 11-95045 A（三菱レイヨン株式会社）1999.04.09, 段落0027 ～0030, 0050, 0063, 0086, 0087, 図1(a) ～(c) & US 6529665 B1(第2欄64行～第8欄第35行、第8欄 第35行、FIG. 1A-1C) & WO 1999/005548 A1 & EP 1026525 A1 & EP 1176437 A2 & EP 1376167 A1 & DE 69838518 D & DE 69838554 D & DE 69838518 T & DE 69838554 T & AU 8358298 A & AU 736819 B & CA 2297159 A & CN 1269019 A & KR 10-2004-0004477 A & KR 10-0401150 B	1-7 8

☑ 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

01.03.2016

国際調査報告の発送日

15.03.2016

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

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）

金高 敏康

2 X

9712

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

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
Y	WO 98/40768 A1 (旭硝子株式会社) 1998.09.17, 第9頁第8行～第10頁第21行 & US 6071441 A(第6欄第35行～第7欄第48行) & WO 1998/040768 A1 & EP 911657 A1 & DE 69832355 D & DE 69832355 T & KR 10-2005-0006295 A & TW 403843 B & KR 10-2000-0010693 A & CN 1219244 A	8