

(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
2018年9月20日(20.09.2018)



(10) 国際公開番号

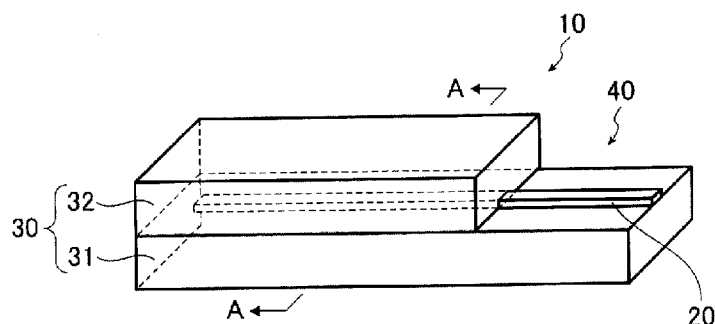
WO 2018/168783 A1

- (51) 国際特許分類:
G02B 6/12 (2006.01) C08G 65/38 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2018/009533
- (22) 国際出願日: 2018年3月12日(12.03.2018)
- (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 2017-049960 2017年3月15日(15.03.2017) JP
- (71) 出願人: A G C 株式会社 (AGC INC.) [JP/JP];
〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 小林 健太 (KOBAYASHI Kenta);
〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 旭硝子株式会社内 Tokyo (JP).
大原 盛輝 (OHARA Seiki); 〒1008405 東京都千代田区丸の内一丁目5番1号 旭硝子株式会社内 Tokyo (JP).

- (74) 代理人: 特許業務法人栄光特許事務所(EIKOH PATENT FIRM, P.C.); 〒1050003 東京都港区西新橋一丁目7番13号 虎ノ門イーストビルディング10階 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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

(54) Title: POLYMER OPTICAL WAVEGUIDE

(54) 発明の名称: ポリマー光導波路



(57) Abstract: The present invention relates to a polymer optical waveguide which comprises a core and a cladding that has a lower refractive index than the core, and which is characterized in that: the polymer optical waveguide has a sheet form; if the thickness direction of the sheet form is taken as the core height and a direction perpendicular to the thickness direction is taken as the core width in a cross-section of the core in a direction perpendicular to the direction of propagation of light, the core height is 0.5-10 μm and the core width is 0.5-15 μm ; and the depth of a recess that is present in the core upper surface and/or the core lateral surface of the cross-section of the core is 0.33 μm or less.

(57) 要約: 本発明は、コアと前記コアよりも屈折率が低いクラッドとを有するポリマー光導波路であって、前記ポリマー光導波路はシート形状をなしており、前記コアの光伝搬方向と垂直方向のコア断面形状において、前記シート形状の厚さ方向をコア高さ、前記厚さ方向と垂直の方向をコア幅とすると、前記コア高さは0.5～10 μm 、前記コア幅は0.5～15 μm であり、前記コア断面形状におけるコア上面、および／またはコア側面に存在する凹みの深さが0.33 μm 以下であることを特徴とするポリマー光導波路に関する。



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：

- 一 国際調査報告（条約第21条(3)）

明 細 書

発明の名称：ポリマー光導波路

技術分野

[0001] 本発明は、ポリマー光導波路に関する。

背景技術

[0002] 通信機器の分野等で機器の小型化及び通信の高速化に伴い、信号の伝送にポリマー製の光導波路を用いることが注目されている（特許文献１）。

ポリマー光導波路は、大容量の信号を通すことができ、ノイズレス、省スペース化、アッセンブリ容易性を実現できる。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：日本国特開２００２－２２９８号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明は、伝搬損失を低減できるポリマー光導波路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

[0005] 上記した目的を達成するため、本願発明は、コアと前記コアよりも屈折率が低いクラッドとを有するポリマー光導波路であって、

前記ポリマー光導波路はシート形状をなしており、コアの光伝搬方向と垂直方向のコア断面形状において、シート形状の厚さ方向をコア高さ、厚さ方向と垂直の方向をコア幅とすると、コア高さは１．０～１０μm、コア幅は１．０～１５μmであり、

前記コア断面形状におけるコア上面、および／またはコア側面に存在する凹みの深さが０．３３μm以下であることを特徴とするポリマー光導波路を提供する。

[0006] 本発明のポリマー光導波路は、波長１５５０nmの伝搬損失値X[dB/cm]

m] を、波長 1 3 1 0 n m の伝搬損失値 Y [d B / c m] で除した伝搬損失比 X/Y が 0. 2 ~ 2 であることが好ましい。

[0007] 本発明のポリマー光導波路において、前記コアは、架橋性官能基を有する含フッ素ポリアリーレンプレポリマー (A) を含む組成物を硬化させたものであり、前記クラッドは、前記含フッ素ポリアリーレンプレポリマー (A) より屈折率が低い架橋性官能基を有する化合物を含む組成物 (B) を硬化させたものであることが好ましい。

[0008] 本発明のポリマー光導波路において、前記組成物 (B) は、前記含フッ素ポリアリーレンプレポリマー (A) と、架橋性官能基を有する分子量が 1 4 0 0 ~ 5 0 0 0 のフッ素原子を有さない化合物 (C) とを含むことが好ましい。

[0009] 本発明のポリマー光導波路において、前記含フッ素ポリアリーレンプレポリマー (A) は、ポリマー厚み 1 0 μ m、ポリマー濃度 1 0 0 w t % での波長 3 6 5 n m における吸光度が 7. 5 以下であることが好ましい。

[0010] 本発明のポリマー光導波路は、シングルモード用のポリマー光導波路であることが好ましい。

[0011] 本発明のポリマー光導波路は、一端側に前記コアの少なくとも一部が露出した結合部を有することが好ましい。

[0012] また、本発明は、本発明のポリマー光導波路と、前記ポリマー光導波路の光導波部を収容するコネクタと、を有する、複合光導波路を提供する。

発明の効果

[0013] 本発明のポリマー光導波路は、シングルモードの伝搬損失を低減できる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]図 1 は、本発明のポリマー光導波路の一構成例を示した斜視図である。

[図2]図 2 は、図 1 のポリマー光導波路の使用形態の一例を示した斜視図である。

[図3]図 3 は、図 2 の側面図である。

[図4]図 4 は、本発明のポリマー光導波路の別の使用形態の例を示した斜視図

である。

[図5]図5は、図4の側面図である。

[図6]図6は、図1のA-A線で切断したポリマー光導波路の断面図である。

[図7]図7は、コア断面形状の別の一例を示した図である。

[図8]図8は、コア断面形状のさらに別の一例を示した図である。

[図9]図9は、例1、例4でコア材料に用いたプレポリマーAの波長400nm付近の吸光度を示した図である。

[図10]図10は、例1～4のポリマー光導波路の平面図である。

[図11]図11は、例1のコア断面形状を示した図である。

[図12]図12は、例2のコア断面形状を示した図である。

[図13]図13は、例3のコア断面形状を示した図である。

[図14]図14は、例4のコア断面形状を示した図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、図面を参照して本発明を説明する。

図1は、本発明のポリマー光導波路の一構成例を示した斜視図である。

図1に示すポリマー光導波路10は、コア20と、該コア20よりも屈折率が低いクラッド30とを有している。クラッド30は、コア20の下方に配されるアンダークラッド31と、コア20の上方に配されるオーバークラッド32とで構成されている。

ポリマー光導波路10の一端側には、オーバークラッド32が存在せずコア20が露出したコア露出部40が設けられている。

[0016] ポリマー光導波路10は平坦なシート形状をなしており、光インターコネクションや光導波路デバイスとして用いられる。光インターコネクションとしては、例えば、チップ内光インターコネクション、チップ間光インターコネクション、ボード内光インターコネクション（光回路内蔵基板）、筐体内光インターコネクション（光バックプレーン）がある。

[0017] 図2は、図1のポリマー光導波路10の使用形態の一例を示した斜視図であり、図3は、図2の側面図である。但し、ポリマー光導波路10は上下反

転させており、コア露出部40が下に位置している。

図2、3において、ポリマー光導波路10は、一端側に設けられたコア露出部により、シリコン光導波路100とアディアバティック結合している。ポリマー光導波路10の他端側は、シングルモード光ファイバ200とバット結合（正対結合）している。

[0018] 図4は、本発明のポリマー光導波路の別の使用形態の例を示した斜視図であり、図5は、図4の側面図である。図4、5において、ポリマー光導波路12の一端側にコア露出部42が設けられており、該コア露出部42により、ポリマー光導波路12と、シリコン光導波路100と、がアディアバティック結合している点は、図2、3と同一である。

図1に示すポリマー光導波路10では、クラッド30に対しコア20の数が一つであるのに対し、図4に示すポリマー光導波路12では、一方向に沿って複数のコア22がアレイ状に設けられており、コア22同士の間隔を広げるため、曲げ領域を有している。

図4、5において、ポリマー光導波路12の他端側は、シングルモード光ファイバ等とのバット結合（正対結合）用のコネクタ300に收容されている。

図4、5に示す形態のように、ポリマー光導波路12と、ポリマー光導波路12の光導波部を收容するコネクタ300と、を有する構造を、本明細書において、複合光導波路とする。

[0019] ポリマー光導波路の両端の構造は、ポリマー光導波路の使用時の結合方式により、適宜選択することができる。図2～5に示した形態のように、一端側の結合方式をアディアバティック結合とし、他端側の結合方式をバット結合（正対結合）とする場合は、ポリマー光導波路の一端側にコア露出部を設ける。両端の結合方式をアディアバティック結合とする場合はポリマー光導波路の両端にコア露出部を設ける。両端の結合方式をバット結合（正対結合）とする場合は、ポリマー光導波路にコア露出部を設けない。

[0020] ポリマー光導波路におけるコアは、配線パターンに応じた各種構造（結合

器、方向性結合器、ピッチチェンジャ、T-Oスイッチ等）を有していてもよい。

[0021] 図6は、図1のA-A線で切断したポリマー光導波路の断面図であり、コア20の光伝搬方向と垂直方向の断面図である。以下、本明細書において、ポリマー光導波路の断面形状、若しくは、ポリマー光導波路を構成するコアもしくはクラッドの断面形状と言った場合、コアの光伝搬方向と垂直方向の断面形状を意味する。

図6において、コア20の断面形状は矩形の上面に凹みがある形状をなしている。但し、本発明のポリマー光導波路において、コアの断面形状はこれに限定されない。たとえば、台形、円形、楕円形、五角形以上の多角形の一部に凹みがある形状であってもよい。コアの断面形状が多角形である場合、その角が丸みを帯びていてもよい。

[0022] 図6に示すコア20の断面形状において、ポリマー光導波路10がなすシート形状の厚さ t 方向をコア高さ、厚さ方向と垂直の方向（すなわち、ポリマー光導波路10がなすシート形状の幅 w 方向）をコア幅とすると、コア高さは $1.0 \sim 10 \mu\text{m}$ 、コア幅は $1.0 \sim 15 \mu\text{m}$ である。コア高さおよびコア幅が上記範囲であることにより、シングルモードでの帯域として代表的な波長 1310 nm 、および波長 1550 nm での伝播損失が抑制される。上記コア高さは、 $1 \sim 9 \mu\text{m}$ が好ましく、 $1 \sim 7 \mu\text{m}$ がより好ましく、 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ がさらに好ましく、 $1 \sim 3 \mu\text{m}$ であることが特に好ましい。上記コア幅は $1 \sim 10 \mu\text{m}$ が好ましく、 $1 \sim 9.5 \mu\text{m}$ がより好ましい。

上記のコア幅、コア高さは、白色光干渉計、光学顕微鏡、レーザ顕微鏡、走査型電子顕微鏡（SEM）を用いて特定することができる。コア露出部の場合はコアの断面形状を直接観察することにより特定することができ、コア露出部が設けられていないポリマー光導波路の場合は、ポリマー光導波路を切断してコアの断面形状を観察することにより特定することができる。

[0023] 本発明のポリマー光導波路は、上記範囲を満たす限りコア高さが異なる部位を有していてもよい。たとえば、ポリマー光導波路の一端と他端とでコア

高さが異なってもよい。また、ポリマー光導波路の両端と、コアの光伝搬方向における中間部位と、でコア高さが異なってもよい。また、ポリマー光導波路のコア露出部と、それ以外の部位と、でコア高さが異なってもよい。

[0024] また、本発明のポリマー光導波路は、上記範囲を満たす限りコア幅が異なる部位を有していてもよい。たとえば、ポリマー光導波路の一端と他端とでコア幅が異なってもよい。また、ポリマー光導波路の両端と、コアの光伝搬方向における中間部位と、でコア幅が異なってもよい。また、ポリマー光導波路のコア露出部と、それ以外の部位と、でコア幅が異なってもよい。

[0025] また、クラッドに対し複数のコアが並列配置されたポリマー光導波路の場合、複数のコアの全てについて、コア高さおよびコア幅が上記範囲を満たす必要がある。但し、全てのコアが信号の伝播目的で使用されるとは限らず、ポリマー光導波路の接続時の位置決め用のコアが存在する場合もある。このような目的で設けられたコアについては、コア高さおよびコア幅が上記範囲を満たしていなくてもよい。

[0026] 図6に示すコア20断面形状は、その上面に凹み60が存在する。後述するように、ポリマー光導波路の製造方法には種々の方法が存在するが、いずれの方法を採用する場合でも、コア断面形状における上面および／または側面に凹みが生じる。

コア断面形状における上面および／または側面に存在する1 μ m前後の凹みはポリマー光導波路において伝播損失を生じることはないと従来考えられていた。

しかしながら、本願発明者らが鋭意検討した結果、コア断面形状における上面および／または側面に存在する凹みが、シングルモードでの波長帯域として代表的な1310nm、および1550nmにおいて伝播損失を生じさせること、および、特定の深さ以上の凹みが存在すると、シングルモードでの波長帯域として代表的な1310nm、および1550nmにおいて有

意な伝播損失を生じることを見出した。

[0027] 本発明のポリマー光導波路は、コア断面形状におけるコア上面および／またはコア側面に存在する凹みの深さが $0.33\mu\text{m}$ 以下である。すなわち、コア上面に凹みが存在する場合、該凹みの深さが $0.33\mu\text{m}$ 以下である。コア側面に凹みが存在する場合、該凹みの深さが $0.33\mu\text{m}$ 以下である。コア上面とコア側面にそれぞれ凹みが存在する場合、これらの凹みの深さが、それぞれ $0.33\mu\text{m}$ 以下である。

コア上面および／またはコア側面に存在する凹みの深さが $0.33\mu\text{m}$ 以下であれば、シングルモードでの波長帯域として代表的な 1310nm 、および 1550nm において伝播損失が低減される。

なお、本明細書において、コア上面に凹みが存在する場合とは、コア上面に少なくとも2つの凸部が存在し、該凸部間に凹部が存在する場合を指す。

コア上面に凹み60が存在する別の構成例を図7に示す。

コア上面に存在する凹みの深さは以下の手順で求めることができる。

コア上面に存在する2つの隣接する凸部間に接線を引いた際に、該接線と、2つの凸部間に位置する凹部との、コア厚み方向における高低差の最大値をコア上面に存在する凹みの深さとする。

[0028] 本明細書において、コア側面に凹みが存在する場合とは、側面の出っ張った2点を結ぶように接線を引いた際に、接線プロファイルよりも内側にコア側面の一部が位置している場合を指す。

コア側面に凹みが存在する一構成例を図8に示す。

コア側面に存在する凹みの深さは以下の手順で求めることができる。

上記で定義した接線プロファイルと、コア側面、との距離の最大値をコア側面に存在する凹みの深さとする。

[0029] コア上面および／またはコア側面に存在する凹みの深さは、上述した手順でコアの断面形状を観察することにより特定することができる。

なお、後述する実施例では、ポリマー光導波路の光伝播方向における一個所でのみコアの断面形状を観察しているが、コア上面および／またはコア側

面に凹みが生じるのはポリマー光導波路の製造時の条件に起因するため、ポリマー光導波路の光伝播方向における一個所において、コア上面および／またはコア側面に凹みが存在する場合、ポリマー光導波路の他の部位においても、コア上面および／またはコア側面に実質的に同程度の深さの凹みが存在する可能性が高い。

[0030] 本発明のポリマー光導波路は、コア断面形状におけるコア上面および／またはコア側面に存在する凹みの深さが $0.30\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが好ましく、 $0.25\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることがより好ましく、 $0.15\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが特に好ましい。

[0031] クラッドに対し複数のコアが並列配置されたポリマー光導波路の場合、複数のコアの全てについて、コア上面および／またはコア側面に存在する凹みの深さが $0.33\text{ }\mu\text{m}$ 以下であることが求められる。但し、全てのコアが信号の伝播目的で使用されるとは限らず、ポリマー光導波路の接続時の位置決め用のコアが存在する場合もある。このような目的で設けられたコアについては、コア上面および／またはコア側面に存在する凹みの深さが $0.33\text{ }\mu\text{m}$ 以下でなくてもよい。

[0032] 上述したように、本発明のポリマー光導波路によれば、シングルモードでの波長帯域として代表的な 1310 nm 、および 1550 nm において伝播損失が低減される。

本発明のポリマー光導波路は、波長 1550 nm の伝搬損失値 $X\text{ [dB/cm]}$ を、波長 1310 nm の伝搬損失値 $Y\text{ [dB/cm]}$ で除した伝搬損失比 X/Y が $0.2\sim 2$ であることが好ましい。伝搬損失値 X/Y が上記範囲を満たしていれば、ポリマー光導波路の設計自由度が高くなる。また、ポリマー光導波路の生産性が高くなる。すなわち、同じデザインのポリマー光導波路を 1310 nm 、および 1550 nm の両方の波長帯域の信号の伝播に使用できる。また、1つのポリマー光導波路において、 1310 nm 、および 1550 nm 波長帯の信号を伝搬できる。

[0033] 本発明のポリマー光導波路において、コアおよびクラッドの構成材料は、

コアの屈折率よりもクラッドの屈折率が低くなるような屈折率の差が生じる材料であれば特に限定されない。例えば、アクリル系樹脂、ポリメチルメタクリレート（PMMA）のようなメタクリル系樹脂、エポキシ系樹脂、オキセタン系樹脂、フェノキシ樹脂、ベンゾシクロブテン系樹脂、ノルボルネン系樹脂、フッ素系樹脂、シリコン系樹脂、フェノール系樹脂、ポリエステル系樹脂、ポリカーボネート系樹脂、ポリスチレン系樹脂、ポリアミド系樹脂、ポリイミド樹脂、ポリ（イミド・イソインドロキナゾリンジオンイミド）樹脂、ポリエーテルイミド樹脂、ポリエーテルケトン樹脂、ポリエステルイミド樹脂等のようなポリイミド系樹脂、ポリベンゾオキサゾール系樹脂、ポリシラン、ポリシラザンゾイミダゾール系樹脂、のような各種の樹脂材料や、有機無機ハイブリット材料を用いることができる。

これらの材料のうち、フッ素系樹脂は、吸水率又は吸湿率が低く、高温高湿に対する耐性に優れ、化学的な安定性が高いため、コアやクラッドの材料として好適である。フッ素系樹脂を用いたポリマー光導波路は、外的環境の変化、特に湿度の変化による屈折率の変動が小さくて特性が安定しており、また、光通信波長帯域における透明性が高い。

[0034] 一方、ポリマー光導波路は、耐熱性が良好であることが好ましい。また加熱、曲げ、温度変化等により、コアとクラッドとの界面において剥離やクラック等が生じないように、コアとクラッドとの密着性が良好であることが好ましい。

耐熱性、および、コアとクラッドとの密着性の観点からは、本発明のポリマー光導波路におけるコアは、含フッ素ポリアリーレンプレポリマー（A）（以下、単にプレポリマー（A）ということもある。）を硬化させて形成されることが好ましい。

一方、本発明のポリマー光導波路におけるクラッドは、プレポリマー（A）より屈折率が低い架橋性官能基を有する化合物を含む組成物（B）を硬化させて形成されることが好ましい。

[0035] （プレポリマー（A））

プレポリマー（A）は、複数の芳香族環が単結合または連結基を介して結合しているポリアリーレン構造を有するとともに、フッ素原子を有し、かつ架橋性官能基を有する。

ポリアリーレン構造における連結基は、例えばエーテル結合（ $-O-$ ）、スルフィド結合（ $-S-$ ）、カルボニル基（ $-CO-$ ）、スルホン酸基から水酸基を除いた二価基（ $-SO_2-$ ）等が挙げられる。プレポリマー（A）のうち、特に芳香族環どうしがエーテル結合（ $-O-$ ）を含む連結基で結合されている構造を有するものを含フッ素ポリアリーレンエーテルプレポリマー（A1）という。本発明におけるプレポリマー（A）は含フッ素ポリアリーレンエーテルプレポリマー（A1）を含む概念である。

該エーテル結合を含む連結基の具体例としては、エーテル性酸素原子のみからなるエーテル結合（ $-O-$ ）、炭素鎖中にエーテル性酸素原子を含むアルキレン基等が例示される。

[0036] プレポリマー（A）の架橋性官能基は、プレポリマー製造時には実質上反応を起こさず、外部エネルギーを与えることにより反応し、プレポリマー分子間の架橋又は鎖延長により高分子量化を引き起こす反応性官能基である。

外部エネルギーとしては、熱、光、電子線等が挙げられる。これらを併用してもよい。外部エネルギーとして熱を用いる場合、 $40^{\circ}\text{C} \sim 500^{\circ}\text{C}$ の反応温度で反応する反応性官能基が好ましい。反応温度が低すぎると、プレポリマー又は該プレポリマーを含む組成物の保存時における安定性が確保できず、高すぎると反応時にプレポリマー自体の熱分解が発生してしまうので、前記範囲にあることが好ましい。該反応温度は $60^{\circ}\text{C} \sim 300^{\circ}\text{C}$ がより好ましく、 $70^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ がさらに好ましく、 $120^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ が特に好ましい。

また、外部エネルギーとして光（化学線）を用いる場合は、プレポリマー（A）と感光剤を共存させた状態で露光することが好ましい。具体的にはプレポリマー（A）を含む塗布液（硬化性組成物）を調製し、これに感光剤を含有させることが好ましい。露光工程において所望の部分にのみ化学線を選

択的に照射すれば、露光部のみを高分子量化させ、未露光部分を現像液に溶解させて除去することができる。また必要に応じて、露光、現像の後にも、化学線または熱等の外部エネルギーを与えてさらに高分子量化させることができる。

[0037] 架橋性官能基の具体例としては、ビニル基、アリル基、アリルオキシ基、メタクリロイル（オキシ）基、アクリロイル（オキシ）基、ビニルオキシ基、トリフルオロビニル基、トリフルオロビニルオキシ基、エチニル基、1-オキソシクロペンター-2, 5-ジエン-3-イル基、シアノ基、アルコキシシリル基、ジアリールヒドロキシメチル基、ヒドロキシフルオレニル基、シクロブタレン環、オキシラン環等が挙げられる。反応性が高く、高い架橋密度が得られる点で、ビニル基、メタクリロイル（オキシ）基、アクリロイル（オキシ）基、トリフルオロビニルオキシ基、エチニル基、シクロブタレン環、およびオキシラン環が好ましく、高分子量化後の耐熱性が良好となる点から、ビニル基、およびエチニル基が最も好ましい。

なおメタクリロイル（オキシ）基とは、メタクリロイル基またはメタクリロイルオキシ基を意味する。アクリロイル（オキシ）基も同様である。

[0038] プレポリマー（A）は、芳香族環を有するため、耐熱性が良好である。

プレポリマー（A）のうちでも、特に、含フッ素ポリアリーレンエーテルプレポリマー（A1）は、エーテル性酸素原子を有するため、分子構造が柔軟性を有し、硬化物の可とう性が良好である点で好ましい。

プレポリマー（A）はフッ素原子を有する。すなわちプレポリマー（A）はC-H結合の水素原子がフッ素原子に置換されたC-F結合を有するため、C-H結合の存在割合が少なくなっている。C-H結合は光通信波長帯域（1250～1650nm）において吸収を有するため、C-H結合が少ないプレポリマー（A）は、光通信波長帯域における光の吸収が抑えられる。またプレポリマー（A）はフッ素原子を有するため、吸水性または吸湿性が低く、高温高湿に対する耐性に優れるとともに、化学的にも安定性が高い。したがって、プレポリマー（A）を用いた光導波路は、外的環境の変化、特

に湿度変化、による屈折率変動が小さく特性が安定しており、また光通信波長帯域における透明性が高い。

またプレポリマー（A）の硬化物は、波長1310nm付近における透明性が高いため、既存の光学素子との適合性が良い光導波路が得られる。すなわち、一般に石英系光ファイバを用いた光伝送装置においては、1310nmを使用波長とする場合が多いため、この使用波長に適合する受光素子等の光学素子が多く製造されており、信頼性も高い。

[0039] 好ましいプレポリマー（A）の例としては、ペルフルオロ（1，3，5－トリフェニルベンゼン）、ペルフルオロビフェニル等の含フッ素芳香族化合物と；1，3，5－トリヒドロキシベンゼン、1，1，1－トリス（4－ヒドロキシフェニル）エタン等のフェノール系化合物と；ペンタフルオロスチレン、アセトキシスチレン、クロルメチルスチレン等の架橋性化合物と；を炭酸カリウム等の脱ハロゲン化水素剤の存在下で反応させて得られるポリマーが挙げられる。

[0040] プレポリマー（A）における架橋性官能基の含有量は、プレポリマー1gに対して架橋性官能基が0.1～4ミリモルが好ましく、0.2～3ミリモルがより好ましい。この範囲を0.1ミリモル以上とすることで硬化物の耐熱性及び耐溶剤性を高くでき、また4ミリモル以下とすることで、脆性を小さく抑え、比誘電率の上昇を抑制することができる。

[0041] プレポリマー（A）は、ポリマー厚み10mm、ポリマー濃度100wt%での波長365nmにおける吸光度が7.5以下であることが好ましい。本明細書において、ポリマー濃度100wt%での吸光度とは、ポリマー100wt%での吸光度の実測値、またはポリマー100wt%での吸光度の想定値を指す。

詳しくは後述するが、ポリマー光導波路の作製時において、ポリマー光導波路のコアを形成する際にフォトリソグラフィプロセスを用いる場合がある。このフォトリソグラフィプロセスでの露光には波長365nmのi線が通常使用される。波長365nmにおける吸光度が高いと、フォトリソグラフ

ィプロセスの露光時にプレポリマー（Ａ）がｉ線を吸収して、形成されるコアに凹みが生じるおそれがある。プレポリマー（Ａ）は、ポリマー厚み１０mm、ポリマー濃度１００wt %での波長３６５nmにおける吸光度が７．５以下であれば、形成されるコアに凹みが生じるおそれが少ない。

これにより、シングルモードでの波長帯域として代表的な１３１０nm、および１５５０nmにおいて伝播損失が低減される。

プレポリマー（Ａ）は、ポリマー厚み１０mm、ポリマー濃度１００wt %での波長３６５nmにおける吸光度が７．５以下であることが好ましく、６．５以下であることがより好ましく、６．０以下であることがさらに好ましく、５．５以下であることが特に好ましい。

[0042] プレポリマー（Ａ）は、ポリマー厚み１０mm、ポリマー濃度１００wt %での波長１４００nm～１４６０nmにおける吸光度のピーク値が０．０４５以下であることが好ましい。

プレポリマー（Ａ）が水分を含有すると、該プレポリマー（Ａ）を用いて形成されるコアにおいて、シングルモードでの波長帯域として代表的な１３１０nm、および１５５０nmで伝播損失が生じるおそれがある。

プレポリマー（Ａ）が水分を含有すると、波長１４００nm～１４６０nmにおける吸収が大きくなる。ポリマー厚み１０mm、ポリマー濃度１００wt %での波長１４００nm～１４６０nmにおける吸光度のピーク値が０．０４５以下であれば、プレポリマー（Ａ）が含有する水分がきわめて少なく、該プレポリマー（Ａ）を用いて形成されるコアにおいて、シングルモードでの波長帯域として代表的な１３１０nm、および１５５０nmにおいて伝播損失が低減される。

[0043] なお、後述する実施例に示すように、プレポリマー（Ａ）では、波長３６５nmにおける吸収と、波長１４００nm～１４６０nmにおける吸収と、の間に相関性が認められる。そのため、波長３６５nmにおける吸光度と、波長１４００nm～１４６０nmにおける吸光度のピーク値のうち、一方を測定することで、他方の傾向を推定することができる。例えば、波長１４０

0 nm～1460 nmにおける吸光度のピーク値から、波長365 nmにおける吸光度の高低を推定することができる。

[0044] (組成物 (B))

組成物 (B) は、プレポリマー (A) と、架橋性官能基を有する分子量が140～5000のフッ素原子を有さない化合物 (C) とを含むことが好ましい。

組成物 (B) に含まれるプレポリマー (A) は、コアの形成に用いるプレポリマー (A) は、同じであってもよく、異なってもよい。接着性、密着性、クラック抑制、または膨張率差の低減の点からは同じであることが好ましい。

[0045] (化合物 (C))

化合物 (C) は分子量が140～5000であり、架橋性官能基を有し、フッ素原子を有していない。フッ素原子を有していないため、良好な埋め込み平坦性が得られやすい。埋め込み平坦性が良いと、クラッドの表面が平坦になりやすい。また含フッ素化合物に比べて低コストになりやすい。

[0046] 化合物 (C) の分子量が5000以下であると、化合物 (C) の粘度が低く抑えられ、プレポリマー (A) と混合したときに均一な組成物が得られやすい。また良好な平坦性が得られやすい。

化合物 (C) の分子量が140以上であると、良好な耐熱性が得られ、加熱による分解、揮発が生じ難い。化合物 (C) の分子量の範囲は250～3000が好ましく、250～2500が特に好ましい。

[0047] 化合物 (C) の架橋性官能基は、フッ素原子を含有せず、上記プレポリマー (A) の架橋性官能基を反応させる工程と同工程で反応する反応性官能基が好ましい。

化合物 (C) の架橋性官能基は、少なくとも化合物 (C) と反応して架橋又は鎖延長を引き起こす。化合物 (C) の架橋性官能基が、プレポリマー (A) および化合物 (C) の両方と反応して架橋又は鎖延長を引き起こすことが好ましい。

化合物（C）の架橋性官能基としては、炭素原子－炭素原子における二重結合または三重結合が好ましい。ただし芳香族性の二重結合、三重結合は含まない。

架橋性官能基としての二重結合、三重結合は、分子鎖の内部に存在してもよく、末端に存在してもよいが、反応性が高いことから末端に存在することが好ましい。二重結合の場合には、内部オレフィンであっても、末端オレフィンであってもよいが、末端オレフィンが好ましい。分子鎖の内部にあるとは、シクロオレフィン類のように脂肪族環の一部に存在することも含む。

具体的には、ビニル基、アリル基、エチニル基、ビニルオキシ基、アリルオキシ基、アクリロイル基、アクリロイルオキシ基、メタクリロイル基、メタクリロイルオキシ基からなる群から選ばれる1種以上を含むことが好ましい。これらのうちで、感光剤の存在下でなくても光照射により反応を生じる点でアクリロイル基、アクリロイルオキシ基が好ましい。

[0048] 化合物（C）は架橋性官能基を2個以上有することが好ましく、2～20個有することがより好ましく、2～8個有することが特に好ましい。架橋性官能基を2個以上有していると、分子間を架橋させることができるため、硬化膜における耐熱性を向上させ、硬化膜における加熱による膜厚減少を良好に抑えることができる。

[0049] 化合物（C）の具体例としては、ジペンタエリスリトールトリアクリレートトリウンデシレート、ジペンタエリスリトールペンタアクリレートモノウンデシレート、エトキシ化イソシアヌル酸トリアクリレート、ε-カプロラクトン変性トリスー（2-アクリロキシエチル）イソシアヌレート、ジペンタエリスリトールポリアクリレート、9,9-ビス[4-（2-アクリロイルオキシエトキシ）フェニル]フルオレン、ポリエチレングリコールジアクリレート、ポリエチレングリコールジメタクリレート、ポリプロピレングリコールジアクリレート、ポリプロピレングリコールジメタクリレート、エトキシ化ビスフェノールAジアクリレート、エトキシ化ビスフェノールAジメタクリレート、プロポキシ化ビスフェノールAジアクリレート、プロポキシ

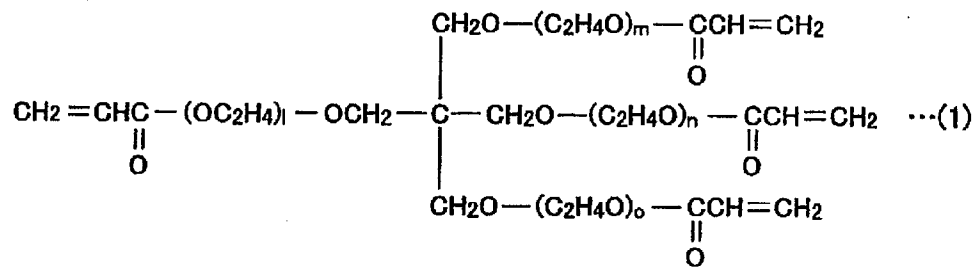
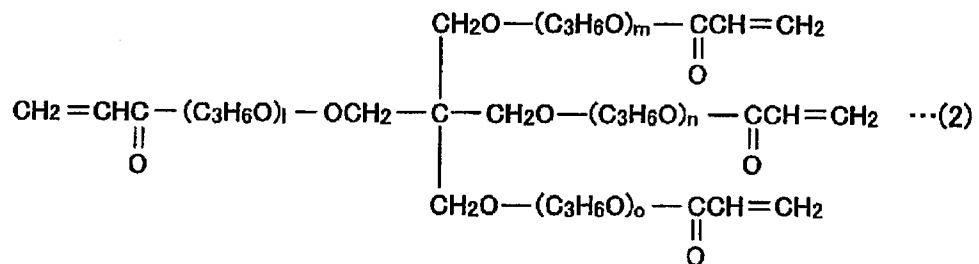
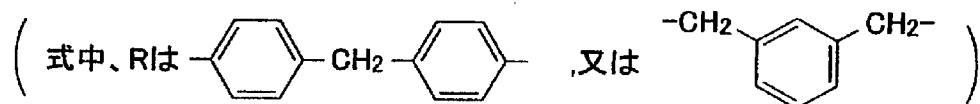
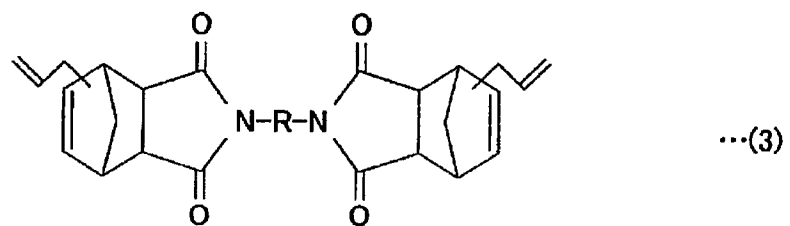
化ビスフェノールAジメタクリレート、1, 10-デカンジオールジアクリレート、1, 6-ヘキサジオールジアクリレート、1, 6-ヘキサジオールジメタクリレート、1, 4-ブタンジオールジメタクリレート、1, 3-ブタンジオールジメタクリレート、ヒドロキシピバリン酸ネオペンチルグリコールジアクリレート、1, 9-ノナンジオールジアクリレート、1, 9-ノナンジオールジメタクリレート、ネオペンチルグリコールジアクリレート、ネオペンチルグリコールジメタクリレート、ペンタエリスリトールトリアクリレート、トリメチロールプロパントリアクリレート、エトキシ化トリメチロールプロパントリアクリレート、プロポキシ化トリメチロールプロパントリアクリレート、トリアリルシアヌレート、トリアリルイソシアヌレート、トリメタアリルイソシアヌレート、1, 4-ブタンジオールジビニルエーテル、1, 9-ノナンジオールジビニルエーテル、シクロヘキサジメタノールジビニルエーテル、トリエチレングリコールジビニルエーテル、トリメチロールプロパントリビニルエーテル、ペンタエリスリトールテトラビニルエーテル、アクリル酸2-(2-ビニロキシエトキシ)エチル、メタクリル酸2-(2-ビニロキシエトキシ)エチル、トリメチロールプロパンジアリルエーテル、ペンタエリスリトールトリアリルエーテル、ジペンタエリスリトールヘキサアクリレート、ペンタエリスリトールテトラアクリレート、下記式(1)で表されるエトキシ化ペンタエリスリトールテトラアクリレート、下記式(2)で表されるプロポキシ化ペンタエリスリトールテトラアクリレート、ジトリメチロールプロパンテトラアクリレート、トリシクロデカンジメタノールジアクリレート、トリシクロデカンジメタノールメタクリレート、下記式(3)で表される化合物等が挙げられる。またポリエステルアクリレート(二価アルコールと二塩基酸との縮合物の両末端をアクリル酸で修飾した化合物: 東亜合成社製、商品名アロニックス(M-6100、M-6200、M-6250、M-6500); 多価アルコールと多塩基酸との縮合物の水酸基末端をアクリル酸で修飾した化合物: 東亜合成社製、商品名アロニックス(M-7100、M-7300K、M-8030、M-806

0、M-8100、M-8530、M-8560、M-9050)) も利用できる。これらは市販品から入手できる。

上記に挙げた中でも、ポリプロピレングリコールジメタクリレート、1,10-デカンジオールジアクリレートが硬化膜の成形性が良好であるので好ましい。

[0050]

[化1]

(式中、 $l+m+n+o$ は、4~35)(式中、 $l+m+n+o$ は、約4)

[0051] 上述したように、クラッドの構成材料は、コアの構成材料よりも屈折率が低いことが必要である。コアの構成材料をプレポリマー（A）とし、クラッドの構成材料をプレポリマー（A）と、化合物（C）とを含むポリマー組成

物とする場合、プレポリマー（Ａ）の硬化物よりも上記ポリマー組成物の硬化物の屈折率が低くなるように、化合物（Ｃ）の種類、および、ポリマー組成物におけるプレポリマー（Ａ）と化合物（Ｃ）との混合比率を調整すればよい。

硬化物の屈折率がプレポリマー（Ａ）を単独で硬化させた硬化物の屈折率より高い化合物（Ｃ）を用いる場合は、硬化物の屈折率がプレポリマー（Ａ）を単独で硬化させた硬化物の屈折率より低い別の化合物（Ｃ）と組み合わせて使用することによって、クラッドの屈折率を、コアの屈折率よりも低くできる。

[0052] 図１に示すポリマー光導波路１０において、アンダークラッド３１と、オーバークラッド３２の構成材料は同じ材料を用いてもよく、異なる材料を用いてもよい。例えば、アンダークラッド３１と、オーバークラッド３２とで屈折率が異なる材料を用いると、ポリマー光導波路１０における光の閉じ込め状態を制御できる。

[0053] 本発明のポリマー光導波路の製造方法は特に限定されず、各種方法を用いることができる。具体的には、複製（スタンパ）法、直接露光法、反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）とフォトリソグラフィプロセスを組み合わせる方法、射出成形をもとにした方法、フォトリソグラフィ法、直接描画法、自己形成法等を用いることができる。

[0054] 本発明のポリマー光導波路１０の製造方法の一例について説明する。

まず、スピコート法により、基板の上に組成物（Ｂ）を含有する塗布液を塗布する。続いて、組成物（Ｂ）を硬化させてアンダークラッド３１を形成する。

次に、スピコート法により、アンダークラッド３１の上にプレポリマー（Ａ）を含有する塗布液を塗布する。続いて、フォトリソグラフィプロセスにより、プレポリマー（Ａ）をパターニングし、アンダークラッド３１の上にコア２０を形成する。このとき、コア２０の幅が光の伝搬方向に沿って異なる形状を形成する場合、コア２０の幅が光の伝搬方向に沿って異なる形状

のフォトマスクを用いて露光を行った後、現像することによってコア20を形成することができる。また、コア20を形成した後、必要に応じてポストベークを行ってもよい。

次に、スピコート法により、アンダークラッド31及びコア20の上に組成物(B)を含有する塗布液を塗布する。続いて、組成物(B)を硬化させてオーバークラッド32を形成する。オーバークラッド32を形成する際、フォトリソグラフィプロセスにより、オーバークラッド32が存在せずコア20が露出したコア露出部40を形成することができる。

以上の方法により、ポリマー光導波路10を製造することができる。なお、組成物(B)を含有する塗布液、若しくは、プレポリマー(A)を含有する塗布液を塗布する際、これらの塗布液を十分に静置して脱泡した後、塗布することが好ましい。これにより、コア20の内部やコア20とクラッド30との界面近傍に泡欠陥が存在しないポリマー光導波路10を製造することができる。また、塗布液を十分に静置して脱泡することに加えて又は代えて、脱泡装置を利用して脱泡を行うことが好ましい。また、塗布液を塗布する前に、塗布液のろ過を行うことが好ましい。これにより、塗布液内の異物を取り除くことができる。また、塗布液を塗布する前に、基板の洗浄を行うことが好ましい。これにより、基板の表面の異物を取り除くことができる。また、空気中の異物の付着を防ぐため、これらの作業をクリーンルーム内で行うことが好ましく、静電気による異物の付着を防ぐため、静電気除去器(イオナイザー)を使用することが更に好ましい。

実施例

[0055] 以下に実施例を用いて本発明をさらに詳しく説明するが、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。以下において例1～3は実施例、例4は比較例である。

[0056] (例1)

コアの形成に用いるプレポリマー(A)を以下の手順で調製した。

N, N-ジメチルアセトアミド(以下、DMAcという)溶媒中で、ペル

フルオロビフェニル（67質量%）と、1,3,5-トリヒドロキシベンゼン（12質量%）とを炭酸カリウムの存在下に、35～42℃で5時間反応させた後、続けて4-アセトキシスチレン（21質量%）を水酸化カリウム水溶液の存在下に反応させてプレポリマーを合成した。得られたプレポリマーのDMAc溶液を塩酸水溶液に投入することで再沈精製し、真空乾燥して粉末状のプレポリマー（A）を得た。

[0057] 上記の手順で得られたプレポリマー（A）について、波長365nmにおける吸光度を以下の手順で測定した。

分光光度計（島津製作所社製、製品型式：SolidSpec3700DUV）で測定した。光路長10mmの石英セルを使用し、プレポリマー（A）濃度を10wt%～40wt%で段階的に変えた溶液3つ以上の吸光度を測定し、100%外挿時の値を最小二乗法にて近似して算出した。測定波長範囲は300～2500nm、スキャンスピードは中速、サンプリングピッチは5nmで測定を行った。検出器ユニットは直接受光で測定を行った。溶媒には重クロロホルムを使用した。なお、プレポリマー（A）の吸光度は、溶剤の吸収をベースラインとして差し引いて求める。上記の手順で得られたプレポリマー（A）の波長400nm付近の吸光度を図9に示す。波長365nmにおける吸光度（ポリマー厚み10mm、濃度100%換算）は3.98であった。

なお、上記の手順により、波長1400nm～1460nmにおける吸光度のピーク値（ポリマー厚み10mm、濃度100%換算）を求めた。波長1400nm～1460nmにおける吸光度のピーク値（ポリマー厚み10mm、濃度100%換算）は0.06であった。

[0058] クラッドの形成に用いる組成物（B）を以下の手順で調製した。

上記手順で得られたプレポリマー（A）を50質量部と、化合物（C）として1,10-デカンジオールジアクリレート（分子量：282）を25質量部と、ポリプロピレングリコールジメタクリレートを25質量部とを容器に入れ、室温で55時間混合して、組成物（B）を得た。

[0059] 上記手順で得られたプレポリマー（Ａ）、および組成物（Ｂ）を用いて、以下の手順でポリマー光導波路を作製した。

基材としてはシリコン製のウエハを用いた。基材上に、組成物（Ｂ）をスピコートにより塗布し、 190°C 、１時間の加熱を行って、アンダークラッドを形成した。

次いで、その上にプレポリマー（Ａ）を塗布し、該塗膜のコアとなる部分以外を金属箔で遮光した状態で、該塗膜に対し、超高圧水銀灯で照射エネルギー $2000\text{ mJ}/\text{cm}^2$ で露光した。その後、現像液として、PGMEAと乳酸エチルの混合液を用いて現像を行い、塗膜の未露光部分を除去した後、乾燥させた。 190°C 、１時間のポストベークを行って、コアを形成した。

続いて、コアおよびアンダークラッド上に、組成物（Ｂ）をスピコート法により塗布して塗膜を形成した。該塗膜のうち、オーバークラッドとなる部分以外を金属箔で遮光した状態で、該塗膜に対し、超高圧水銀灯で照射エネルギー $2000\text{ mJ}/\text{cm}^2$ で露光した。その後、現像液として、PGMEAを用いて現像を行い、塗膜の未露光部分を除去した後、乾燥させた。さらに 190°C 、２時間のポストベークを行って、オーバークラッドと、オーバークラッドが存在せずコアが露出したコア露出部を形成した。

[0060] 図１０は、上記の手順で得られたポリマー光導波路の平面図である。図１０のポリマー光導波路において、符号１２０はコアを示し、符号１３２はクラッド（オーバークラッド）を示す。図１０に示すポリマー光導波路において、符号aはオーバークラッドが存在しない領域のコアであり、例１～４において、コアの観察は符号aの位置で実施した。符号bはinput側の光学測定用のコアが下に存在するオーバークラッド、符号cはoutput側の光学測定用コアが下に存在するオーバークラッドをそれぞれ示す。

（例１）において、符号aで示すコア露出部（input側）は、コア高さが $2.5\text{ }\mu\text{m}$ であり、コア幅が $7.5\text{ }\mu\text{m}$ である。符号bで示す光学測定用のコア（input側）は、コア高さが $2.5\text{ }\mu\text{m}$ であり、コア幅が $2.5\text{ }\mu\text{m}$ である。符号cで示す光学測定用のコア（output側）は、コア高

さが $2.5\mu\text{m}$ であり、コア幅が $2.5\mu\text{m}$ である。アンダークラッドの厚みは $25\mu\text{m}$ 、オーバークラッドの厚みは $25\mu\text{m}$ である。

[0061] 符号aで示すコア露出部（input側）について、input側端部から約 $1300\mu\text{m}$ の地点でコアの断面形状を測定した。コアの断面形状の測定には、白色干渉計（ZYGOS社製、製品型式：3次元光学プロファイラシステムNewview7300）を使用した。対物レンズは50倍を使用した。

コア高さは白色干渉計でコア形状のプロットデータを取り、アンダークラッド部分を水平に補正したデータを作成し、コア中心から両側に $25\mu\text{m}$ の距離にあるアンダークラッド部分の高さでベースラインを引き、そのベースラインを原点として、コア凸部のうち最も高い値をコア高さとした。断面形状におけるコア幅は、コア高さが半値となる位置での幅をコア幅とした。

図11は、コア露出部におけるコア断面形状を示した図である。図示するように、コア上面には凹みが存在している。

コア上面に存在する2つの隣接する凸部間に接線を引いた際に、該接線と、2つの凸部間に位置する凹部との、コア厚み方向における高低差の最大値をコア上面に存在する凹みの深さとした。

コア上面に存在する凹みの深さは $0.07\mu\text{m}$ であった。

[0062] 符号bで示す光学測定用のコア（input側）、および符号cで示す光学測定用のコア（output側）を用いて伝搬損失測定を行った。伝搬損失測定は、JPCA規格（2008年）4.6.2.1カットバック方法に記載されている方法を用いて行った。入射側光ファイバと光導波路のモードの組み合わせは、JPCA規格、表4.6.1-1に記載されている組み合わせナンバ6に相当する組み合わせである、入射側にシングルモードファイバ、出射側にシングルモードファイバを使用した。挿入損失測定の際に使用したファイバは、入射側出射側ともにシングルモードファイバ（コーニング社製、品番：SMF-28、NAO.14、コア径 $8.2\mu\text{m}$ ）を使用した。

光学測定系で用いた発光側の光源としては、LD光源（安藤電気社製、製品名：AQ4213）を有するユニット（安藤電気社製、製品名：AQ2140）を使用した。受光側には、パワーメーター（アドバンテスト社製、製品名：Q8221ユニット）とセンサーユニット（アドバンテスト社製、製品名：Q82208）を使用した。

波長1550nmの伝搬損失値Xは0.32 [dB/cm]、波長1310nmの伝搬損失値Yは0.61 [dB/cm]、伝搬損失比X/Yは0.52であった。

[0063] （例2）

コア形成時の露光条件を変えて、図10に示すポリマー光導波路において、符号aで示すコア露出部（input側）がコア高さ2.5μm、コア幅9.3μm、符号bで示す光学測定用のコア（input側）がコア高さ2.5μm、コア幅2.5μm、符号cで示す光学測定用のコア（output側）がコア高さ2.5μm、コア幅2.5μm、アンダークラッドの厚みが25μm、オーバークラッドの厚みが25μmとした以外は例1と同様の手順を実施した。

符号aで示すコア露出部（input側）について、input側端部から約1300μmの地点でコアの断面形状を実施例1と同様の手順で測定した。

図12は、コア露出部におけるコア断面形状を示した図である。図示するように、コア上面には凹みが存在している。コア上面に存在する凹みの深さは0.15μmであった。符号bで示す光学測定用のコア（input側）、および符号cで示す光学測定用のコア（output側）を用いて実施例1と同様の手順で伝搬損失測定を行った。

1550nmの伝搬損失値Xは0.29 [dB/cm]、1310nmの伝搬損失値Yは0.61 [dB/cm]、伝搬損失比X/Yは0.47であった。

[0064] 例2で得られたポリマー光導波路について下記の3つの方法で耐熱性を評

価した。

[0065] [ヒートサイクル試験]

JPCA規格(2008年)、6.2.5に記載されている温度サイクル試験を行った。本試験では、室温(25℃)から55分かけて-50℃に温度降下させ、30分間保持した後、30分かけて25℃に温度上昇させ、20分間保持した後に30分かけて125℃に温度上昇させ、30分間保持した後に45分かけて25℃に温度降下させ20分間保持する、という温度サイクルを1サイクルとして、35サイクル繰り返した。試験前と試験後とで挿入損失の差を測定した。

挿入損失の測定は、JPCA規格、4.6.1に記載されている挿入損失の測定方法により行った。測定装置、測定手順、測定条件等は上述した伝播損失測定と同様の条件で行った。

挿入損失の測定結果は、温度サイクル試験前後で測定誤差の範囲内であり、温度サイクル試験前後の挿入損失の変化は0.1dB以下であった。

[0066] [耐熱性(高温放置試験)]

JPCA規格(2008年)、6.2.1に記載されている高温放置試験を行い、耐熱性を評価した。光導波路が半田付けされることを想定すると、200℃以上の加熱に対して安定であることが好ましい。

本試験では、オーブンに投入して室温から5分かけて260℃まで昇温し、260℃に30秒間保持した後、自然に温度が室温になるまで放置した。評価はオーブンに投入する前後で挿入損失の差を測定した。挿入損失の差は0.1dB以下と小さく耐熱性は良好であった。

[0067] [耐熱性(高温高湿放置試験)]

JPCA規格(2008年)、6.2.3に記載されている高温高湿放置試験を行い、耐熱性を評価した。試験条件は「試験条件3」とした。すなわち、本試験では85℃、85%RHの高温高湿条件下に140時間投入した後、自然に温度が室温になるまで放置した。高温高湿条件下に投入する前後の挿入損失の差を測定した。その結果、高温高湿条件下に保持されたことに

よる挿入損失の変化は0.2 dB以下であった。

[0068] (例3)

コアの形成に用いるプレポリマーAを以下の手順で調製した。

N, N-ジメチルアセトアミド（以下、DMAcという）溶媒中で、ペルフルオロビフェニル（67質量%）と、1, 3, 5-トリヒドロキシベンゼン（12質量%）とを炭酸カリウムの存在下に、40～43℃で5時間反応させた後、続けて4-アセトキシスチレン（21質量%）を水酸化カリウム水溶液の存在下に反応させてプレポリマーを合成した。得られたプレポリマーのDMAc溶液を塩酸水溶液に投入することで再沈精製し、真空乾燥して粉末状のプレポリマーAを得た。

プレポリマーAとして、波長365 nmにおける吸光度（ポリマー厚み10 mm、濃度100%換算）が4.86、波長1400 nm～1460 nmにおける吸光度のピーク値（ポリマー厚み10 mm、濃度100%換算）が0.12のものを使用した以外は実施例1と同様の手順を実施した。図10に示すポリマー光導波路において、符号aで示すコア露出部（input側）がコア高さ2.5 μm、コア幅7.4 μm、符号bで示す光学測定用のコア（input側）がコア高さ2.5 μm、コア幅が2.5 μmである。符号cで示す光学測定用のコア（output側）がコア高さ2.5 μm、コア幅2.5 μm、アンダークラッドの厚みが25 μm、オーバークラッドの厚みが25 μmとした。

符号aで示すコア露出部（input側）について、input側端部から約1300 μmの地点でコアの断面形状を実施例1と同様の手順で測定した。

図13は、コア露出部におけるコア断面形状を示した図である。図示するように、コア上面には凹みが存在している。コア上面に存在する凹みの深さは0.13 μmであった。符号bで示す光学測定用のコア（input側）、および符号cで示す光学測定用のコア（output側）を用いて実施例1と同様の手順で伝搬損失測定を行った。

1550 nmの伝搬損失値Xは0.40 [dB/cm]、1310 nmの伝搬損失値Yは0.61 [dB/cm]、伝搬損失比X/Yは0.66であった。

[0069] (例4)

コアの形成に用いるプレポリマーAを以下の手順で調製した。

N, N-ジメチルアセトアミド（以下、DMAcという）溶媒中で、ペルフルオロビフェニル（67質量%）と、1, 3, 5-トリヒドロキシベンゼン（12質量%）とを炭酸カリウムの存在下に、40～46℃で5時間反応させた後、続けて4-アセトキシスチレン（21質量%）を水酸化カリウム水溶液の存在下に反応させてプレポリマーを合成した。得られたプレポリマーのDMAc溶液を塩酸水溶液に投入することで再沈精製し、真空乾燥して粉末状のプレポリマーAを得た。

プレポリマーAとして、波長365 nmにおける吸光度（ポリマー厚み10 mm、濃度100%換算）が7.9、波長1400 nm～1460 nmにおける吸光度のピーク値（ポリマー厚み10 mm、濃度100%換算）が0.26のものを使用し、かつコア形成時の露光条件を変えて、図10に示すポリマー光導波路において、符号aで示すコア露出部（input側）をコア高さ2.5 μm、コア幅9.4 μm、符号bで示す光学測定用のコア（input側）をコア高さ2.5 μm、コア幅2.5 μm、符号cで示す光学測定用のコア（output側）をコア高さ2.5 μm、コア幅2.5 μmとした以外は実施例1と同様の手順を実施した。

例4で使用したプレポリマー（A）の波長400 nm付近の吸光度を図9に示す。

符号aで示すコア露出部（input側）について、input側端部から約1300 μmの地点でコアの断面形状を実施例1と同様の手順で測定した。

図14は、コア露出部におけるコア断面形状を示した図である。図示するように、コア上面には凹みが存在している。コア上面に存在する凹みの深さ

は0.36 μm であった。

符号bで示す光学測定用のコア（input側）、および符号cで示す光学測定用のコア（output側）を用いて実施例1と同様の手順で伝搬損失測定を行った。

1550nmの伝搬損失値Xは0.69 [dB/cm]、1310nmの伝搬損失値Yは0.82 [dB/cm]、伝搬損失比X/Yは0.83であった。

[0070] [表1]

表 1

	例 1	例 2	例 3	例 4
コア上面の凹みの深さ[μm]	0.07	0.15	0.13	0.36
プレポリマーA (ポリマー厚み 10mm,濃度 100%換算) 吸光度(365nm)	3.98	3.98	4.86	7.90
プレポリマーA (ポリマー厚み 10mm,濃度 100%換算) 吸光度(1400~1460nm のピーク)	0.06	0.06	0.12	0.26
伝搬損失(1550nm) X[dB/cm]	0.32	0.29	0.40	0.69
伝搬損失(1310nm) Y[dB/cm]	0.61	0.61	0.61	0.82
伝搬損失比 X/Y	0.52	0.47	0.66	0.83

[0071] コア上面に存在する凹みの深さが0.33 μm 以下の例1～3は、コア上面に存在する凹みの深さが0.33 μm 超の例4に比べて、シングルモードでの波長帯域として代表的な1310nm、および1550nmにおける伝播損失X、Yが低減されている。例1～3は、伝播損失比X/Yが0.2～2の範囲内であるため、ポリマー光導波路の設計自由度が高く、また、ポリマー光導波路の生産性が高い。

例1～3は、コア形成に使用するプレポリマーAとして、波長365nmにおける吸光度（濃度100%換算）が7.5以下であるものを使用したため、シングルモードでの波長帯域として代表的な1310nm、および1550nmにおける伝播損失X、Yが低減されている。また、コア上面に存在する凹みの深さが0.33 μm 以下であることに影響していると推測する。

例4は、コア形成に使用するプレポリマーAとして、波長365nmにお

ける吸光度（ポリマー厚み 10 mm、濃度 100%換算）が 7.5 超であるものを使用したことが、シングルモードでの波長帯域として代表的な 1310 nm、および 1550 nm における伝播損失 X、Y を高くしている。また、コア上面に存在する凹みの深さが 0.33 μ m 超であることに影響していると推測する。

[0072] 本発明を特定の態様を用いて詳細に説明したが、本発明の意図と範囲を離れることなく様々な変更および変形が可能であることは、当業者にとって明らかである。なお本出願は、2017 年 3 月 15 日付で出願された日本特許出願（特願 2017-049960）に基づいており、その全体が引用により援用される。

符号の説明

[0073] 10 : ポリマー光導波路
20 : コア
30 : クラッド
31 : アンダークラッド
32 : オーバークラッド
40 : コア露出部
60 : 凹み
100 : シリコン光導波路
200 : シングルモード光ファイバ

請求の範囲

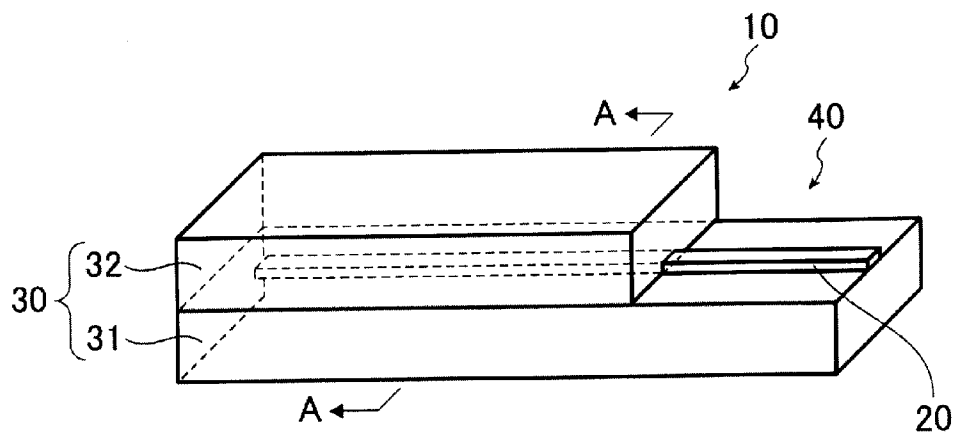
- [請求項1] コアと前記コアよりも屈折率が低いクラッドとを有するポリマー光導波路であって、
- 前記ポリマー光導波路はシート形状をなしており、前記コアの光伝搬方向と垂直方向のコア断面形状において、前記シート形状の厚さ方向をコア高さ、前記厚さ方向と垂直の方向をコア幅とすると、前記コア高さは1.0～10 μm 、前記コア幅は1.0～15 μm であり、
- 前記コア断面形状におけるコア上面、および／またはコア側面に存在する凹みの深さが0.33 μm 以下であることを特徴とするポリマー光導波路。
- [請求項2] 波長1550 nmの伝搬損失値X [dB/cm]を、波長1310 nmの伝搬損失値Y [dB/cm]で除した伝搬損失比X/Yが0.2～2である、請求項1に記載のポリマー光導波路。
- [請求項3] 前記コアは、架橋性官能基を有する含フッ素ポリアリーレンプレポリマー（A）を含む組成物を硬化させたものであり、前記クラッドは、前記含フッ素ポリアリーレンプレポリマー（A）より屈折率が低い架橋性官能基を有する化合物を含む組成物（B）を硬化させたものである、請求項1または2に記載のポリマー光導波路。
- [請求項4] 前記組成物（B）は、前記含フッ素ポリアリーレンプレポリマー（A）と、架橋性官能基を有する分子量が140～5000のフッ素原子を有さない化合物（C）とを含む、請求項3に記載のポリマー光導波路。
- [請求項5] 前記含フッ素ポリアリーレンプレポリマー（A）は、ポリマー厚み10 mm、ポリマー濃度100 wt %での波長365 nmにおける吸光度が7.5以下である、請求項3または4に記載のポリマー光導波路。
- [請求項6] シングルモード用のポリマー光導波路である、請求項1～5のいずれ

れか一項に記載のポリマー光導波路。

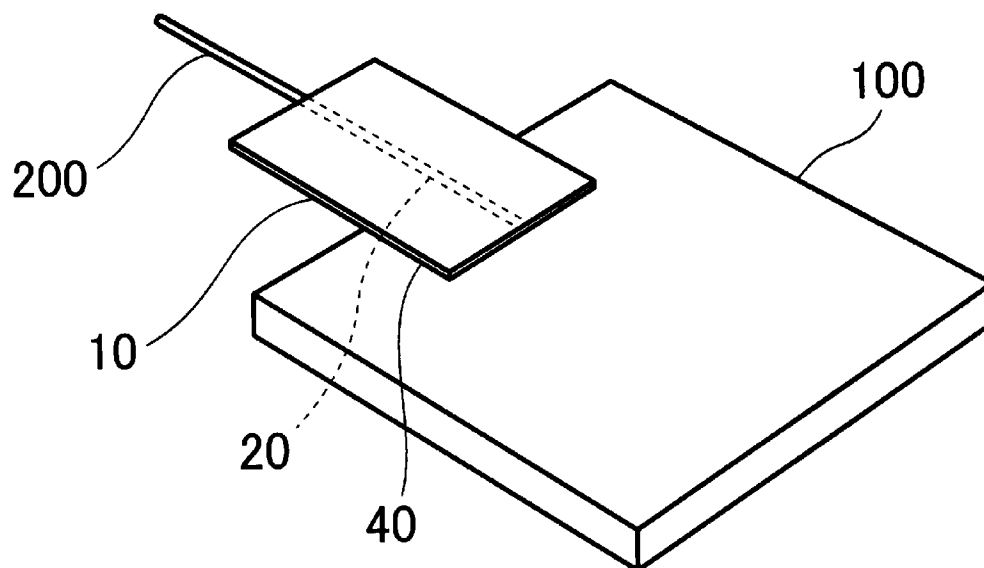
[請求項7] 一端側に前記コアの少なくとも一部が露出した結合部を有する、請求項1～6のいずれか一項に記載のポリマー光導波路。

[請求項8] 請求項1～7のいずれか一項に記載のポリマー光導波路と、前記ポリマー光導波路の光導波部を収容するコネクタと、を有する、複合光導波路。

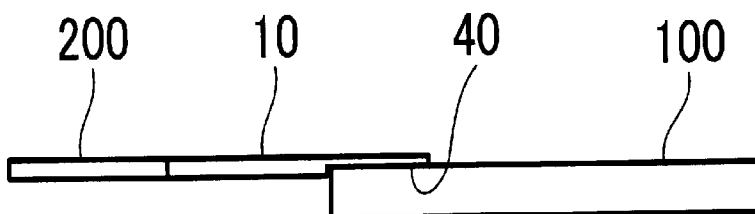
[図1]



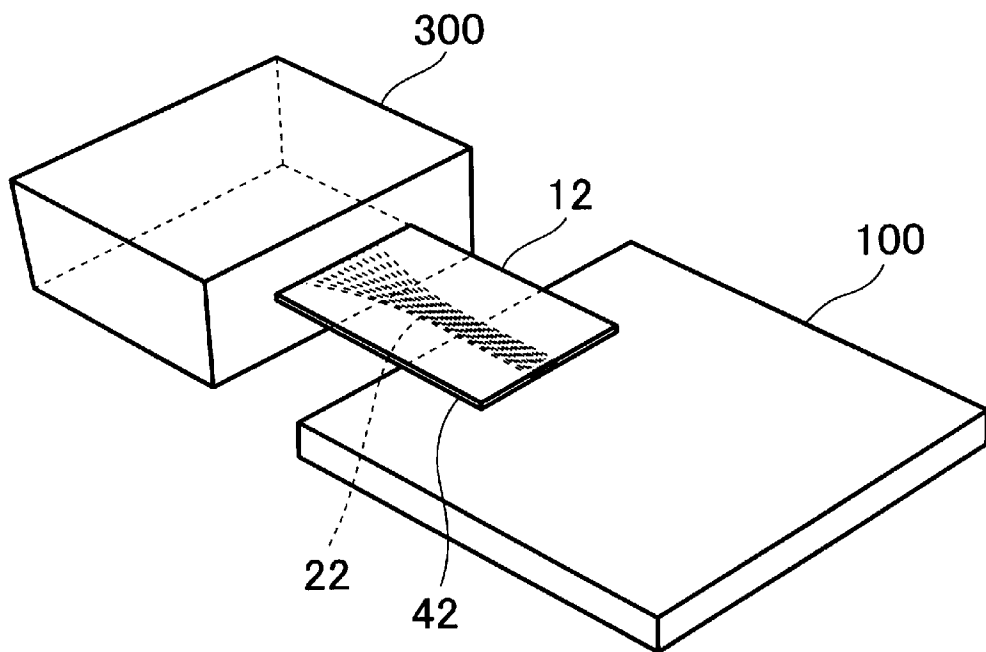
[図2]



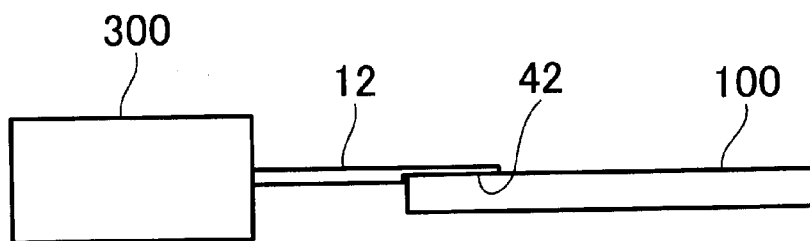
[図3]



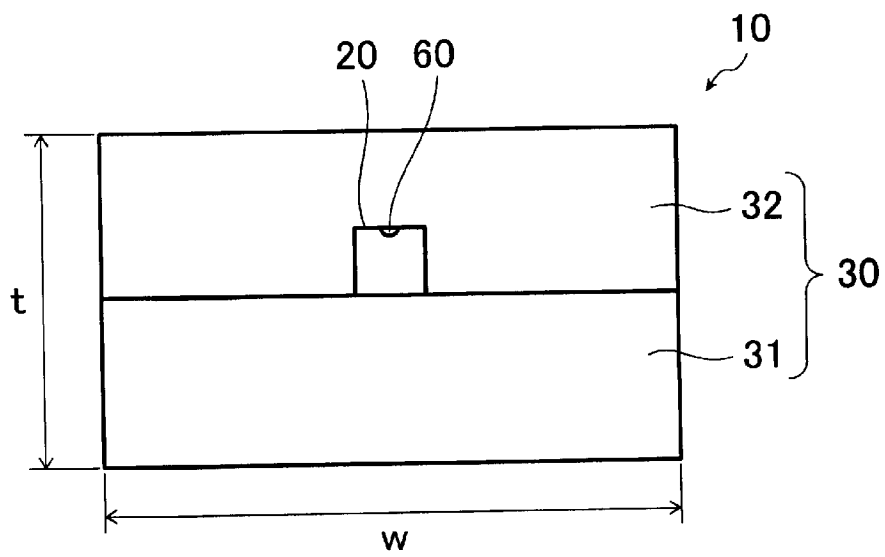
[図4]



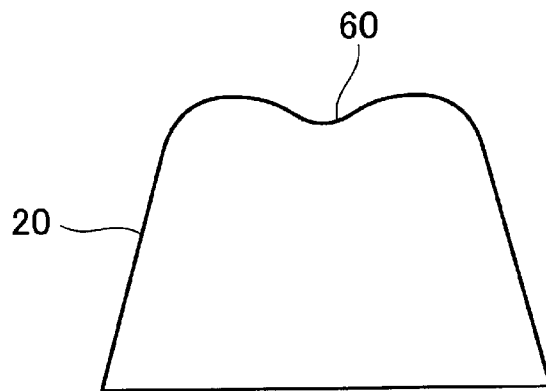
[図5]



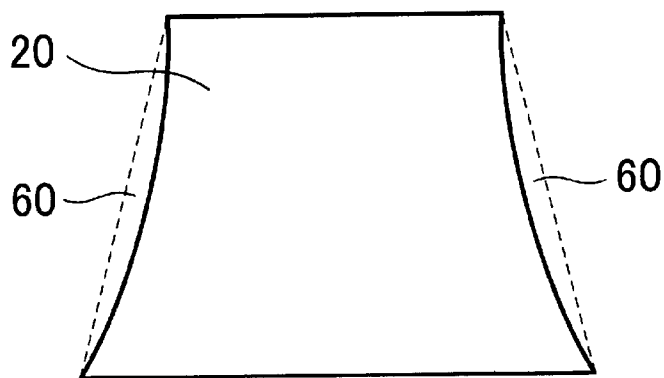
[図6]



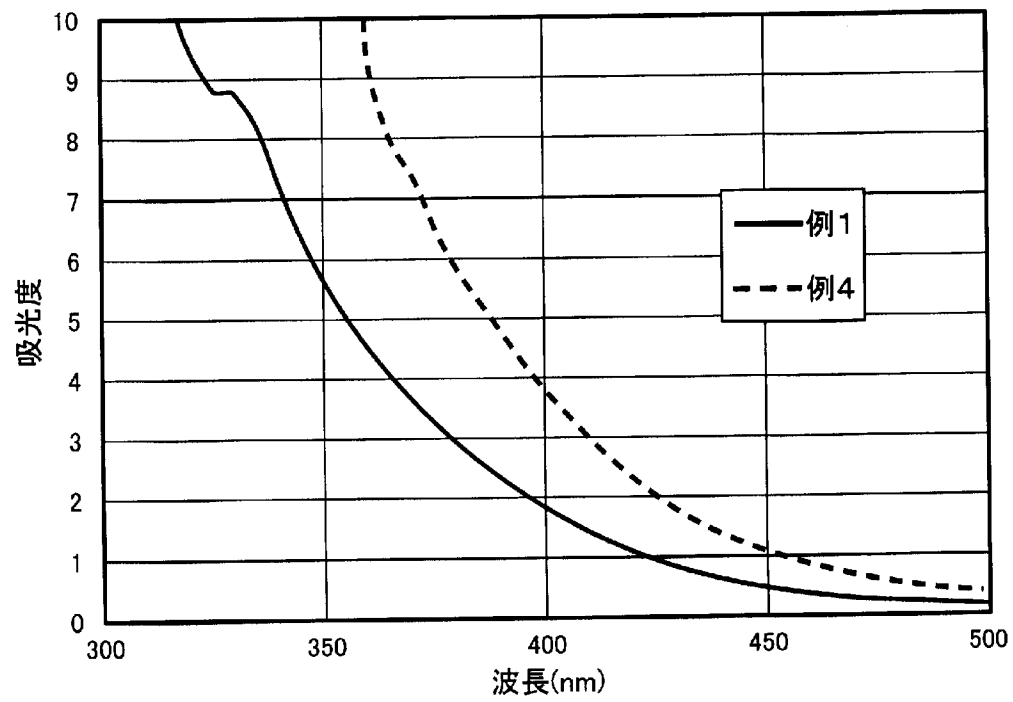
[図7]



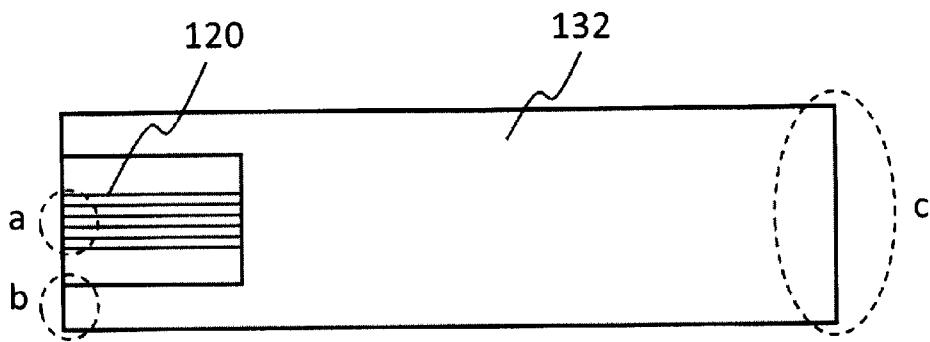
[図8]



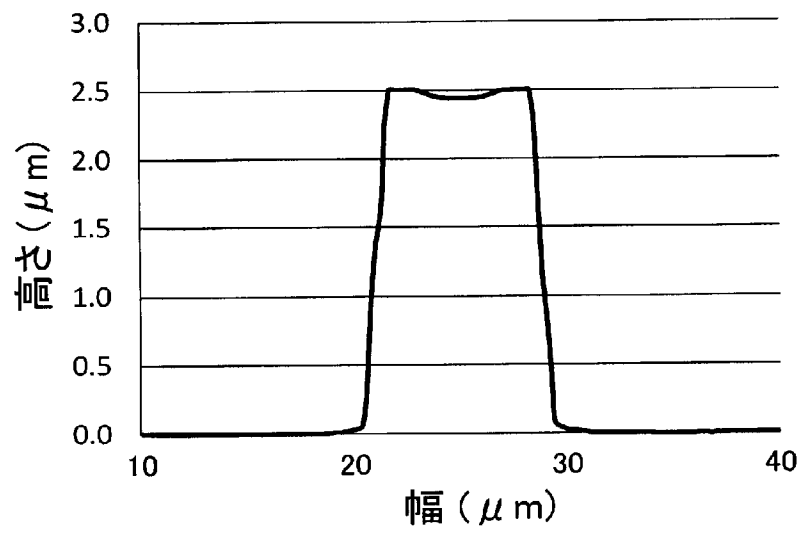
[図9]



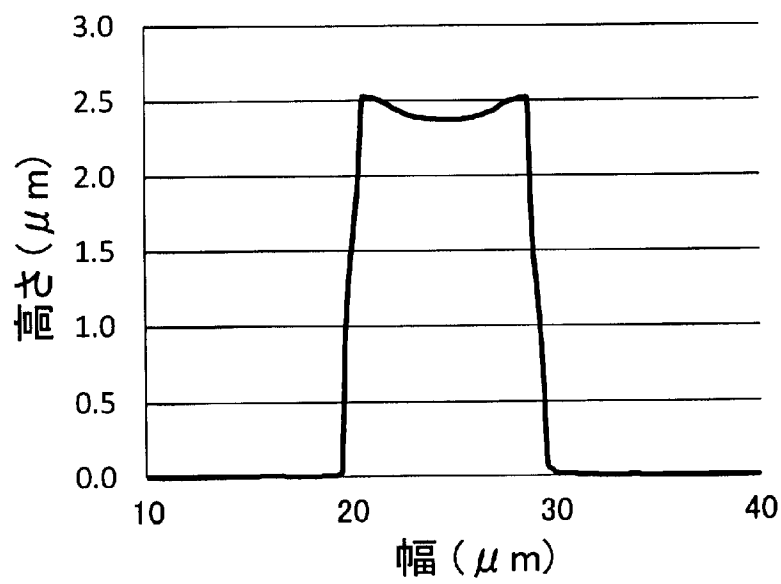
[図10]



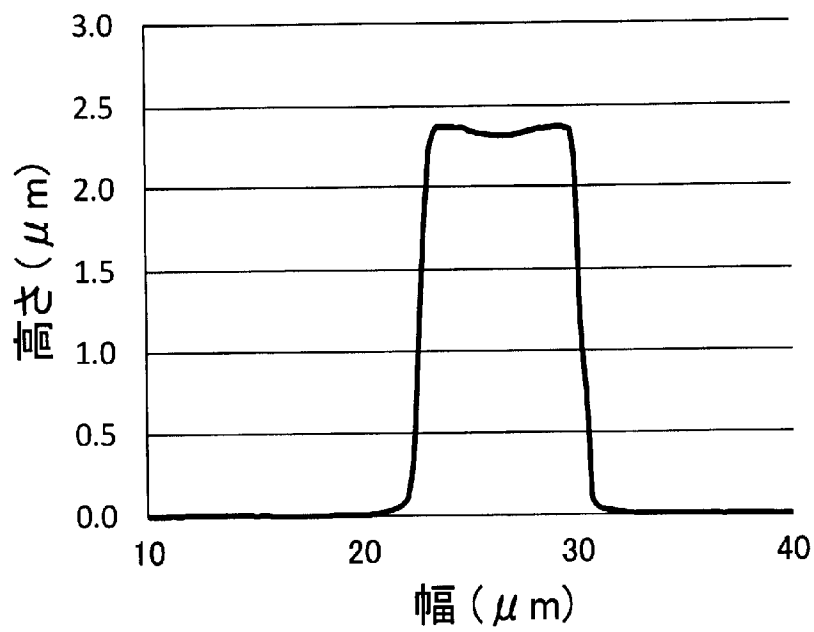
[図11]



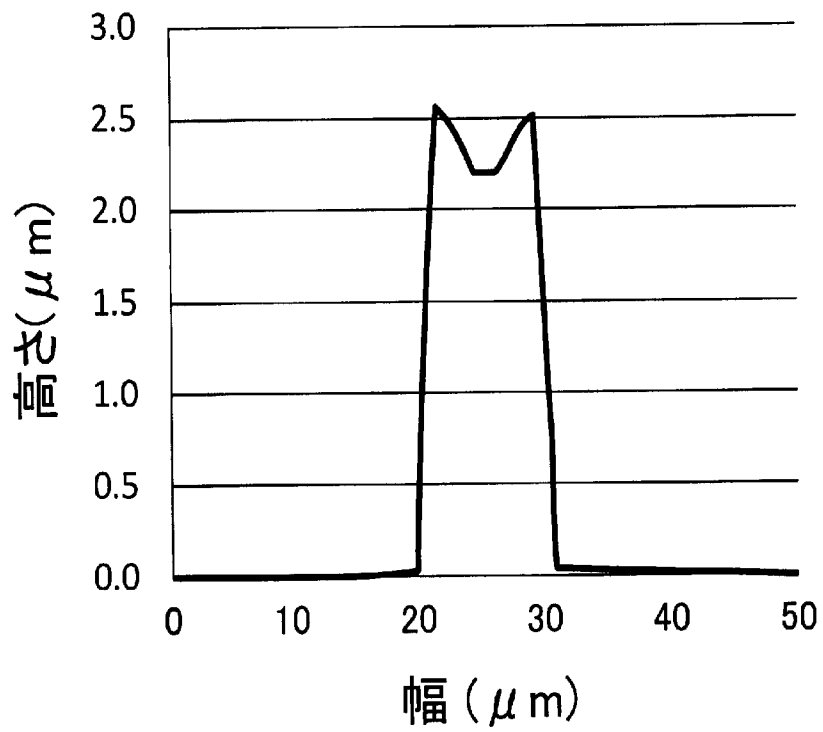
[図12]



[図13]



[図14]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/009533

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G02B6/12 (2006.01) i, C08G65/38 (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)

Int.Cl. G02B6/12, C08G65/38

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

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

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

IEEE Xplore

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	TAKENOBU, S. et al., Ultra-wide-band low loss and high reliability polymer optical waveguide, Optical Communication (ECOC), 2007 33rd European Conference and Exhibition of, 2007, pp. 1, 2	1-8
Y	JP 2005-010770 A (SANYO CHEMICAL IND LTD.) 13 January 2005, paragraph [0091] (Family: none)	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"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
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"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
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"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
"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)	"&" document member of the same patent family
"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	

Date of the actual completion of the international search 26.04.2018	Date of mailing of the international search report 15.05.2018
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/JP2018/009533

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-043747 A (FUJI XEROX CO., LTD.) 17 February 2005, paragraph [0033] (Family: none)	1-8
Y A	WO 2016/133074 A1 (ASAHI GLASS CO., LTD.) 25 August 2016, paragraphs [0016]-[0151], fig. 1, 2 (Family: none)	1, 3-8 2
Y A	WO 2008/044654 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 17 April 2008, paragraphs [0023]-[0037], fig. 1, 2 & US 2010/0014815 A1, paragraphs [0049]-[0076], fig. 1, 2 & JP 2008-96669 A & CN 101523263 A	8 1-7
Y A	JP 2014-006490 A (KYOCERA CORPORATION) 16 January 2014, paragraph [0053] (Family: none)	8 1-7
A	US 2004/0033047 A1 (CLEMSON UNIVERSITY) 19 February 2004, entire text, all drawings & WO 2003/021313 A1	1-8

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G02B6/12(2006.01)i, C08G65/38(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. G02B6/12, C08G65/38

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	1971-2018年
日本国実用新案登録公報	1996-2018年
日本国登録実用新案公報	1994-2018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）

IEEE Xplore

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
Y	TAKENOBU, S. et al., Ultra-Wide-Band Low Loss and High Reliability Polymer Optical Waveguide, Optical Communication (ECOC), 2007 33rd European Conference and Exhibition of, 2007, pp.1-2	1-8
Y	JP 2005-010770 A（三洋化成工業株式会社） 2005.01.13, 段落【0091】 （ファミリーなし）	1-8

☒ 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

26.04.2018

国際調査報告の発送日

15.05.2018

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）

山本 貴一

2 L

4086

電話番号 03-3581-1101 内線 3295

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	JP 2005-043747 A (富士ゼロックス株式会社) 2005.02.17, 段落【0033】 (ファミリーなし)	1-8
Y A	WO 2016/133074 A1 (旭硝子株式会社) 2016.08.25, 段落[0016]-[0151], 図 1-2 (ファミリーなし)	1, 3-8 2
Y A	WO 2008/044654 A1 (住友電気工業株式会社) 2008.04.17, 段落[0023]-[0037], 図 1-2 & US 2010/0014815 A1, 段落[0049]-[0076], 図 1-2 & JP 2008-96669 A & CN 101523263 A	8 1-7
Y A	JP 2014-006490 A (京セラ株式会社) 2014.01.16, 段落【0053】 (ファミリーなし)	8 1-7
A	US 2004/0033047 A1 (CLEMSON UNIVERSITY) 2004.02.19, 全文, 全図 & WO 2003/021313 A1	1-8