

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4639386号
(P4639386)

(45) 発行日 平成23年2月23日(2011.2.23)

(24) 登録日 平成22年12月10日(2010.12.10)

(51) Int. Cl.	F 1		
G02B 6/00	(2006.01)	G02B 6/00	391
G02B 6/028	(2006.01)	G02B 6/18	
C08F 20/14	(2006.01)	G02B 6/00	366
C08F 2/44	(2006.01)	C08F 20/14	
		C08F 2/44	B

請求項の数 3 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2008-52028 (P2008-52028)	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成20年3月3日(2008.3.3)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2009-210706 (P2009-210706A)		埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(43) 公開日	平成21年9月17日(2009.9.17)	(74) 代理人	100075281
審査請求日	平成21年4月15日(2009.4.15)		弁理士 小林 和憲
特許法第30条第1項適用	平成19年9月4日 社団法人 高分子学会発行の「第56回高分子学会予稿集56巻2号(2007)」に発表	(74) 代理人	100095234
特許法第30条第1項適用	平成19年9月21日 社団法人 高分子学会主催の「第56回高分子討論会」に発表		弁理士 飯嶋 茂
		(72) 発明者	小池 康博
			神奈川県横浜市青葉区あざみ野南3-12-22
		(72) 発明者	近藤 篤志
			神奈川県横浜市都筑区茅ヶ崎中央2-1-711
		(72) 発明者	山木 泰
			東京都新宿区西落合4-16-18

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光伝送体及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

マトリックス用のポリマーにドーパントが含まれ光を伝送するコアと、このコアの外周に備えられ屈折率が前記コアの屈折率以下であるクラッドとを有し、前記ドーパントは、前記ポリマーに対して非反応性を有する低分子物質であって前記コアの外周に向かうに従い濃度が連続的に低くされている光伝送体において、

前記ポリマーはポリメチルメタクリレートであり、

前記ドーパントはジベンゾチオフェンと9-プロモフェナントレンとの少なくともいずれか一方であることを特徴とする光伝送体。

【請求項2】

前記コアは断面円形の線状部材であり、前記光伝送体は光ファイバであることを特徴とする請求項1記載の光伝送体。

【請求項3】

光を伝送するコアと、屈折率が前記コアの屈折率以下であり前記コアの外周に配されるクラッドとを有する光伝送体の製造方法において、

管形状の前記クラッドの中空部に、ドーパントとメチルメタクリレートとを入れ、前記メチルメタクリレートを重合させることにより前記コアを形成し、

前記ドーパントはジベンゾチオフェンと9-プロモフェナントレンとの少なくともいずれか一方であることを特徴とする光伝送体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光伝送体及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

広く用いられている光伝送体としては、レンズや導波路、最近では光ファイバがある。そして、このような光伝送体には、軽量化を図る目的や可撓性をもたせる目的から、無機材料に代わって様々な有機ポリマーが用いられてきている。そして、光伝送体では、屈折率をある方向で連続的に変化させていることにより、すなわち屈折率分布が連続的であることにより、入射した光を所定の向きに案内して射出する。そして、連続的な屈折率分布を発現させるために、様々な光伝送体製造方法が提案されている。

10

【0003】

例えば、プラスチック光ファイバのうちグレイデッドインデックス(GI)型のものとしては、大きくふたつの方法がある。一方はいわゆるドーパントタイプの光ファイバであり、他方はいわゆる共重合タイプの光ファイバである。前者は、クラッドに覆われたコアにおいては、マトリックス用のポリマーと反応しないすなわち非反応性の低分子(分子量が2000以下である)物質と、マトリックス用のポリマーとを混ぜ、低分子物質をポリマー中で拡散させることにより、ポリマーにおける低分子物質の濃度に勾配がつけられた光ファイバであり、この濃度勾配により屈折率分布が発現している(例えば、特許文献1参照)。低分子物質としてポリマーよりも高い屈折率のものが用いられ、ここで用いる低分子物質は屈折率上昇剤(ドーパント)と称されることがある。後者は、互いに異なる2種類のモノマーが共重合されたものであり、両モノマーの反応性比の違いを利用してモノマーの濃度に勾配をつけることにより、屈折率分布が発現されている(例えば、特許文献2, 3参照)。

20

【0004】

透明性の観点からドーパントタイプと共重合タイプとの光ファイバを比較すると、一般にはドーパントタイプの光ファイバの方が優れる。これは、共重合タイプの光ファイバの場合には、屈折率分布を形成する際に、屈折率以外の光学的性質が不均一となりやすいからである。このために、GI型プラスチック光ファイバとしてはドーパントタイプがより好ましいといえる。

30

【0005】

しかし、ドーパントタイプの光ファイバ、例えば特許文献1記載の光ファイバにも課題がある。この課題とは、すなわち、耐熱性である。この耐熱性に関する問題とは、ドーパントタイプの光ファイバを高温下で連続的に使用あるいは断続的に繰り返し使用すると、ドーパントが光ファイバ内で移動して、ドーパントの濃度勾配が緩くなり、このために伝送特性が徐々に悪くなってしまおうという問題である。これは、ドーパントをポリマー中に添加すると、ドーパントが可塑剤として働き、この可塑作用によりポリマーのガラス転移温度が低下するからである。例えば、従来のプラスチック光ファイバに多く用いられているPMMA(ポリメチルメタクリレート)のガラス転移温度は105であるが、ドーパントを添加した場合には、ドーパントの種類と添加量とに応じてガラス転移温度が低下してしまう。

40

【0006】

ドーパントタイプのプラスチック光ファイバにつき耐熱性を向上するには、(1)マトリックス用のポリマーのガラス転移温度を低下させない、あるいは低下させる程度がより小さい化合物をドーパントとして用いる方法と、(2)ドーパントを加えてもガラス転移温度が低下しない、あるいは低下しにくいポリマーをコアのマトリックス用として用いる方法とが考えられる。しかしながら、(2)における上記性質をもつポリマーは、ドーパントとの相溶性が悪いために、これをコアのマトリックスとするとドーパントが光の散乱源となり、光散乱損失が大きくなってしまおう。そこで、(2)よりも(1)の方法の方が好ましいと言える。

50

【0007】

ところで、プラスチック光ファイバの耐熱性に関する基準としては、Telcordia基準がある。この基準によると、屋外用途のプラスチック光ファイバには、85 168時間の環境下での連続試験の後の伝送損失が試験前に比べて伝送損失が大きくなっていないことが求められる。

【0008】

そこで、この基準を達成すべく、コアのマトリックス用ポリマーとして、主鎖に管状構造をもつポリオレフィンを用いたプラスチック光ファイバが提案されている（特許文献4参照）。また、コアに含有させるドーパントとして、所定の化学構造をもつ含硫環状化合物を用いたプラスチック光ファイバが提案されている（特許文献5参照）。

【特許文献1】特許第3332922号明細書

【特許文献2】特開平5-173025号公報

【特許文献3】特開平5-173026号公報

【特許文献4】特開平11-142658号公報

【特許文献5】特開2002-053576号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、特許文献4の光ファイバにおけるポリオレフィンは、PMMAよりもガラス転移温度が高いために耐熱性はそれまでのドーパントタイプの光ファイバよりも優れるが、十分とはいえない。光ファイバとしての伝送損失はPMMAよりも数倍大きいので光ファイバの伝送距離が制限されてしまう。

【0010】

また、特許文献5の光ファイバは、ポリマーと提案されるドーパントとの組み合わせでは相溶性が悪く、実用性ある透明性を発現することができない。したがって、14.2dBや17.8dBという波長650nmでの伝送損失を発現させることは実際上困難であり、ドーパントとポリマーとの相溶化方法につき課題が残る。さらに、特許文献5では、上記のような伝送損失を測定するにあたり、633nmでの測定値から650nmでの値を小数点以下一桁で求めた記載をしてあるが、このような精度での算出は明確な根拠の明示がない限りには、伝送損失の上記値の信頼性の幅がわからない。そして、伝送帯域については、通常考えられる半導体レーザを使用したとすれば、特許文献5の値は波長分散等を考慮した理論限界値を上回っており、この点でも特許文献5の光ファイバの効果は不明瞭といえる。そして、伝送損失の算出法と伝送帯域値の求め方とにつき仮に信頼性が高いものであるとしても、クラッドをつくるにあたり、中空部をドリルで形成すると内壁の平滑性に欠け、得られる光ファイバの伝送特性は著しく大きくなってしまいうので、該ドーパントによる効果が仮にあったとしてもその効果を失わせるものであり、この点でも引用文献5の開示は満足とはいえない。

【0011】

そこで、本発明では、上記問題に鑑み、従来の光伝送体の光学特性を維持しつつも、耐熱性に優れた光伝送体及びそ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】

【0012】

上記課題を解決するために、本発明は、マトリックス用のポリマーにドーパントが含まれ光を伝送するコアと、このコアの外周に備えられ屈折率が前記コアの屈折率以下であるクラッドとを有し、前記ドーパントは、前記ポリマーに対して非反応性を有する低分子物質であってコアの外周に向かうに従い濃度が連続的に低くされている光伝送体において、前記ポリマーはポリメチルメタクリレートであり、前記ドーパントはジベンゾチオフェンと9-プロモフェナントレンとの少なくともいずれか一方であることを特徴として構成されている。

【0013】

10

20

30

40

50

上記の光伝送体においては、コアは断面円形の線状部材であり、前記光伝送体は光ファイバであることが好ましい。

【0014】

また、本発明は、光を伝送するコアと、屈折率が前記コアの屈折率以下であり前記コアの外周に配されるクラッドとを有する光伝送体の製造方法において、管形状の前記クラッドの中空部に、ドーパントとメチルメタクリレートとを入れ、前記メチルメタクリレートを重合させることにより前記コアを形成し、前記ドーパントはジベンゾチオフェンと9-プロモフェナントレンとの少なくともいずれか一方であることを特徴として構成されている。

【発明の効果】

【0015】

本発明により、従来の光伝送体と同等の光学特性をもち、かつ、耐熱性により優れた光伝送体を製造することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

本発明の実施の態様について説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。図1は、本発明のプラスチック光ファイバ（以下、単に光ファイバと称する）の断面図であり、図2は光ファイバの断面の径方向における屈折率を示す図である。なお、図2においては、横軸はプリフォームの断面径方向を示し、縦軸は屈折率を示す。屈折率は、上方向が高い値であることを意味する。断面円形の光ファイバ11は、一端から入射した光を伝送して他端から射出する、すなわち光信号を一端から他端へと伝達するコア12と、このコア12の外周と接してコア12を覆う外殻部としてのクラッド13とを有する。したがって、コア12の直径はクラッド13の内径に等しい。クラッド13は、外径及び内径が長手方向にそれぞれ一定で、厚みが均一の管形状とされている。

【0017】

図2においては、横軸方向の符号(A)で示される範囲は、図1におけるクラッド13の範囲であり、符号(B)で示される範囲は図1におけるコア12の範囲である。

【0018】

コア12は、図2に示されるように、クラッド13との境界から中心に向けて屈折率が連続的に高くなり、断面円形の中心の屈折率が最も大きい値となっている。すなわち、コア12は、外周に向かうに従い屈折率は徐々に低くなっている。クラッド13の屈折率はコア12の屈折率以下、すなわちコア12の屈折率の最小値もしくは最小値よりも小さい値となっている。このように、光ファイバ11は、グレイデッドインデクス(GI)型光ファイバである。

【0019】

断面円形の径方向において、コア12の屈折率の最大値NBとクラッド13の屈折率NAとの差N(d)は0.005以上0.05以下であることが好ましく、0.015以上0.025以下であることがより好ましい。なお、図1では、クラッド13とコア12との境界を説明の便宜上示してはいるが、製造の条件等によりこの境界の明確さは異なり、必ずしも境界が確認できなくともよい。

【0020】

また、本実施形態のクラッド13は、図2に示すように屈折率が概ね一定となっているが、コア12に近づくほど屈折率が大きくなっていてもよく、この屈折率の変化はコア12に近づくほど段階的に大きくなっていてもよいし連続的に大きくなっていてもよい。ただし、このように段階的もしくは連続的に大きくなる場合には、コア12の外周部の屈折率よりもクラッド13の内周部の屈折率が大きい方が光の伝送損失を低く抑える点で好ましい。

【0021】

また、光ファイバ11は、他の構造とされていても本発明は適用される。例えば、コア12とクラッド13との少なくともいずれか一方が複層であってもよい。

【0022】

10

20

30

40

50

クラッド 13 は有機ポリマーで構成される。例えば、PMMA、ポリエチルメタクリレート、ポリフェニルメタクリレート、ポリブチルメタクリレート、ポリ 2, 2, 2 - トリフクロエチルメタクリレート、ポリスチレン、ポリビニリデンフロライド等を挙げることができる。これらのうち、PMMA、ポリ 2, 2, 2 - トリフクロエチルメタクリレートがより好ましい。

【0023】

コア 11 は、マトリックス用の有機ポリマーとこの有機ポリマーよりも屈折率が高いドーパントとしての低分子化合物とを含む。マトリックスとは、コア 11 としての形状を成し、光を透過すべき成分であることを意味する。マトリックス用のポリマーとしては PMMA を用いる。PMMA に代えて、ポリ 2, 2, 2 - トリフクロエチルメタクリレート、ポリスチレン等を用いることができる。

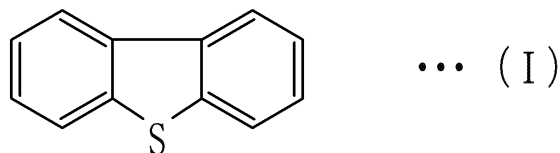
10

【0024】

ドーパントとしては、マトリックス用のポリマーと反応しない、すなわち、該ポリマーに対して非反応性である化合物を用いる。そして、本発明では、このドーパントとして、ジベンゾチオフェン（以下、DBT と称する）を用いる。DBT に代えて、あるいは加えて、9 - プロモフェナントレン（以下、BPT と称する）を用いてもよい。DBT の構造式を下記の (1) に、BPT の構造式を下記の (2) に示す。

【0025】

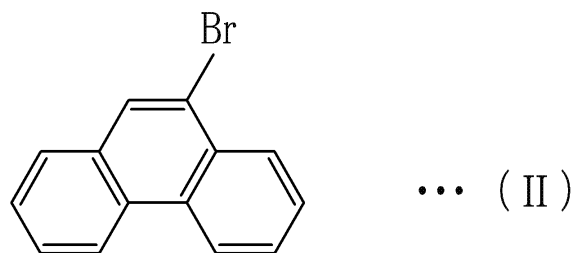
【化 1】



20

【0026】

【化 2】



30

【0027】

DBT と BPT との少なくともいずれか一方をドーパントとして用いることにより、PMMA の光伝送特性とガラス転移点とが低下していないコア 11 をつくることができる。DBT と BPT とは、ともに、剛直（リジッド）な構造をもつのでコア 11 としての耐熱性を維持する効果がある。そして、これらは、ベンゼン環を含むので、ベンゼン環を有しないドーパントと比べてコア 11 の屈折率を上げる作用が高い。また、両者は、電子遷移に起因する光吸収が光信号の伝送に使用される波長領域では略ゼロであり、かつ、PMMA との相溶性が非常に優れることから PMMA の透明性を損なうことがない。さらに、加熱下でも重量が減少しないといういわゆる熱重量安定性に優れ、また、熱による着色が少ない。

40

【0028】

図 3 は、コアにおけるドーパント含有率のグラフである。横軸はコアの径方向、縦軸はドーパント含有率である。ドーパント含有率（単位；%）は PMMA の重量を x 1、DBT の重量を y 1 とするとき、 $100 \times y 1 / x 1$ で求めることができる。縦軸では、上

50

方向にいくほどドーパント含有率が大きいことを示す。コア 1 1 においては、ドーパント含有率は、中央部が最も大きく、外周に向かうに従い徐々に小さくなっている。

【 0 0 2 9 】

D B T をドーパントとする場合には、コア 1 1 の断面円形の中央部におけるドーパント含有率 C_c が 3 以上 2 5 以下の範囲であって外周部におけるドーパント含有率 C_o がゼロとなっていることが好ましい。そして、中央部のドーパント含有率 C_c から外周部のドーパント含有率 C_o を減じた値、すなわち $C_c - C_o$ で求める差 $C(d)$ は、3 以上 2 5 以下であることが好ましく、7 以上 1 2 以下であることがより好ましく、コア 1 1 の長手方向で一定とされることが好ましい。D B T に代えて B P T を用いる場合も同様である。また、D B T と B P T とを併用する場合には、両者を併せた重量を y_1 とみなして上記と同様の各数値範囲とするとよい。D B T と B P T とは、例えば、ジフェニルスルホキシド ($C_6H_5 - SO - C_6H_5$) (以下、D P S と称する) やビフェニル系のドーパントと比べて、低いドーパント含有率でもより高い屈折率をコア 1 1 に発現させるとともに、コア 1 1 の耐熱性をより高める効果がある。

10

【 0 0 3 0 】

光ファイバ 1 1 (図 1 参照) をつくる方法としては、主に 2 つの方法がある。ひとつは、先ず円柱状または円筒状のプリフォームをつくり、このプリフォームを長手方向に加熱して延伸するいわゆるプリフォーム法である。そしてもうひとつの方法は、プリフォームをつくることなく、ポリマー及びドーパントから連続的にファイバ状に成形する連続法である。なお、これらの方法は、出発原料としてモノマーを用いる方法と、ポリマーを用いる方法とがそれぞれ可能である。

20

【 0 0 3 1 】

ポリマーを出発原料とするプリフォーム法を例にとって光ファイバの製造方法を説明するが本発明は以下の態様に限定されない。まず、延伸したときにクラッド 1 3 (図 1 参照) となるような管をつくる。この管は、プリフォームの外殻部となる。管のつくり方としては、ふたつの方法がある。ひとつは、つくるべきプリフォームの外径と略同等の内径をもつ管状容器に、クラッドを形成するモノマーを入れて、環状容器を回転しながらモノマーを重合し、管をつくる方法である。もうひとつは、クラッドとなるポリマーを溶融成形して管をつくる方法である。以下の説明においては、前者の方法を用いてプリフォームをつくる方法につき、詳細に説明するが、本発明はこれに限定されない。

30

【 0 0 3 2 】

管状容器は、一端が塞がれ、他端が蓋部材により開閉自在となっている。この管状容器の中に、メチルメタアクリレート (MMA) と MMA を重合させるための重合開始剤及び連鎖移動剤とを入れる。これらの原料は、濾過してから管状容器中に入れることが好ましい。これらの原料を入れて蓋部材により管状容器を密閉し、所定温度の恒温槽に入れる。恒温槽の中には、管状容器を回転可能に保持する保持部が備えられており、この保持部に管状容器をセットし、所定時間及び所定温度この管状容器を静置する。これにより、原料をゾル状態にする。このとき、原料の温度は、60 ~ 80、恒温槽での保持時間は 1 時間 ~ 3 時間とすることが好ましい。

【 0 0 3 3 】

その後、保持部により、管状容器を、断面円形の中心が回転中心となるように、所定の回転速度で回転しながら、MMA を重合させ P MMA とする。このとき、原料の温度が 60 ~ 80 の範囲に保持されるように、恒温槽の内部の温度を制御することが好ましい。重合に際しての管状容器の回転速度は、1500 rpm ~ 3000 rpm の範囲であることが好ましい。重合時間は 2 時間 ~ 5 時間とすることが好ましい。

40

【 0 0 3 4 】

重合を終了させた後、熱処理を実施する。この熱処理は、内部の温度を 90 度に保持した恒温槽の中で、管状容器を 8 時間 ~ 24 時間静置する処理である。この熱処理の後に、恒温槽の内部温度を下げて管状容器を取り出し、管状容器から、P MMA からなる管を取り出す。

50

【 0 0 3 5 】

ドーパントとして、D B Tを用いる場合とB P Tを用いる場合と、これらを混ぜて用いる場合とでは、コアの形成方法は基本的に同じであるため、以下の説明においてはD B Tを用いる場合を例にして説明する。P M M Aからなる管の片端を塞ぎ、恒温槽としてのオイルバス中に、塞いだ片端が下となるように管を垂直に立てる。そして、管の中にM M Aと、D B Tと、重合助剤としての重合開始剤及び連鎖移動剤とを入れる。なお、ドーパント含有率、すなわちD B Tの含有率と屈折率との関係を予め求めておき、この関係に基づいて、管の中に入れるべきD B Tの量を決めるとよい。M M Aと、D B Tと、重合助剤とは、いずれも濾過してから用いることが好ましい。

【 0 0 3 6 】

コアの形成は、図4に示すような重合装置40により行う。重合装置40は、重合容器41と、圧力計44と、圧力コントローラ45との他に、温度計47と温度コントローラ48とを備えている。さらに、重合容器41には、不活性ガスとしての窒素を供給する窒素供給元51が備えられている。そして、重合容器41は容器本体41aと蓋41bとを有しており、容器本体41aと蓋41bとは、ネジ(図示せず)で固定される。ただし、本発明は、重合装置の構造には依存せず、図2に示される重合装置40とは異なるものを用いてもよい。

【 0 0 3 7 】

圧力計44は、重合容器41の内部の圧力を検知する。圧力コントローラ45は、圧力計44の検知結果に応じて、窒素供給元51からの窒素供給量を調節して、重合容器41の内部の圧力を制御する。また、温度計47は、重合容器41の内部の温度を検知する。容器本体41aには加熱線(図示なし)が備えられており、温度コントローラ48は、温度計47の検知結果に応じて、加熱線を流れる電流を制御する。これにより、重合容器41の内部の温度は制御される。なお供給されるガスは不活性ガスであれば窒素に限定されず、アルゴン等でもよい。このガス供給により、重合容器41の内部空気は窒素に置換される。重合容器41は、容器本体41aと蓋41bとがネジ留めされることにより、内部の圧力と、内部への窒素の供給量とを精巧に制御することが可能となっている。

【 0 0 3 8 】

管33は、M M Aと、D B Tと、重合助剤との混合物、すなわちコアの原料が注入された状態で、治具としてのガラス管52に挿入されて、容器本体41aに入れられる。このとき、ガラス管52は、垂直に静置される。

【 0 0 3 9 】

管33を収容しているガラス管52が容器本体41aにセットされ、蓋41bが容器本体41aにネジ留めされると、窒素供給元51から重合容器41の内部へ窒素が供給されるとともに、バルブV1を開状態とすることにより重合容器41の内部の空気が出されて、重合容器41の内部の空気は窒素に置換される。窒素置換した後、重合容器41の内部圧力は、所定の値となるように圧力コントローラ45により制御される。そして、M M Aの重合は、温度コントローラ48により加熱された状態で行う。重合は所定の温度下で所定の時間行う。重合反応中における圧力は、圧力コントローラ45により所定値となるように制御されており、常圧より高くすることが好ましい。

【 0 0 4 0 】

M M Aが重合を開始すると、管の内壁がM M Aにより膨潤し、重合初期段階では膨潤層を形成する。この膨潤層は、ゲル状態となっており、そのため、重合速度が加速(ゲル効果と称する)する。そして、重合は、管33の内面から開始し、管33の断面円形の中心に向かって進行する。このとき、膨潤層の内部へは、分子体積の小さい化合物ほど優先的に入り込むため、重合の進行と共に、分子体積の大きなD B Tが膨潤層から前記中心方向へと押し出される。この結果、形成されたコアでは、中心部に向かうに従いD B Tの濃度が高くなり、断面円形の径方向における中心に向かって屈折率が徐々に高くなったプリフォームを得ることができる。

【 0 0 4 1 】

また、MMAの重合時においては、コアの原料が注入された管33を、図4に示すようにガラス管52等の治具により支持して重合容器41にセットすることが好ましい。前記治具は、管33の挿入が可能な中空部を有する管形状であることが特に好ましい。そして、加圧下で重合が進むに従い、コアとなる領域が徐々に収縮しようとする力が増すが、これに応じてクラッドが微小な範囲で寸法変化することができるように、前記治具は、管33の外面を固定等せずに管33を支持することが好ましい。例えば、管33が治具に固定されて支持されている場合には、重合中のMMA及びPMMAの収縮に対して管33が応じることができず、コアの中央部にボイドが発生し易くなってしまふ。このような理由により、治具が管状である場合には、前記管33の外径よりも大きい内径を有することが好ましい。ただし、クラッドの寸法変化に応じてこれを支持するものであれば好ましく用いられ、管状である必要はない。なお、本実施形態では、クラッドとなる管33を垂直に立ててMMAの重合を実施したが、必ずしも垂直に立てなくてもよい。例えば、長手方向が水平と交差する向きとなるように管33を治具で保持し、このような傾いた姿勢でMMAの重合を実施してもよい。重合時における管33の姿勢は、長手方向が水平であるよりも傾いている方が好ましく、傾いているよりも垂直である方がさらに好ましい。また、傾いた姿勢で重合させる場合には、管33の断面中心を回転中心として回転させながらMMAの重合を実施してもよい。

10

【0042】

MMAの重合時における圧力の好ましい範囲は、0.2MPa~0.8MPaである。圧力が0.8MPaよりも大きいと、MMA中に加圧気体が溶解する、または、MMAに存在する溶存気体がMMAから脱離せず、後に行うプリフォームの延伸工程でこれが気泡となるという問題が起こりうる。一方、圧力が0.2MPaよりも小さいとプリフォームのコア部材中に空隙や気泡が発生しやすいという問題が起こりうる。このように、重合時の圧力を制御することにより、プリフォームのコア部材あるいは光ファイバのコアに空隙や気泡が発生することを抑制することができる。

20

【0043】

重合は加熱下でなされることが好ましい。MMAを重合する場合には、その温度は90~135とすることが好ましく、110~130とすることがさらに好ましい。また、重合時間は、30時間~50時間であることが好ましい。

【0044】

この様にして得られる円柱状のプリフォームは、図2に示す光ファイバと同様の屈折率分布をもつ。したがって、このプリフォーム自体も、レンズや導波路等の光伝送体として用いることができる。例えば、長手方向と垂直な方向でカットしてレンズとして用いることができる。

30

【0045】

次に、得られたプリフォームを延伸工程に供し、GI型の光ファイバ11(図1参照)とする。図11は、プリフォームを延伸して光ファイバとするための延伸設備の概略図である。ただし、本発明は、以下の延伸方法及び延伸設備に依存するものではなく、公知の延伸方法及び延伸設備を用いることができる。

【0046】

延伸設備61には、プリフォーム62を加熱する加熱装置63と、加熱されたプリフォーム62を延伸するときの張力を測定するための張力測定装置64と、この張力測定装置64の検知結果に基づいて延伸における張力を制御するための張力を調整するダンサーローラ67と、延伸速度を制御するローラ対68と、光ファイバ11の外径を測定するための外径測定装置71と、光ファイバ11を巻き取る巻取装置72とを備える。

40

【0047】

また、加熱装置63の上流側には、プリフォーム62を保持しながら下方向へ変位させるための保持部材73と、保持部材73によるプリフォーム62の保持及びその解除と保持部材73の変位とを制御するためのシフト装置74が備えられる。

【0048】

50

そして、加熱装置 63 には、円筒状の加熱炉 77 が備えられている。加熱炉 77 では、プリフォーム 62 の長手方向に沿って温度の高低分布がつけられる。また、ローラ対 68 は、駆動ローラ 68a と加圧ローラ 68b とが光ファイバ 11 を挟みこむように対向して配置されたものである。駆動ローラ 68a にはモータ 78 が接続しており、このモータ 78 の回転速度を調整することにより駆動ローラ 68a の回転速度が調整される。さらに、ダンサーローラ 67 には、変位するためのシフト機構（図示なし）が備えられており、この変位により、延伸における張力が制御される。また、延伸による張力については、プリフォーム 62 が下降する速度や、駆動ローラ 68a の回転速度や加熱炉 77 における加熱温度によっても調整することができる。

【0049】

プリフォーム 62 は、保持部材 73 により上部を保持された状態で延伸される。プリフォーム 62 の上部を保持する保持部材 73 は、延伸速度に応じて下方に変位する。プリフォーム 62 の大部分が延伸されて所定の位置に達したことは、シフト機構 137 により検知され、このシフト機構 137 が保持部材 73 による保持を解除する。

【0050】

プリフォーム 62 は、保持部材 73 に保持された状態で加熱炉 77 の内部に案内されて延伸され、延伸速度に応じた速度で下降を続ける。

【0051】

加熱溶解によるプリフォーム 62 の劣化を防ぐためには、加熱装置 63 内を不活性雰囲気とするために不活性ガスを供給する供給装置（図示しない）が取り付けられてある。

【0052】

プリフォーム 62 は、加熱炉 77 内でその先端から少しずつ溶解され、延伸されることにより光ファイバ 11 となる。加熱時の温度は、200 ~ 250 が好ましい。延伸温度等の延伸条件は、プリフォーム 62 の径や、所望とする光ファイバ 11 の径、DBT や BPT のドーパントの拡散速度等を考慮して、適宜決定することが好ましい。なお、加熱炉 77 は、プリフォーム 62 を外周から均等に加熱するために、円筒形状とされている。

【0053】

光ファイバ 11 は、張力測定装置 64 により延伸した際の張力が測定される。そして、外径測定装置 71 により外径が測定される。延伸の速度は、ローラ対 68 により所望の値となるように設定され、この制御は、駆動ローラ 68a の回転速度がモータ 78 により調整されることによりなされる。そして、光ファイバ 11 の外径が所定の値となるように、保持部材 73 の下降速度や加熱炉 77 での加熱温度、ローラ対 68 による引取り速度などを制御する。

【実施例 1】

【0054】

< プリフォームの作製 >

内径 22mm のガラス製の管状容器の中に、MMA 100g と重合開始剤 0.5 重量% と連鎖移動剤 0.28 重量% とを充填し、管状容器を塞いだ。管状容器を恒温槽としての水槽に約 2 時間入れゾル状態にした。この間、水槽の水の温度は 70 に保持した。水槽中設けられた保持部により管状容器を約 2000rpm で 3 時間回転させながら、MMA を重合させ、長さ 60cm の管を得た。この間の水の温度は 70 に保持した。

【0055】

つぎに、PMMA からなる管からガラスの管状容器を取り外した。管を、90 に設定したオイルバスに垂直に浸し、その中空部に、MMA と、PMMA に対する屈折率差が 0.015 となる量の DBT と、重合助剤との混合液を、メンブレンフィルタによりろ過して注入した。この後、管を治具 52 で保持した状態で重合装置 40 としてのオートクレーブに収容した。オートクレーブの内部温度は 120 とした。オートクレーブの内部の空気を窒素に置換し、120 の加圧下で約 48 時間、MMA の重合反応を行い、屈折率が半径方向で連続的に変化しているプリフォーム 62 を作製した。

【0056】

10

20

30

40

50

< 光ファイバ 11 の製造 >

得られたプリフォーム 62 を、延伸設備 61 により、235 で加熱延伸し、外径 0.75 mm の G I 型光ファイバ 11 を得た。

【0057】

< 耐熱性評価 >

得られた光ファイバ 11 につき屈折率分布を測定し、その後、この光ファイバ 11 を、Telcordia 基準よりも厳しい環境下である 100、168 時間の雰囲気下に放置してから光ファイバ 11 の屈折率分布の状態を再び測定した。その結果、加熱放置の前と後では屈折率分布に変化は見られなかった。

【0058】

< ガラス転移温度の測定 >

耐熱性評価を実施する前の光ファイバ 11 につき、最もドーパント含有率が高いコア 12 の中心部でのガラス転移温度は 98 であった。

【0059】

< 伝送特性 >

光学特性を、耐熱性評価の前と後との伝送特性を互いに比較することにより評価した。伝送特性の評価としては、伝送損失と伝送帯域とを以下の方法で求めた。伝送損失は、波長 650 nm の単色光を用いてカットバック法 (JIS C 6823) により測定した。伝送帯域は、波長 650 nm の単色光を用いてパルス法 (JIS C 6824) により測定した。この結果、耐熱評価前の伝送損失は、本発明の構成をもたない、すなわち本発明におけるドーパントが含まれていない従来品の PMMA 製のコアをもつ光ファイバの伝送損失とほぼ同等であった。そして、耐熱評価後の伝送損失は、耐熱評価前に比べて光ファイバ長 100 m で 1.4 dB しか増加していなかった。また、耐熱評価前の伝送帯域は光ファイバ長 100 m で 2.2 GHz であり、耐熱性評価後もこれと同等であり低下は確認されなかった。

【実施例 2】

【0060】

DBT を BPT に代えた他は、実施例 1 と同じ方法で光ファイバ 11 を製造した。そして、実施例 1 と同様に、耐熱性評価とガラス転移温度の測定とを実施した。耐熱性評価では、加熱放置の前と後では屈折率分布に変化は見られなかった。また、コア 12 の中心部でのガラス転移温度は 104 であった。また、耐熱評価後の伝送損失は耐熱評価前の伝送損失よりも光ファイバ長 100 m で 0.3 dB しか増加していなかった。また、伝送帯域については、耐熱評価前と耐熱性評価後とは同等であり耐熱評価による低下は確認されなかった。

【0061】

[比較例 1]

本発明に対する比較実験として、DBT を DPS に代えて光ファイバを作製した。他の条件は実施例 1 と同じである。そして、実施例 1 と同様に、耐熱性評価とガラス転移温度の測定とを実施した。図 6 は、耐熱性評価における加熱放置の前と後とのコアの屈折率分布を示すグラフである。破線で示す線 L1 は加熱放置前のコアの屈折率分布であり、実線で示す線 L2 は加熱放置後のコアの屈折率分布である。コアの外周部の屈折率は、加熱放置の前と後とでほとんど変化は無かったが、コアの中心の屈折率は、加熱放置後の方が加熱放置前よりも低くなった。コアの屈折率分布は、外周部と中心部との差が大きい方が光ファイバとして好ましいが、この比較例 1 では、加熱放置後は、実施例 1 及び実施例 2 よりも低くなってしまった。屈折率分布のグラフ形状についても、加熱放置前は線 L1 に示したようにほぼ理想的な G I 型であったものが、加熱放置後には L2 のようなステップインデックス型に近い形状に変化してしまった。また、コア 12 の中心部でのガラス転移温度は 88 であった。耐熱評価後の伝送損失は、耐熱評価前に比べて光ファイバ長 100 m で 3 dB 増加していた。また、耐熱性評価後の伝送帯域は光ファイバ長 100 m で 0.5 GHz に低くなってしまった。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 2 】

以上の実施例 1 , 実施例 2 , 比較例 1 の実験により、本発明によると、伝送特性に優れるとともに、耐熱性が従来よりも優れた G I 型のプラスチック光ファイバが得られることがわかる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 6 3 】

【 図 1 】 本発明の光ファイバの断面の概略図である。

【 図 2 】 本発明の光ファイバの屈折率分布を示すグラフである。

【 図 3 】 光ファイバのコアにおけるドーパント含有率の概略図である。

【 図 4 】 コアを形成する重合装置の概略図である。

【 図 5 】 プリフォームを延伸する延伸設備の概略図である。

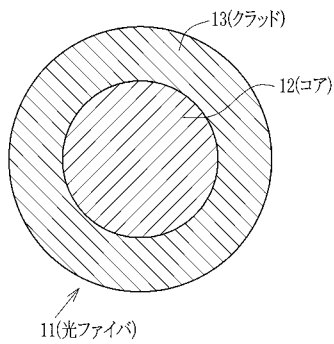
【 図 6 】 従来の光ファイバの屈折率分布を示すグラフである。

【 符号の説明 】

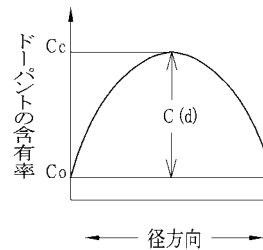
【 0 0 6 4 】

- 1 1 光ファイバ
- 1 2 コア
- 1 3 クラッド

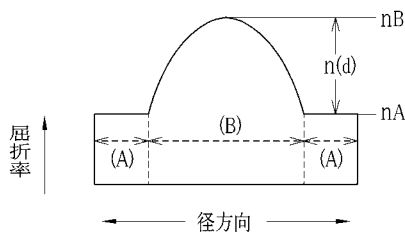
【 図 1 】



【 図 3 】



【 図 2 】



フロントページの続き

審査官 大石 敏弘

- (56)参考文献 特開2002-236222(JP,A)
特開平10-221541(JP,A)
国際公開第2004/025340(WO,A1)
特開平11-142657(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G02B 6/00
G02B 6/02 - 6/036
C08F 2/44
C08F 20/14
JST7580(JDreamII)
JSTPlus(JDreamII)