

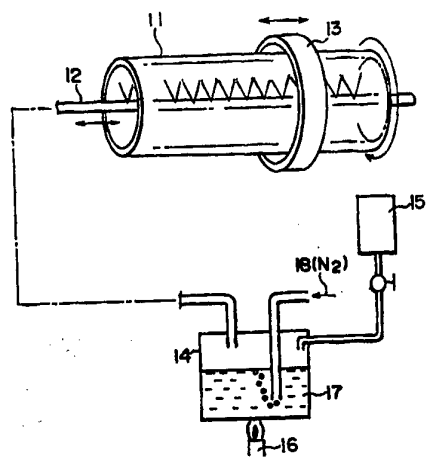


特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類 5 G02B 6/00, 6/18</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO 94/29758</p> <p>(43) 国際公開日 1994年12月22日 (22.12.94)</p>
<p>(21) 国際出願番号 PCT/JP94/00963 (22) 国際出願日 1994年6月14日 (14. 06. 94)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平5/144678 1993年6月16日 (16. 06. 93) JP 特願平5/147278 1993年6月18日 (18. 06. 93) JP 特願平5/151776 1993年6月23日 (23. 06. 93) JP 特願平6/24137 1994年2月22日 (22. 02. 94) JP 特願平6/27743 1994年2月25日 (25. 02. 94) JP</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 住友電気工業株式会社 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) (JP/JP) 〒541 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号 Osaka, (JP)</p> <p>(72) 発明者; および (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ) 野中 毅 (NONAKA, Tsuyoshi) (JP/JP) 細谷俊史 (HOSOYA, Toshifumi) (JP/JP) 小林勇仁 (KOBAYASHI, Yuji) (JP/JP) 松田裕男 (MATSUDA, Yasuo) (JP/JP) 〒244 神奈川県横浜市栄区田谷町一番地 住友電気工業株式会社 横浜製作所内 Kanagawa, (JP)</p> <p>(74) 代理人 弁理士 長谷川芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.) 〒104 東京都中央区京橋二丁目13番10号 京橋ナショナルビル 6F 創英国際特許事務所 Tokyo, (JP)</p>	<p>(81) 指定国 US, 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>	

(54) Title : PLASTIC OPTICAL FIBER BASE MATERIAL, PRODUCTION METHOD THEREFOR, AND APPARATUS THEREFOR

(54) 発明の名称 プラスチック光ファイバ母材その製造方法および製造装置



(57) Abstract

Plastic layers, containing a polymer A (refractive index:  $n_a$ ) and a refractive index adjusting agent having a refractive index different from that of the polymer A, are applied on an inner surface of a hollow cylindrical body rotating on its axis by using CVD (Chemical Vapor Deposition) or a coating method so as to provide a base material for a plastic optical fiber wherein the refractive index gradually decreases with the distance from the center toward the periphery. The proportion of the polymer A and the refractive index adjusting agent in the plastic layers can be varied so that the refractive index may gradually increase.

(57) 要約

CVD (Chemical Vapor Deposition) または塗布法を用いて、軸を中心に回転する中空の円筒体の内面に、重合体A (屈折率:  $N_a$ ) と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を重ねることにより、中心から外径方向に向ってその屈折率が漸次低下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を製造する。前記堆積層を構成する重合体Aと屈折率調整剤との配合割合を変化させることにより、該堆積層の屈折率が漸次増大されたプラスチック光ファイバ母材が得られる。

情報としての用途のみ

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第1頁にPCT加盟国を同定するために使用されるコード

AM	アルメニア	CZ	チェッコ共和国	KP	朝鮮民主主義人民共和国	NZ	ニュー・ジーランド
AT	オーストリア	DE	ドイツ	KR	大韓民国	PL	ポーランド
AU	オーストラリア	DK	デンマーク	KZ	カザフスタン	PT	ポルトガル
BB	バルバドス	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	RO	ルーマニア
BE	ベルギー	ES	スペイン	LK	スリランカ	RU	ロシア連邦
BF	ブルキナ・ファソ	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SD	スーダン
BG	ブルガリア	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SE	スウェーデン
BJ	ベナン	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	SI	スロヴェニア
BR	ブラジル	GB	イギリス	MC	モナコ	SK	スロヴァキア共和国
BY	ベラルーシ	GE	グルジア	MD	モルドバ	SN	セネガル
CA	カナダ	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TD	チャード
CF	中央アフリカ共和国	GR	ギリシャ	ML	マリ	TG	トーゴ
CG	コンゴ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	TJ	タジキスタン
CH	スイス	IE	アイルランド	MR	モーリタニア	TT	トリニダードトバゴ
CI	コート・ジボアール	IT	イタリア	MW	マラウイ	UA	ウクライナ
CM	カメルーン	JP	日本	NE	ニジェール	US	米国
CN	中国	KE	ケニア	NL	オランダ	UZ	ウズベキスタン共和国
CS	チェッコスロヴァキア	KG	キルギスタン	NO	ノルウェー	VN	ヴェトナム

## 明 細 書

### プラスチック光ファイバ母材その製造方法および製造装置

#### 技術分野

本発明は、プラスチック光ファイバ母材、その製造方法及び製造装置、並びにプラスチック光ファイバの線引方法に関する。

#### 背景技術

コアおよびクラッドが共にプラスチックからなるプラスチック光ファイバは、光信号の送受を行う装置間（例えば電子装置間）において、その伝送損失が実質的に問題とされない程度に近距離の光伝送路としては、ガラス光ファイバと比べてむしろ適している。加えて、プラスチック光ファイバは、通常はガラス光ファイバより低コストとすることが可能であるために、近距離の光伝送路として多用されている。このようなプラスチック光ファイバは、特にLAN（local area network）、ISDN（integrated service digital network）等の次世代通信網構想において、その重要性が増してきている。

従来においては、図23の模式斜視図に示すように、プラスチック光ファイバ1としては、コア2にPMMA（ポリメチルメタクリレート樹脂）、PC（ポリカーボネート樹脂）又はこれらの共重合体等からなる樹脂を用い、クラッド3にフッ素樹脂等を用いてなり、図24に示すような屈折率分布を有する光ファイバ、すなわちステップインデックス（SI）型光ファイバが実用化されている。

また、このSI型光ファイバに比較して時間当りの情報量を多量に送ることが可能な光ファイバとして、図25に示すような屈折率分布を有するグレーデッドインデックス（GI）型光ファイバも提案されている。このようなGI型光ファイバは、例えば特公昭52-5857号、特公昭54-30301号、特開昭6

1-130904号、特開昭61-162008号等に開示されているが、製造上等の観点から種々の問題が未解決であるため、未だ所望の特性を有するものが得られていない。

すなわち、従来のプラスチック光ファイバにおいては、反応性の差や、ゲル効果等の特殊な化学反応を利用して屈折率分布が形成されていたため、所望の屈折率を得るためには、母材の大きさや、材料の種類等条件に厳しい制限があった。従って、従来のプラスチック光ファイバにおいては、量産化が困難であったり、あるいは伝送特性、信頼性に優れたファイバ材料を得ることが難しいという問題が生じていた。

また、上記した従来の光ファイバにおいては、屈折率分布を得るための反応を自由に制御することが困難であったため、理想的なG I型の屈折率分布を有するファイバを歩留り良く得ることは難しかった。

更に、特開平2-16504号公報には、屈折率の異なる2種以上の重合性混合物の積層状物を同心円状に押し出すことにより、プラスチック光ファイバを製造する方法が開示されている。しかしながら、本発明者の検討によれば、このような製法は以下のような問題を有する。

すなわち、上記製法は積層押し出し法であるため、10層程度の押し出しステップしか形成できず、結果として得られる屈折率分布は、階段状のものとならざるを得ない。このような階段状の屈折率分布を有する光ファイバを用いた場合には、多くの情報量を送ることが困難である。また、上記製法においては、積層押し出し後の生成物に更に単量体を拡散させ、連続したなめらかな屈折率分布を得ることも可能とされているが、このような単量体拡散を用いる場合には、工程が増えるため生産性が低下する。しかも、単量体拡散という制御の困難な操作を行うため、理想的なG I型屈折率分布を得ることが困難である。

更に、円筒内に屈折率差の異なる二種の材料を注入し、遠心力作用下で重合・積層を繰返すことにより、屈折率が連続的に変化するプラスチック光ファイバ用

プリフォームの製造方法も提案されている（特開昭60-119509号公報参照）。しかしながら、この方法においては、所望の設計値通りに屈折率を管理することが必ずしも容易ではなく、製造コストがやや高くなる傾向がある。

また、特開平4-124602号には、コア材を所定の径に紡糸して、その上にクラッド材をコーティングするプラスチック光ファイバの製造方法が開示されているが、このようなクラッド材のコーティングでGI型プラスチック光ファイバを作製するためには、多段階のコーティングを行うことが必要となり、工程が煩雑となる。

一方、予め作製したGI型プリフォーム（母材）を熱延伸してファイバ化することも提案されている（高分子学会予稿集（Polymer Preprints, Japan）、第41巻、第7号、第2942～2944頁、1992年秋）。このような方法によれば、工程数の低減、および外径が異なる種々のファイバが作製可能となると考えられる。しかしながら、本発明者の検討によれば、このようにGI型プリフォームを単に線引炉に挿入して線引きする方法においては、線引後の外径変動が生じ易く、また、得られたファイバの強度は、他の方法で製造されたファイバに比べて低くなる傾向があった。

実際に使用されるプラスチック光ファイバにおいては、通常は、上記クラッド層の周囲に、プラスチック光ファイバ本体を保護する目的で更にジャケット層若しくはシース層と称される被覆部が設けられている（特開昭60-230104号公報の第1図参照）。特開昭58-178302号公報、特開昭60-57811号公報等が開示されているように、耐熱性や耐候性を有するジャケットないしシース材を選択することにより、耐熱性、耐候性の良好なファイバを提供することが可能となる。

更に、特開平4-190204号公報には、ジャケット層に無機充填剤を含有させて、金属めっきを該ジャケット層の表面に形成し易くする技術が開示されている。

これら従来の方法においては、光ファイバ母材を線引してファイバ状とした後、ダイス塗布又は押出し等の方法により該ファイバ上に被覆部を形成していたため、該被覆部の形成が煩雑で生産性が低く、したがって製造コストが高くなっていた。

また、上記被覆層を設ける代りに、光ファイバ本体の外径を太くしてクラッド層と保護層とを兼ねさせることも理論的には可能と考えられるが、この場合には、単位長さ当りのプラスチック材料の使用量が增大するという新たな問題が生ずる。さらに、プラスチック光ファイバに用いるプラスチック材料は、光学的透明性を高めるために、精製により純度を高めた高コストのものであるため、単位長さ当りの該プラスチック材料の使用量の増加は、製造コスト増大の要因となる。

本発明の目的は、上記した背景技術における問題を解決したプラスチック光ファイバないしその母材、ならびにこれらの製造方法ないし製造装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、所望の屈折率分布を有し、しかも製造容易なプラスチック光ファイバないしその母材の製造方法および製造装置を提供することにある。

本発明の他の目的は、所望の屈折率分布を有し、しかも製造コストが低いプラスチック光ファイバないしその母材の製造方法および製造装置を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、ファイバ化された際に十分な機械強度を維持し、光ファイバとしての長期信頼性が保証可能なファイバを与えるプラスチック光ファイバの製造（線引）方法を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、ファイバ化された後の熱による外径変動が抑制され、光ファイバとしての長期信頼性が保証可能なファイバを与えるプラスチック光ファイバの製造（線引）方法を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、所望の屈折率分布を有し、且つ形成が容易なジャケット層を有するプラスチック光ファイバの製造方法を提供することにある。

本発明の更に他の目的は、所望の屈折率分布を有し、しかも製造コストを低減

したジャケット層を有するプラスチック光ファイバの製造方法を提供することにある。

#### 発明の開示

本発明者は鋭意研究の結果、軸を中心に回転する中空円筒体の内面に、重合体と、該重合体とは異なる屈折率を有する材料（以下「屈折率調整剤」という）とを含み、且つ、重合体と該屈折率調整剤との配合比を変化させた層を積層させることが、上記目的の達成に極めて効果的であることを見出した。

本発明のプラスチック光ファイバ母材の製造方法は、上記知見に基づくものであり、より詳しくは、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法による気相堆積を用いて、軸を中心に回転する中空の円筒体の内面に、重合体A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を重ねることにより、中心から外径方向に向ってその屈折率が漸次低下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を製造する方法であって、

前記堆積層を構成する重合体Aと屈折率調整剤との配合割合を変化させることにより、該堆積層の屈折率を漸次増大させることを特徴とするものである。

上記したCVDを用いる本発明の光ファイバ母材製造方法においては、重合体A（屈折率： $N_a$ ）を主成分として用い、屈折率調整剤として重合体Aの屈折率（ $N_a$ ）より高い屈折率（ $N_b$ ）を有する屈折率調整剤Bを用いて、重合体Aに対する屈折率調整剤Bの配合割合を徐々に上昇させることが好ましい。

一方、上記した本発明の光ファイバ母材製造方法においては、重合体A（屈折率： $N_a$ ）を主成分として用い、屈折率調整剤として重合体Aの屈折率（ $N_a$ ）より低い屈折率（ $N_c$ ）を有する屈折率調整剤Cを用いて、重合体Aに対する屈折率調整剤Cの配合割合を徐々に減少させてもよい。

本発明によれば、更に、CVD法による気相堆積により、中空の円筒体の内面に、重合体A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率

調整剤とを含む堆積層を形成することによりプラスチック光ファイバ母材を製造する装置であって；

前記中空円筒体をその軸回りに回転自在に支持する回転装置と、

前記中空円筒体の一端部に配置され、前記堆積層形成のための原料蒸気を中空円筒体の内面に供給する供給管と、

中空円筒体の内部に堆積した堆積層を加熱する加熱装置と

前記堆積層形成のための原料蒸気を前記供給管に供給する原料供給手段とを具備してなり；且つ、

前記原料供給手段が、原料蒸気中の前記屈折率調整剤の配合割合を変化させるための屈折率調整手段を含むことを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造装置が提供される。

本発明においては、堆積法として、上記したCVDに代えて塗布法を用いてもよい。

すなわち、本発明によれば、塗布法を用いて、軸を中心に回転する中空の円筒体の内面に、重合体A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を重ねることにより、中心から外径方向に向ってその屈折率が漸次低下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を製造する方法であって、

前記堆積層を構成する重合体Aと屈折率調整剤との配合割合を変化させることにより、該堆積層の屈折率を漸次増大させることを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造方法が提供される。

本発明によれば、更に、塗布法により、中空の円筒体の内面に、重合体A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を形成することによりプラスチック光ファイバ母材を製造する装置であって；

前記中空円筒体をその軸回りに回転自在に支持する回転装置と、

前記中空円筒体の一端部に配置され、前記堆積層形成のための原料を中空円筒

体の内面に供給する供給管と、

中空円筒体の内部に堆積した堆積層を加熱する加熱装置と

前記堆積層形成のための原料を前記供給管に供給する原料供給手段とを具備してなり、且つ、

前記原料供給手段が、原料中の前記屈折率調整剤の配合割合を変化させるための屈折率調整手段を含むことを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造装置が提供される。

上記した塗布法を用いる本発明の光ファイバ母材製造方法においては、重合体A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体Aより高い屈折率（ $N_b$ ）を有する屈折率調整剤Bとを用いて初期塗布液を作製し、該塗布液中の屈折率調整剤Bの配合割合を徐々に増大させることが好ましい。

一方、上記した本発明の光ファイバ母材製造方法においては、重合体A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体Aより低い屈折率（ $N_c$ ）を有する屈折率調整剤Cとを用いて初期塗布液を作製し、該塗布液中の屈折率調整剤Cの配合割合を徐々に減少させてもよい。

上記した本発明の光ファイバ母材の製造方法（CVD法、塗布法ともに）においては、該母材の製造工程における特殊な化学反応の利用が必須でないため、作製すべき母材の大きさ、および／又は材料の種類を選択の自由度が大幅に拡大する。従って、本発明によれば、光ファイバとして優れた特性を与える材料を使用しつつ、しかも生産システムに適した大きさの母材が容易に製造できるため、所望の屈折率分布および特性を有する母材の量産化が容易となる。

特に、本発明においては、優れた伝送特性を与えるべき非重合性の材料を、上記屈折率調整剤として選択可能であるという利点がある。

本発明者は更に、GI型プリフォームを線引きしてファイバ化する方法においては、該ファイバを構成する高分子の配向性の如何によってファイバの強度が変動することを見出し、更には該線引きの際の線引張力を適切に調整することが、

上記ファイバ強度の問題解決のために極めて効果的であることを見出した。

したがって、本発明によれば、有機重合体からなるコアと、該コアの外周上に配置された有機重合体からなるクラッド層とを少なくとも含む光ファイバ母材を加熱し、熔融させてプラスチック光ファイバを線引する方法であって、

前記光ファイバが巻き取られるまでの線引張力が10g以上であることを特徴とするプラスチック光ファイバの線引方法が提供される。

更に、本発明者の研究によれば、GI型プリフォームを線引きしてファイバ化する方法においては、該ファイバのクラッドを構成する高分子の配向性の如何によって線引後のファイバ外径の変動が生ずること、および、該線引きの際の線引張力を適切に調整することが、上記した線引後のファイバ外径の変動の問題解決のために極めて効果的であることを見出した。

したがって、本発明によれば、有機重合体からなるコアと、該コアの外周上に配置された有機重合体からなるクラッド層とをすくなくとも含む光ファイバ母材を加熱し、熔融させてプラスチック光ファイバを線引する方法であって、

前記光ファイバが巻き取られるまでの線引張力が100g以下であることを特徴とするプラスチック光ファイバの線引方法が提供される。

本発明によれば、更に、有機重合体からなるコアと、該コアの外周上に配置された有機重合体からなるクラッド層と、該クラッド層の外周に配置されたジャケット層とを含み；且つ、前記ジャケット層が、前記クラッド層を構成する材料と同質で、且つ、クラッド層を構成する材料より低い純度を有する材料から構成されているプラスチック光ファイバ母材が提供される。

#### 図面の簡単な説明

図1は、本発明において光ファイバ母材を内付けCVD法による堆積で製造するための装置の一態様を示す模式斜視図である。

図2は、図1の堆積によって得られる母材の一例を示す模式斜視図である。

- 図3は、図2の母材の屈折率分布を模式的に示す図である。
- 図4は、堆積により製造した母材をコラップス (collapse) 化した状態を示す模式斜視図である。
- 図5は、図4の状態の屈折率分布を模式的に示す図である。
- 図6は、本発明において光ファイバ母材を内付けCVD法で製造するための装置の他の態様を示す模式斜視図である。
- 図7は、本発明において光ファイバ母材を内付け塗布法による堆積で製造するための装置の一態様を示す模式斜視図である。
- 図8は、本発明において光ファイバ母材を内付け塗布法で製造するための装置の他の態様を示す模式斜視図である。
- 図9は、本発明方法において光ファイバ母材を線引きするための線引炉の構成の一態様を示す模式断面図である。
- 図10は、ジャケット層を有する光ファイバ構成の一例を示す模式斜視図である。
- 図11は、ジャケット層を有する光ファイバ構成の一例を示す模式断面図である。
- 図12は、図11に示した光ファイバ中の光伝送の態様の一例を示す模式断面図である。
- 図13は、ジャケット層を有しない光ファイバ構成の一例を示す模式断面図である。
- 図14は、図13に示した光ファイバ中の光伝送の態様の一例を示す模式断面図である。
- 図15は、クラッド層 (層厚： $D_1$ )、コア (直径： $D_2$ ) およびジャケット層 (層厚： $D_3$ ) の関係を示す模式斜視図である。
- 図16は、図15に示した光ファイバ中のG I型屈折率分布の態様の一例を模式的に示す図である。

図17は、本発明において、ジャケット層を有する光ファイバ母材をキャスト方式の塗布で得る場合の一工程（浸漬工程）を説明するための模式斜視図である。

図18は、本発明において、ジャケット層を有する光ファイバ母材をキャスト方式の塗布で得る場合の一工程（引き上げ工程）を説明するための模式斜視図である。

図19は、本発明において、ジャケット層を有する光ファイバ母材をキャスト方式の塗布で得る場合の一工程（乾燥工程）を説明するための模式斜視図である。

図20は、本発明において、ジャケット層を有する光ファイバ母材をキャスト方式の塗布で得る場合の一工程（屈折率調整剤の添加工程）を説明するための模式斜視図である。

図21は、実施例3および6で得られた光ファイバの屈折率分布を示すグラフである。

図22は、実施例10～13および比較例5～7で得られた光ファイバにおける線引張力と伝送損失との関係を示すグラフである。

図23は、従来のプラスチック光ファイバ母材の構成の一例を示す模式斜視図である。

図24は、S I型の屈折率分布を模式的に示す図である。

図25は、G I型の屈折率分布を模式的に示す図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、必要に応じて図面を参照しつつ、本発明を詳細に説明する。

##### （重合体）

本発明において、軸を中心に回転する中空円筒体の内面に堆積されるべき堆積層を構成する重合体A（屈折率： $N_a$ ）としては、公知の透明な重合体を特に制限なく使用することが可能であるが、例えば、メチルメタクリレートの単重合体（ポリメチルメタクリレート：PMMA）、ポリカーボネート（PC）；ある

いは、メチルメタクリレートと他の単量体との透明な共重合体を使用可能である。このような「他の単量体」としては、例えば、単官能の（メタ）アクリレート類、弗素化アルキル（メタ）アクリレート類、多官能（メタ）アクリレート類、多官能（メタ）アクリレート類、アクリル酸、メタクリル酸等のアクリル系単量体；スチレン、クロルスチレン等のスチレン系単量体が好適に使用可能である。

上記した重合体の中でも、ポリメチルメタクリレート（屈折率 $n=1.490$ ）、又はポリカーボネート（ $n=1.59$ ）が特に好適に使用可能である。

#### （屈折率調整剤）

本発明において、上記した重合体Aの屈折率（ $N_a$ ）とは異なる屈折率を有する材料（屈折率調整剤）としては、該重合体の屈折率より高い屈折率（ $N_b$ ）を有する屈折率調整剤（屈折率調整剤B）、該重合体の屈折率より低い屈折率（ $N_c$ ）を有する屈折率調整剤（屈折率調整剤C）のいずれも使用可能である。

所望の屈折率分布を与え、且つ、上記重合体と安定に共存することが可能である限り、屈折率調整剤の分子量は特に制限されない。また、該屈折率調整剤自体が重合性の官能基（例えば、ビニル基 $CH_2=CH-$ 等の不飽和重合性基）を有していてもよい。すなわち、屈折率調整剤は単量体ないしはその混合物であってもよく、またオリゴマーないしポリマーであってもよい。

重合体Aの屈折率 $N_a$ と、上記調整剤の屈折率（ $N_b$ または $N_c$ ）との差の絶対値 $|N_a - N_b|$ または $|N_a - N_c|$ は、 $0.01$ 以上であることが好ましく、 $0.02$ 以上（特に、 $0.03$ 以上）であることが更に好ましい。

本発明において、上記重合体Aをポリメチルメタクリレート（PMMA）（ $N_a = n = 1.49$ ）とした場合に、該重合体Aとの組合せにおいて好適に使用可能な屈折率調整剤の具体例としては、高屈折率の調整剤Bとしては、例えばフタル酸ブチルベンジルエステル（ $N_b = n = 1.536$ ）、酢酸2-フェニルエチル（ $n = 1.51$ ）、フタル酸ジメチル（ $n = 1.515$ ）、ジフェニルスルフィド（ $n = 1.635$ ）、安息香酸ビニル（ $n = 1.577$ ）、ベンジルメタクリレート（ $n =$

1.568)、フタル酸ジアリル ( $n=1.518$ ) 等を例示することができる。上記した具体例中、安息香酸ビニル、ベンジルメタクリレート、フタル酸ジアリルは重合性の官能基を有する屈折率調整剤である。

一方、低屈折率の屈折率調整剤Cとしては、例えば酢酸ヘキシル ( $N_c=n=1.408$ )、フタル酸ビス(3,5,5-トリメチルヘキシル) ( $n=1.487$ )、フタル酸ビス(2-メチルヘキシル) ( $n=1.486$ ) 等を例示することができる。

#### (堆積方法)

本発明において、軸を中心に回転する中空円筒体の内面に、上記重合体Aと屈折率調整剤との配合比を変化させた層を積層(内付け)させる方法としては、気相堆積法(vapor deposition)または塗布法のいずれを用いてもよい。気相堆積法を用いる態様においては、化学的気相成長法(chemical vapor deposition; CVD)が好適に使用可能である。

#### (CVDによる母材の製造)

以下、本発明において「内付け」CVD法によりプラスチック光ファイバ用母材を製造する一態様について、図1を参照しつつ説明する。

図1は、本発明の光ファイバ母材の製造に使用可能な装置(本発明の光ファイバ母材の製造装置)の一態様を示す模式斜視図である。

図1を参照して、この装置は、CVD法により中空の円筒体内に原料蒸気を堆積させてプラスチック光ファイバ母材を製造する装置であって、中空の円筒体11をその軸回りに回転自在に支持する回転装置(図示せず)と、上記中空の円筒体の軸心中央に配置され、上記軸方向に往復動自在な供給管であって、複数の吹付け孔を有し供給された原料蒸気を中空円筒体11の内面に吹き付ける供給管(図1ではノズル)12と、軸方向に往復動自在に配置され、中空円筒体11の内部に堆積した有機原料の加熱処理を行う加熱装置(図1ではリングヒータ)13と、堆積層形成のための原料たる蒸気(図1では有機原料蒸気)を供給する原

料供給手段とからなる。図1の態様においては、該原料供給手段は、供給容器（図1では供給タンク）14と、該供給容器14に屈折率調整剤を供給する屈折率調整剤容器（図1では屈折率調整剤タンク）15とから構成される。

図1の態様においては、上記ノズル12に供給する重合体原料は、加熱手段16を有する供給タンク14内に、有機原料17を溶媒と共に溜めておき、不活性ガス（N<sub>2</sub>、Ar、He等）18を供給タンク14内に導入することにより、上記原料の蒸気をノズル12に送給している。

一方、屈折率調整剤Bは屈折率調整タンク15内に貯溜されており、屈折率調整タンク15から屈折率の異なる屈折率調整剤を適宜供給タンク14に供給することで、屈折率を調整している。より具体的には例えば、該重合体Aと屈折率調整剤Bとを含む堆積層の堆積を中空円筒体11の内面に重ねるごとに、屈折率調整タンク15から供給タンク14内に屈折率調整剤Bを導入することにより、供給タンク14内の屈折率を徐々に変化させて、あらかじめ設定された光学的屈折率の勾配（屈折率分布）を得ることを可能としている。

図1の態様において、重合体Aより屈折率が低い屈折率調整剤Cを用いる場合には、例えば、供給タンク14に重合体Aと屈折率調整剤Cとの所定の混合物（屈折率が重合体A自体より低い混合物）を入れ、屈折率調整タンク15に入れた重合体Aを徐々に供給タンク14に供給することにより、所定の屈折率分布を得ればよい。

なお、上記した製造装置においては、加熱手段16は必須ではない。すなわち、該装置とともに用いる有機材料の種類によっては、加熱手段16を設けなくてもよい。

図1を参照して、重合体Aは該重合体Aを溶解し得る溶剤と共に有機原料溶液17として供給タンク14内に注入されている。該重合体Aと屈折率調整剤Bとを含む堆積層の堆積を中空円筒体11の内面に重ねるごとに、供給タンク14内に屈折率調整タンク15から屈折率調整剤Bを導入することにより、供給タンク

14内の屈折率を徐々に変化させて、あらかじめ設定された所定の光学的屈折率の勾配（屈折率分布）を得ている。

加えて、図1に示すように中空円筒体11を回転させながら、ノズル12を軸方向に往復動させ、原料蒸気を該中空体11の内面に吹き付け、加熱器13による加熱を行うことにより、漸次屈折率に変化した原料を中空体11の内面に堆積させている。これにより、母材の中心から外径方向に向って屈折率が漸次低下してなるコア層を形成する。

上記したCVD堆積が終了した後は、図2の模式斜視図に示すように、中心軸においてノズル12に対応する部分として、軸方向に空洞部20aを有する母材20が得られる。図3のグラフに、コラップス化前の該母材の屈折率分布図を模式的に示す。

このようにして得られた母材20を、加熱溶融してコラップス (collapse) 化させることにより、上記空洞20a（図2）が埋められ、図4の模式斜視図に示すようなプラスチック光ファイバ母材21が得られる。図5のグラフに、このようにして得られるGI型光ファイバ母材の屈折率分布を模式的に示す。

上記により得られた光ファイバ母材21を、通常の線引き操作に供することにより、所望のプラスチック光ファイバを得ることができる。このような線引操作においては、例えば、上記光ファイバ母材21を鉛直状態に保持しつつ、加熱溶融により線引して、プラスチック光ファイバを得ればよい。

本発明においては、上記重合体Aの原料（単量体等）又は屈折率調整剤Bの少なくとも一方として光等のエネルギーにより重合する物質（例えば、ベンゾイン、ベンゾインメチルエーテル、ベンゾインエチルエーテル、ベンゾインイソプロピルエーテル、ベンゾインイソブチルエーテル、2-メチルベンゾイン、ベンジル、ベンジルジメチルケタール、ベンジルジエチルケタール等）を用い、紫外線等のエネルギー線の照射によって重合（例えば、光重合）させて、上記した所定の屈折率分布を固定させてもよい。このような態様においては、特に、光重合させる

際に用いる開始剤として、光エネルギーにより異種原子間で開裂するもの（同種原子間単結合に比べ、開裂に要するエネルギーが小さい）を用いることが好ましい。光エネルギーにより異種原子間で開裂する開始剤としては、以下のものが使用可能である。

<炭素原子とリン原子との異種原子間単結合を開裂させるもの>

ベンゾイルジフェニルフォスフィンオキシド

ベンゾイルジメチルフォスフィンオキシド

ベンゾイルジエチルフォスフィンオキシド

2-メチルベンゾイルジフェニルフォスフィンオキシド

2-メチルベンゾイルジメチルフォスフィンオキシド

2-メチルベンゾイルジエチルフォスフィンオキシド

2, 4-ジメチルベンゾイルジフェニルフォスフィンオキシド

2, 4-ジメチルベンゾイルジメチルフォスフィンオキシド

2, 4-ジメチルベンゾイルジエチルフォスフィンオキシド

2, 4, 6-トリメチルベンゾイルジフェニルフォスフィンオキシド

2, 4, 6-トリメチルベンゾイルジメチルフォスフィンオキシド

2, 4, 6-トリメチルベンゾイルジエチルフォスフィンオキシド

<炭素原子とイオウ原子との異種原子間単結合を開裂させるもの>

ベンゾイルフェニルスルフィド

2-メチルベンゾイルフェニルスルフィド

4-メチルベンゾイルフェニルスルフィド

2, 4-ジメチルベンゾイルフェニルスルフィド

2, 4, 6-トリメチルベンゾイルフェニルスルフィド

4-クロロベンゾイルフェニルスルフィド

ベンゾイル-2-メチルフェニルスルフィド

ベンゾイル-4-メチルフェニルスルフィド  
ベンゾイル-2, 4-ジメチルフェニルスルフィド  
ベンゾイル-2, 4, 6-トリメチルフェニルスルフィド  
ベンゾイル-4-クロロフェニルスルフィド

このように光重合させた場合には、熱等に起因する屈折率分布の経時的変化が更に抑制されるため、特に高温・高熱が発生する領域内における使用に適した光ファイバを得ることが可能となる。

更には、このような光重合を用いる態様において、中空の円筒体11を紫外線透過性の材料を用いて構成し、紫外線の照射を円筒体11の外部から行うようにしてもよい。このような円筒体11の外部から紫外線を照射する態様は、重合効率の向上の点から好ましい。

図6は本発明の光ファイバ母材製造装置（内付けCVD法）の他の態様を示す模式斜視図である。

この図6の態様においては、図1におけるノズル12が省略されて、回転する中空円筒管11の一端部に原料蒸気を導入する供給管19が直結され、原料蒸気を直接に中空円筒体11内に供給するようにした以外は、図1の態様と同様の構成とされている。

（塗布法による母材の製造）

次に、本発明において「内付け」塗布法によりプラスチック光ファイバ用母材を製造する一態様について、図7を参照しつつ説明する。

図7は、本発明の光ファイバ母材の製造に使用可能な装置（本発明の光ファイバ母材の製造装置）の一態様を示す模式斜視図である。

図7を参照して、この装置は、中空の円筒体31をその軸回りに回転自在に支持する回転装置（図示せず）と、上記中空円筒体31の軸心中央に配置され該軸方向に移動自在であると共に、有機材料を中空円筒体31の内面に塗布する供給

管（図7では噴霧用ノズル）32と、中空の円筒体31の内部に堆積した有機材料を加熱して溶媒を除去する乾燥装置（図7ではリングヒータ）33と、有機材料を供給する供給タンク34と、屈折率調整タンク35とからなる。

以下、図7の装置を用いるプラスチック光ファイバ用母材の製造方法の一態様を説明する。

図7を参照して、重合体Aは該重合体Aを溶解し得る溶剤と共に噴霧原料とし供給タンク34内に注入されており、一方の屈折率調整剤Bは屈折率調整タンク35内に貯溜されており、中空円筒体31の内面への噴霧を重ねるごとに、あらかじめ設定された光学的屈折率の勾配（屈折率分布）を得るために、供給タンク34内に屈折率調整タンク35から屈折率調整剤Bを導入することにより、供給タンク34内の屈折率を徐々に変化させている。

加えて、図7に示すように中空の円筒体31を回転させながら、ノズル32を、中空円筒体31の軸方向に往復動させつつ、上記重合体Aと屈折率調整剤Bとからなる原料（組成物）を噴霧すると共に、乾燥器33による乾燥を行う。これにより、漸次屈折率が変化した噴射原料を噴霧し、母材の中心から外径方向に向けて屈折率が漸次降下してなるコア層を形成する。

噴霧が終了した後は、上述した図2に示すように、加熱溶融、コラップス化させることにより所望のGI型プラスチック光ファイバ母材が得られる。このようにして得られた光ファイバ母材を、上述したCVD法を用いた態様におけると同様に、通常の線引き操作、例えば当該光ファイバ母材を鉛直状態に保持して加熱溶融する操作に供することにより、所望のプラスチック光ファイバを得ることができる。

図8は本発明の光ファイバ母材製造装置（塗布法）の他の態様を示す。

この図8の態様においては、図7のように軸方向に移動可能としたノズルに32に代えて、中空の円筒体31の軸方向に互って複数の噴霧孔38を設けたノズル32aを用い、当該ノズル32aを軸方向に移動させることなく、所定の塗布

層を中空円筒体 3 1 の内面に堆積可能とした以外は、図 7 の態様と同様の構成とされている。

(線引方法)

次に、光ファイバ母材を光ファイバに線引する方法について図 9 の模式断面図を参照しつつ説明する。図 9 は、プラスチック光ファイバ線引装置を示す模式断面図である。

図 9 を参照して、線引用炉本体 4 1 内には、ヒータ 4 2 及び炉心管 4 3 が設けられている。このような線引装置を用いた場合、炉本体 4 1 の上部開口部 4 1 a から光ファイバ用樹脂母材（プリフォーム）4 0 が挿入され、加熱炉 4 1 内で加熱され、熔融されて所定の外径を有するプラスチック光ファイバ 4 6 に線引ないし紡糸される。このように線引きされたプラスチック光ファイバ 4 6 は、炉 4 1 の下部開口部 4 1 b から引き出され、その後、外径測定器（モニター）4 4 によって光ファイバ 4 6 の外径が測定されつつ、該光ファイバ 4 6 は巻取り装置 4 5 により巻き取られている。

上記プリフォーム 4 0 としては、コア及びクラッドにおいて G I 型屈折率分布を有するものが好適に用いられる。このような線引方法においては、例えば、クラッドに光透過性に優れたポリメチルメタクリレート（PMMA）を用い、コアに屈折率の高い化合物を用いて作製した母材 4 0 を用いることが好ましい。この際、コアに添加する高屈折率化合物及びプリフォームの外径、長さは特に限定されない。

高分子であるプリフォーム（母材）4 0 は、加熱炉 4 1 で加熱され巻取装置 4 5 により巻き取られるまで、10 g 以上の線引張力が付与されることが好ましい。高分子は配向の程度が小さい場合には、分子がランダム構造を取るために引っ張られた時の強度が弱くなる。これに対して、本発明者の知見によれば、線引張力を 10 g 以上とすることにより、ファイバの長手方向に分子が配向するため、ファイバの引張強度が向上し、長期信頼性が確保が可能となる。

一方、上記線引張力は100g以下であることが好ましい。線引張力が100gより高い場合には、ファイバの熱収縮が生じ易くなる。このような現象が生じる理由は、本発明者の知見によれば以下の通りである。

すなわち、100gより高い線引張力によって光ファイバのクラッド層を構成する高分子が配向されてしまうと、このようにクラッドが配向された状態でファイバがリール等に巻き取られてしまうこととなる。この結果、クラッドを構成する高分子が熱を受けた場合、元の状態に戻ろうとして収縮が生じると推定される。

このようにクラッドが収縮した場合、本発明者の知見によれば、光ファイバ自体にも収縮が生じ、これに伴って光ファイバの長手方向に亘って歪みがかかってファイバ自体の構造不正が生じ、伝送の損失が増大することとなると推定される。

したがって、本発明においては、線引張力を100g以下として、クラッドを構成する高分子の配向を防止することが好ましい。

本発明者び知見によれば、上記母材40を加熱、溶融させて紡糸する際の、光ファイバ46の外径は、1000 $\mu$ m以下であることが好ましい。この外径が1000 $\mu$ mを越える場合は分子の配向が小さくても強度低下は見られないが、1000 $\mu$ m以下の場合に分子の配向が小さいと強度の低下が著しい。しかしながら、上記したように線引張力を10g以上とした場合には、光ファイバ46の外径を1000 $\mu$ m以下としても、ファイバ長手方向の分子の配向に基づいてファイバの引張り強度が向上し、長期信頼性が確保される。

#### (光ファイバ母材)

上述したような本発明の製造方法により得られるプラスチック光ファイバ母材は、通常、コア及びクラッド層を含むロッド状の形状を有しているが、本発明においては、必要に応じて、上記したコア及びクラッド層からなるロッドの外周に、更に、当該クラッド層を形成する有機重合体と実質的に同質であり、且つその純度がクラッド層を形成する有機重合体の純度よりも低い材料からなるジャケット層を形成してなることが好ましい。

このような態様において、ジャケット層を形成する材料としては、上記クラッド層を形成する材料たる重合体Bと同質であり、且つその純度が重合体Bの純度より低い重合体B<sub>1</sub>が好ましく用いられる。ここに、「同質」とは、ジャケット層の材料を構成するモノマーが、クラッド層の重合体Bを構成するモノマーと実質的に共通であることをいい、より具体的には、ジャケット層を構成するモノマーの90モル%以上（好ましくは95モル%以上）が、クラッド層の重合体Bを構成するモノマーと同一であることをいう。

共重合体の場合、ジャケット層、クラッド層に共通するモノマーをM<sub>1</sub>およびM<sub>2</sub>とし、クラッド層のモノマー構成を {M<sub>1</sub> (a<sub>1</sub>モル) + M<sub>2</sub> (b<sub>1</sub>モル) }、ジャケット層のモノマー構成を {M<sub>1</sub> (a<sub>2</sub>モル) + M<sub>2</sub> (b<sub>2</sub>モル) }（ただし a<sub>1</sub> ≤ a<sub>2</sub>、b<sub>1</sub> ≤ b<sub>2</sub>と仮定）とすると、(a<sub>2</sub> + b<sub>2</sub>) / (a<sub>1</sub> + b<sub>1</sub>) の値が、90モル%以上（更には95モル%以上）であることが好ましい。

クラッド層を構成する高純度の重合体Bは光伝送に寄与するものであるため、クラッド層を構成する重合体Bとしては、その純度が99%以上の高いものが好ましく用いられる。一方、ジャケット層を構成する重合体B<sub>1</sub>は光伝送には直接寄与しないため、コスト等の点からは、重合体の純度が99%以下のものが好ましく用いられる。該重合体B<sub>1</sub>の純度は、クラッドとの接着性の点からは、約80%以上程度（更には90%以上程度）であることが好ましい。但し、ここでいう純度は、光伝送に何ら寄与しない不純物（重合禁止剤等）に対して用いるものとする。したがって、光伝送に寄与する成分（例えば、屈折率を変化させるために添加している材料）は、ここにいう純度の評価に関与する「不純物」とは見なさないこととする。

このように、純度の低い材料をジャケット層に使用することによって、低コストの材料（例えば、市販の安価な重合体）がジャケット層に利用可能となるため、外径を太くしても、低コストで且つ伝送特性の良好なプラスチック光ファイバを作製することができる。

本発明においては、ジャケット層を構成する材料としては、クラッド-コア間における接着性をも考慮すれば、コア及びクラッド層の双方と同質のものを用いることが更に好ましい。より具体的には、このような態様においては、ジャケット層を構成する材料として、コア材の成分（モノマー等）を90%以上（更には95%以上）含む材料を用いることが好ましい。一方、製造コストの点からは、ジャケット層を構成する材料としては、コア材の成分（モノマー等）を99%以下含む材料を用いることが好ましい。

ここで、ジャケット層を構成する材料として、コア及びクラッド層と同質の材料を用いた場合、他の材質のものでジャケット層を形成した場合と比べ、作業現場等でのハンドリング（取扱性）の向上が可能となり、しかも樹脂層（後述する図10における最外層104）を剥す場合に、該ジャケット層の同時剥離を効果的に防止することが可能となる。

ジャケット層を構成する材料の融点は、コア材の融点とほぼ等しいことが好ましい。より具体的には、ジャケット層材料の融点を $m_j$ とし、コア材の融点を $m_c$ とすると、 $|m_j - m_c|$ （絶対値）は、 $10^\circ\text{C}$ 以下（すなわち、 $(m_j - m_c)$ の値が $\pm 10^\circ\text{C}$ 以内）であることが好ましい。

ジャケット層を構成する材料として、コア材と実質的に異なる融点を有する材料を用いた場合には、線引の母材溶融の際に、クラッド層とジャケット層が不均一に溶融（別個に溶融）し易くなる。

母材形成後樹脂層を被覆し、更に線引きして形成した光ファイバの構成の一態様を、図10の模式斜視図に示す。図10を参照して、このような態様における光ファイバは、コア101と、該コア101の外周に配置された、高純度の重合体からなるクラッド層102と、該クラッド層102の外周に配置された、低純度の重合体からなるジャケット層103とからなる。

このように、母材状態でクラッド層の外周にジャケット層102を形成した場合には、該母材を溶融線引する際に、ジャケット層も同時に形成される。したが

って、線引後の別工程でジャケット層を塗布する必要がなくなり、生産性が著しく向上する。

なお、識別等の目的で、ジャケット層103の周囲に、必要に応じて、更に最外層の樹脂層104を設ける場合もある。このような場合、本発明によれば、該樹脂層104に保護層的な機能を持たせることが必須でないため、樹脂層104の材料として従来におけるよりも低コストの樹脂を用いることが可能となり、更には、該樹脂層104の厚みも、薄くできるという利点がある。

また、接続のために光ファイバにコネクタを装着する際には、通常、プラスチック光ファイバから樹脂層104を除去する必要があるが、本発明により製造されたプラスチック光ファイバのように、該ファイバ自体がジャケット層103を有していると、樹脂層104除去後も十分な強度を有することが可能となり、したがって、コネクタ部でも高い強度を維持できるという利点がある。

また、一般にコネクタ等の接続具は規格化されているものが多いが、従来の単にファイバ本体の外径を太くさせた光ファイバの場合には、(規格に適合するために)伝送に寄与しないファイバの外周近傍まで高純度のものする必要があり、製造コストが著しく増大する。これに対して、本発明においては、低純度のジャケット層103を形成することで、製造コストの低減が可能となる。

本発明の方法は、製造すべきプラスチック光ファイバがGI型プラスチック光ファイバの場合に、特に有用である。

すなわち、SI型プラスチック光ファイバ製造においては、溶融させて液状になっているコア材を引き落としてファイバを作製するが多いのに対し、GI型プラスチック光ファイバ製造においては、特公昭52-5857号公報に示されているように、まず屈折率分布を持った母材を作製し、その母材を線引してファイバとする場合が多い。したがって、本発明において、GI型の母材形成時に連続してジャケット付けの工程を入れることにより、ジャケット付きの母材作製が容易となるという利点がある。

上記ジャケット層には、例えば酸化防止剤、光吸収剤又は光散乱剤等の各種機能を有する機能性材料を含有させ、それらの該機能を発揮させるようにしてもよい。これらの機能性材料は、単独でジャケット層に添加してもよく、また2種以上を混合して添加してもよい。

より具体的には例えば、酸化防止剤（ヒンダードフェノール、ヒンダードアミン、アリルアミン、ホスファイト、チオエーテル等）をジャケット層に含有させることで、その不透明化防止及び着色防止機能を発揮させることが可能となる。

また、図11および図12に示すように、コア101及びクラッド層102の外周に設けるジャケット層103に、光吸収剤105（ベンゾトリアゾール、ベンゾフェノン、ベンゾエート、シアノアクリレート等）を含有させることで、図13に示す構成の光ファイバに伝搬光Lを入射した場合にクラッド層102を伝搬する可能性のある迷光L<sub>x</sub>（図14参照）を、効率よく吸収することが可能となる。

また、上記ジャケット層103にTiO<sub>2</sub>粉末等の光散乱剤を含有させて、その光散乱機能を発揮させてもよい。

また、図15に示すように、本発明で製造されるべきプラスチック光ファイバ母材のクラッド層の厚みD<sub>1</sub>は、コア径D<sub>2</sub>の10%以上で40%以下であることが好ましい。また、ジャケット層の厚みD<sub>3</sub>は、クラッド層の厚みD<sub>1</sub>より大であることが好ましい。D<sub>1</sub>がD<sub>2</sub>の10%未満の場合には、通信光の一部が透明性の低いジャケット層をも伝搬するため、伝送特性が低下する可能性がある。通信光は大部分がコア内を伝搬していくが、一部はコアの外側に広がって伝搬するので、クラッドは、コアに比べてある程度以上の厚みがあることが好ましい。

一方、D<sub>1</sub>がD<sub>2</sub>の40%を超える場合には、完全に通信光の伝搬に寄与しない領域にも高価なクラッド用材料を使用することとなるため、製造コストの点から好ましくない。

このようにジャケット層を設けた光ファイバ母材においては、図16に示すよ

うに、光ファイバ母材中心から外径方向に向ってその屈折率を漸次降下させたGI型の屈折率分布が形成されていることが好ましい。このような光ファイバ母材を得る方法は特に制限されないが、上述した「内付け」CVD法、「内付け」塗布法（例えば、スプレー法）が好適に使用可能である。塗布法を用いる場合、乾燥は塗布と同時でもよく、また塗布と乾燥とを交互に行うようにしてもよい。

上述したようにして得られた光ファイバ母材を、通常の線引き操作、例えば当該光ファイバ母材を鉛直状態に保持しつつ加熱溶融する操作に供することにより、所望のプラスチック光ファイバが得られる。

上記したようなプラスチック光ファイバ用母材（ジャケット層付き）を製造する方法の一態様を、図17～20の模式斜視図を参照しつつ説明する。

図17～20は、スプレー方式又は刷毛塗り方式とは別の塗布方法の一例（キャスト方式）の概略を示している。図17～20中、符号51は出発ロッド、52は塗布タンク、53は乾燥器、54は塗布液供給パイプを各々示している。

図17を参照して、出発ロッド51を塗布タンク52内に浸漬して引上げた（図17、図18）後、乾燥器53を用いて乾燥する（図19）。その後、この工程を一工程として各工程毎に、塗布液供給パイプ54から屈折率調整用の原料を添加して、塗布タンク52内の屈折率濃度を順次変化させ、繰り返しキャストを行うことによりクラッド層を形成し、次いで原料を低純度のものに交替させてジャケット層を形成する。これにより、母材の中心から外径方向に向って屈折率が漸次減少してなる、図16に示すようなGI型の分布を有し、且つジャケット層をも有するプラスチック光ファイバ用母材が形成される。

以下、本発明により本発明を更に具体的に説明する。

#### 実施例 1

図1を参照して、透明な重合体Aとしては、ポリメチルメタクリレート（PMMA；屈折率 $N_a=1.490$ ）を用い、この重合体Aを主成分として中空の円筒体11を形成した。

供給タンク 14 内には、重合体 A (PMMA) を溶剤 (テトロヒドロフラン : THF) に所定割合 (濃度 : 約 30 重量%) で溶解したものを注入した。一方、屈折率調整剤 B としては、上記重合体 A より高い屈折率を有するフタル酸ブチルベンジルエステル (屈折率  $N_o = 1.536$ ) を THF に溶解し (濃度 : 約 30 重量%)、屈折率調整タンク 15 に貯溜した。

上記により得られた中空の円筒体 11 を、図示しない回転装置に装着し、供給タンク 14 からの原料蒸気を、ノズル 12 を用いて軸方向に亙って均一に円筒体内面に供給した。

この蒸気供給に際し、供給タンク 14 内に、屈折率調整タンク 15 から屈折率調整剤 B を徐々に (流量 : 約 10 ml / 分) 供給して、屈折率調整剤 B の配合割合を各吹きつけ毎に増大させて蒸気堆積層の屈折率を順次上昇させ、母材の中心から外周方向に向って屈折率が漸次降下する G I 型屈折率分布 (図 5) を有するプラスチック光ファイバ母材 21 (図 4) を得た。

## 実施例 2

図 6 を参照して、透明な重合体 A としてポリメチルメタクリレート (PMMA ; 屈折率  $N_o = 1.492$ ) を用い、この重合体 A の屈折率 ( $N_o$ ) より低い屈折率を有する屈折率調整剤 C として、酢酸ヘキシル (屈折率  $N_o = 1.408$ ) を用い、この両者を混合して (混合比 = 4 : 1) 初期溶液を作成し、供給タンク 14 内には、この混合液を溶剤 (テトロヒドロフラン : THF) に溶解したもの (濃度 : 約 30 重量%) を注入した。

また、上記と同一の同組成を有する混合液を主成分として用い、中空の円筒体 (屈折率 : 1.410) 11 を作製した。一方、屈折率調整タンク 15 には、上記重合体 A を THF に溶解して (濃度 : 約 30 重量%) 貯溜した。

上記により得られた中空の円筒体 11 を図示しない回転装置に装着し、供給タンク 14 からの原料蒸気を、供給管 19 を介して当該中空の円筒体 11 の内面に直接供給し堆積させた。

この堆積に際しては、供給タンク 14 内に、屈折率調整タンク 15 から原料 A を徐々に供給して、原料 A の配合割合を各堆積毎に上昇させて蒸気堆積層の屈折率を漸次上昇させ、母材の中心から外周方向に向って屈折率が漸次降下していく、GI 型屈折率分布 (図 5) を有するプラスチック光ファイバ母材 21 (図 4) を得た。

(伝送特性評価)

上記実施例 1 および 2 で得た各母材を公知の線引法により熔融線引して、直径 1 mm  $\phi$ 、長さ 100 m の全プラスチック光ファイバ (APF) を作製した。

これらのファイバの、波長 0.658  $\mu\text{m}$  における伝送損失と帯域を評価した。評価結果を下記 (表 1) に示す。

この評価においては、光源は、伝送損失、帯域共に波長 0.658  $\mu\text{m}$  のレーザダイオード (LD) を使用した。また、帯域測定は、光源に半値幅 60 psec のパルスを発生させ、FFT 型光オシロスコープ (浜松ホトニクス社製) を用いて行った。

(表 1)

	<実施例 1>	<実施例 2>
伝送損失 (dB/km)	100	120
帯域 (MHz · km)	800	800

実施例 3

(内付け CVD によるファイバ母材の作製)

図 1 を参照して、内径 50 mm 外径 52 mm のガラス円筒体 11 を用意し、その中心部に内径 4 mm、外径 5 mm のガラスパイプを固定した。該ガラスパイプとしては、5 mm 間隔で直径 1 mm の穴が開いているものを用いた。

まず、メチルメタクリレート (MMA) 及び開始剤 (ベンジルメチルケタール) を 80  $^{\circ}\text{C}$  に加熱し、これらの蒸気を上記ガラスパイプに送り込んだ。該ガラスパイプから吹出された蒸気は、上記ガラス円筒体の内面に付着した。ガラス円筒体

の回転速度は1分間に1回程度とした。

上記ガラス円筒体の内面に付着した蒸気を、リングヒーターで100℃に加熱したところ、上記メチルメタクリレートの重合によりクラッド層（厚さ：5mm）が形成された。

コアについては、ドーパント（フタル酸ブチルベンジルエステル；BBP）の配合比を調節した以外は、上記クラッドと同様の条件で、上記クラッド層を形成したガラスパイプ内にメチルメタクリレート及び開始剤を送り込み重合させた。このドーパント配合比の調節の際には、該ドーパント溶液（濃度：約30重量%）をドーパント容器15に入れ、上記コア形成に際して10ml/分で供給タンク14内に供給した。

上記により得られた堆積体から、ガラスパイプ11を除去した後、100℃の加熱下でコラプスしたところ、図21のグラフに示すような屈折率分布を有する母材（プリフォーム）が作製できた。図21において、横軸（ $r/R_p$ ）は、コア中心からの距離（「25mm」を1とした相対値で示す）、縦軸（ $n-n_0$ ）は、クラッドの屈折率との比屈折率差を示す。図21のグラフにおいて、曲線Aは、コア中心部近傍における配合比がMMA/BBP=7/1の母材の屈折率分布を示し、曲線Bは、コア中心部近傍における配合比がMMA/BBP=6/1の母材の屈折率分布を示し、曲線Cは、コア中心部近傍における配合比がMMA/BBP=5/1の母材の屈折率分布を示す。

#### 実施例4

図7を参照して、透明な重合体Aとしては、ポリメチルメタクリレート（PMMA；屈折率 $N_a=1.490$ ）を用い、この重合体Aを主成分として中空の円筒体31を形成した。

供給タンク34内には、重合体A（PMMA）を溶剤（テトロヒドロフラン：THF）に所定割合（濃度：約30重量%）で溶解したものを注入した。一方、屈折率調整剤Bとしては、上記重合体Aより高い屈折率を有するフタル酸ブチル

ベンジルエステル（屈折率 $N_b=1.536$ ）をTHFに溶解し（濃度：約30重量%）、屈折率調整タンク35に貯溜した。

上記により得られた中空の円筒体31を、図示しない回転装置に装着し、供給タンク14からの原料溶液を、ノズル32を用いて軸方向に互って均一に噴霧した。

この噴霧に際し、供給タンク34内に、屈折率調整タンク35から屈折率調整剤Bを徐々に（流量：約10ml/分）供給して、屈折率調整剤Bの配合割合を各噴霧毎に増大させて噴霧液の屈折率を上昇させ、100回の繰り返して、母材の中心から外周方向に向って屈折率が漸次降下するGI型屈折率分布（図5）を有するプラスチック光ファイバ母材21（図4）を得た。

#### 実施例5

図7を参照して、透明な重合体Aとしてポリメチルメタクリレート（PMMA；屈折率 $N_a=1.492$ ）を用い、この重合体Aの屈折率（ $N_a$ ）より低い屈折率を有する屈折率調整剤Cとして、酢酸ヘキシル（屈折率 $N_c=1.408$ ）を用い、この両者を混合して（混合比=4：1）初期溶液を作成し、供給タンク34内には、この混合液を溶剤（テトロヒドロフラン：THF）に溶解したもの（濃度：約30重量%）を注入した。

また、上記と同一の同組成を有する混合液を主成分として用い、中空の円筒体（屈折率：1.410）31を作製した。一方、屈折率調整タンク35には、上記重合体AをTHFに溶解して（濃度：約30重量%）貯溜した。

上記により得られた中空の円筒体31を図示しない回転装置に装着し、供給タンク34からの原料を、中空円筒体31の内面に、ノズル32を用いて軸方向に互って均一に噴霧した。

この噴霧に際しては、供給タンク34内に、屈折率調整タンク35から原料Aを徐々に供給して、原料Aの配合割合を各噴霧毎に上昇させて噴霧液の屈折率を漸次上昇させ、100回の繰り返して、母材の中心から外周方向に向って屈折

率が漸次降下していく、G I型屈折率分布（図5）を有するプラスチック光ファイバ母材21（図4）を得た。

（伝送特性評価）

上記実施例4および5で得た各母材を公知の線引法により溶融線引して、直径1mmφ、長さ100mの全プラスチック光ファイバ（APF）を作製した。

これらのファイバの、波長0.658μmにおける伝送損失と帯域を評価した。結果を下記（表2）に示す。

この評価においては、光源は、伝送損失、帯域共に波長0.658μmのレーザダイオード（LD）を使用した。また、帯域測定は、光源に半値幅60psの脉冲を発生させ、FFT型光オシロスコープ（浜松ホトニクス社製）を用いて行った。

（表2）

	<実施例4>	<実施例5>
伝送損失（dB/km）	150	160
帯域（MHz・km）	700	800

#### 実施例6

（塗布法によるファイバ母材の作製）

図8を参照して、内径50mm、外径52mmのガラス円筒体31を用意し、その中心部に内径4mm、外径5mmのガラスパイプ32aを固定した。該ガラスパイプとしては、5mm間隔で直径1mmの穴が開いているものを用いた。

まず、ポリメチルメタクリレート（PMMA）のTHF溶液（濃度：約30重量%）を供給タンク34に入れ、該溶液を上記ガラスパイプ32aに送り込み

（流量：約10ml/分）、該パイプ32aから、上記ガラス円筒体31の内面に軸方向に亘って均一に噴霧した。ガラス円筒体の回転速度は1分間に1回程度とした。

上記ガラス円筒体の内面に付着した溶液を、リングヒーター33で100℃に

加熱したところ、上記重合体A溶液の噴霧によりクラッド層（厚さ：5 mm）が形成された。

コアについては、ドーパント（フタル酸ブチルベンジルエステル；BBP）の配合比を調節した以外は、上記クラッドと同様の条件で、上記クラッド層を形成したガラスパイプ31内に上記PMMA溶液を送り込み噴霧によりコア形成を行った。このドーパント配合比の調節の際には、該ドーパント溶液（濃度：約30重量%）をドーパント容器35に入れ、上記コア形成に際して約10 ml/分で供給タンク34内に供給した。

上記により得られた堆積体から、ガラスパイプ31を除去した後、100℃の加熱下でコラプスしたところ、コア中心部近傍における配合比がMMA/BBP = 7/1、6/1、および5/1の母材が作製できた。このように作製した母材の屈折率分布は、前記した図21のグラフに示したものと実質的に同等であった。

#### 実施例7

図9に示す線引装置を用いて、GI型の屈折率分布が付与されたプラスチック光ファイバプリフォーム40の線引を行った。

より具体的には、炉芯管内温度240℃に設定された線引炉41に、上記プリフォーム40を挿入し、外径中心値を650 μmとして、線速2 m/minで線引を行った。このときの線引張力は20 gであった。

作製されたファイバ46の引張強度を測定したところ、2.3 Kg/mm<sup>2</sup>であった。このファイバを直径10 mmのマンドレルに、張力50 gで1 m巻き付けたところ、破断までの時間は10日間であった。

#### 実施例8

図9を参照して、GI型の屈折率分布を付与したプラスチック光ファイバプリフォーム40を用意し、炉芯管内温度230℃に設定された線引炉41に該プリフォーム40を挿入し、外径中心値を650 μmとして、線速2 m/minで線引を行った。このときの線引張力は40 gであった。

作製されたファイバ46の引張強度を測定したところ、 $2.4 \text{ Kg/mm}^2$ であった。このファイバを直径10mmのマンドレルに、張力50gで1m巻き付けたところ、破断までの時間は12日であった。

#### 実施例9

図9を参照して、GI型の屈折率分布を付与したプラスチック光ファイバプリフォーム40を用意し、炉芯管内温度 $250^\circ\text{C}$ に設定された線引炉41に該プリフォーム40を挿入し、外径中心値を $650 \mu\text{m}$ として、線速 $2 \text{ m/min}$ で線引を行った。このときの線引張力は15gであった。

作製されたファイバ46の引張強度を測定したところ、 $2.3 \text{ Kg/mm}^2$ であった。このファイバを直径10mmのマンドレルに、張力50gで1m巻き付けたところ破断までの時間は8日であった。

#### 比較例1

図9を参照して、GI型の屈折率分布を付与したプラスチック光ファイバプリフォーム40を用意し、炉芯管内温度 $260^\circ\text{C}$ に設定された線引炉41に該プリフォーム40を挿入し、外径中心値を $650 \mu\text{m}$ として、線速 $2 \text{ m/min}$ で線引を行った。このときの線引張力は8gであった。

作製されたファイバ46の引張強度を測定したところ、 $1.5 \text{ Kg/mm}^2$ であった。このファイバを直径10mmのマンドレルに、張力50gで1m巻き付けたところ破断までの時間は10時間であった。

#### 比較例2

図9を参照して、GI型の屈折率分布を付与したプラスチック光ファイバプリフォーム40を用意し、炉芯管内温度 $260^\circ\text{C}$ に設定された線引炉41に該プリフォーム40を挿入し、外径中心値を $650 \mu\text{m}$ として、線速 $1.5 \text{ m/min}$ で線引を行った。このときの線引張力は6gであった。

作製されたファイバ46の引張強度を測定したところ、 $1.3 \text{ Kg/mm}^2$ であった。このファイバを直径10mmのマンドレルに、張力50gで1m巻き付

けたことろ、破断までの時間は8時間であった。

### 比較例 3

図9を参照して、GI型の屈折率分布を付与したプラスチック光ファイバプリフォーム40を用意し、炉芯管内温度270℃に設定された線引炉41に該プリフォームを挿入し、外径中心値を650μmとして、線速2m/minで線引を行った。このときの線引張力は5gであった。

作製されたファイバ46の引張強度を測定したところ、1.0Kg/mm<sup>2</sup>であった。このファイバを直径10mmのマンドレルに、張力50gで1m巻き付けたことろ破断までの時間は3時間であった。

### 比較例 4

図9を参照して、GI型の屈折率分布を付与したプラスチック光ファイバプリフォーム40を用意し、炉芯管内温度275℃に設定された線引炉41に該プリフォームを挿入し、外径中心値を1100μmとして、線速2m/minで線引を行った。このときの線引張力は5gであった。

作製されたファイバの引張強度を測定したところ、2.2Kg/mm<sup>2</sup>であった。このファイバを直径10mmのマンドレルに、張力50gで1m巻き付けたことろ破断までの時間は10日であり、強度の低下はみられなかった。

### 実施例 10

図9を参照して、GI型の屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ用プリフォーム40を用意し、ヒータ42としてヒートゾーンの長さが10mmのカーボンヒータを用い、炉芯管内温度を220℃に設定した線引炉41に該プリフォームを挿入した。

外径中心値を650μmに設定して、線速2m/minで線引きを行ったところ、外径の変動は±30μmであった。この線引きの際、線引張力は70gとした。

得られたGI型プラスチック光ファイバ46の伝送損失を測定したところ、波

長650nmで200dB/kmであった。

次に、このファイバを80°Cで1日(24時間)劣化させたのち、収縮残率及び伝送損失を測定したところ、それぞれ99%及び210dB/kmであった。すなわち、熱による収縮はほとんどなく、且つ、伝送損失の変動は少なかった。この伝送損失の測定結果を図22のグラフに示す。

#### 実施例11

図9を参照して、GI型の屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ用プリフォーム40を用意し、ヒータ42としてヒートゾーンの長さが10mmのカーボンヒータを用い、炉芯管内温度を220°Cに設定した線引炉41に該プリフォームを挿入した。

外径中心値を650 $\mu$ mに設定して、線速3m/minで線引きを行ったところ、外径の変動は $\pm$ 30 $\mu$ mであった。この線引きの際、線引張力は85gとした。

得られたGI型プラスチック光ファイバ46の伝送損失を測定したところ、波長650nmで210dB/kmであった。

次に、このファイバを80°Cで1日劣化させたのち、収縮残率及び伝送損失を測定したところ、それぞれ99%及び190dB/kmであった。すなわち、熱による収縮はほとんどなく、且つ、伝送損失の変動は少なかった。この伝送損失の測定結果を図22のグラフに示す。

#### 実施例12

図9を参照して、GI型の屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ用プリフォーム40を用意し、ヒータ42としてヒートゾーンの長さが10mmのカーボンヒータを用い、炉芯管内温度を230°Cに設定した線引炉41に該プリフォームを挿入した。

外径中心値を650 $\mu$ mに設定して、線速2m/minで線引きを行ったところ、外径の変動は $\pm$ 30 $\mu$ mであった。この線引きの際、線引張力は50gとし

た。

得られたG I型プラスチック光ファイバ46の伝送損失を測定したところ、波長650nmで220dB/kmであった。

次に、このファイバを80°Cで1日劣化させたのち、収縮残率及び伝送損失を測定したところ、それぞれ98%及び210dB/kmであった。すなわち、熱による収縮はほとんどなく、且つ、伝送損失の変動は少なかった。この伝送損失の測定結果を図22のグラフに示す。

### 実施例13

図9を参照して、G I型の屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ用プリフォーム40を用意し、ヒータ42としてヒートゾーンの長さが10mmのカーボンヒータを用い、炉芯管内温度を210°Cに設定した線引炉41に該プリフォームを挿入した。

外径中心値を650 $\mu$ mに設定して、線速2m/minで線引きを行ったところ、外径の変動は $\pm$ 30 $\mu$ mであった。この線引きの際、線引張力は100gとした。

得られたG I型プラスチック光ファイバ46の伝送損失を測定したところ、波長650nmで200dB/kmであった。

次に、このファイバを80°Cで1日劣化させたのち、収縮残率及び伝送損失を測定したところ、それぞれ97%及び230dB/kmであった。すなわち、熱による収縮はほとんどなく、且つ、伝送損失の変動は少なかった。この伝送損失の測定結果を図22のグラフに示す。

### 比較例5

図9を参照して、G I型の屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ用プリフォーム40を用意し、炉芯管内温度を200°Cに設定した線引炉41に該プリフォームを挿入した。

外径中心値を650 $\mu$ mに設定して、線速2m/minで線引きを行った。こ

の線引きの際、線引張力は120gとした。

得られたGI型プラスチック光ファイバ46の伝送損失を測定したところ、波長650nmで200dB/kmであった。

次に、このファイバを80℃で1日劣化させたのち、収縮残率及び伝送損失を測定したところ、それぞれ90%及び300dB/kmであった。すなわち、熱収縮はやや大きく、且つ伝送損失の変動も大きかった。この伝送損失の測定結果を図22のグラフに示す。

#### 比較例6

図9を参照して、GI型の屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ用プリフォーム40を用意し、炉芯管内温度を200℃に設定した線引炉41に該プリフォームを挿入した。

外径中心値を650 $\mu$ mに設定して、線速3m/minで線引きを行った。この線引きの際、線引張力は150gとした。

得られたGI型プラスチック光ファイバ46の伝送損失を測定したところ、波長650nmで230dB/kmであった。

次に、このファイバを80℃で1日劣化させたのち、収縮残率及び伝送損失を測定したところ、それぞれ90%及び350dB/kmであった。すなわち、熱収縮はやや大きく、且つ伝送損失の変動も大きかった。この伝送損失の測定結果を図22のグラフに示す。

#### 比較例7

図9を参照して、GI型の屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ用プリフォーム40を用意し、炉芯管内温度を220℃に設定した線引炉41に該プリフォームを挿入した。

外径中心値を650 $\mu$ mに設定して、線速4m/minで線引きを行った。この線引きの際、線引張力は130gとした。

得られたGI型プラスチック光ファイバ46の伝送損失を測定したところ、波

長650nmで240dB/kmであった。

次に、このファイバを80°Cで1日劣化させたのち、収縮残率及び伝送損失を測定したところ、それぞれ80%及び400dB/kmであった。すなわち、熱収縮はやや大きく、且つ伝送損失の変動も大きかった。この伝送損失の測定結果を図22のグラフに示す。

上記した図22のグラフに示すように、上記実施例10～13のプラスチック光ファイバの線引方法においては、ファイバの線引張力を100g以下として線引きすることにより、比較例5～7のファイバに比べ、収縮残率及び伝送損失の変動が少ない光ファイバが得られた。すなわち、熱劣化後の収縮を抑制し、且つ、伝送損失の上昇を少なくすることができた。

#### 産業上の利用可能性

上述したように本発明によれば、従来においては煩雑であった屈折率分布の制御を容易に行うことが可能となり、簡便な方法で、GI型のプラスチック光ファイバ母材を再現性良く得ることができる。

本発明において、プラスチック光ファイバを線引により製造するに際して、(特にファイバの外径が1000 $\mu$ m以下の場合)、線引張力を10g以上とすることにより、得られるファイバの機械的強度、および長期信頼性を更に向上させることが可能となる。

更に、本発明において、プラスチック光ファイバを線引により製造するに際して、ファイバの線引張力を100g以下とすることにより、熱劣化後の収縮を抑制し、且つ、伝送損失の増大を抑制することができる。

また、本発明によれば、ジャケット層を有するプラスチック光ファイバ母材においても、以下のような効果が得られる。

①プラスチック材料からなるファイバ母材を全て同材質で高純度のものを用いて作製した場合には、製造コストが高くなる傾向が避けられないが、光伝送に寄与

しないクラッド層の外周近傍を低純度のジャケット層とすることで、製造コストの低減が可能となる。例えば、同一規格の光ファイバ母材を製造する場合、一部低純度の材料を用いて製造可能となり、製造コストを更に低減できる。

②上記ジャケット層に酸化防止剤、光吸収剤又は光散乱剤等の機能性材料を含有させる態様においては、更に、このような種々の機能を有するプラスチック光ファイバが容易に得られる。

③屈折率調整剤を上記と同様にして含有させる態様によれば、ジャケット層作製と同一工程で、GI型のプラスチック光ファイバ母材を容易に得ることができる。

## 請 求 の 範 囲

1. CVD (Chemical Vapor Deposition) 法による気相堆積を用いて、軸を中心に回転する中空の円筒体の内面に、重合体A (屈折率:  $N_a$ ) と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を重ねることにより、中心から外径方向に向ってその屈折率が漸次低下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を製造する方法であって、

前記堆積層を構成する重合体Aと屈折率調整剤との配合割合を変化させることにより、該堆積層の屈折率を漸次増大させることを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

2. 塗布法を用いて、軸を中心に回転する中空の円筒体の内面に、重合体A (屈折率:  $N_a$ ) と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を重ねることにより、中心から外径方向に向ってその屈折率が漸次低下する屈折率分布を有するプラスチック光ファイバ母材を製造する方法であって、

前記堆積層を構成する重合体Aと屈折率調整剤との配合割合を変化させることにより、該堆積層の屈折率を漸次増大させることを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

3. 前記塗布法として、噴霧法を用いる請求項2記載のプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

4. 前記屈折率調整剤として、重合体Aより高い屈折率 ( $N_b$ ) を有する屈折率調整剤Bを用い、前記堆積層を構成する屈折率調整剤Bの配合割合を徐々に増大させる請求項1または2記載のプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

5. 前記屈折率調整剤として、重合体Aより低い屈折率 ( $N_c$ ) を有する屈折率調整剤Cを用い、前記堆積層を構成する屈折率調整剤Cの配合割合を徐々に減少させる請求項1または2記載のプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

6. 前記中空円筒体を構成する材料が、前記堆積層を構成する材料と同質であり、

且つ、該堆積層を構成する材料より低い純度を有する材料である請求項 1 または 2 記載のプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

7. 前記中空円筒体が、更に機能性材料を含有する請求項 6 記載のプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

8. 前記機能性材料が、酸化防止剤、光吸収剤および光散乱剤から選択される少なくとも 1 種の材料からなる請求項 7 記載のプラスチック光ファイバ母材の製造方法。

9. 有機重合体からなるコアと、

該コアの外周上に配置された有機重合体からなるクラッド層と、

該クラッド層の外周に配置されたジャケット層とを含み；且つ、

前記ジャケット層が、前記クラッド層を構成する材料と同質で、且つ、クラッド層を構成する材料より低い純度を有する材料から構成されているプラスチック光ファイバ母材。

10. 前記ジャケット層が、更に機能性材料を含有する請求項 9 記載のプラスチック光ファイバ母材。

11. 前記機能性材料が、酸化防止剤、光吸収剤および光散乱剤から選択される少なくとも 1 種の材料からなる請求項 10 記載のプラスチック光ファイバ母材。

12. CVD法による気相堆積により、中空の円筒体の内面に、重合体 A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体 A とは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を形成することによりプラスチック光ファイバ母材を製造する装置であつて；

前記中空円筒体をその軸回りに回転自在に支持する回転装置と、

前記中空円筒体の一端部に配置され、前記堆積層形成のための原料蒸気を中空円筒体の内面に供給する供給管と、

中空円筒体の内部に堆積した堆積層を加熱する加熱装置と

前記堆積層形成のための原料蒸気を前記供給管に供給する原料供給手段とを具備してなり；且つ、

前記原料供給手段が、原料蒸気中の前記屈折率調整剤の配合割合を変化させるための屈折率調整手段を含むことを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造装置。

13. 塗布法により、中空の円筒体の内面に、重合体A（屈折率： $N_a$ ）と該重合体Aとは異なる屈折率を有する屈折率調整剤とを含む堆積層を形成することによりプラスチック光ファイバ母材を製造する装置であって；

前記中空円筒体をその軸回りに回転自在に支持する回転装置と、

前記中空円筒体の一端部に配置され、前記堆積層形成のための原料を中空円筒体の内面に供給する供給管と、

中空円筒体の内部に堆積した堆積層を加熱する加熱装置と

前記堆積層形成のための原料を前記供給管に供給する原料供給手段とを具備してなり、且つ、

前記原料供給手段が、原料中の前記屈折率調整剤の配合割合を変化させるための屈折率調整手段を含むことを特徴とするプラスチック光ファイバ母材の製造装置。

14. 前記光ファイバ母材の表面にエネルギー線を照射するエネルギー線照射装置を更に具備する請求項13記載のプラスチック光ファイバ母材の製造装置。

15. 有機重合体からなるコアと、該コアの外周上に配置された有機重合体からなるクラッド層とを少なくとも含む光ファイバ母材を加熱し、熔融させてプラスチック光ファイバを線引する方法であって、

前記光ファイバが巻き取られるまでの線引張力が10g以上であることを特徴とするプラスチック光ファイバの線引方法。

16. 前記線引により得られる光ファイバの外径が1000 $\mu$ m以下である請求項15記載のプラスチック光ファイバの線引方法。

17. 有機重合体からなるコアと、該コアの外周上に配置された有機重合体からなるクラッド層とをすくなくとも含む光ファイバ母材を加熱し、熔融させてプラ

プラスチック光ファイバを線引する方法であって、

前記光ファイバが巻き取られるまでの線引張力が100g以下であることを特徴とするプラスチック光ファイバの線引方法。

図 1

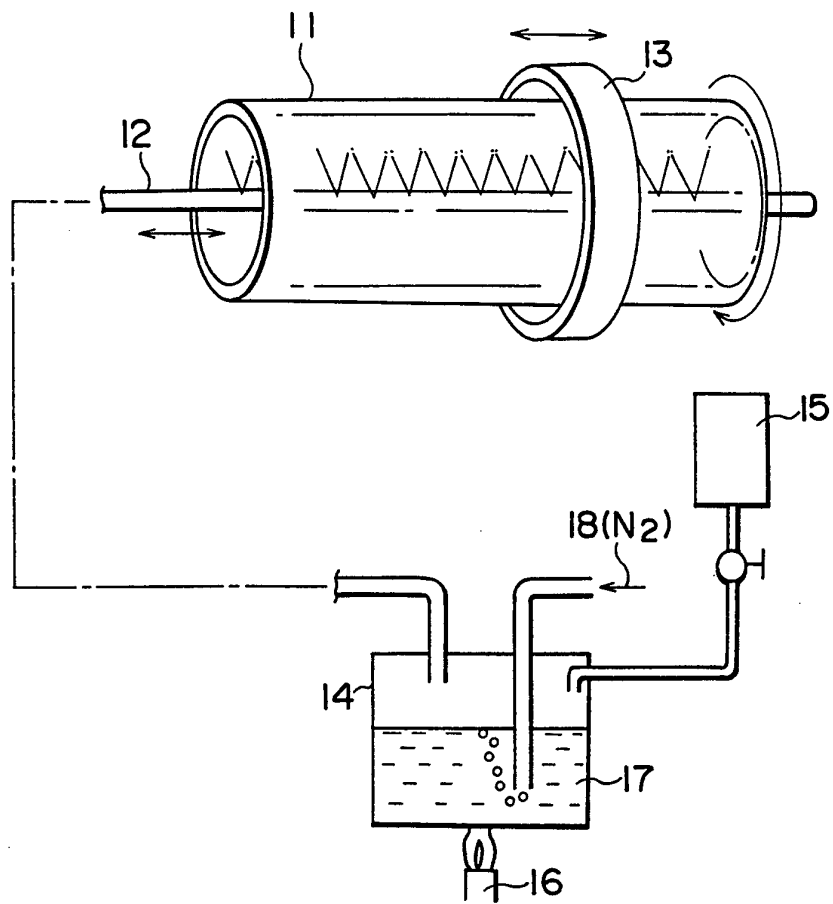
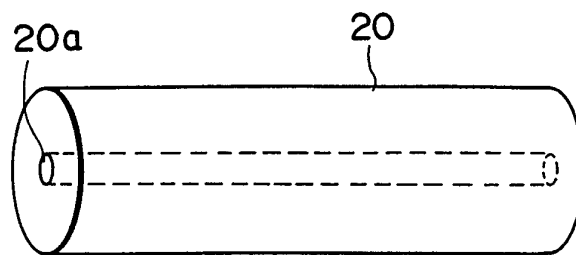
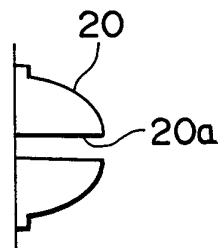


図 2

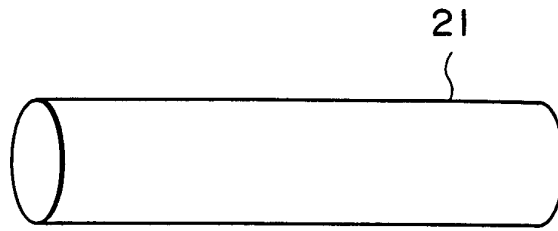


屈折率分布図

図 3



☒ 4



G I 型屈折率分布図

☒ 5



図 6

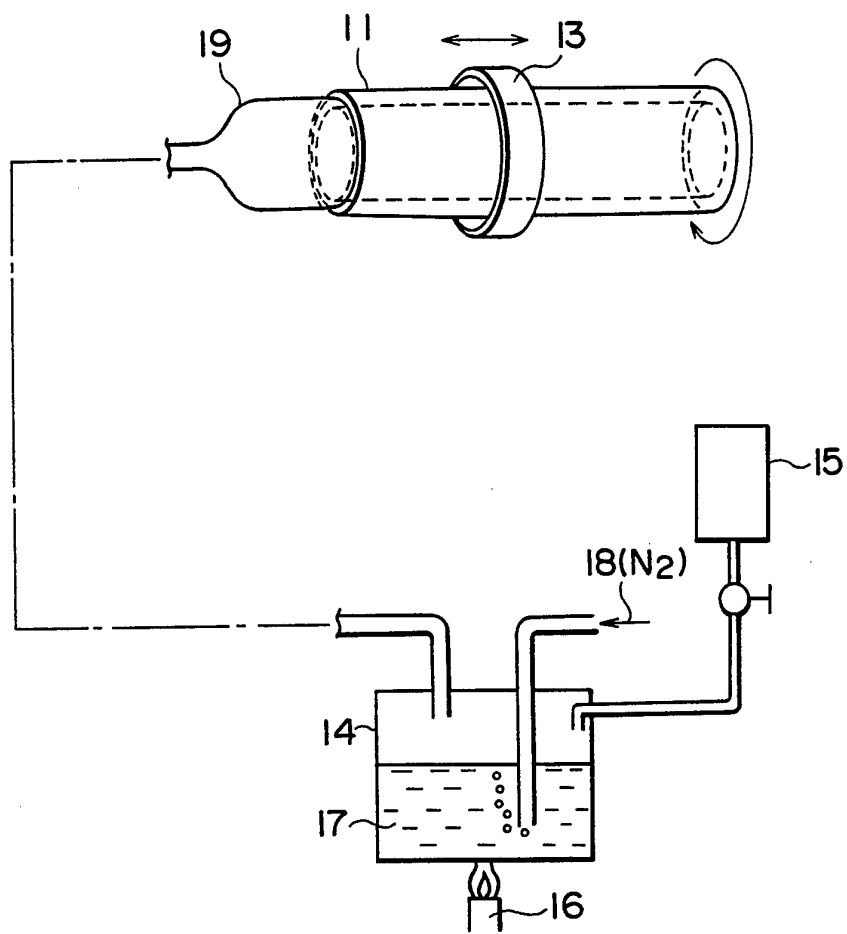


図 7

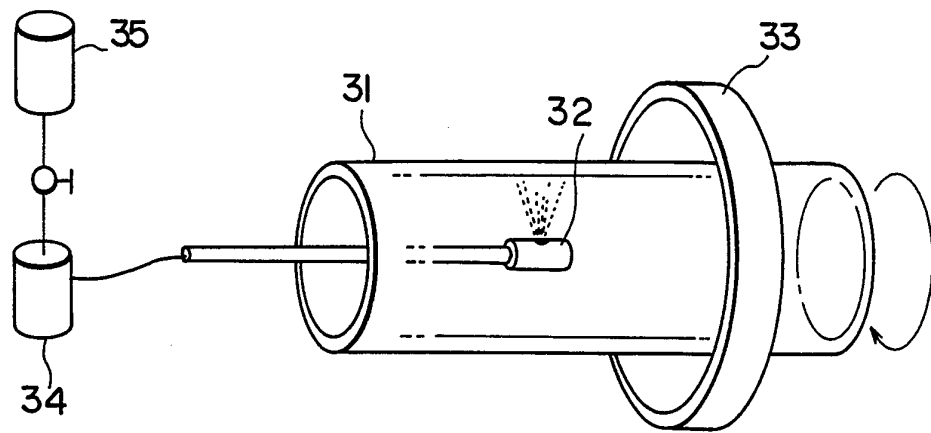


図 8

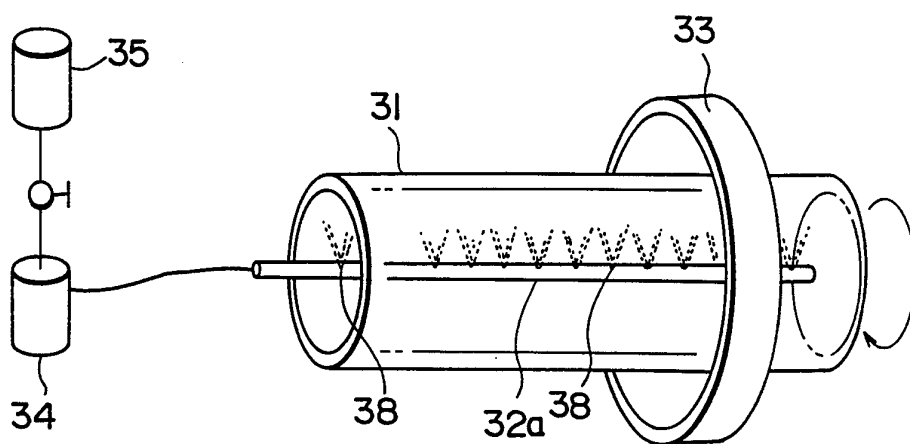


図 9

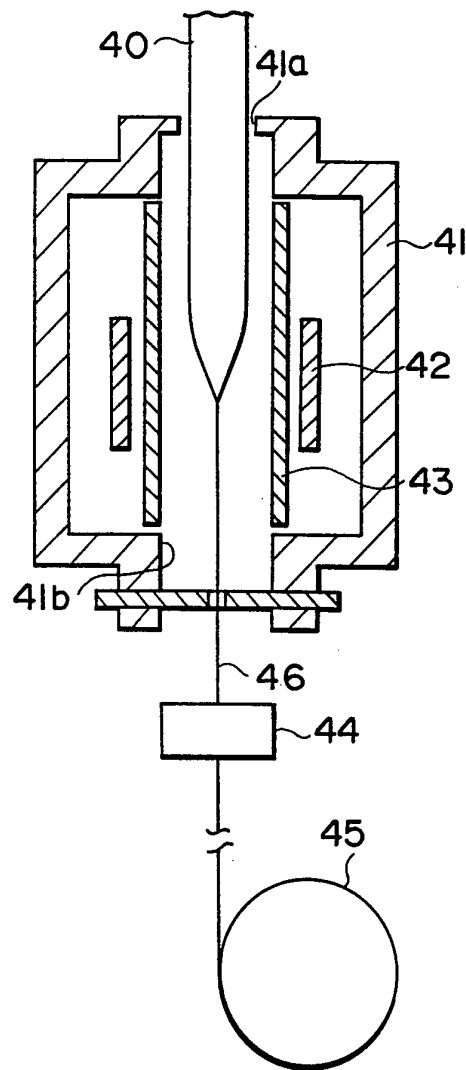


図 10

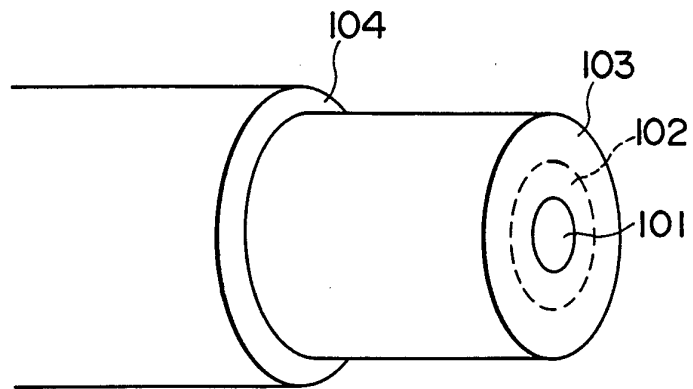


図 11

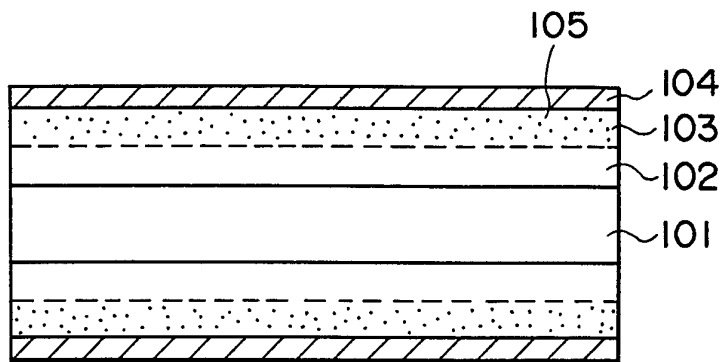


図 12

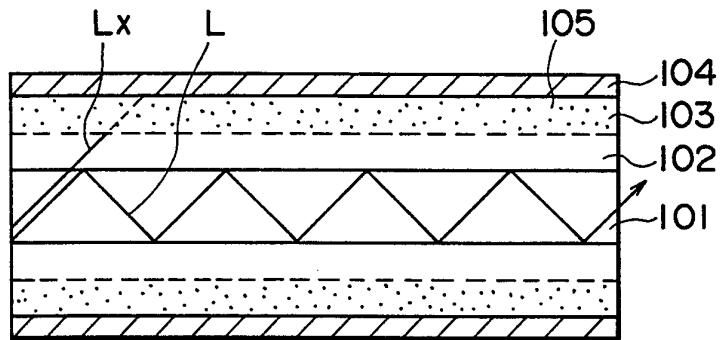


図 13

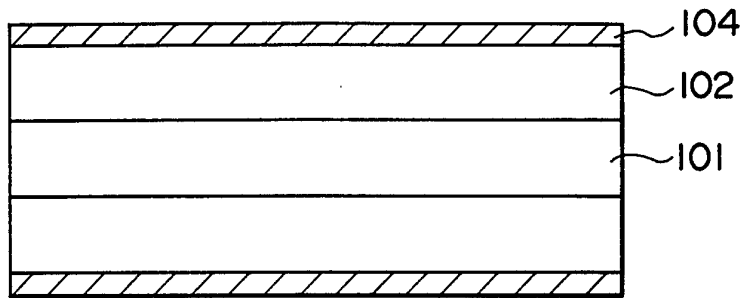


図 14

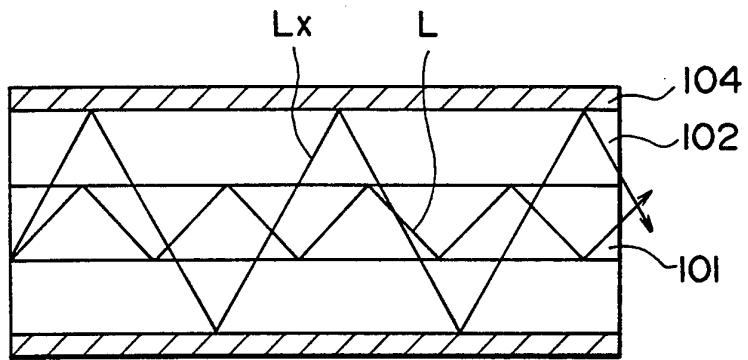
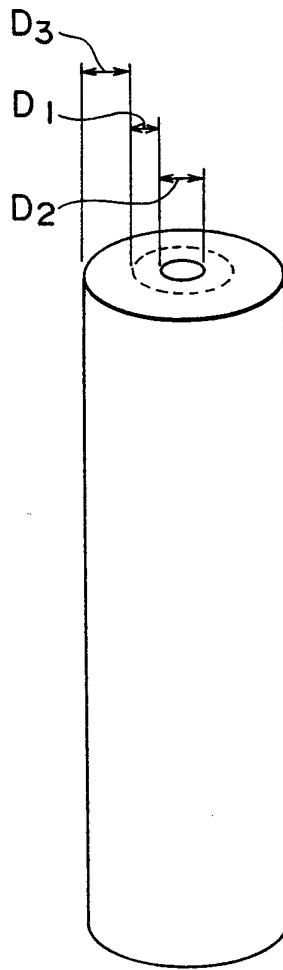


图 15



GI 型屈折率分布图

图 16

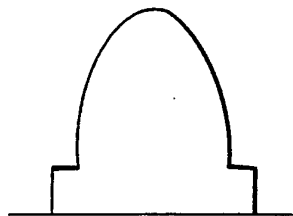


図 20

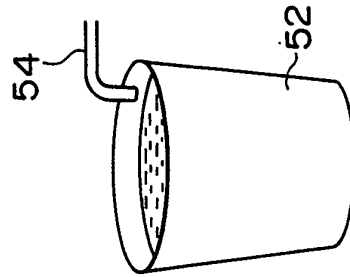


図 19

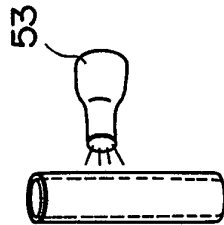


図 18

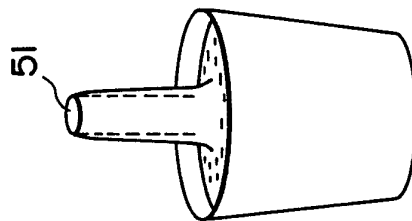
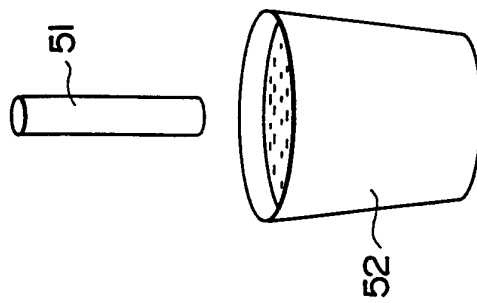
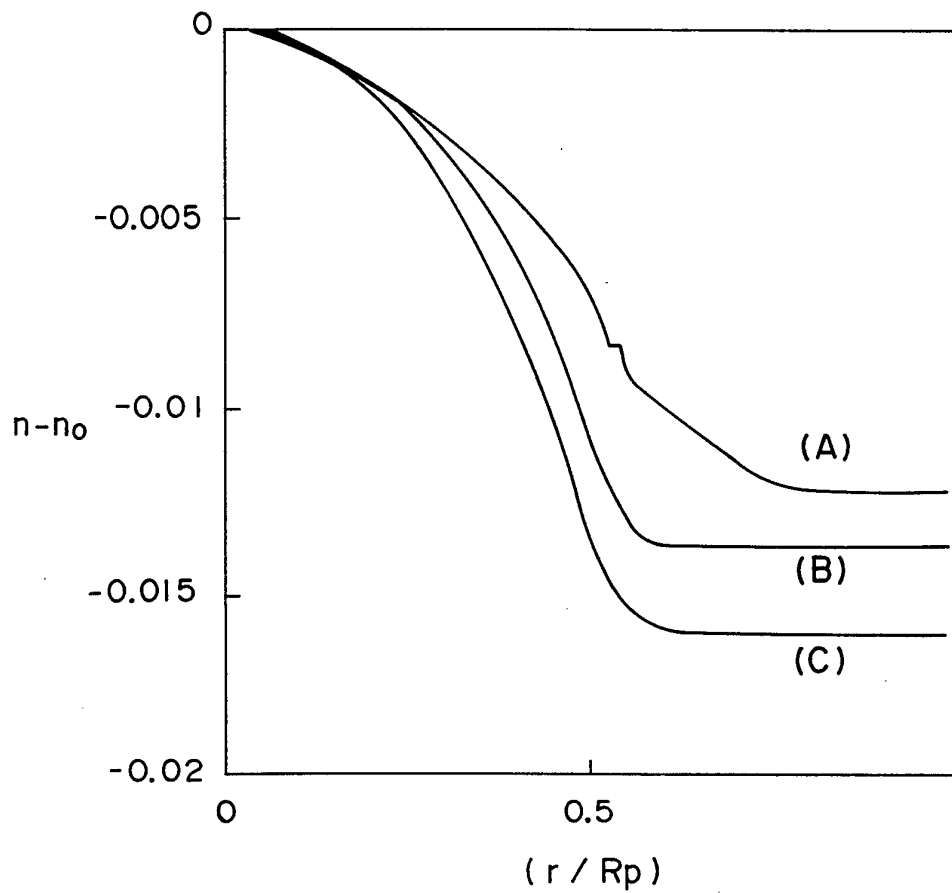


図 17



☒ 21



REFRACTIVE-INDEX DISTRIBUTION OF BBP-DOPED PMMA GI POF

(A) : MMA / BBP = 7 / 1

(B) : MMA / BBP = 6 / 1

(C) : MMA / BBP = 5 / 1

図 22

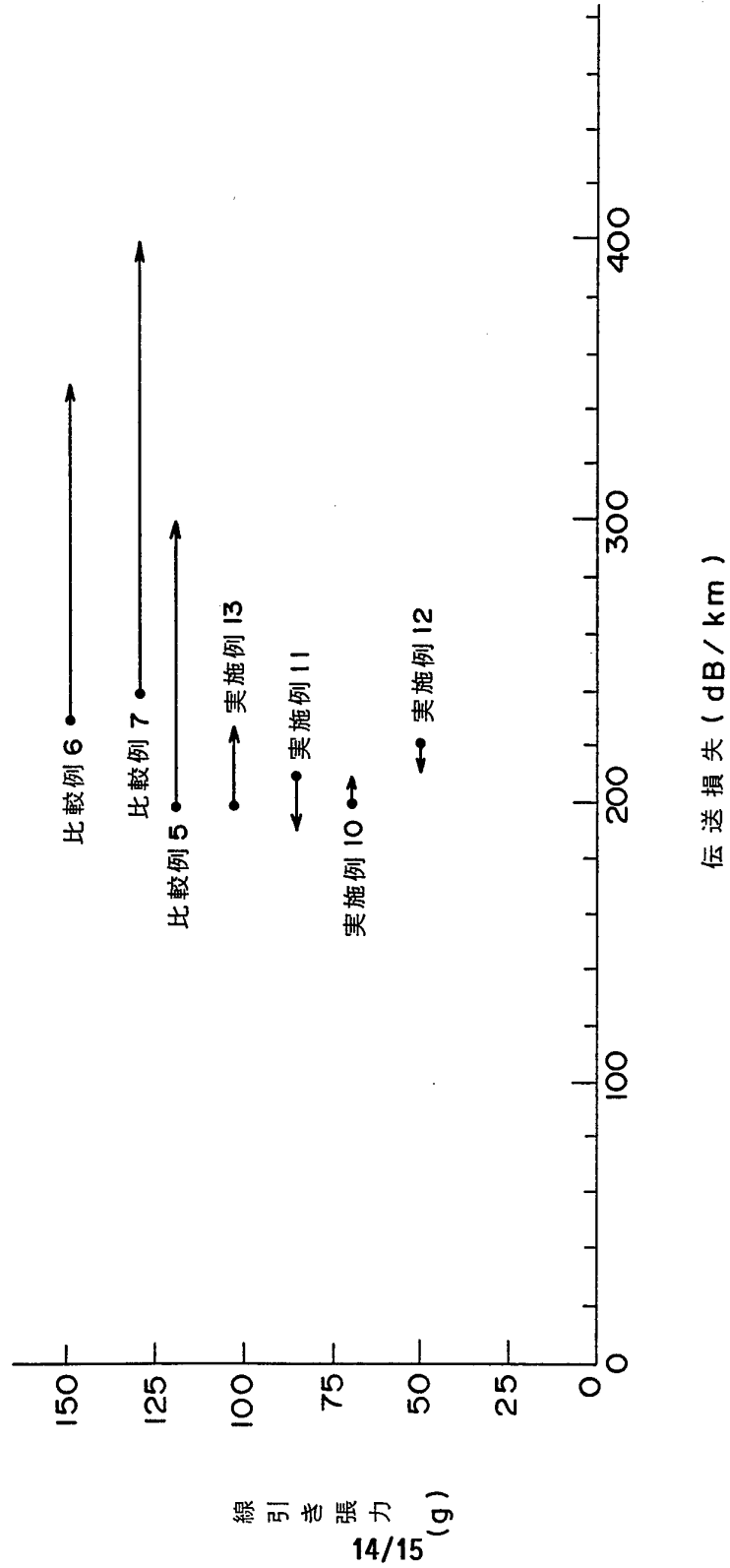
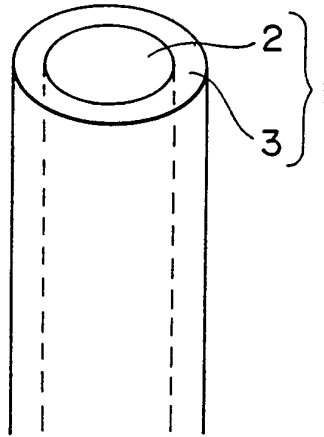
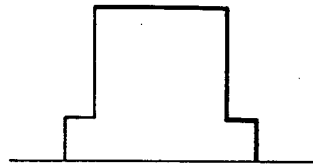


图 23



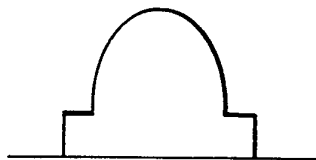
SI 型屈折率分布图

图 24



GI 型屈折率分布图

图 25



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP94/00963

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int. C1 <sup>5</sup> G02B6/00, G02B6/18 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. C1 <sup>5</sup> G02B6/00, G02B6/18 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1926 - 1994 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971 - 1994 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.
A	JP, A, 54-5743 (Oki Electric Industry Co., Ltd.), January 17, 1979 (17. 01. 79), Fig. 2, (Family: none)	1-8, 12-14
A	JP, A, 60-119509 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), June 27, 1985 (27. 06. 85), (Family: none)	1-8, 12-14
A	JP, A, 60-119510 (Sumitomo Electric Industries, Ltd.), June 27, 1985 (27. 06. 85), (Family: none)	1-8, 12-14
A	JP, A, 63-500685 (Norusuk Hydro A/S), March 10, 1988 (10. 03. 88) & NO, A, 853303 & WO, A1, 8701071 & EP, A1, 233242	1-8, 12-14
A	JP, A, 61-6604 (Mitsubishi Rayon Co., Ltd.), January 13, 1986 (13. 01. 86) & JP, B2, 5-18081	6, 9
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"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)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"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</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>		
Date of the actual completion of the international search August 16, 1994 (16. 08. 94)		Date of mailing of the international search report September 13, 1994 (13. 09. 94)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.		Authorized officer  Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP94/00963

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, A, 59-9603 (Mitsubishi Rayon Co., Ltd.), January 19, 1984 (19. 01. 84), Lines 13 to 17, lower right column, page 2, (Family: none)	7, 8, 10, 11

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))		
Int. Cl <sup>5</sup> G 0 2 B 6 / 0 0 , G 0 2 B 6 / 1 8		
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 <sup>5</sup> G 0 2 B 6 / 0 0 , G 0 2 B 6 / 1 8		
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 1926-1994年 日本国公開実用新案公報 1971-1994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 請求の範囲の番号
A	JP, A, 54-5743 (沖電気工業株式会社), 17. 1月. 1979 (17. 01. 79), 第2図 (ファミリーなし)	1-8, 12-14
A	JP, A, 60-119509 (住友電気工業株式会社), 27. 6月. 1985 (27. 06. 85) (ファミリーなし)	1-8, 12-14
A	JP, A, 60-119510 (住友電気工業株式会社), 27. 6月. 1985 (27. 06. 85) (ファミリーなし)	1-8, 12-14
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> 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」 先行文献ではあるが、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	国際調査報告の発送日	
16. 08. 94	13.09.94	
名称及びあて先	特許庁審査官 (権限のある職員)	2 K 7 0 3 6
日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号100 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	橋 場 健 治	Ⓜ
	電話番号 03-3581-1101 内線	3 2 5 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 請求の範囲の番号
A	JP, A, 63-500685 (ノルスク・ヒドロ・アクシエ セルスカーブ), 10. 3月. 1988 (10. 03. 88) &NO, A, 853303 &WO, A1, 8701071 &EP, A1, 233242	1-8, 12-14
A	JP, A, 61-6604 (三菱レイヨン株式会社), 13. 1月. 1986 (13. 01. 86) &JP, B2, 5-18081	6, 9
A	JP, A, 59-9603 (三菱レイヨン株式会社), 19. 1月. 1984 (19. 01. 84), 2頁, 右下欄, 13-17行 (ファミリーなし)	7, 8, 10, 11