

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2016-522428

(P2016-522428A)

(43) 公表日 平成28年7月28日(2016.7.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G02B 6/036 (2006.01)	G02B 6/036	2H150
G02B 6/44 (2006.01)	G02B 6/44 331	

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 36 頁)

(21) 出願番号 特願2016-507602 (P2016-507602) (86) (22) 出願日 平成26年4月8日 (2014.4.8) (85) 翻訳文提出日 平成27年11月26日 (2015.11.26) (86) 国際出願番号 PCT/US2014/033280 (87) 国際公開番号 W02014/172143 (87) 国際公開日 平成26年10月23日 (2014.10.23) (31) 優先権主張番号 13/862,755 (32) 優先日 平成25年4月15日 (2013.4.15) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 397068274 コーニング インコーポレイテッド アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 31 コーニング リヴァーフロント プ ラザ 1 (74) 代理人 100073184 弁理士 柳田 征史 (74) 代理人 100090468 弁理士 佐久間 剛 (72) 発明者 ブックバインダー, ダナ クレイグ アメリカ合衆国 ニューヨーク州 148 30 コーニング デイヴィス ロード 2675
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 小さい直径の光ファイバ

(57) 【要約】

大きなモードフィールド直径および低い曲げ損失を有する小半径のコートされた光ファイバ。コートされたファイバが、 $9.0\ \mu\text{m}$ 以上のモードフィールド直径と、 $15\ \text{mm}$ のマンドレルの周りに巻き付けられるときに $1550\ \text{nm}$ の波長で $0.5\ \text{dB/km}$ 以下の曲げ損失とを提供しながら、 $110\ \mu\text{m}$ 以下の外半径を有する場合がある。コートされたファイバが、 $9.2\ \mu\text{m}$ 以上のモードフィールド直径を有してもよく、 $20\ \text{mm}$ のマンドレルの周りに巻き付けられるときに $0.25\ \text{dB/km}$ 以下の $1550\ \text{nm}$ での曲げ損失を有するか、または $30\ \text{mm}$ のマンドレルの周りに巻き付けられるときに $0.02\ \text{dB/km}$ 以下の $1550\ \text{nm}$ での曲げ損失を有してもよい。ファイバが、コアおよびクラッドと、クラッドを囲む第1コーティングと、第1コーティングを囲む第2コーティングとを有する。第1コーティングが、 $0.50\ \text{MPa}$ 以下の in situ 弾性率を有し、および第2コーティングが、 $1500\ \text{MPa}$ 以上の in situ 弾性率を有する。

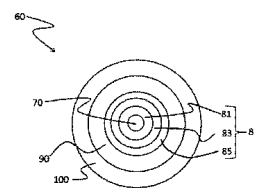


Figure 2

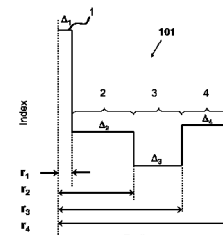


Figure 3A

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

外半径 r_1 を有するコアと、
前記コアを囲み、少なくとも $60\ \mu\text{m}$ の外半径 r_4 を有するクラッドと、
前記クラッドを囲み、外半径 r_5 を有し、 0.50MPa 以下の in situ 弾性率
および -15 未満のガラス転移温度を有する第 1 コーティングと、
前記第 1 コーティングを囲み、外半径 r_6 を有し、 1500MPa 以上の in situ
弾性率を有する第 2 コーティングと
を備えた光ファイバにおいて、
前記外半径 r_6 が $110\ \mu\text{m}$ 以下であり、前記ファイバが 1310nm において $9\ \mu\text{m}$
以上のモードフィールド直径を有し、且つ 15mm の直径を有するマンドレルの周りに回
転されるとき、 0.5dB / 回転未満の 1550nm の波長での曲げ損失を示すことを特
徴とする、光ファイバ。

10

【請求項 2】

前記クラッドが、外半径 r_3 を有する内部クラッド領域と、前記内部クラッド領域を囲
み且つ前記外半径 r_4 を有する外部クラッド領域とを備え、前記内部クラッド領域が、最
小値 3_{MIN} を有する屈折率 n_3 を有し、前記外部クラッド領域が、最小値 4_{MIN}
 $> 3_{\text{MIN}}$ を有する屈折率 n_4 を有することを特徴とする、請求項 1 に記載のファイバ。

20

【請求項 3】

前記クラッドが、外半径 r_2 を有する第 1 の内部クラッド領域と、前記第 1 の内部クラ
ッド領域を囲み且つ外半径 r_3 を有する第 2 の内部クラッド領域と、前記第 2 の内部クラ
ッド領域を囲み且つ前記外半径 r_4 を有する外部クラッド領域とを備え、前記第 1 の内部
クラッド領域が、最小値 2_{MIN} を有する屈折率 n_2 を有し、前記第 2 の内部クラッド
領域が、最小値 $3_{\text{MIN}} < 2_{\text{MIN}}$ を有する屈折率 n_3 を有し、前記外部クラッド領
域が、最小値 $4_{\text{MIN}} > 3_{\text{MIN}}$ を有する屈折率 n_4 を有することを特徴とする、請
求項 1 に記載のファイバ。

【請求項 4】

前記外半径 r_5 が $85\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、請求項 1 から 3 のいずれか一
項に記載のファイバ。

30

【請求項 5】

前記外半径 r_6 が $100\ \mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか
一項に記載のファイバ。

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本出願は、2013 年 4 月 15 日に提出された米国特許出願第 13/862,755 号
(その内容に依拠し、その全体において参照によって本明細書に組み込む) の米国法典第
35 編第 120 条下の優先権の利益を主張する。

【技術分野】

40

【0002】

本開示は一般的に光ファイバに関する。より詳しくは、本開示は、屈折率プロファイル
を有し、屈折率低減クラッド領域と薄い低弾性率の第 1 コーティングとを有するコートさ
れた光ファイバに関する。最も詳しくは、本開示は、高いモードフィールド直径および低
い曲げ損失を示す小半径のコートされた光ファイバに関する。

【背景技術】

【0003】

小半径を有するコートされた光ファイバは、ケーブルの大きさの低減、ケーブルのコス
トの削減、およびケーブル設置のために既存の管インフラの効率的な使用のために魅力的
である。半径を低減したファイバは典型的に、標準光ファイバ ($125\ \mu\text{m}$) と同じガラ

50

ス半径を有するが、第1および/または第2コーティングとしてより薄い層を使用する。しかしながら、コーティング厚が低減されると、コーティングの保護機能が損なわれる。結果として、小さな厚さで十分な保護を維持する新規なコーティングの材料と、信号の強さまたは特質を損なわずにより著しい曲げを許容することができる新規なガラス組成物または屈折率プロファイルとを開発することが本分野において多く試みられている。直径を低減した曲がりに影響されにくいコートされた光ファイバ設計は、先行技術（例えば、特許文献1を参照）に提案されているが、これらのファイバの1310nmでの公称モードフィールド直径(MFD)は、典型的にわずか約8.6~8.8μmである。このようなモードフィールド直径は、直径を低減したファイバを標準シングルモードファイバ(SMF)(約9.2μmの公称MFDを有する)に接続するときに高い接合/コネクタ接続損失をもたらす。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】米国特許出願公開第2010/0119202号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

直径が小さいファイバを既存の標準シングルモードファイバに接続するときに信号損失を避けるために、低減された半径を有し、且つ標準シングルモードファイバのモードフィールド直径に適合するモードフィールド直径を有する光ファイバを開発することが望ましいであろう。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

本開示は、110μm以下、または105μm以下、または100μm以下の半径を有し、曲げによる著しい信号劣化を受けずに大きなモードフィールド直径を有するコートされた光ファイバを提供する。半径を低減したコートされたファイバは、少なくとも50μm、または少なくとも55μm、または少なくとも60μm、または少なくとも62.5μmの半径を有する内部ガラス領域を周囲の第1および第2コーティングと共に含んでもよい。代表的なファイバは、同心の順序で、ガラスコア、ガラスクラッド、第1コーティングおよび第2コーティングを備えてもよい。コアは、より高い屈折率のガラス領域であってもよく、より低い屈折率のクラッドによって囲まれてもよい。クラッドは1つ以上の内部クラッド領域と外部クラッド領域とを備えてもよく、そこで内部クラッド領域の少なくとも1つは、外部クラッド領域よりも低い屈折率を有してもよい。第1コーティングは、より低い弾性率の材料から形成されてもよく、第2コーティングは、より高い弾性率の材料から形成されてもよい。

30

【0007】

コアはシリカガラスまたはシリカ系ガラスを含有してもよい。シリカ系ガラスは、アルカリ金属（例えばNa、K）、アルカリ土類金属（例えばMg、Ca）、III族元素（例えばB）、またはV族元素（例えばP）、またはドーパントで改質されたシリカガラスであってもよい。コア全体にわたる屈折率は一定であっても変化してもよい。コアの屈折率は、コアの中心においてまたはその近くで最大になってもよく、コアの外側境界の方向に連続的に減少する。コアの屈折率プロファイルは、ガウスプロファイル、超ガウスプロファイル、プロファイル、またはステッププロファイルであってもよく、またはそれらに近似してもよい。

40

【0008】

クラッドはシリカガラスまたはシリカ系ガラスを含有してもよい。シリカ系ガラスは、アルカリ金属（例えばNa、K）、アルカリ土類金属（例えばMg、Ca）、III族元素（例えばB）、またはV族元素（例えばP）、またはドーパントで改質されたシリカガラスであってもよい。クラッドは内部クラッド領域と外部クラッド領域とを備えてもよく

50

、内部クラッド領域は、外部クラッド領域よりも低い屈折率を有してもよい。内部クラッド領域は、一定のまたは連続的に変化する屈折率を有してもよい。内部クラッド領域は、その内側境界からその外側境界まで連続的に減少する屈折率を有してもよい。連続的な減少は線形減少であってもよい。内部クラッド領域の屈折率は、コートされたファイバの屈折率プロファイルの溝を形成する場合がある。屈折率の溝は、矩形または三角形であってもよい。外部クラッド領域は、一定の屈折率を有してもよい。

【0009】

クラッドは、コアに隣接した第1の内部クラッド領域と、第1の内部クラッド領域と外部クラッド領域との間に配置された第2の内部クラッド領域とを備えてもよい。第2の内部クラッド領域の屈折率は、第1の内部クラッド領域の屈折率より低くてもよい。第2の内部クラッド領域の屈折率は、外部クラッド領域の屈折率より低くてもよい。第2の内部クラッド領域の屈折率は、第1の内部クラッド領域および外部クラッド領域の屈折率より低くてもよい。

10

【0010】

第2の内部クラッド領域の屈折率は一定であるかまたは連続的に変化してもよい。第2の内部クラッド領域は、その内側境界からその外側境界まで連続的に減少する屈折率を有してもよい。連続的な減少は線形減少であってもよい。第2の内部クラッド領域の屈折率は、コートされたファイバの屈折率プロファイルの溝を形成する場合がある。溝は屈折率低減領域であり、矩形または三角形であってもよい。外部クラッド領域は、一定の屈折率を有してもよい。

20

【0011】

コアおよびクラッドの屈折率プロファイルは、シリカまたはシリカ系ガラス中のアップドローパントおよび/またはダウンドローパントの空間分布の制御によって達成されてもよい。

【0012】

第1コーティングは、オリゴマーとモノマーとを含有する硬化性組成物から形成されてもよい。オリゴマーは、ウレタンアクリレートまたはアクリレート置換基を有するウレタンアクリレートであってもよい。アクリレート置換基を有するウレタンアクリレートはウレタンメタクリレートであってもよい。オリゴマーは、ウレタン基を含有してもよい。オリゴマーは、1個または複数個のウレタン基を含有するウレタンアクリレートであってもよい。オリゴマーは、アクリレート置換基を有し、1個または複数個のウレタン基を含有するウレタンアクリレートであってもよい。ウレタン基は、イソシアネート基とアルコール基との反応生成物として形成されてもよい。

30

【0013】

第1コーティングは、1 MPa以下、または0.50 MPa以下、または0.25 MPa以下、または0.20 MPa以下、または0.19 MPa以下、または0.18 MPa以下、または0.17 MPa以下、または0.16 MPa以下、または0.15 MPa以下のin situ弾性率を有してもよい。第1コーティングのガラス転移温度は、-15以下、または-25以下、または-30以下、または-40以下であってもよい。第1コーティングのガラス転移温度は、-60超、または-50超、または-40超であってもよい。第1コーティングのガラス転移温度は、-60~-15、または-60~-30、または-60~-40、または-50~-15、または-50~-30、または-50~-40であってもよい。

40

【0014】

第2コーティングは、1つ以上のモノマーを含有する硬化性第2組成物から形成されてもよい。1つ以上のモノマーには、ビスフェノールAジアクリレート、または置換ビスフェノールAジアクリレート、またはアルコキシル化ビスフェノールAジアクリレートなどが含まれてもよい。アルコキシル化ビスフェノールAジアクリレートは、エトキシ化ビスフェノールAジアクリレートであってもよい。硬化性第2組成物はオリゴマーをさらに含有してもよい。オリゴマーは、ウレタンアクリレートまたはアクリレート置換基を有する

50

ウレタンアクリレートであってもよい。第2組成物は、ウレタン基、ウレタンアクリレート化合物、ウレタンオリゴマーまたはウレタンアクリレートオリゴマーを含有しなくてもよい。

【0015】

第2コーティングは、第1コーティングよりも高い弾性率およびより高いガラス転移度を有する材料であってもよい。第2コーティングの in situ 弾性率は、1200 MPa以上、または1500 MPa以上、または1800 MPa以上、または2100 MPa以上、または2400 MPa以上、または2700 MPa以上であってもよい。第2コーティングは、約1500 MPa~10,000 MPa、または約1500 MPa~5000 MPaの in situ 弾性率を有してもよい。第2コーティングの in situ ガラス転移温度は、少なくとも50、または少なくとも55、または少なくとも60または55~65であってもよい。

10

【0016】

コートされたファイバの半径は、第2コーティングの外径と一致する。コートされたファイバの半径は、110 μm 以下、または105 μm 以下、または100 μm 以下であってもよい。コートされたファイバ内で、(クラッドの外径と一致する)ガラスの半径は、少なくとも50 μm 、または少なくとも55 μm 、または少なくとも60 μm 、または62.5 μm であってもよい。ガラスは第1コーティングによって囲まれてもよい。第1コーティングの外半径は、85 μm 以下、82.5 μm 以下、または80 μm 以下、または77.5 μm 以下、または75 μm 以下であってもよい。コートされたファイバの直径の残部は、第2コーティングによって与えられる。

20

【0017】

本開示によるコートされたファイバは、標準シングルモードファイバへの接合および接続に伴う損失を最小にするモードフィールド直径を提供しながら低い曲げ損失を示す小半径のファイバであってもよい。モードフィールド直径は、1310 nmにおいて9.0 μm 以上、または9.1 μm 以上、または9.2 μm 以上であってもよい。

【0018】

コートされたファイバは、15 mmの直径を有するマンドレルの周りに巻き付けられるときに0.5 dB/回転未満、または20 mmの直径を有するマンドレルの周りに巻き付けられるときに0.5 dB/回転未満、または20 mmの直径を有するマンドレルの周りに巻き付けられるときに0.25 dB/回転未満、または30 mmの直径を有するマンドレルの周りに巻き付けられるときに0.02 dB/回転未満、または30 mmの直径を有するマンドレルの周りに巻き付けられるときに0.012 dB/回転未満の1550 nmでの曲げ損失を示す場合がある。

30

【0019】

本開示のファイバの光学および機械的特性は、G.652標準に準拠している場合がある。ファイバは、1260 nm以下のケーブルカットオフ波長を有していてもよい。ファイバは、1300 nm₀ 1324 nmの範囲のゼロ分散波長₀を有していてもよい。

【0020】

さらに別の特徴および利点は以下の詳細な説明に示され、部分的に、当業者にはその説明から容易に明らかであり、もしくは本明細書の記載された説明および特許請求の範囲、ならびに添付した図面に説明されるように実施形態を実施することによって認識される。

40

【0021】

前述の概要および以下の詳細な説明は共に、典型的なものにすぎず、特許請求の範囲の性質および特徴を理解するための概要または枠組みを提供することを意図するものであることは理解されるはずである。

【0022】

添付した図面は、さらなる理解を提供するために与えられ、本明細書に組み込まれ、その一部を構成する。図面は、1つ以上の実施形態を示し、説明と共に、様々な実施形態の

50

原理および作用を明らかにするのに役立つ。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 3 】

【図 1】コア、内部クラッド領域、外部クラッド領域、第 1 コーティングおよび第 2 コーティングを有するファイバの横断面の概略図である。

【図 2】コア、2つの内部クラッド領域、外部クラッド領域、第 1 コーティングおよび第 2 コーティングを有するファイバの横断面の概略図である。

【図 3 A】実例となる屈折率プロファイルの概略図である。

【図 3 B】実例となる屈折率プロファイルの概略図である。

【図 4】矩形溝を有するコア - クラッド屈折率プロファイルを示す。

10

【図 5】三角溝を有するコア - クラッド屈折率プロファイルを示す。

【図 6】三角溝を有するコア - クラッド屈折率プロファイルを示す。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 4 】

本開示は、小さな直径、大きなモードフィールド直径、および低いマイクロバンド損失を組み合わせてもよいコートされた光ファイバに関する。本明細書において使用される選択された専門用語の簡単な説明がここに示される。

【 0 0 2 5 】

「屈折率プロファイル」は屈折率または相対屈折率とファイバ半径との間の関係である。

20

【 0 0 2 6 】

「相対屈折率パーセント」は、

【 0 0 2 7 】

【数 1】

$$\Delta\% = 100 \frac{n^2(r) - n_s^2}{2n^2(r)}$$

【 0 0 2 8 】

として定義され、上式中、 $n(r)$ は、特に断りがない限り、ファイバの中心線から半径方向距離 r でのファイバの屈折率であり、 n_s は、高純度シリカの 1550 nm の波長での屈折率である。本明細書中で用いられるとき、相対屈折率は（または「デルタ」）、

30

%（または「デルタ%」）、または%によって表わされ、それらの全てが本明細書において交換可能に使用され、その値は、パーセントまたは%の単位で与えられ、特に断りがない限り、相対屈折率も、 (r) または $(r)\%$ として表わされてもよい。

【 0 0 2 9 】

導波管ファイバの「色分散」は、「分散」と称されてもよく、波長での材料の分散、導波管の分散、および多モード分散の総計である。シングルモード導波管ファイバの場合、多モード分散はゼロである。2モード方式の分散値は、多モード分散がゼロであるものとする。ゼロ分散波長（ λ_0 ）は、分散がゼロの値を有する波長である。分散スロープは、波長に対する分散の変化率である。

40

【 0 0 3 0 】

用語「 Δ - プロファイル」は、以下の関数形式：

【 0 0 3 1 】

【数 2】

$$\Delta(r) = \Delta(r_0) \left[1 - \left[\frac{|r - r_0|}{(r_1 - r_0)} \right]^\alpha \right]$$

【 0 0 3 2 】

を有する相対屈折率プロファイル $\Delta(r)$ を指し、上式中、 r_0 は $\Delta(r)$ が最大である点であり、 r_1 は $\Delta(r)$ がゼロである点であり、 r は r_i から r_f の範囲であり、上

50

式中、 r_i は - プロファイルの初期点であり、 r_f は - プロファイルの最終点であり、 w は実数である。

【 0 0 3 3 】

モードフィールド直径 (M F D) は P e t e r m a n n I I 方法を使用して測定され、

【 0 0 3 4 】

【 数 3 】

$$MFD = 2w$$

10

$$w^2 = 2 \frac{\int_0^\infty (f(r))^2 r dr}{\int_0^\infty \left(\frac{df(r)}{dr} \right)^2 r dr}$$

【 0 0 3 5 】

から決められ、上式中、 $f(r)$ は導波光の横電場の分布であり、 r はファイバの半径方向位置である。

【 0 0 3 6 】

導波管ファイバの曲げ耐性は、指定された試験条件下で、引き起こされた減衰によって測定されてもよい。横荷重マイクロベンド試験、ピンアレイ試験、およびマンドレルラップ試験などの様々な試験を使用して、曲げ損失を評価する。

20

【 0 0 3 7 】

横荷重試験において、導波管ファイバの指定された長さを2つの平板の間に置く。# 70ワイヤーメッシュを板の1つに取り付ける。導波管ファイバの周知の長さを板の間に挟み、板が30ニュートンの力で一緒に加圧される間に参照減衰が選択された波長（典型的に1200～1700nmの範囲内、例えば、1310nmまたは1550nmまたは1625nm）において測定される。次に、70ニュートンの力を板に適用し、dB/mで表わされる選択された波長での減衰の増加が測定される。減衰の増加は、導波管の横荷重ワイヤーメッシュ（LLWM）減衰である。

30

【 0 0 3 8 】

ファイバのマクロベンドに対する耐性は、マンドレルラップ試験において、引き起こされた減衰の増加を測定することによって評価され得る。マンドレルラップ試験において、ファイバが、指定された直径を有する円筒形マンドレルの周りに1回または複数回巻き付けられ、曲げによる指定された波長での減衰の増加が定量される。マンドレルラップ試験において減衰はdB/回転の単位で表わされ、そこで1回転は、マンドレルの周りのファイバの一回りを指す。

【 0 0 3 9 】

「ピンアレイ」曲げ試験を使用して、曲げに対する導波管ファイバの相対的耐性を比較する。この試験を実施するために、本質的に曲げ損失を有さない形態の導波管ファイバについて選択された波長での減衰損失が測定される。次に、導波管ファイバをピンアレイの周りに編み、選択された波長（典型的に1200～1700nmの範囲内、例えば、1310nmまたは1550nmまたは1625nm）での減衰を再び測定する。曲げによる損失は、2つの測定された減衰の間の差である。ピンアレイは、単一列に配列された一組の10個の円筒形ピンであり、平坦な面上に固定垂直位置に保持される。ピン間隔は、中心間が5mmである。ピン直径は0.67mmである。試験の間に、十分な張力を適用して、導波管ファイバをピンの表面部分に適合させる。

40

【 0 0 4 0 】

標準2mファイバカットオフ試験、FOTF-80（EIA-TIA-455-80）によってファイバカットオフを測定し、「2mファイバカットオフ」または「測定された

50

カットオフ値」としても公知の「ファイバカットオフ波長」をもたらすことができる。FOTP-80標準試験を実施して、制御された量の曲げを使用して高次のモードを取り除くか、またはファイバのスペクトル応答をマルチモードファイバのスペクトル応答に正規化する。

【0041】

ケーブルカットオフ波長、または「ケーブルカットオフ」(「22メートルカットオフ」としても公知である)は典型的には、ケーブル環境のより高レベルの曲げおよび機械圧のために、測定されたファイバカットオフ値よりも低い。実際のケーブル条件は、EIA-445光ファイバ試験法(Fiber Optic Test Procedures)に記載されたケーブルカットオフ試験によって近似され得るが、これはEIA-TIAファイバーオプティクス標準(Fiber Optics Standards)(Electronics Industry Alliance-Telecommunications Industry Association Fiber Optics Standards、より一般的にはFOTPとして知られている)の一部である。ケーブルカットオフの測定は、EIA-455-170 Cable Cutoff Wavelength of Single-mode Fiber by Transmitted Power(送信電力によるシングルモードファイバのケーブルカットオフ波長)、または「FOTP-170」に記載されている。本明細書において特に記載しない限り、光学的性質(例えば分散、分散スロープ等々)はLP01モードについて報告される。

10

20

【0042】

本開示は、すぐれたマイクロベンドおよびマクロベンド性能ならびに最小損失で標準シングルモードファイバへの接合および接続を可能にする場合があるモードフィールド直径を有する、半径が小さいコートされたファイバを提供する。本開示のコートされたファイバは、小半径のファイバを達成するための先行技術の試みには伴ったモードフィールド直径および/または曲げ損失の犠牲をせずに済む場合がある。このコートされたファイバに関しては、モードフィールド直径または曲げ性能を犠牲にせずに小半径が達成可能である場合がある。したがって本開示は、内部設置のために高密度形態で組み立てることができ、なお且つ外部のシングルモードファイバと統合されるときに良い整合性および低損失を提供するコンパクトなコートされたファイバを提供する場合がある。コーティング層の厚さが小さいときでも良いファイバマイクロベンドおよびマクロベンド性能をもたらす異なったプロファイル設計が以下に略述される。低いマイクロベンドおよびマクロベンド損失および良い耐破壊性をもたらす場合がある厚さが低減された第1および第2コーティング層の機械的性質、組成、および幾何学形状が開示される。特に断りがない限り、波長に依存する全ての結果は、1550nmの波長に基づいている。

30

【0043】

本開示のコートされたファイバは、2つの領域を有し、且つこの2つの領域において異なる屈折率プロファイルを有するクラッドを備えてもよい。クラッドの屈折率プロファイルの設計は、曲げに対するコートされたファイバの感受性を減少させる場合があり、先行技術のコートされたファイバに対して厚さが低減された第1コーティングの使用を可能にする場合がある。第1コーティングをより薄くすることは、コートされたファイバの総合的な直径の低減につながり、既存のファイバインフラストラクチャに密に充填されおよび/または容易に設置され得るコンパクトなコートされたファイバを提供する。第1コーティングの機械的性質は、第1コーティングの厚さが低減されるときでも、コートされたファイバの良いマイクロベンド性能が達成されるように選択されてもよい。

40

【0044】

本開示のコートされたファイバはコア、クラッド、第1コーティング、および第2コーティングを備えてもよく、そこでクラッドは、異なる屈折率プロファイルを有する2つ以上の領域を備えてもよい。本開示による多くのコートされたファイバの第1のファイバの概略断面図が図1に示される。ファイバ10は、コア20、クラッド30、第1コーティ

50

ング 40、および第 2 コーティング 50 を備える。クラッド 30 は、内部クラッド領域 33 および外部クラッド領域 37 を備える。本開示による多くのコートされたファイバの第 2 のファイバの概略断面図を図 2 に示す。ファイバ 60 は、コア 70、クラッド 80、第 1 コーティング 90 および第 2 コーティング 100 を備える。クラッド 80 は、第 1 の内部クラッド領域 81、第 2 の内部クラッド領域 83、および外部クラッド領域 85 を備える。

【0045】

コアおよびクラッドは、シリカまたはシリカ系ガラスであってもよく、任意選択によりアップドローパントまたはダウンドローパントを含有してもよい。シリカ系ガラスは、アルカリまたはアルカリ土類元素、または III 族元素（例えば B、Al）、または V 族元素（例えば P）によって改質されたシリカガラスであってもよい。コアの半径は、シングルモードファイバについて $4 \sim 10 \mu\text{m}$ の範囲であってもよい。クラッドは、屈折率プロファイルにおいて異なる 2 つ以上の領域を備えてもよく、少なくとも $50 \mu\text{m}$ 、または少なくとも $55 \mu\text{m}$ 、または少なくとも $60 \mu\text{m}$ 、または $62.5 \mu\text{m}$ の外半径まで延在してもよい。

10

【0046】

コア全体にわたる屈折率は一定であっても変化してもよい。コアの屈折率は、コアの中心においてまたはその近くで最大になってもよく、およびコアの外側境界の方向に連続的に減少してもよい。コアの屈折率プロファイルは、ガウスプロファイル、超ガウスプロファイル、 β -プロファイル、またはステッププロファイルであってもよく、またはそれらに近似してもよい。

20

【0047】

クラッドは内部クラッド領域と外部クラッド領域とを備えてもよく、内部クラッド領域は、外部クラッド領域よりも低い屈折率を有してもよい。内部クラッド領域の屈折率は一定であるかまたは連続的に変化してもよい。内部クラッド領域は、その内側境界からその外側境界まで連続的に減少する屈折率を有してもよい。連続的な減少は線形減少であってもよい。内部クラッド領域の屈折率は、コートされたファイバの屈折率プロファイルの溝を形成してもよい。溝は屈折率低減領域であり、矩形または三角形であってもよい。外部クラッド領域は、一定のまたは連続的に変化する屈折率を有してもよい。内部コア領域の最小屈折率は、外部クラッド領域の最大屈折率より小さくてもよい。

30

【0048】

クラッドは、コアに隣接した第 1 の内部クラッド領域と、第 1 の内部クラッド領域と外部クラッド領域との間に配置された第 2 の内部クラッド領域とを備えてもよい。第 2 の内部クラッド領域の屈折率は、第 1 の内部クラッド領域の屈折率より低くてもよい。第 2 の内部クラッド領域の最小屈折率は、第 1 の内部クラッド領域の最大屈折率より低くてもよい。第 2 の内部クラッド領域の屈折率は、外部クラッド領域の屈折率より低くてもよい。第 2 の内部クラッド領域の最小屈折率は、外部クラッド領域の最大屈折率より低くてもよい。第 2 の内部クラッド領域の屈折率は、第 1 の内部クラッド領域および外部クラッド領域の屈折率より低くてもよい。第 2 の内部クラッド領域の最小屈折率は、第 1 の内部クラッド領域および外部クラッド領域の最大屈折率より低くてもよい。

40

【0049】

第 2 の内部クラッド領域の屈折率は一定であるかまたは連続的に変化してもよい。第 2 の内部クラッド領域は、その内側境界からその外側境界まで連続的に減少する屈折率を有してもよい。連続的な減少は線形減少であってもよい。第 2 の内部クラッド領域の屈折率は、コートされたファイバの屈折率プロファイルの溝を形成してもよい。溝は屈折率低減領域であり、矩形または三角形であってもよい。屈折率低減領域は、

【0050】

【数 4】

$$V_3 = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta(r) r dr$$

【0051】

に等しい、 μm^2 の単位のプロファイルモート体積 V_3 によって特性決定されてもよい。モート体積の大きさ $|V_3|$ は、少なくとも $30\% \mu\text{m}^2$ 、または少なくとも $50\% \mu\text{m}^2$ 、または少なくとも $65\% \mu\text{m}^2$ であってもよい。また、モート体積の大きさ $|V_3|$ は、 $80\% \mu\text{m}^2$ 未満、または $75\% \mu\text{m}^2$ 未満、または $30\% \mu\text{m}^2 \sim 80\% \mu\text{m}^2$ ($80\% \mu\text{m}^2$ も含める) であってもよい。用語「モート (moat)」および「溝 (trench)」は、本明細書において交換可能に使用される。

【0052】

コアおよびクラッドの代表的な屈折率プロファイルが図 3 A および 3 B に示される。図 3 A は、外半径 r_1 および屈折率 n_1 を有するコア (1) と、半径方向位置 r_1 から半径方向位置 r_2 まで延在し、屈折率 n_2 を有する第 1 の内部クラッド領域 (2) と、半径方向位置 r_2 から半径方向位置 r_3 まで延在し、屈折率 n_3 を有する第 2 の内部クラッド領域 (3) と、半径方向位置 r_3 から半径方向位置 r_4 まで延在し、屈折率 n_4 を有する外部クラッド領域 (4) とを有するファイバ (101) の矩形溝プロファイルを示す。図 3 A のプロファイルにおいて、第 2 の内部クラッド領域 (3) は、本明細書において矩形溝と称されてもよく、第 1 の内部クラッド領域 (2) および外部クラッド領域 (4) の屈折率よりも小さい一定の屈折率を有してもよい。コア (1) は、プロファイルにおいて最も高い屈折率を有してもよい。コア (1) は、中心線においてまたはその近くでより低い屈折率の領域を備えてもよい (本技術分野で「中心線傾斜」として公知である)。第 1 の内部クラッド領域 (2) は任意選択であり、除かれてもよいことに留意しなければならない。

【0053】

図 3 B は、半径 r_1 を有し、最大値 $n_{1\text{MAX}}$ を有する屈折率 n_1 を有するコア (1) と、半径方向位置 r_1 から半径方向位置 r_2 まで延在し、屈折率 n_2 を有する第 1 の内部クラッド領域 (2) と、半径方向位置 r_2 から半径方向位置 r_3 まで延在し、最小値 $n_{3\text{MIN}}$ を有する屈折率 n_3 を有する第 2 の内部クラッド領域 (3) と、半径方向位置 r_3 から半径方向位置 r_4 まで延在し、屈折率 n_4 を有する外部クラッド領域 (4) とを有するファイバ (101) の三角溝の屈折率プロファイルを示す。図 3 B のプロファイルにおいて、第 2 の内部クラッド領域 (3) は、本明細書において三角溝と称されてもよく、半径方向位置 r_2 と r_3 との間に連続的に減少する屈折率を有してもよく、そこで三角溝の平均および最小屈折率は、第 1 の内部クラッド領域 (2) および外部クラッド領域 (4) の屈折率より小さくてもよい。コア (1) は、プロファイルにおいて最も高い屈折率を有してもよい。コア (1) は、中心線においてまたはその近くでより低い屈折率の領域を備えてもよく、屈折率は $n_{1\text{MAX}}$ より小さい。第 1 の内部クラッド領域 (2) は任意選択であり、除かれてもよいことに留意しなければならない。

【0054】

コアおよびクラッドの屈折率プロファイルは、シリカまたはシリカ系ガラス中のドーパントまたは改質剤の空間分布を制御することによって達成されてもよい。アップドーパント (例えば GeO_2 、 Al_2O_3 、 P_2O_5 、 TiO_2 、 Cl 、 Br) を使用して、屈折率が増加した領域を生じさせてもよく、ダウンドーパント (例えば F 、 B_2O_3 、非周期的ポイド) を使用して、屈折率が減少した領域を生じさせてもよい。一定の屈折率の領域は、ドーブしないことによってまたは均一な濃度でドーブすることによって形成されてもよい。可変屈折率の領域は、ドーパントの不均一な空間分布によって形成されてもよい。図 3 B に示される三角溝は、例えば、ダウンドーパントとして F を不均一な空間濃度プロファイルで導入することによって形成されてもよい。半径方向位置 r_2 での F の濃度は、半径方向位置 r_3 での F の濃度より小さくてもよい。

【0055】

コートされたファイバは、コアと第1の内部クラッド領域との間、または第1の内部クラッド領域と第2の内部クラッド領域との間、または第2の内部クラッド領域と外部クラッド領域との間、または外部クラッド領域と第1コーティングとの間、または第1コーティングと第2コーティングとの間に挟まれる領域を備えてもよい。ファイバは、外半径 r_1 を有し、最大値 1_{MAX} および最小値 1_{MIN} を有する屈折率 1 を有するコアと、外半径 r_2 を有し、且つ最大値 2_{MAX} および最小値 2_{MIN} を有する屈折率 2 を有する第1の内部クラッド領域と、外半径 r_3 を有し、且つ最大値 3_{MAX} および最小値 3_{MIN} を有する屈折率 3 を有する第2の内部クラッド領域と、外半径 r_4 を有し、且つ最大値 4_{MAX} および最小値 4_{MIN} を有する屈折率 4 を有する外部クラッド領域と、外半径 r_5 を有する第1コーティングと、外半径 r_6 を有する第2コーティングとを有してもよく、そこで $r_6 > r_5 > r_4 > r_3 > r_2 > r_1$ である。

10

【0056】

このコートされたファイバのコアおよびクラッドは、単一工程操作または複数工程操作で、本技術分野で公知の方法によって製造されてもよい。適した方法には、二重つば法、ロッドインチューブ法、および化学蒸着（「CVD」）または気相酸化とも一般的に称される、ドーブされた堆積シリカ法などが含まれる。様々なCVD法が公知であり、本明細書の典型的な実施形態のコートされた光ファイバにおいて使用されるコアおよびクラッド層を製造するために適している。それらには、外付けCVD法（external CVD processes）、気相軸付け法（axial vapor deposition processes）、変形CVD（MCVD）、内付け法（inside vapor deposition）、およびプラズマ強化CVD（PECVD）などが含まれる。

20

【0057】

コートされたファイバのガラス部分は、ガラスを軟化させるために十分な温度、例えば、シリカガラスについては約2000の温度まで局部的にそして対称的に加熱された特別に作製された円筒形プレフォームから延伸されてもよい。例えばプレフォームを炉内に送り込んで通すなどによってプレフォームが加熱されるとき、ガラス光ファイバは熔融材料から延伸される。ファイバ製造法に関する更なる詳細については例えば、米国特許第7,565,820号明細書、米国特許第5,410,567号明細書、米国特許第7,832,675号明細書、および米国特許第6,027,062号明細書（その開示内容をここに参照によって本明細書に組み入れる）を参照のこと。

30

【0058】

第1コーティングは、第2コーティングよりも低い弾性率を有してもよい。第1コーティングは、硬化性オリゴマーを含有する第1組成物から形成されてもよい。また、硬化性第1組成物は、モノマー、重合開始剤、および1つ以上の添加剤を含有してもよい。本明細書において特に断りがないかまたは含意される限り、硬化性第1組成物中の特定の成分の重量パーセント（重量%）は、添加剤を含有しない主成分に基づいて硬化性第1組成物中に存在している成分の量を指す。概して、モノマー、オリゴマー、および開始剤の重量パーセントは合計100%になる。存在しているとき、添加剤の量は本明細書において、モノマー、オリゴマー、および開始剤の組み合わせられた量に対して百分率（pph）の単位で記載される。例えば、1pphの量で存在している添加剤は、組み合わせられたモノマー、オリゴマー、および開始剤100g当たり1gの量で存在している。

40

【0059】

硬化性第1組成物のオリゴマーはウレタンアクリレートオリゴマー、または1つ以上のウレタン基を含有するウレタンアクリレートオリゴマー、または1つ以上の脂肪族ウレタン基を含有するウレタンアクリレートオリゴマー、または単一のウレタン基を含有するウレタンアクリレートオリゴマー、または単一の脂肪族ウレタン基を含有するウレタンアクリレートオリゴマーであってもよい。ウレタン基は、イソシアネート基とアルコール基との間の反応から形成されてもよい。

50

【0060】

オリゴマーはアクリレート末端オリゴマーであってもよい。第1硬化性組成物に使用するための好ましいアクリレート末端オリゴマーには、Dymax Oligomers & Coatingsから入手可能なBR3731、BR3741、BR582およびKWS4131、ポリエーテルウレタンアクリレートオリゴマー（例えば、Sartomer Companyから入手可能なCN986）、ポリエステルウレタンアクリレートオリゴマー（例えば、CN966およびSartomer Companyから入手可能なCN973、およびDymax Oligomers & Coatingsから入手可能なBR7432）、ポリエーテルアクリレートオリゴマー（例えば、Rahn AGから入手可能なGENOMER3456）、およびポリエステルアクリレートオリゴマー（例えば、Cytac Industries Inc.から入手可能なEBECRYL80、584および657）などが含まれる。他のオリゴマーは、米国特許第4,609,718号明細書、米国特許第4,629,287号明細書および米国特許第4,798,852号明細書（その開示内容をそれらの全体において参照により本明細書に組み入れる）に記載されている。

10

【0061】

第1硬化性組成物のオリゴマーは、約4000g/mol以上の数平均分子量(Mn)を有する軟質ブロックを含有してもよい。このようなオリゴマーの例は、米国特許出願第09/916,536号明細書（その開示内容をその全体において参照により本明細書に組み入れる）に記載されている。オリゴマーは柔軟な主鎖、低い多分散度を有することができ、および/または低い架橋結合密度の硬化コーティングを提供することができる。

20

【0062】

オリゴマーを単独で、または組み合わせて使用してコーティング性を制御してもよい。第1硬化性組成物の全オリゴマー含有量は、約5重量%～約95重量%、または約25重量%～約65重量%、または約35重量%～約55重量%であってもよい。

【0063】

第1硬化性組成物のモノマー成分は、低粘度調合物を提供するために、および/または第1コーティングの屈折率を増加させるためにオリゴマーと相溶性であるように選択されてもよい。また、モノマーは、減少したゲル化時間および低弾性率を有する硬化性組成物をもたらすように選択されてもよい。第1硬化性組成物は、単一のモノマーまたはモノマーの組合せを含有してもよい。モノマーには、エチレン性不飽和化合物、エトキシ化アクリレート、エトキシ化アルキルフェノールモノアクリレート、プロピレンオキシドアクリレート、n-プロピレンオキシドアクリレート、イソプロピレンオキシドアクリレート、一官能性アクリレート、一官能性脂肪族エポキシアクリレート、多官能性アクリレート、多官能性脂肪族エポキシアクリレート、およびそれらの組合せが含まれてもよい。モノマー成分は、一般式 $R_2 - R_1 - O - (CH_2CH_3CH - O)_n - COCH = CH_2$ （式中、 R_1 および R_2 が脂肪族、芳香族、または両方の混合物であり、 $n = 1 \sim 10$ である）、または $R_1 - O - (CH_2CH_3CH - O)_n - COCH = CH_2$ （式中、 R_1 が脂肪族または芳香族であり、 $n = 1 \sim 10$ である）を有する化合物を含有してもよい。代表的な例には、エチレン性不飽和モノマー、例えばラウリルアクリレート（例えば、Sartomer Company, Inc.から入手可能なSR335、BASFから入手可能なAGEFLEX FA12、およびIGM Resinsから入手可能なPHOTOMER4812）、エトキシ化ノニルフェノールアクリレート（例えば、Sartomer Company, Inc.から入手可能なSR504およびIGM Resinsから入手可能なPHOTOMER4066）、カプロラクトンアクリレート（例えば、Sartomer Company, Inc.から入手可能なSR495、およびDow Chemicalから入手可能なTONE M-100）、フェノキシエチルアクリレート（例えば、Sartomer Company, Inc.から入手可能なSR339、BASFから入手可能なAGEFLEX PEA、およびIGM Resinsから入手可能なPHOTOMER4035）、イソオクチルアクリレート（例えば、Sartom

30

40

50

er Company, Inc. から入手可能なSR440およびBASFから入手可能なAGEFLEX FA8)、トリデシルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. から入手可能なSR489)、イソボルニルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. から入手可能なSR506およびCPS Chemical Co. から入手可能なAGEFLEX IBOA)、テトラヒドロフルフリルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. から入手可能なSR285)、ステアリルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. から入手可能なSR257)、イソデシルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. から入手可能なSR395およびBASFから入手可能なAGEFLEX FA10)、2-(2-エトキシエトキシ)エチルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. から入手可能なSR256)、エポキシアクリレート(例えば、Sartomer Company から入手可能なCN120、およびCytec Industries Inc. から入手可能なEBECRYL 3201および3604)、ラウリルオキシグリシジルアクリレート(例えば、Sartomer Company から入手可能なCN130)およびフェノキシグリシジルアクリレート(例えば、Sartomer Company から入手可能なCN131)およびそれらの組合せが含まれる。

【0064】

また、第1硬化性組成物のモノマー成分は、多官能性(メタ)アクリレートを含いてもよい。本明細書中で用いられるとき、用語「(メタ)アクリレート」は、アクリレートまたはメタアクリレートを意味する。多官能性(メタ)アクリレートは、1分子中2つ以上の重合性(メタ)アクリレート部分を有する(メタ)アクリレートである。多官能性(メタ)アクリレートは、1分子中3つ以上の重合性(メタ)アクリレート部分を有してもよい。多官能性(メタ)アクリレートの例には、ジペンタエリトリールモノヒドロキシペンタアクリレート(例えば、IGM Resins から入手可能なPHOTOMER 4399)、アルコキシル化を有するおよび有さないメチロールプロパンポリアクリレート、例えばトリメチロールプロパントリアクリレート、ジトリメチロールプロパンテトラアクリレート(例えば、IGM Resins のPHOTOMER 4355)、アルコキシル化グリセリルトリアクリレート、例えばプロポキシ化が3以上であるプロポキシ化グリセリルトリアクリレート(例えば、IGM Resins のPHOTOMER 4096)、およびアルコキシル化を有するおよび有さないエリトリールポリアクリレート、例えばペンタエリトリールテトラアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. (Westchester, Pa.) から入手可能なSR295)、エトキシ化ペンタエリトリールテトラアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. のSR494)、ジペンタエリトリールペンタアクリレート(例えば、IGM Resins のPHOTOMER 4399、およびSartomer Company, Inc. のSR399)、トリプロピレングリコールジ(メタ)アクリレート、プロポキシ化ヘキサジオールジ(メタ)アクリレート、テトラプロピレングリコールジ(メタ)アクリレート、ペンタプロピレングリコールジ(メタ)アクリレートなどが含まれる。多官能性(メタ)アクリレートは、第1硬化性組成物中に0.05~15重量%、または0.1~10重量%の濃度で存在していてもよい。

【0065】

第1硬化性組成物のモノマー成分は、N-ビニルアミド、例えばN-ビニルラクタム、またはN-ビニルピロリジノン、またはN-ビニルカプロラクタムを含いてもよい。N-ビニルアミドモノマーは、第1硬化性組成物中に0.1~40重量%、または2~10重量%の濃度で存在していてもよい。

【0066】

硬化性第1コーティング組成物は、1つ以上の一官能性(メタ)アクリレートモノマーを5~95重量%、または30~75重量%、または40~65重量%の量で含いてもよい。硬化性第1コーティング組成物は、1つ以上の一官能性脂肪族エポキシアクリレー

トモノマーを5～40重量%、または10～30重量%の量で含有してもよい。

【0067】

第1硬化性組成物のモノマー成分は、ヒドロキシ官能性モノマーを含有してもよい。ヒドロキシ官能性モノマーは、(メタ)アクリレートなどの他の反応性官能基の他にヒドロキシ側基部分を有するモノマーである。ヒドロキシ側基を含有するヒドロキシ官能性モノマーに例には、カプロラクトンアクリレート(Dow ChemicalからTONE M-100として入手可能)、ポリ(アルキレングリコール)モノ(メタ)アクリレート、例えばポリ(エチレングリコール)モノアクリレート、ポリ(プロピレングリコール)モノアクリレート、およびポリ(テトラメチレングリコール)モノアクリレート(それぞれMonomer, Polymer & Dajac Labsから入手可能)、2-ヒドロキシエチル(メタ)アクリレート、3-ヒドロキシプロピル(メタ)アクリレート、および4-ヒドロキシブチル(メタ)アクリレート(それぞれAldrichから入手可能)などが含まれる。

10

【0068】

ヒドロキシ官能性モノマーは、光ファイバへの第1コーティングの接着性を改良するために十分な量で存在していてもよい。ヒドロキシ官能性モノマーは、第1硬化性組成物中に約0.1重量%～約25重量%の量で、または約5重量%～約8重量%の量で存在していてもよい。ヒドロキシ官能性モノマーの使用により、光ファイバへの第1コーティングの十分な接着性のために必要な接着促進剤の量を減少させてもよい。また、ヒドロキシ官能性モノマーの使用により、第1コーティングの親水性を増加させる傾向がある場合がある。ヒドロキシ官能性モノマーは、米国特許第6,563,996号明細書(その開示内容をその全体において参照により本明細書に組み入れる)により詳細に記載されている。

20

【0069】

第1硬化性組成物の全モノマー含有量は、約5重量%～約95重量%、または約30重量%～約75重量%、または約40重量%～約65重量%であってもよい。

【0070】

第1硬化性組成物中に存在しているモノマーは、5～95重量%、または25～65重量%または35～55重量%の量の1つ以上の二官能性ウレタンオリゴマーと共に0.1～40重量%または2～10重量%の濃度のN-ビニルアミドモノマーを含有してもよい。

30

【0071】

第1コーティング組成物は、約5～95重量%の量の1つ以上の一官能性(メタ)アクリレートモノマーと、約0.1～40重量%の量のN-ビニルアミドモノマーと、イソシアネートと反応してウレタンを形成するポリオールを含有し、約5～95重量%の量で存在している1つ以上の二官能性ウレタンアクリレートオリゴマーとを含有してもよい。ポリオールはポリプロピレングリコールであってもよく、イソシアネートは脂肪族ジイソシアネートであってもよい。

【0072】

第1コーティング組成物は、約40～65重量%の量の1つ以上の一官能性(メタ)アクリレートモノマーと、約2～10重量%の量のN-ビニルアミドモノマーと、約35～60重量%の1つ以上のポリプロピレングリコール系二官能性ウレタンアクリレートオリゴマーとを含有してもよい。

40

【0073】

第1コーティングのガラス転移温度は、低温でのファイバのマイクロベンド性能に影響を与える場合がある。第1コーティングが、コートされた光ファイバの最低予想使用温度よりも低いガラス転移温度を有することが望ましい場合がある。第1コーティングのガラス転移温度は、-15以下、または-25以下、または-30以下、または-40以下であってもよい。第1コーティングのガラス転移温度は、-60超、または-50超、または-40超であってもよい。第1コーティングのガラス転移温度は、-60～-15、または-60～-30、または-60～-40、または-50

50

～ - 15 、または - 50 ～ - 30 、または - 50 ～ - 40 であってもよい。

【0074】

第1コーティングは、第2コーティングよりも低い弾性率を有してもよい。低い弾性率は、ファイバの外部が曲げられるかまたは外力に供せられるときに生じる内部応力を効率的に散逸させることによって第1コーティングがコアおよびクラッドを保護することを可能にする場合がある。本明細書中で用いられるとき、第1コーティングの *in situ* 弾性率は、ここで記載される技術によって測定される弾性率である。

【0075】

6インチ(15.24cm)のファイバ試料を第1コーティングの *in situ* 弾性率の測定のために使用する。6インチ(15.24cm)の試料の中央から1インチ(2.54cm)の部分窓状に被覆除去し、イソプロピルアルコールで拭く。試料は、試料がグルーで接着される10mm×5mmのアルミニウムタブを備える試料ホルダ/位置調整台上に載せられる。2つのタブの間に5mmの間隙を開けて10mmの長さを水平に置くように2つのタブを設定する。ファイバをタブに差し渡して試料ホルダ上に水平に置く。ファイバのコートされた端部を一方のタブ上に配置し、タブ間の5mm間隔に中程まで伸ばし、被覆除去されたガラスを5mmの間隙のもう一方の半分にわたして、他方のタブ上に配置する。試料を一行に並べ、次に、動かして場所を開けて、グルーの小さな点が、5mmの間隙に最も近い各々のタブの半分に適用されるようにする。次に、ファイバをタブの上に戻し、中央に置く。次に、グルーがファイバにちょうど触れるまで位置調整台を上げる。次に、コートされた端部を引っ張ってグルー中を通し、タブ間の5mmの間隙内の試料の大部分が被覆除去されたガラスであるようにする。コートされた端部のまさしくその先端がタブ上のグルーの範囲の外に延在していて、測定される領域が露出したままであるようにする。試料を乾燥させる。タブに固定されたファイバの長さを5mmに切り落とす。グルーに埋め込まれたコートされた長さ、(タブ間の)埋め込まれていない長さ、および端面の第1直径を測定する。

【0076】

Rheometrics DMTA IVなどの計測器を使用して 9×10^{-6} 1/sの定歪で45分間にわたって室温(約21℃)において測定を実施することができる。ゲージ長さは15mmである。力および長さの変化を記録し、第1弾性率の計算のために使用する。試料を調製するために、15mmの締付け長さを妨げるであろう一切のエポキシをタブから除去して、ファイバとの接触がないことを確実にし、そして試料を直接にクランプに固定することを確実にする。計測器の力を完全にゼロにすると、コートされていない端部を下側のクランプ(測定プローブ)に取り付ける。ファイバのコートされた端部を含むタブを下側の(固定された)クランプに取り付ける。次に、試験を実施し、分析を終えると試料を取り出す。

【0077】

第1コーティングの *in situ* 弾性率は、1MPa以下、または0.50MPa以下、または0.25MPa以下、または0.20MPa以下、または0.19MPa以下、または0.18MPa以下、または0.17MPa以下、または0.16MPa以下、または0.15MPa以下、または0.01MPa～1.0MPa、または0.01MPa～0.50MPa、または0.01MPa～0.20MPaであってもよい。

【0078】

また、第1硬化性組成物は、重合開始剤、酸化防止剤、および当業者に周知のその他の添加剤を含有してもよい。

【0079】

重合開始剤によって第1組成物の硬化に伴う重合プロセスの開始を促進して、第1コーティングを形成してもよい。重合開始剤には、熱開始剤、化学開始剤、電子線開始剤、および光開始剤などを含めてもよい。多くの(メタ)アクリレート系コーティング調合物について、ケトン光開始添加剤および/またはホスフィンオキシド添加剤などの光開始剤が使用されてもよい。本開示の第1コーティングの光形成において使用されるとき、光開始

剤は、急速な紫外線硬化をもたらすために十分な量において存在し得る。

【0080】

適した光開始剤は、1-ヒドロキシシクロヘキシルフェニルケトン（例えば、BASFから入手可能なIRGACURE 184）、ビス（2,6-ジメトキシベンゾイル）-2,4,4-トリメチルペンチルホスフィンオキシド（例えば、BASFから入手可能な市販のブレンドIRGACURE 1800、1850、および1700）、2,2-ジメトキシ-2-フェニルアセトフェノン（例えば、BASFから入手可能なIRGACURE 651）、ビス（2,4,6-トリメチルベンゾイル）-フェニルホスフィンオキシド（IRGACURE 819）、（2,4,6-トリメチルベンゾイル）ジフェニルホスフィンオキシド（BASF（Munich, Germany）から入手可能なLUCIRIN TPO）、エトキシ（2,4,6-トリメチルベンゾイル）-フェニルホスフィンオキシド（BASFから入手可能なLUCIRIN TPO-L）、およびそれらの組合せを含み得る。

10

【0081】

第1硬化性組成物の光開始剤成分は、単一の光開始剤または2つ以上の光開始剤の組合せからなってもよい。第1硬化性組成物の全光開始剤含有量は約10重量%まで、または約0.5重量%～約6重量%であってもよい。

【0082】

モノマー、オリゴマー、および重合開始剤の他に、第1硬化性組成物は、他の添加剤、例えば接着促進剤、強度増強剤、反応性希釈剤、酸化防止剤、触媒、安定剤、蛍光増白剤、特性強化添加剤、アミン協力剤、蠟、滑剤、および/またはスリップ剤を含有してもよい。いくつかの添加剤は、重合プロセスを制御するように機能する場合があります、それによって、第1硬化性組成物から形成される重合生成物の物理的性質（例えば、弾性率、ガラス転移温度）に影響を与える場合がある。他の添加剤が、第1硬化性組成物の重合生成物の結合性に影響を与える場合がある（例えば、解重合または酸化崩壊に対して保護する）。例えば、米国特許第6,326,416号明細書および米国特許第6,539,152号明細書（その開示内容を参照により本明細書に組み入れる）に記載されているように、第1硬化性組成物はキャリアを含有してもよい。

20

【0083】

第1硬化性組成物中に接着促進剤を含有することが望ましい場合がある。接着促進剤は、クラッドへの第1コーティングおよび/または第1組成物の接着性を促進し得る化合物である。適した接着促進剤には、アルコキシシラン、有機チタネート、およびジルコネートなどが含まれる。代表的な接着促進剤には、3-メルカプトプロピル-トリアルコキシシラン（例えば、Gelest（Tullytown, Pa.）から入手可能な3-MPTMS）、ビス（トリアルコキシシリルエチル）ベンゼン、アクリルオキシプロピルトリアルコキシシラン（例えば、Gelestから入手可能な（3-アクリルオキシプロピル）-トリメトキシシラン）、メタクリルオキシプロピルトリアルコキシシラン、ビニルトリアルコキシシラン、ビス（トリアルコキシシリルエチル）ヘキサン、アリルトリアルコキシシラン、スチリルエチルトリアルコキシシラン、およびビス（トリメトキシシリルエチル）ベンゼン（United Chemical Technologies（Bristol, Pa.）から入手可能）などが含まれる。米国特許第6,316,516号明細書（その開示内容をその全体において参照により本明細書に組み入れる）を参照のこと。

30

40

【0084】

接着促進剤は、第1組成物中に約0.02pph～約10pph、または約0.05pph～4pph、または約0.1pph～約2pph、または約0.1pph～約1pphの量で存在していてもよい。

【0085】

また、米国特許出願公開第2003/0077059明細書（その開示内容をその全体において参照により本明細書に組み入れる）に記載されているように、第1コーティング

50

組成物は、強度増強剤を含有してもよい。代表的な強度増強剤には、メルカプト官能性化合物、例えばN - (t e r t - ブトキシカルボニル) - L - シス테인メチルエステル、ペンタエリトリールテトラキス (3 - メルカプトプロピオネート)、(3 - メルカプトプロピル) - トリメトキシシラン、(3 - メルカプトプロピル) トリメトキシシラン、およびドデシルメルカプタンなどが含まれる。強度増強剤は、第1硬化性組成物中に約1 p p h未満の量、または約0.5 p p h未満の量、または約0.01 p p h ~ 約0.1 p p hの量で存在していてもよい。

【0086】

代表的な酸化防止剤は、チオジエチレンビス [3 - (3 , 5 - ジ - t e r t - ブチル) - 4 - ヒドロキシ - フェニル) プロピオネート] (例えば、B A S Fから入手可能なI R G A N O X 1035) である。

10

【0087】

第1硬化性組成物中に蛍光増白剤を含有することが望ましい場合がある。代表的な蛍光増白剤には、T I N O P A L O B (B A S Fから入手可能)、B l a n k o p h o r K L A (B a y e r から入手可能)、ビスベンゾオキサゾール化合物、フェニルクマリン化合物、およびビス (スチリル) ビフェニル化合物などが含まれる。蛍光増白剤は、第1硬化性組成物中に0.005 p p h ~ 0.3 p p hの濃度で存在していてもよい。

【0088】

また、第1硬化性組成物中にアミン協力剤を含有することが望ましい場合がある。代表的なアミン協力剤には、トリエタノールアミン、1, 4 - ジアザビシクロ [2 . 2 . 2] オクタン (D A B C O)、トリエチルアミン、およびメチルジエタノールアミンなどが含まれる。アミン協力剤は、0.02 p p h ~ 0.5 p p hの濃度で存在していてもよい。

20

【0089】

第2コーティングは、ファイバを機械的損傷および外部環境から保護することができる。第2コーティングは、1つ以上のモノマーを含有する硬化性第2組成物から形成されてもよい。モノマーはエチレン性不飽和化合物を含有してもよい。また、硬化性第2組成物は、本明細書においてより完全に記載される1つ以上のオリゴマー、1つ以上の重合開始剤、および1つ以上の添加剤を含有してもよい。

【0090】

本明細書において特に断りがないかまたは含意される限り、硬化性第2組成物中の特定の成分の重量パーセント (重量%) は、添加剤を含有しない主成分に基づいて硬化性第2組成物中に存在している成分の量を指す。概して、モノマー、オリゴマー、および開始剤の重量パーセントは合計100%になる。存在しているとき、添加剤の量は本明細書において、モノマー、オリゴマー、および開始剤の組み合わせられた量に対して百分率 (p p h) の単位で記載される。例えば、1 p p hの量で存在している添加剤は、組み合わせられたモノマー、オリゴマー、および開始剤100 g 当たり1 gの量で存在している。

30

【0091】

コストを削減するために、第2組成物のオリゴマー含有量、ウレタンオリゴマー含有量、またはウレタンアクリレートオリゴマー含有量を最少にしてもよい。本技術分野で公知の一般的な第2組成物に対して、本開示の第2組成物のオリゴマー含有量、ウレタンオリゴマー含有量、またはウレタンアクリレートオリゴマー含有量は特に低い。オリゴマー、ウレタンオリゴマー、またはウレタンアクリレートオリゴマーは少量成分として存在しているかまたは本開示の第2組成物に全く存在していなくてもよい。オリゴマー、ウレタンオリゴマー、またはウレタンアクリレートオリゴマーは、約3重量%以下の量、または約2重量%以下の量、または約1重量%以下の量で第2組成物中に存在していてもよい。また、第2組成物は、オリゴマー、ウレタンオリゴマー、またはウレタンアクリレートオリゴマーを含有していなくてもよい。

40

【0092】

硬化性第2組成物のモノマー成分は1つ以上のモノマーを含有してもよい。1つ以上のモノマーが第2組成物中に50重量%以上の量、または約75重量% ~ 約99重量%の量

50

、または約 80 重量%～約 99 重量%の量または約 85 重量%～約 98 重量%の量で存在していてもよい。

【0093】

硬化性第 2 組成物のモノマー成分はエチレン性不飽和化合物を含有してもよい。エチレン性不飽和モノマーは一官能性または多官能性であってもよい。官能基は、重合性基および/または架橋を促進するかまたは可能にする基であってもよい。2 つ以上のモノマーの組合せにおいて、成分モノマーは、一官能性、多官能性、または一官能性および多官能性化合物の組合せであってもよい。エチレン性不飽和モノマーの適した官能基には、限定しないが、(メタ)アクリレート、アクリルアミド、N-ビニルアミド、スチレン、ビニルエーテル、ビニルエステル、酸エステル、およびそれらの組合せなどが含まれる。

10

【0094】

典型的な一官能性エチレン性不飽和モノマーには、限定しないが、ヒドロキシアルキルアクリレート、例えば 2-ヒドロキシエチル-アクリレート、2-ヒドロキシプロピル-アクリレート、および 2-ヒドロキシブチル-アクリレート、長鎖および短鎖アルキルアクリレート、例えばメチルアクリレート、エチルアクリレート、プロピルアクリレート、イソプロピルアクリレート、ブチルアクリレート、アミルアクリレート、イソブチルアクリレート、t-ブチルアクリレート、ペンチルアクリレート、イソアミルアクリレート、ヘキシルアクリレート、ヘプチルアクリレート、オクチルアクリレート、イソオクチルアクリレート、2-エチルヘキシルアクリレート、ノニルアクリレート、デシルアクリレート、イソデシルアクリレート、ウンデシルアクリレート、ドデシルアクリレート、ラウリルアクリレート、オクタデシルアクリレート、およびステアリルアクリレート、アミノアルキルアクリレート、例えばジメチルアミノエチルアクリレート、ジエチルアミノエチルアクリレート、および 7-アミノ-3,7-ジメチルオクチルアクリレート、アルコキシアルキルアクリレート、例えばブトキシエチルアクリレート、フェノキシエチルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. の SR339)、およびエトキシエトキシエチルアクリレート、単環式および多環式芳香族または非芳香族アクリレート、例えばシクロヘキシルアクリレート、ベンジルアクリレート、ジシクロペンタエジンアクリレート、ジシクロペンタニルアクリレート、トリシクロデカニルアクリレート、ボミルアクリレート、イソボルニルアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. の SR423)、テトラヒドロフィウルフリル(furfuryl)アクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. の SR285)、カプロラクトンアクリレート(例えば、Sartomer Company, Inc. の SR495)、およびアクリロイルモルホリン、アルコール系アクリレート、例えばポリエチレングリコールモノアクリレート、ポリプロピレングリコールモノアクリレート、メトキシエチレングリコールアクリレート、メトキシポリプロピレングリコールアクリレート、メトキシポリエチレングリコールアクリレート、エトキシジエチレングリコールアクリレート、および様々なアルコキシル化アルキルフェノールアクリレート、例えばエトキシ化(4)ノニルフェノールアクリレート(例えば、IGM Resins の Photomer 4066)、アクリルアミド、例えばジアセトンアクリルアミド、イソブトキシメチルアクリルアミド、N,N'-ジメチル-アミノプロピルアクリルアミド、N,N'-ジメチルアクリルアミド、N,N'-ジエチルアクリルアミド、および t-オクチルアクリルアミド、ビニル化合物、例えば N-ビニルピロリドンおよび N-ビニルカプロラクタム、および酸エステル、例えばマレイン酸エステルおよびフマル酸エステルなどが含まれる。上に長鎖および短鎖アルキルアクリレートに関して、短鎖アルキルアクリレートは 6 個以下の炭素を有するアルキル基であり、長鎖アルキルアクリレートは 7 個以上の炭素を有するアルキル基である。

20

30

40

【0095】

多くの適したモノマーは市販されているかまたは本技術分野で公知の反応スキームを使用して容易に合成される。例えば、上に記載された一官能性モノマーの大部分は、適切なアルコールまたはアミドとアクリル酸または塩化アクリロイルとを反応させることによっ

50

て合成され得る。

【0096】

代表的な多官能性エチレン性不飽和モノマーには、限定しないが、アルコキシル化ビスフェノールAジアクリレート、例えばアルコキシル化度が2以上であるエトキシ化ビスフェノールAジアクリレートなどが含まれる。第2組成物のモノマー成分は、2～約30の範囲のエトキシ化度を有するエトキシ化ビスフェノールAジアクリレート（例えばSartomer Company, Inc. West Chester, Pa. から入手可能なSR349およびSR601およびIGM Resinsから入手可能なPhotomer 4025およびPhotomer 4028）、またはプロポキシル化度が2以上、例えば、2～約30の範囲であるプロポキシル化ビスフェノールAジアクリレート、アルコキシル化を有するおよび有さないメチロールプロパンポリアクリレート、例えばエトキシ化度が3以上、例えば、3～約30の範囲であるエトキシ化トリメチロールプロパンポリアクリレート（例えば、IGM ResinsのPhotomer 4149、およびSartomer Company, Inc. のSR499）、プロポキシル化度が3以上、例えば、3～30の範囲であるプロポキシル化 - トリメチロールプロパンポリアクリレート（例えば、IGM ResinsのPhotomer 4072およびSartomerのSR492）、ジトリメチロールプロパンテトラアクリレート（例えば、IGM ResinsのPhotomer 4355）、アルコキシル化グリセリルトリアクリレート、例えばプロポキシル化度が3以上であるプロポキシル化グリセリルトリアクリレート（例えば、IGM ResinsのPhotomer 4096およびSartomerのSR9020）、アルコキシル化を有するおよび有さないエリトリールポリアクリレート、例えばペンタエリトリールテトラアクリレート（例えば、Sartomer Company, Inc. (West Chester, Pa.) から入手可能なSR295）、エトキシ化ペンタエリトリールテトラアクリレート（例えば、Sartomer Company, Inc. のSR494）、およびジペンタエリトリールペンタアクリレート（例えば、IGM ResinsのPhotomer 4399、およびSartomer Company, Inc. のSR399）、適切な官能性イソシアヌレートとアクリル酸または塩化アクリロイルとを反応させることによって形成されたイソシアヌレートポリアクリレート、例えばトリス - (2 - ヒドロキシエチル) イソシアヌレートトリアクリレート（例えば、Sartomer Company, Inc. のSR368）およびトリス - (2 - ヒドロキシエチル) イソシアヌレートジアクリレート、アルコキシル化を有するおよび有さないアルコールポリアクリレート、例えばトリシクロデカンジメタノールジアクリレート（例えば、CD406、Sartomer Company, Inc. ）およびエトキシ化度が2以上、例えば、約2～30の範囲であるエトキシ化ポリエチレングリコールジアクリレート、アクリレートをビスフェノールAジグリシジルエーテル等に添加することによって形成されたエポキシアクリレート（例えば、IGM ResinsのPhotomer 3016）、および単環式および多環式芳香族または非芳香族ポリアクリレート、例えばジシクロペンタエジンジアクリレートおよびジシクロペンタンジアクリレートを含有してもよい。

【0097】

重合性部分として機能することに加えて、一官能性モノマーはまた、他の目的のために硬化性第2組成物中に含有されてもよい。一官能性モノマー成分は、例えば、硬化生成物が水を吸収し、他のコーティングの材料に付着するかまたは応力下で挙動する度合に影響を与える場合がある。

【0098】

第2組成物は、オリゴマー成分を含有してもしなくてもよい。上述したように、存在している場合、オリゴマーは、第2組成物中に少量成分として存在している。1つ以上のオリゴマーが第2組成物中に存在していてもよい。第2組成物中に含有されてもよいオリゴマーの1つの種類は、エチレン性不飽和オリゴマーである。使用されるとき、適したオリゴマーは、一官能性オリゴマー、多官能性オリゴマー、または一官能性オリゴマーと多官

10

20

30

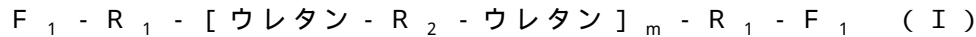
40

50

能性オリゴマーとの組合せであってもよい。存在している場合、第2組成物のオリゴマー成分は、脂肪族および芳香族ウレタン(メタ)アクリレートオリゴマー、尿素、ウレア(メタ)アクリレートオリゴマー、ポリエステルおよびポリエーテル(メタ)アクリレートオリゴマー、アクリル化アクリルオリゴマー、ポリブタジエン(メタ)アクリレートオリゴマー、ポリカーボネート(メタ)アクリレートオリゴマー、およびメラミン(メタ)アクリレートオリゴマーまたはそれらの組合せを含有してもよい。第2組成物は、ウレタン基、ウレタンアクリレート化合物、ウレタンオリゴマー、またはウレタンアクリレートオリゴマーを含有しなくてもよい。

【0099】

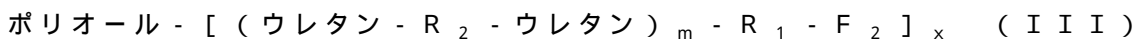
第2組成物のオリゴマー成分は、二官能性オリゴマーを含有してもよい。二官能性オリゴマーは、以下の式(I)の構造：



[式中、 F_1 が独立に、アクリレート、メタクリレート、アクリルアミド、N-ビニルアミド、スチレン、ビニルエーテル、ビニルエステル、または本技術分野で公知の他の官能基などの反応性官能基であってもよく、 R_1 が、独立に、 $-C_{2-12}O-$ 、 $-(C_{2-4}-O)_n-$ 、 $-C_{2-12}O-(C_{2-4}-O)_n-$ 、 $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}O)_n-$ 、または $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}NH)_n-$ (n が、1~30の整数、例えば、1~10である)を含有してもよく、 R_2 がポリエーテル、ポリエステル、ポリカーボネート、ポリアミド、ポリウレタン、ポリ尿素、またはそれらの組合せであってもよく、 m が1~10の整数、例えば、1~5である]を有してもよい。式(I)の構造において、ウレタン部分は、イソシアネートと R_2 および/または R_1 との反応から形成された残基であってもよい。用語「独立に」は本明細書において、各々の F_1 が別の F_1 と異なり、同じことが各々の R_1 について言えることを示すために使用される。

【0100】

硬化性第2組成物のオリゴマー成分は、多官能性オリゴマーを含有してもよい。多官能性オリゴマーは、以下に示される式(II)、式(III)、または式(IV)の構造：



[式中、 F_2 が独立に、アクリレート、メタクリレート、アクリルアミド、N-ビニルアミド、スチレン、ビニルエーテル、ビニルエステル、または本技術分野で公知の他の官能基などの1~3個の官能基を表わしてもよく、 R_1 が $-C_{2-12}O-$ 、 $-(C_{2-4}-O)_n-$ 、 $-C_{2-12}O-(C_{2-4}-O)_n-$ 、 $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}O)_n-$ 、または $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}NH)_n-$ (n が1~10の整数、例えば、1~5である)を含有することができ、 R_2 がポリエーテル、ポリエステル、ポリカーボネート、ポリアミド、ポリウレタン、ポリ尿素またはそれらの組合せであってもよく、 x が1~10の整数、例えば、2~5であり、 m が1~10の整数、例えば、1~5である]を有してもよい。式(II)の構造において、複数のウレタン基は、多イソシアネートと R_2 との反応から形成される残基であってもよい。同様に、式(III)の構造中のウレタン基は、 R_2 および/または R_1 へのジイソシアネートの結合後に形成される反応生成物であってもよい。

【0101】

ウレタンオリゴマーは、脂肪族または芳香族ジイソシアネートを二価ポリエーテルまたはポリエステル、最も典型的にはポリエチレングリコールなどのポリオキシアルキレングリコールと反応させることによって調製されてもよい。耐湿オリゴマーは同様の方法で合成されてもよいが、ただし、主に飽和したおよび主に無極性の脂肪族ジオールを優先して極性ポリエーテルまたはポリエステルグリコールは避けられる。これらのジオールには、エーテルまたはエステル基を実質的に含有しなくてもよい約2~250個の炭素原子のアルカンまたはアルキレンジオールを含めてもよい。

【0102】

10

20

30

40

50

例えば、合成の間にジアミンまたはポリアミンをジオールまたはポリオールの代わりに用いることによってポリ尿素の元素が、これらの方法によって調製されたオリゴマーに導入されてもよい。合成において使用されるジアミンまたはポリアミンが十分に無極性であり飽和していて、システムの耐湿性を損なわないようにするなら、第2コーティング組成物中に小さい比率のポリ尿素が存在することは、コーティング性能に有害ではないと考えられる。

【0103】

また、第2コーティング組成物は、ガラスファイバまたは第1層または他の層で予めコートされたガラスファイバにそれを適用した後に第2組成物の重合（硬化）を促進する重合開始剤を含有してもよい。この組成物中で使用するために適した重合開始剤には、熱開始剤、化学開始剤、電子線開始剤、マイクロ波開始剤、化学線開始剤、および光開始剤などを含めてもよい。多くのアクリレート系コーティング調合物については、光開始剤、例えば公知のケトン光開始剤および/またはホスフィンオキシド添加剤を用いてもよい。組成物中で使用されるとき、光開始剤は、急速な紫外線硬化をもたらすために十分な量で存在していてもよい。光開始剤は、約0.5重量%～約10重量%、または約1.5重量%～約7.5重量%の範囲の量、または約3重量%の量で存在していてもよい。

10

【0104】

光開始剤の量は、放射線硬化を促進して、コーティング組成物の早期ゲル化を引き起こさずに適度な硬化速度をもたらすように調節される。望ましい硬化速度は、約90%超、または95%超のコーティング組成物の硬化を引き起こすために十分な速度であってもよい。用量対弾性率の曲線で測定されるとき、約25～35 μm のコーティング厚の硬化速度は、例えば、1.0 J/cm²未満または0.5 J/cm²未満である場合がある。

20

【0105】

適した光開始剤には、限定しないが、2, 4, 6-トリメチルベンゾイル-ジフェニルホスフィンオキシド（例えばLucirin TPO）、1-ヒドロキシシクロヘキシルフェニルケトン（例えばBASFから入手可能なIrgacure 184）、（2, 6-ジエトキシベンゾイル）-2, 4, 4-トリメチルペンチルホスフィンオキシド（例えば市販のブレンドとしてBASFのIrgacure 1800、1850、および1700）、2, 2-ジメトキシ1-2-フェニルアセトフェノン（例えば、BASFのIrgacure 651）、ビス（2, 4, 6-トリメチルベンゾイル）フェニルホスフィンオキシド（例えば、BASFのIrgacure 819）、（2, 4, 6-トリイェチルベンゾイル）ジフェニルホスフィンオキシド（例えば、市販のブレンドとしてBASFのDarocur 4265）、2-ヒドロキシ-2-メチル-1-フェニルプロパン-1-オン（例えば、市販のブレンドとしてBASFのDarocur 4265）およびそれらの組合せなどが含まれる。

30

【0106】

上述の成分の他に、第2コーティング組成物は任意選択により、添加剤または添加剤の組合せを含有することができる。代表的な添加剤には、限定しないが、酸化防止剤、触媒、潤滑剤、低分子量非架橋性樹脂、接着促進剤、および安定剤などが含まれる。添加剤は、重合プロセスを制御するように機能する場合があります、それによって、組成物から形成される重合生成物の物理的性質（例えば、弾性率、ガラス転移温度）に影響を与える場合がある。添加剤は、組成物の重合生成物の結合性に影響を与える場合がある（例えば、解重合または酸化崩壊に対して保護する）。

40

【0107】

第2組成物は、酸化防止剤としてチオジエチレンビス（3, 5-ジ-tert-ブチル）-4-ヒドロキシヒドロシナマート（例えば、BASFから入手可能なIrganox 1035）を含有してもよい。第2組成物は、アクリル化酸接着促進剤（例えばEbecryl 170（UCB Radcure（Smyrna Ga.）から入手可能））を含有してもよい。第2コーティングの材料に使用するための他の適した材料ならびにこれらの材料の選択に関連した問題は本技術分野に公知であり、米国特許第4, 962, 992

50

号明細書および同第5, 104, 433号明細書(その開示内容を参照により本明細書に組み入れる)に記載されている。

【0108】

オリゴマー含有量が低い場合でも、本開示の第2組成物は、高い引張強さおよび高弾性率(ヤング率)を有する第2コーティングの材料をもたらす場合がある。第2コーティングは、第1コーティングよりも高い弾性率および高いガラス転移温度を有してもよい。本明細書中で用いられるとき、第2コーティングの *in situ* 弾性率は、ここで説明される技術によって測定される弾性率である。

【0109】

第2 *In Situ* 弾性率

第2 *in situ* 弾性率は、ファイバのチューブ分離試料を使用して測定される。ファイバのチューブ分離試料を得るために、最初に、0.0055インチ(0.0139cm)のミラーストリッパー(Miller stripper)が、コートされたファイバの端部から約1インチ(2.54cm)を固定する。ストリッパーから延びているファイバの1インチ(2.54cm)の領域を液体窒素流に投入し、3秒間保持する。次に、ファイバを液体窒素流から取り出し、急速に被覆除去する。次に、ファイバの被覆除去された端部を検査してコーティングが除去されることを確実にする。コーティングがガラス上に残っている場合、試料を再び調製する。結果として第1および第2コーティングの中空チューブが得られる。被覆除去されていないファイバの端面からガラス、第1コーティングおよび第2コーティングの直径を測定する。

10

20

【0110】

第2 *in situ* 弾性率を測定するために、ファイバのチューブ分離試料を11mmの試料ゲージ長さでRheometrics DMTA IV計測器などの計測器を使用して試験した。試料の幅、厚さ、および長さを定量し、計測器のオペレーティングソフトウェアに入力情報として提供した。試料を載せ、以下のパラメータを使用して周囲温度(21)でタイムスイーププログラムを使用して試験した：

周波数：1 Rad / 秒

歪み：0.3%

合計時間 = 120秒

時間 / 測定 = 1秒

初期静的力 = 15.0 [g]

静的力 > 動的力 = 10.0 [%] 差

30

【0111】

終了すると、最後の5つのE' (貯蔵弾性率)のデータポイントを平均する。各々の試料を3回試験して(各々の試験に対して新しい試料を使用)合計15のデータポイントを得る。3回の試験の平均値を第2 *in situ* 弾性率として記録する。

【0112】

硬化されたロッドの形態で作製されるとき、本開示の第2組成物の重合生成物の引張強さは、少なくとも50MPaである場合がある。硬化されたコーティングロッド上で室温(約21)において測定されるとき、第2組成物の硬化生成物の弾性率は、約1400MPa ~ 約2200MPaの範囲、または約1700MPa ~ 約2100MPaの範囲、または約1600MPa ~ 約3000MPaの範囲である場合がある。第2コーティングの *in situ* 弾性率は、1200MPa以上、または1500MPa以上、または1800MPa以上、または2100MPa以上、または2400MPa以上、または2700MPa以上である場合がある。

40

【0113】

ヤング率、引張強さおよび破断点伸び%

コーティング組成物は、引張試験のためにロッド試料の形態で調製される。ロッドは、硬化性組成物を約0.025インチ(0.0635cm)の内径を有するテフロン(登録商標)管材料に注入することによって調製される。ロッド試料は、約2.4 J / cm² の

50

線量 (International Light の Light Bug model IL390 によって 225 ~ 424 nm の波長範囲にわたって測定された) でフュージョン D 電球を使用して硬化される。硬化後に、テフロン (登録商標) 管材料を被覆除去して、コーティング組成物のロッド試料を提供する。硬化されたロッドを一晩 23 および 50 % の相対湿度で状態調節させる。ヤング率、引張強さ、および破断点伸び % などの性質が、51 mm のゲージ長さ、250 mm / 分の試験速度で欠陥のないロッド試料上で引張試験計測器 (例えば、Sintech MTS 引張試験機、または Instron Universal Material Test System) を使用して測定される。性質は少なくとも 5 つの試料の平均として定量され、不良試料は平均から除外される。

【0114】

高弾性率第 2 コーティングは機械的損傷に対してファイバをより良く保護し、より良いマイクロバンド性能を提供する場合がある。しかしながら、延伸塔での高弾性率第 2 コーティングの高速加工は、ファイバ性能を最終的に損なう第 2 コーティングのフラットスポットおよび風による点欠陥 (WIPD) などの欠陥を延伸プロセスが生じさせる傾向が大きくなるため、課題になる場合がある。

【0115】

オリゴマーを含有しないコーティング、ウレタンオリゴマーを含有しないコーティングおよびウレタン - アクリレートオリゴマーを含有しないコーティングを開発する間に、他の成分を変更せずに調合物からオリゴマーを除くことによって、2000 MPa 超の弾性率を有する第 2 コーティングをもたらす場合があることが見出された。このような第 2 コーティングは、延伸塔内で高速で加工することが難しい場合がある。したがって、官能基の間に長い柔軟な (例えばエトキシ化) 鎖を有するモノマーを含有する第 2 組成物を調合することによってオリゴマーを除く効果を補償することが望ましい場合がある。長い柔軟な鎖は架橋の間の距離を増加させる場合があり、架橋結合密度を減少させる場合があり、最終的に、硬化した第 2 コーティングの弾性率を低下させる場合がある。このようなモノマーの予想される欠点は、それらが低めのガラス転移温度 (T_g) を有することがあり、硬化した第 2 コーティングの T_g を低下させる傾向があることである。低い T_g を有する第 2 コーティングは、低い T_g が、適用時に軟質すぎる材料をもたらす場合があり、高速で加工する間に欠陥を招く場合があるため、望ましくない場合がある。より高めの T_g の第 2 コーティングは室温においてより硬質である場合があり、光ファイバにより良い機械的保護を提供する場合がある。しかしながら、 T_g が非常に高い場合、コーティングが非常に剛性であるため加工する間にファイバにより欠陥を生じやすくする場合がある。

【0116】

本開示の第 2 コーティングは、高速延伸塔内で欠陥を生じずにファイバを加工することを可能にしながら光ファイバに十分な機械的保護および曲がりに影響されにくさをもたらす適度な T_g を有する第 2 コーティングを達成するように設計されてもよい。ここで説明される技術を使用して T_g を測定することができる。

【0117】

コーティング組成物から形成された硬化フィルム (第 1 コーティング) またはロッド (第 2 コーティング) の形態の試料を使用してガラス転移温度を測定する。ガラス転移温度は、張力として Rheometrics DMTA IV などの計測器が得られた $\tan \delta$ 曲線のピークを決定することによって測定される。試料の幅、厚さ、および長さをプログラムの「試料の形状寸法」セクションに入力する。試料を載せ、次に、約 -85 に冷却する。安定したら、以下のパラメータを使用して温度傾斜を実施する：

周波数：1 Hz

歪み：0.3 %

加熱速度：2 / 分

最終温度：150

初期静的力 = 20.0 [g]

静的力 > 動的力 = 10.0 [%] 差

【0118】

T_g は、 $\tan \delta$ ピークの最大値として定義され、そこで $\tan \delta$ ピークは、
 $\tan \delta = E'' / E'$
 として定義され、

上式中、 E'' が損失弾性率であり、それは変形のサイクルにおいて熱としてのエネルギー損失に比例し、 E' が貯蔵弾性率または弾性率であり、それは変形のサイクルにおいて貯蔵されるエネルギーに比例する。

【0119】

第2コーティング組成物の硬化生成物から作製された硬化ロッドの T_g は、少なくとも約50℃であってもよい。第2コーティングのガラス転移温度は、少なくとも50℃、または少なくとも55℃、または少なくとも60℃、または55℃～65℃であってもよい。

10

【0120】

第2組成物はオリゴマー成分、ウレタンオリゴマー成分、またはウレタン-アクリレートオリゴマー成分を含有しなくてもよく、モノマー成分は、エトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、エトキシ化(30)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、およびエポキシジアクリレートモノマーを含有してもよい。エトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約50重量%～約90重量%、または約60重量%～約80重量%、またはおおよそ約70重量%～約75重量%の範囲の量で存在しているてもよい。エトキシ化(30)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約5重量%～約20重量%、または約7重量%～約15重量%、または約8重量%～約12重量%の範囲の量で存在しているてもよい。エポキシジアクリレートモノマーは、約5重量%～約25重量%、または約10重量%～約20重量%、または約12重量%～約18重量%の範囲の量で存在しているてもよい。

20

【0121】

第2組成物はオリゴマー成分、ウレタンオリゴマー成分、またはウレタン-アクリレートオリゴマー成分を含有しなくてもよく、モノマー成分はエトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、エトキシ化(10)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、およびエポキシジアクリレートモノマーを含有してもよい。エトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約30重量%～約80重量%、または約40重量%～約70重量%、または約50重量%～約60重量%の範囲の量で存在しているてもよい。エトキシ化(10)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約10重量%～約50重量%、または約20重量%～約40重量%、または約25重量%～約35重量%の範囲の量で存在しているてもよい。エポキシジアクリレートモノマーは、約5重量%～約25重量%、または約10重量%～約20重量%、または約12重量%～約18重量%の範囲の量で存在しているてもよい。

30

【0122】

第2組成物はオリゴマー成分、ウレタンオリゴマー成分、またはウレタン-アクリレートオリゴマー成分を含有しなくてもよく、モノマー成分は、エトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、エトキシ化(10)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、エトキシ化(30)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、およびエポキシジアクリレートモノマーを含有してもよい。エトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約40重量%～約80重量%、または約60重量%～約70重量%の範囲の量で存在しているてもよい。エトキシ化(10)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約1重量%～約30重量%、または約5重量%～約10重量%の範囲の量で存在しているてもよい。エトキシ化(30)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約5重量%～約20重量%の範囲の量、または約10重量%の量で存在しているてもよい。エポキシジアクリレートモノマーは、約5重量%～約25重量%の範囲の量、または約15重量%の量で存在しているてもよい。

40

【0123】

50

第2組成物はオリゴマー成分、ウレタンオリゴマー成分、またはウレタン-アクリレートオリゴマー成分を含有しなくてもよく、モノマー成分は、エトキシ化(10)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、トリプロピレングリコールジアクリレートモノマー、エトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマー、およびエポキシジアクリレートモノマーを含有してもよい。エトキシ化(10)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約10重量%~約50重量%の範囲の量で存在していてもよい。トリプロピレングリコールジアクリレートモノマーは、約5重量%~約40重量%の量で存在していてもよい。エトキシ化(4)ビスフェノールAジアクリレートモノマーは、約10重量%~約55重量%の量で存在していてもよい。エポキシジアクリレートモノマーは、約15重量%までの量で存在していてもよい。

10

【0124】

第2組成物は、約40重量%~80重量%のエトキシ化(4)ビスフェノールAモノマー、約0重量%~約30重量%のエトキシ化(ethoxylated)(10)ビスフェノールAモノマー、約0重量%~約25重量%のエトキシ化(30)ビスフェノールAモノマー、約5重量%~18重量%のエポキシアクリレート、約0重量%~10重量%のトリシクロデカンジメタノールジアクリレートモノマー、約0.1重量%~40%の1つ以上の光開始剤、約0重量pph~5重量pphのスリップ剤、および0重量pph~約5重量pphの酸化防止剤を含んでもよい。第2組成物は3%以下のオリゴマー、または1%以下のオリゴマーをさらに含んでもよく、またはオリゴマーを含有しなくてもよい。エポキシアクリレートはエポキシアクリレートモノマーであってもよい。エポキシアクリレートはビスフェノールAエポキシジアクリレートであってもよい。エポキシアクリレートは未改質エポキシアクリレートであってもよく、例えば、脂肪酸、アミン、酸、または芳香族官能基で改質されていないエポキシアクリレートであってもよい。このような組成物は、45での粘度が少なくとも約3ポアズである場合があり、硬化されたとき、約1400MPa~約2100MPaのヤング率を示す場合がある。組成物は、少なくとも約55のガラス転移温度を示す場合がある。モノマー成分は、少なくとも10個のアルコキシ基を有するアルコキシ化ビスフェノールAジアクリレートモノマーを含有してもよい。

20

【0125】

第1および第2硬化性組成物は、プレフォームから延伸された後に、コートされたファイバのガラス部分に適用されてもよい。第1および第2組成物は、冷却の直後に適用されてもよい。次に、硬化性組成物を硬化して、コートされた光ファイバを製造してもよい。硬化方法は、使用されているコーティング組成物および重合開始剤の性質に応じて、熱的、化学的、または放射線によるものであってもよく、例えばガラスファイバ上の適用された硬化性組成物を紫外線、化学線、マイクロ波放射線、または電子線に露光することによるものであってもよい。延伸プロセスの後に第1硬化性組成物と第2硬化性組成物との両方を順に適用することが有利である場合がある。移動するガラスファイバに硬化性組成物の二層を適用する方法は、米国特許第4,474,830号明細書および米国特許第4,585,165号明細書(その開示内容をここに参照によって本明細書に組み入れる)に開示されている。あるいは、第1硬化性組成物を適用および硬化して第1コーティング材料を形成してから、第2硬化性組成物を適用および硬化して第2コーティングを形成してもよい。

30

40

【実施例】

【0126】

本開示による様々な典型的なコートされたファイバをここに記載してモデル化し、本明細書に開示される1つ以上の有利な特徴を示す。

【0127】

これらの実施例のためにモデル化されたコートされたファイバは、125 μ mの直径を有するガラスファイバを包含した。ガラスファイバのコアは、4~10 μ mの範囲の半径を有し、シリカをGeO₂で改質してクラッドに対してコアの屈折率を増加させることに

50

よって製造されてもよい。クラッドはコアを囲み、 $62.5\mu\text{m}$ の半径まで延在し、内部クラッド領域と外部クラッド領域をとを備え、内部クラッド領域は、外部クラッドより低い屈折率を有した。外部クラッドに対して内部クラッド領域のより低い屈折率は、内部クラッドにダウンドーパントフッ素をドーブすることによって達成されてもよい。あるいは、内部クラッド領域に対して外部クラッド領域のより高い屈折率は、外部クラッドにアップドーパント、例えば塩素、ゲルマニア (germania)、アルミナ、チタニア、オキシ窒化ケイ素、リン等をドーブすることによって達成されてもよい。典型的な屈折率プロファイルは以下により完全に考察される。

【0128】

第1コーティングのための代表的な硬化性組成物A～Hを以下の表Iに示す。

10

【0129】

【表1】

表I- 実例となる第1コーティング組成物

成分	A	B	C	D	E	F	G	H
Photomer 4066 (重量%)	41.5	0	61.5	41.5	46.5	46.5	45.5	47
Photomer 4960 (重量%)	0	41.5	0	0	0	0	0	0
BR3741 (重量%)	55	55	35	55	50	50	50	50
N-ビニルカプロラクタム (重量%)	2	2	2	2	2	2	2	1.5
TPO (重量%)	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	2.5	1.5
(3-アクリルオキシプロピル)トリメトキシシラン (pph)	1	1	1	1	1	0.8	0.8	0.8
Irganox 1035 (pph)	1	1	1	1	1	1	1	1
ペンタエリトリールメルカプトプロピオネート (pph)	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Uvitex OB (pph)	0.05	0	0	0	0	0	0	0

20

【0130】

Photomer 4066は、IGM Resinsから入手可能なエトキシ化ノニルフェノールアクリレートである。Photomer 4960は、IGM Resinsから入手可能なプロポキシ化ノニルフェノールアクリレートである。BR3741は、Dymax Oligomers and Coatingsから入手可能な脂肪族ポリエーテルウレタンアクリレートオリゴマーである。N-ビニルカプロラクタムは、ISP Technologies, Inc.から入手可能である。TPO((2,4,6-トリメチルベンゾイル)ジフェニルホスフィンオキシド)は、BASFから入手可能な光開始剤である。(3-アクリルオキシプロピル)トリメトキシシランは、Gelestから入手可能な接着促進剤である。IRGANOX 1035((チオジエチレンビス[3-(3,5-ジ-tert-ブチル)-4-ヒドロキシフェニル]プロピオネート))は、BASFから入手可能な酸化防止剤である。ペンタエリトリールメルカプトプロピオネートは、Aldrichから入手可能な接着促進剤安定剤である。UVITEX OB($\text{C}_{26}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$ 、CAS No. 7128-64-5)は、BASFから入手可能な蛍光増白剤である。

30

40

【0131】

第1組成物を調製するために、オリゴマーおよびモノマーは、少なくとも10分間にわたって60℃で一緒にブレンドされてもよい。次に、光開始剤および添加剤を添加してもよく、ブレンドを1時間にわたって続けてもよい。最後に、接着促進剤を添加してもよく、ブレンドを30分間にわたって続けてもよい。次に、得られた溶液をファイバのガラス部分に適用し、紫外線硬化して第1コーティングを形成してもよい。

【0132】

第2コーティングのための代表的な硬化性組成物J～Lを以下の表IIに示す。

50

【 0 1 3 3 】

【 表 2 】

表 II - 実例となる第 2 コーティング組成物

成分	J	K	L
SR601/Photomer4028 (重量%)	72	52	72
CD9038 (重量%)	10	0	10
Photomer3016 (重量%)	15	15	15
SR602 (重量%) 30 重量%	0	30	0
Irgacure 184 (重量%)	1.5	1.5	1.5
TPO (重量%)	1.5	1.5	1.5
DC190 流体スリップ剤 (pph)	0	0	1
Irganox 1035 (pph)	0.5	1	1

10

【 0 1 3 4 】

SR601/Photomer 4028 は、Sartomer または IGM Resins から入手可能なエトキシ化 (4) ビスフェノール A ジアクリレートモノマーである。CD9038 は、Sartomer から入手可能なエトキシ化 (30) ビスフェノール A ジアクリレートモノマーである。Photomer 3016 は、IGM Resins から入手可能なエポキシジアクリレートモノマーである。SR602 は、Sartomer から入手可能なエトキシ化 (10) ビスフェノール A ジアクリレートモノマーである。IRGACURE 184 (1 - ヒドロキシシクロヘキシルフェニルケトン) は、BASF から入手可能な光開始剤である。TPO ((2, 4, 6 - トリメチルベンゾイル) - ジフェニルホスフィンオキシド) は、BASF から入手可能な光開始剤である。DC190 は、Dow Corning から入手可能な流体スリップ剤である。IRGANOX 1035 (チオジエチレンビス (3, 5 - ジ - tert - ブチル) - 4 - ヒドロキシヒドロキシナート) は、BASF から入手可能な酸化防止剤である。

20

【 0 1 3 5 】

第 2 組成物は、市販のブレンディング装置を使用して、記載された成分によって調製されてもよい。モノマー成分を秤量し、加熱されたケトル内に導入し、約 50 ~ 65 の範囲内の温度で一緒にブレンドしてもよい。次いで、均質な混合物が得られるまでブレンディングを続けてもよい。次に、光開始剤を秤量し、ブレンドする間に均質な溶液中に導入してもよい。最後に、残りの成分を秤量し、ブレンドする間に溶液中に導入してもよい。均質な溶液が再び得られるまでブレンディングを続けてもよい。次いで、均質な溶液をファイバの第 1 コーティングまたは第 1 組成物に適用し、紫外線で硬化して第 2 コーティングを形成してもよい。

30

【 0 1 3 6 】

直径 125 μm のコア - クラッドガラス領域と、表 I および II に記載された第 1 および第 2 組成物を硬化することによって達成可能であるコーティングと一致した性質を有する第 1 および第 2 コーティングとを有するコートされたファイバがモデル化された。モデルが基づいているコートされたファイバの特性は、5 つの典型的なコートされたファイバについてここで説明される。典型的なコートされたファイバは、試料番号 1、2、3、4、および 5 で参照される。

40

【 0 1 3 7 】

典型的なコートされたファイバ 1 について、高純度シリカガラスに対して % で表わされる屈折率プロファイルを図 4 に示す。コートされたファイバ 1 は、6 μm の外半径 r_1 を有し、且つ 0.41 % のコアの最大屈折率 $n_{1\text{MAX}}$ を有する、 n_1 - プロファイル ($n_1 = 2$) に基づいた屈折率プロファイル n_1 を有するコアを備えた。シリカの内部クラッドはコアを囲み、30 μm の外半径 r_3 まで延在した。外部クラッドは内部クラッドを囲み、62.5 μm の半径 r_4 まで延在し、約 0.05 % の屈折率 n_4 を有した。

50

【0138】

典型的なコートされたファイバ2について、高純度シリカガラスに対して %で表わされる屈折率プロファイルを図5に示す。コートされたファイバ2は、 $5.73\text{ }\mu\text{m}$ の外半径 r_1 を有し、且つ 0.385% のコアの最大屈折率 $n_{1\text{MAX}}$ を有する、 n_2 -プロファイル($n_2 = 2$)に基づいた屈折率プロファイル n_1 を有するコアを備えた。シリカの第1の内部クラッドはコアを囲み、 $6.88\text{ }\mu\text{m}$ の外半径 r_2 まで延在した。第2の内部クラッドは第1の内部クラッドを囲み、 $17.2\text{ }\mu\text{m}$ の外半径 r_3 まで延在した。第2の内部クラッドは、半径 r_2 で $n_3 = 0\%$ から半径 r_3 で $n_3 = -0.2\%$ への屈折率の線形減少をもたらすフッ素がドーパされた三角溝領域を備えた。シリカの外部クラッドは第2の内部クラッドを囲み、 $62.5\text{ }\mu\text{m}$ の半径 r_4 まで延在した。

10

【0139】

モデル化において、典型的なコートされたファイバ1および2はそれぞれ、 $165\text{ }\mu\text{m}$ の外径を有し、且つ 0.50 MPa 未満の in situ 弾性率を有する第1コーティングと、 $200\text{ }\mu\text{m}$ の外径を有し、且つ 1600 MPa 超の in situ 弾性率を有する第2コーティングを有するものとして処理された。表1および2に記載された第1および第2コーティング組成物は、これらの特性を有する硬化された第1および第2コーティングをもたらすことが予想される。

【0140】

典型的なコートされたファイバ1および2のモデル化された特性が表IIIに示される。モデル化された性能データには、カットオフ波長(LP_{11} モードおよびケーブル)、(1310 nm および 1550 nm での)モードフィールド直径、ゼロ分散波長、 1310 nm および 1550 nm での分散および分散スロープ、 1550 nm でのマクロバンド損失(10 mm 、 20 mm 、および 30 mm の直径を有するマンドレルを使用するマンドレルラップ試験に基づいている)、および 1550 nm でのマイクロバンド損失(ピンアレイおよび横荷重試験に基づいている)が含まれた。モデル化されたデータは、典型的なコートされたファイバ1および2が、(1)標準シングルモードファイバへの効率的な接合および接続に適合したモードフィールド直径および(2)低い曲げ損失を示す直径が小さいファイバであることを示す。

20

【0141】

【表 3】

表 III - ファイバの性能データ

パラメーター	コートされた ファイバ 1	コートされた ファイバ 2
1310 nm MFD (μm)	9.2	9.2
1550 nm MFD (μm)	10.51	10.43
ゼロ分散波長 (nm)	1319	1320
1310 nm での分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)	-0.801	-0.909
1310 nm での分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.089	0.0909
1550 nm での分散 ($\text{ps}/\text{nm}/\text{km}$)	17.27	17.65
1550 nm での分散スロープ ($\text{ps}/\text{nm}^2/\text{km}$)	0.06	0.0626
ケーブルカットオフ (22 メートル) (nm)	1209	1229
1550 nm での曲げ損失 - 直径 10 mm のマンドレル (dB/回転)	1.13	1.52
1550 nm での曲げ損失 - 直径 15 mm のマンドレル (dB/回転)	0.279	0.337
1550 nm での曲げ損失 - 直径 20 mm のマンドレル (dB/回転)	0.068	0.074
1550 nm での曲げ損失 - 直径 30 mm のマンドレル (dB/回転)	0.006	0.003
1550 nm での曲げ損失 - ピン・アレイ (dB)	21.73	9.89
1550 nm での曲げ損失 - 横荷重 (dB)	0.229	0.223

10

20

【0142】

典型的なコートされたファイバ 3 について、高純度シリカガラスに対して % で表わされる屈折率プロファイルを図 6 に示す。コートされたファイバ 3、4、および 5 の各々の屈折率プロファイルは、プロファイル形状において似ており、プロファイルは表 4 に記載されている。典型的なコートされたファイバ 3、4、および 5 の各々は、約 $4.5 \mu\text{m}$ の外半径 r_1 まで延在する高屈折率コア、半径 r_1 と約 $7 \mu\text{m}$ の外半径 r_2 との間に延在する第 1 の内部クラッド領域、半径 r_2 と約 $18 \mu\text{m}$ の外半径 r_3 との間の第 2 の内部クラッド領域、および半径 r_3 と $62.5 \mu\text{m}$ の外半径 r_4 との間に延在する外部クラッド領域を備えた。第 2 の内部クラッド領域の屈折率は、図示のように半径方向位置の増加によって連続的に減少し、典型的なコートされたファイバ 3、4、および 5 の屈折率プロファイルの三角溝を形成する。

30

【0143】

モデル化において、典型的なコートされたファイバ 3、4、および 5 はそれぞれ、 $165 \mu\text{m}$ の外径を有し、且つ 0.5 MPa 未満の in situ 弾性率を有する第 1 コーティングと、 $200 \mu\text{m}$ の外径を有し、且つ 1600 MPa 超の in situ 弾性率を有する第 2 コーティングを有するものとして処理された。表 1 および 2 に記載された第 1 および第 2 コーティング組成物は、これらの特性を有する硬化された第 1 および第 2 コーティングをもたらすことが予想される。

40

【0144】

典型的なコートされたファイバ 3、4、および 5 のモデル化された特性が表 IV に示される。表 IV は、コア領域（領域 1）、第 1 の内部クラッド領域（領域 2）、第 2 の内部クラッド領域（領域 3）、および外部クラッド領域（領域 4）の屈折率および半径方向位置の数値を記載する。モデル化された性能データには、カットオフ波長（コアおよびケーブル）、モードフィールド直径（ 1310 nm でのコアおよびファイバの両方について）、ゼロ分散波長、コア MAC 数（ 1310 nm でのモードフィールド直径の、ケーブルカットオフ波長に対する比）、および 1550 nm でのマクロバンド損失（ 10 mm 、 20 mm 、および 30 mm の直径を有するマンドレルを使用するマンドレルラップ試験に基づ

50

いている)が含まれた。

【0145】

典型的なコートされたファイバ3、4、および5の各々が、9 μm 超の1310 nmでのMFD、直径10 mmのマンドレルについて0.35 dB/回転未満、直径15 mmのマンドレルについて0.09 dB/回転未満、20 mmのマンドレルについて0.025 dB/回転未満および直径30 mmのマンドレルについて0.004 dB/回転未満の1550 nmの波長でのマクロバンド損失を示したことをこのモデルは示す。典型的なコートされたファイバ3、4、および5の各々は、1260 nm未満のケーブルカットオフおよび1.3 μm ~1.324 μm のゼロ分散波長を示した。モデル化の結果は、典型的なコートされたファイバ3、4、および5が、(1)標準シングルモードファイバへの効率的な接合および接続に適合したモードフィールド直径と(2)低い曲げ損失の両方を示す直径が小さいファイバであることを示す。

【0146】

【表4】

表 IV- ファイバの性能データ

パラメーター	コートされた ファイバ 3	コートされた ファイバ 4	コートされた ファイバ 5
Δ_1 ,最大値 (%)	0.345	0.34	0.335
r_1 (μm)	4.55	4.58	4.6
Δ_2 (%)	0	0	0
r_2 (μm)	7.17	7.2	7.25
Δ_3 ,最小値 (%)	-0.435	-0.435	-0.435
r_3 (μm)	17.7	17.8	17.9
Δ_4 (%)	0	0	0
モート体積 (% μm^2)	62.93	63.65	64.36
1310 nm での MFD (μm)	9.12	9.18	9.24
ゼロ分散波長 (μm)	1.321	1.321	1.32
ケーブルカットオフ (22 メートル) (nm)	1226	1226	1226
1550 nm での曲げ損失 - 直径 10 mm のマンドレル (dB/回転)	0.27	0.276	0.31
1550 nm での曲げ損失 - 直径 15 mm のマンドレル (dB/回転)	0.07	0.074	0.08
1550 nm での曲げ損失 - 直径 20 mm のマンドレル (dB/回転)	0.017	0.019	0.02
1550 nm での曲げ損失 - 直径 30 mm のマンドレル (dB/回転)	0.003	0.003	0.0037

【0147】

特にことわらない限り、本明細書に示されるいずれの方法も、その工程が特定の順序で実施されることを必要とすると解釈されないものとする。したがって、方法のクレームがその工程が続く順序を実際に記載しないかまたは工程が特定の順序に限定されなければならないことがクレームまたは説明において特に具体的に記載されない場合、いかなる特定の順序も意味しないものとする。

【0148】

本明細書の典型的な実施形態の趣旨または範囲から逸脱することなく、様々な改良形態および変型形態が実施できることは当業者には明らかであろう。説明の趣旨および本質を組み込む開示された実施形態の改良形態の組合せ、部分的組合せおよび変型形態は当業者に想到され得るため、説明は、添付された特許請求の範囲内の全ておよびそれらの均等物を包含すると解釈されるべきである。

【 図 1 】

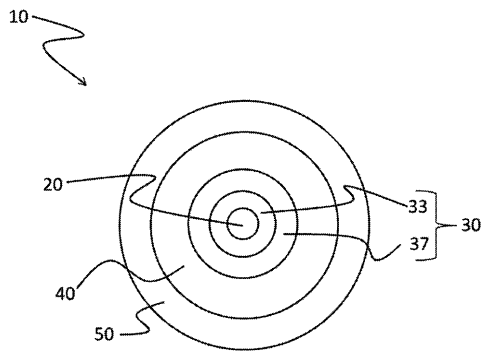


Figure 1

【 図 2 】

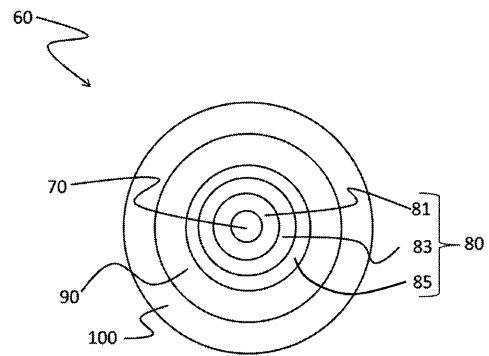
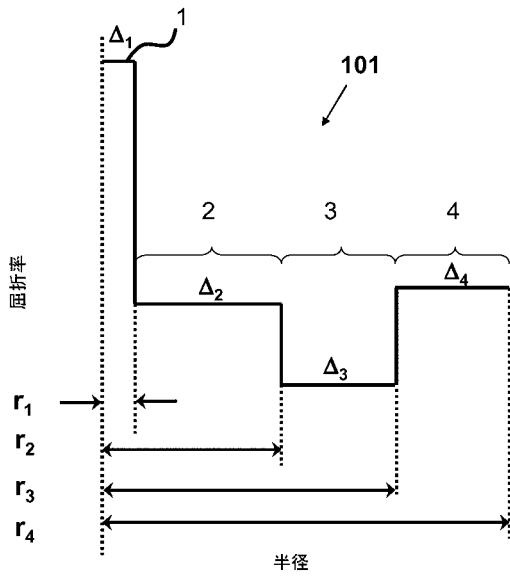
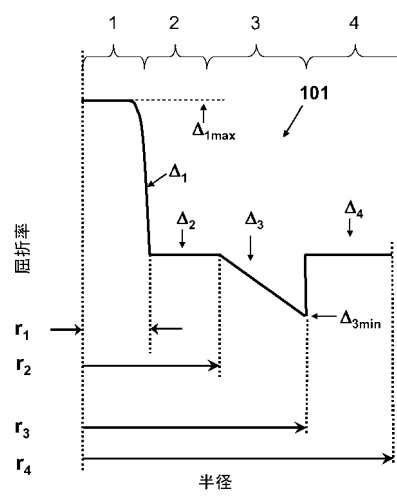


Figure 2

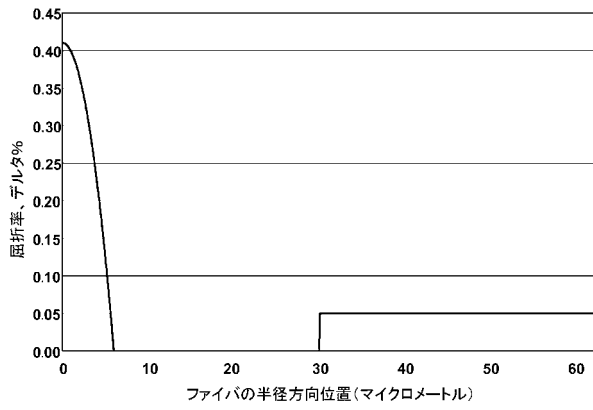
【 図 3 A 】



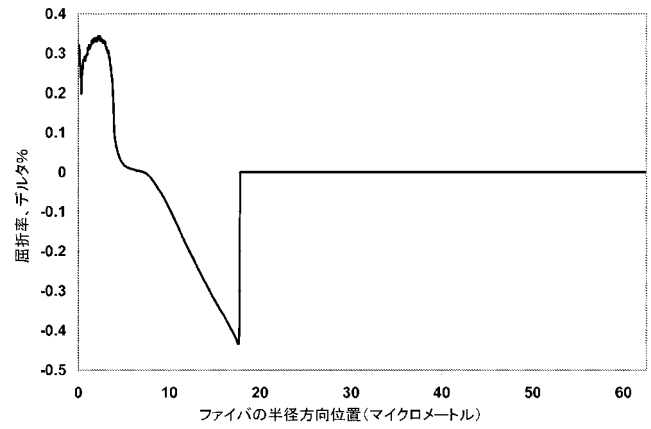
【 図 3 B 】



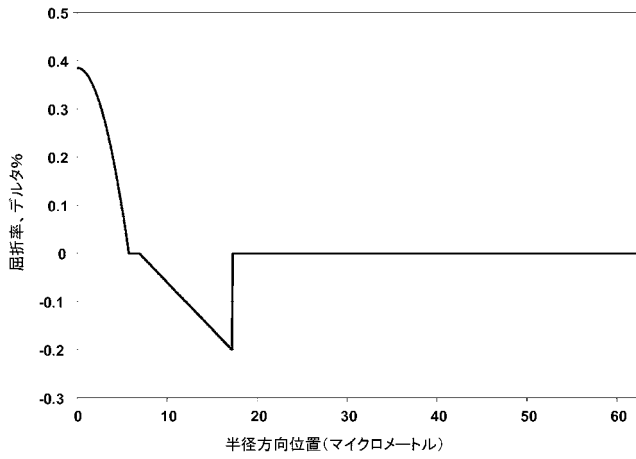
【図 4】



【図 6】



【図 5】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2014/033280

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G02B6/02 G02B6/036 ADD. C08F222/10		
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) G02B C08F		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 608 832 A (PFANDL WALTER [DE] ET AL) 4 March 1997 (1997-03-04) column 5, line 53 - line 63 column 7, line 3 - line 32 column 8, line 53 - column 9, line 64; table 1	1,9-12, 20,23-25
X	----- US 2012/189258 A1 (OVERTON BOB J [US] ET AL) 26 July 2012 (2012-07-26) abstract paragraphs [0002], [0007], [0051], [0052], [0054], [0064], [0111], [0117] - [0119] paragraph [0154]; table 4 paragraphs [0166] - [0182]; figure 18 paragraphs [0249], [0257] - [0357]; figure 24 ----- -/--	1-25
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents : "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "Z" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search		Date of mailing of the international search report
16 July 2014		25/07/2014
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer
		Cohen, Adam

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2014/033280

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2004/013382 A1 (VAN EEKELEN JAN [NL] ET AL) 22 January 2004 (2004-01-22) abstract paragraphs [0024] - [0032] -----	1,16
A	US 2006/076534 A1 (SZUM DAVID M [NL] ET AL) 13 April 2006 (2006-04-13) paragraphs [0002] - [0004], [0033] - [0039], [0047], [0051] - [0055] -----	20-22

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2014/033280

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5608832	A	04-03-1997	DE 4312121 A1	20-10-1994
			DE 4404441 A1	17-08-1995
			US 5608832 A	04-03-1997

US 2012189258	A1	26-07-2012	CN 102099711 A	15-06-2011
			DK 2206001 T3	07-07-2014
			EP 2206001 A1	14-07-2010
			US 2009175583 A1	09-07-2009
			US 2010290781 A1	18-11-2010
			US 2012189258 A1	26-07-2012
			WO 2009062131 A1	14-05-2009

US 2004013382	A1	22-01-2004	AU 2003224510 A1	10-11-2003
			CN 1646444 A	27-07-2005
			CN 1951852 A	25-04-2007
			EP 1497239 A2	19-01-2005
			JP 4922549 B2	25-04-2012
			JP 2005524094 A	11-08-2005
			KR 20050003381 A	10-01-2005
			US 2004013382 A1	22-01-2004
			US 2004022511 A1	05-02-2004
			US 2006024010 A1	02-02-2006
			WO 03091178 A2	06-11-2003

US 2006076534	A1	13-04-2006	AT 277979 T	15-10-2004
			AU 4287901 A	03-10-2001
			CN 1430654 A	16-07-2003
			DE 60105992 D1	04-11-2004
			DE 60105992 T2	06-10-2005
			DK 1268679 T3	31-01-2005
			EP 1268679 A2	02-01-2003
			US 2005161634 A1	28-07-2005
			US 2006076534 A1	13-04-2006
			WO 0170642 A2	27-09-2001

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(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), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ドーズ, スティーヴン ブルース
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング イースト フォース ストリート
4
(72)発明者 コーズミナ, インナ イゴレブナ
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング パインウッド サークル 2 7 8 0
(72)発明者 リ, ミン - ジュン
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 4 5 ホースヘッズ アンブローズ ドライヴ 1 0
(72)発明者 オカンボ, マニエラ
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 3 0 コーニング パール ストリート 1 9 8
(72)発明者 タンドン, プシュカー
アメリカ合衆国 ニューヨーク州 1 4 8 7 0 ペインテッド ポスト ディアー クレスト ド
ライヴ 3 4 0 5

F ターム(参考) 2H150 AB04 AB08 AB09 AB15 AB16 AD04 AD12 AD16 AD20 AD25
AD32 AE02 AE28 AH47 AH50 BB07 BB14 BB17 BB18 BB19
BC02 BD07 BD16 BD17 BD18