



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G02B 6/02009 (2006.01); G02B 6/02014 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2015148770, 08.04.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.04.2014

Дата регистрации:
04.06.2018

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
15.04.2013 US 13/862,755

(43) Дата публикации заявки: 19.05.2017 Бюл. № 14

(45) Опубликовано: 04.06.2018 Бюл. № 16

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 16.11.2015

(86) Заявка РСТ:
US 2014/033280 (08.04.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/172143 (23.10.2014)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

БУКБИНДЕР Дана Крейг (US),
ДОЗ Стивен Брюс (US),
КУЗЬМИНА Инна Игоревна (US),
ЛИ Мин-Цзюнь (US),
ОКАМПО Мануэла (US),
ТАНДОН Пушкар (US)

(73) Патентообладатель(и):

КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

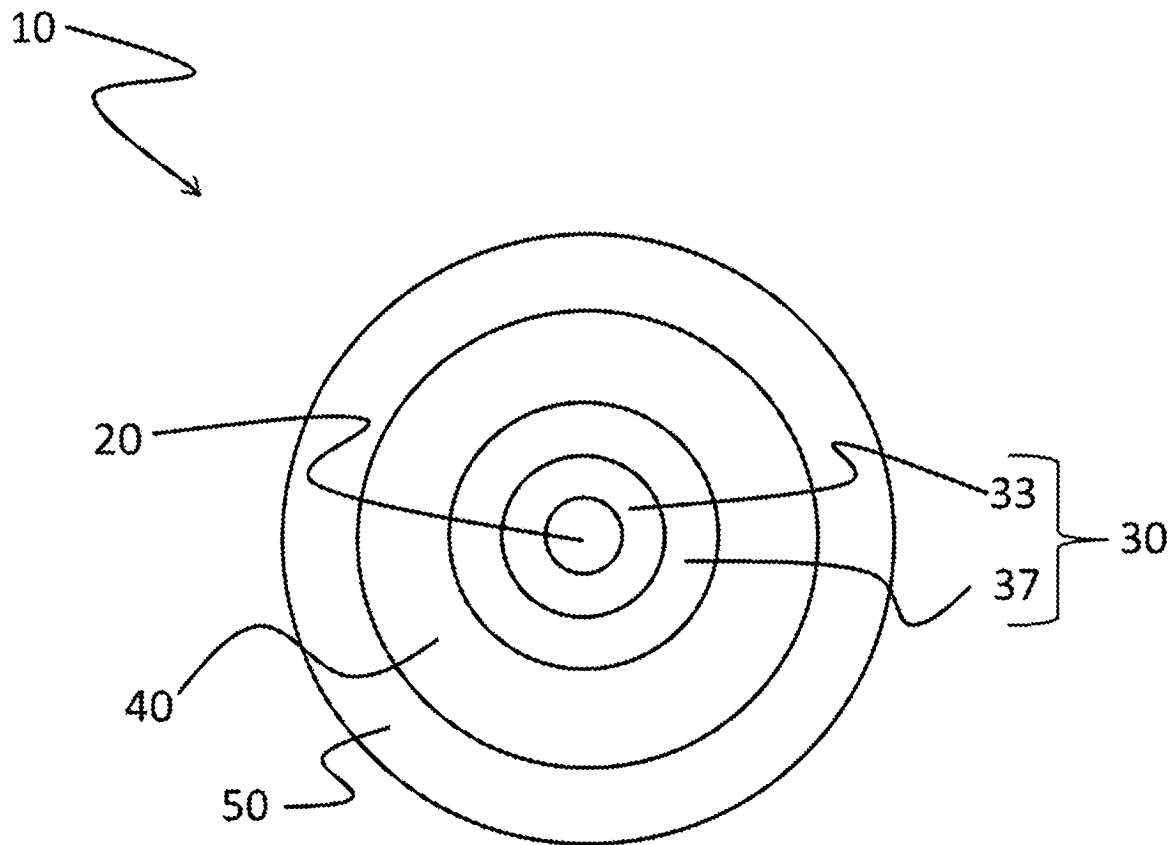
(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 2010020139 A1, 25.02.2010. US
7151879 B2, 19.12.2006. US 20050098342 A1,
12.05.2005. US 4474830 A1, 02.10.1984.

(54) ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО МАЛОГО ДИАМЕТРА

(57) Реферат:

Изобретение относится к оптическим волокнам. Оптическое волокно содержит сердцевину, при этом упомянутая сердцевина имеет внешний радиус r_1 , оболочку, окружающую упомянутую сердцевину, причем упомянутая оболочка имеет внешний радиус r_4 ; первичное покрытие, окружающее упомянутую оболочку, причем упомянутое первичное покрытие имеет внешний радиус r_5 , упомянутое первичное покрытие имеет модуль упругости *in situ* не выше 0,50 МПа; и вторичное покрытие, окружающее упомянутое первичное покрытие, причем

упомянутое вторичное покрытие имеет внешний радиус r_6 . Упомянутое вторичное покрытие имеет модуль упругости *in situ* 1500 МПа или больше; причем упомянутый внешний радиус r_6 равен 110 мкм или меньше, и упомянутое волокно имеет диаметр модового поля 9 мкм или больше при 1310 нм и характеризуется изгибными потерями на длине волны 1550 нм при намотке на оправку, имеющую диаметр 15 мм, ниже чем 0,5 дБ/виток. Технический результат – уменьшение радиуса и диаметра модового поля, который совместим с диаметром модового поля стандартных



ФИГ.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G02B 6/02009 (2006.01); **G02B 6/02014** (2006.01)(21)(22) Application: **2015148770**, **08.04.2014**(24) Effective date for property rights:
08.04.2014Registration date:
04.06.2018

Priority:

(30) Convention priority:
15.04.2013 US 13/862,755(43) Application published: **19.05.2017** Bull. № 14(45) Date of publication: **04.06.2018** Bull. № 16(85) Commencement of national phase: **16.11.2015**(86) PCT application:
US 2014/033280 (08.04.2014)(87) PCT publication:
WO 2014/172143 (23.10.2014)Mail address:
**129090, Moskva, ul. B.Spaskaya, 25, stroenie 3,
OOO "Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**BUKBINDER Dana Krejg (US),
DOZ Stiven Bryus (US),
KUZMINA Inna Igorevna (US),
LI Min-Tszyun (US),
OKAMPO Manuela (US),
TANDON Pushkar (US)**

(73) Proprietor(s):

KORNING INKORPOREJTED (US)(54) **LOW DIAMETER OPTICAL FIBER**

(57) Abstract:

FIELD: instrument engineering.

SUBSTANCE: invention relates to optical fibers. Optical fiber comprises a core, said core having an outer radius r_1 , shell surrounding said core, said shell having an outer radius r_4 ; primary coating surrounding said shell, said primary coating having an outer radius r_5 , said primary coating has an elastic modulus in situ of not higher than 0.50 MPa; and a secondary coating, surrounding said primary coating, said secondary coating having an outer radius r_{6th} . Said secondary

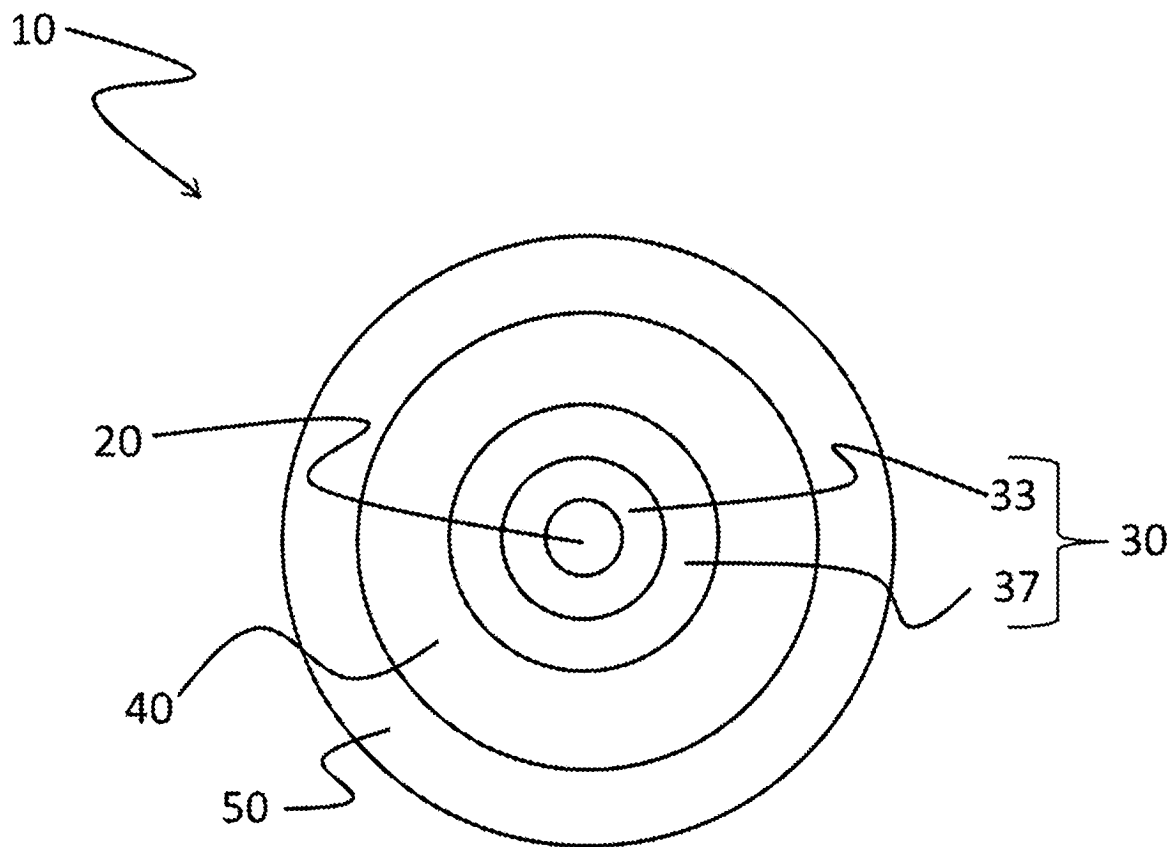
coating has an elastic modulus in situ of 1500 MPa or more; said outer radius r_{6th} is 110 μm or less, mode field diameter of 9 μm or greater at 1310 nm and exhibits a bend loss at a wavelength of 1550 nm, when turned about a mandrel having a diameter of 15 mm, of less than 0.5 dB/turn.

EFFECT: technical result is a reduction in the radius and diameter of the mode field, which is compatible with the diameter of the mode field of standard single-mode fibers.

25 cl, 6 dwg, 4 tbl

R U 2 6 5 6 2 7 7 C 2

C 2 7 2 6 5 6 2 7 7 R U



ФИГ.1

[0001] Настоящая заявка испрашивает приоритет в соответствии с § 120 раздела 35 Кодекса законов США по заявке США № 13/862,755, поданной 15 апреля 2013 г., содержание которой в полном объеме принято к сведению и включено в настоящую заявку путем отсылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

[0002] Настоящее изобретение относится, в общем, к оптическим волокнам. В частности, настоящее изобретение относится к оптическим волокнам с покрытием, имеющим профиль показателя преломления с областью оболочки со сниженным показателем преломления и тонкое низкомодульное первичное покрытие. Конкретно, настоящее изобретение относится к оптическим волокнам малого радиуса с покрытием, которые характеризуются большим диаметром модового поля и низкими изгибными потерями.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0003] Оптические волокна с покрытием с малыми радиусами перспективны с точки зрения уменьшения размеров кабелей, снижения стоимости кабелей и эффективного использования существующей инфраструктуры кабельных каналов для укладки кабелей. Волокна с уменьшенными радиусами обычно имеют такие же радиуса стекла, как стандартные оптические волокна (125 мкм), но используют более тонкие слои в качестве первичного и/или вторичных покрытий. Однако уменьшенная толщина покрытий негативно сказывается защитной функции покрытий. В результате, в данной области техники выполнен большой объем работ для разработки новых материалов покрытий, которые обеспечивают требуемую защиту при небольших толщинах, и новых композиций или профилей показателей преломления стекла, которые могут допускать более выраженный изгиб, без снижения интенсивности или качества сигнала. Хотя в известном уровне техники предложены конструкции нечувствительных к изгибу оптических волокон с покрытием с уменьшенными диаметрами (смотри, например, опубликованную патентную заявку США № 20100119202), номинальный диаметр модового поля (MFD) упомянутых волокон на длине волны 1310 нм обычно составляет только ~8,6-8,8 мкм. Данные диаметры модового поля приводят к высоким потерям в точках сращивания/соединений при соединении одномодовых волокон (SMF) со стандартными SMF (которые имеют номинальный MFD приблизительно 9,2 мкм).

[0004] Для исключения потерь сигнала при соединении волокон малого диаметра с существующими стандартными одномодовыми волокнами, желательно разработать оптическое волокно, имеющее уменьшенный радиус и диаметр модового поля, который совместим с диаметром модового поля стандартных одномодовых волокон.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0005] Настоящее изобретение предлагает оптические волокна с покрытиями, имеющие радиус не больше 110 мкм или не больше 105 мкм, или не больше 100 мкм, которые обладают большими диаметрами модового поля, не сопровождающимися значительной деградацией сигнала, вызванной изгибами. Волокна уменьшенного радиуса с покрытием могут содержать внутреннюю стеклянную область, имеющую радиус, по меньшей мере, 50 мкм или, по меньшей мере, 55 мкм, или, по меньшей мере, 60 мкм, или, по меньшей мере, 62,5 мкм в совокупности с окружающими первичными и вторичными покрытиями. Репрезентативные волокна могут включать в себя в концентрическом порядке, стеклянную сердцевину, стеклянную оболочку, первичное покрытие и вторичное покрытие. Сердцевина может быть стеклянной областью с более высоким показателем преломления и может быть окруженной оболочкой с меньшим показателем преломления. Оболочка может включать в себя одну или более внутренних

областей оболочек и внешнюю область оболочки, при этом, по меньшей мере, одна из внутренних областей оболочек может иметь показатель преломления ниже, чем внешняя область оболочки. Первичное покрытие может быть сформировано из низкомодульного материала, и вторичное покрытие может быть сформировано из материала с более

5 высоким модулем упругости.

[0006] Сердцевина может включать в себя кварцевое стекло или стекло на основе кварца. Стекло на основе кварца может быть кварцевым стеклом, модифицированным щелочным металлом (например, Na, K), щелочноземельным металлом (например, Mg, Ca), элементом группы III (например, B) или элементом группы V (например, P); или

10 легирующей примесью. Показатель преломления в поперечнике сердцевины может быть постоянным или переменным. Показатель преломления сердцевины может быть максимальным в центре или около центра сердцевины и непрерывно снижаться по направлению к внешней границе сердцевины. Профиль показателя преломления сердцевины может иметь или может аппроксимировать гауссов профиль, супергауссов

15 профиль, α -профиль или ступенчатый профиль.

[0007] Оболочка может включать в себя кварцевое стекло или стекло на основе кварца. Стекло на основе кварца может быть кварцевым стеклом, модифицированным щелочным металлом (например, Na, K), щелочноземельным металлом (например, Mg, Ca), элементом группы III (например, B) или элементом группы V (например, P); или

20 легирующей примесью. Оболочка может включать в себя внутреннюю область оболочки и внешнюю область оболочки, при этом внутренняя область оболочки может иметь показатель преломления ниже, чем внешняя область оболочки. Внутренняя область оболочки может иметь постоянный или непрерывно изменяющийся показатель преломления. Внутренняя область оболочки может иметь показатель преломления,

25 который непрерывно снижается от внутренней границы данной области к внешней границе. Непрерывное снижение может быть линейным снижением. Показатель преломления внутренней области оболочки может формировать впадину на профиле показателя преломления волокна с покрытием. Впадина показателя преломления может быть прямоугольной или треугольной. Внешняя область оболочки может иметь

30 постоянный показатель преломления.

[0008] Оболочка может включать в себя первую внутреннюю область оболочки, прилегающую к сердцевине, и вторую внутреннюю область оболочки, расположенную между первой внутренней областью оболочки и внешней областью оболочки. Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем

35 показатель преломления второй внутренней области оболочки. Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем показатель преломления внешней области оболочки. Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем показатели преломления первой внутренней области оболочки и внешней области оболочки.

[0009] Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть постоянным или непрерывно изменяющимся. Вторая внутренняя область оболочки может иметь показатель преломления, который непрерывно снижается от внутренней границы данной области до ее внешней границы. Непрерывное снижение может быть линейным снижением. Показатель преломления второй внутренней области оболочки

40 может формировать впадину на профиле показателя преломления волокна с покрытием. Впадина является областью пониженного показателя преломления и может быть прямоугольной или треугольной. Внешняя область оболочки может иметь постоянный показатель преломления.

[0010] Профили показателя преломления сердцевины и оболочки можно получать посредством управления пространственным распределением легирующих примесей, повышающих показатель преломления, и/или легирующих примесей, снижающих показатель преломления, в кварцевом стекле или стекле на основе кварца.

5 [0011] Первичное покрытие может быть сформировано из отверждаемой композиции, которая включает в себя олигомер и мономер. Олигомер может быть уретановым акрилатом или уретановым акрилатом с замещениями акрилата. Уретановый акрилат с замещениями акрилата может быть уретановым метакрилатом. Олигомер может включать в себя уретановые группы. Олигомер может быть уретановым акрилатом, 10 который включает в себя одну или более уретановых групп. Олигомер может быть уретановым акрилатом с замещениями акрилата, который включает в себя одну или более уретановых групп. Уретановые группы могут формироваться как продукт химической реакции изоцианатной группы и спиртовой группы.

[0012] Первичное покрытие может иметь модуль упругости *in situ* не выше 1 МПа 15 или не выше 0,50 МПа, или не выше 0,25 МПа, или не выше 0,20 МПа, или не выше 0,19 МПа, или не выше 0,18 МПа, или не выше 0,17 МПа, или не выше 0,16 МПа, или не выше 0,15 МПа. Температура стеклования первичного покрытия может быть не выше -15°C или не выше -25°C, или не выше -30°C, или не выше -40°C. Температура стеклования первичного покрытия может быть выше чем -60°C, или выше чем -50°C, 20 или выше чем -40°C. Температура стеклования первичного покрытия может быть либо от -60°C до -15°C, либо от -60°C до -30°C, либо от -60°C до -40°C, либо от -50°C до -15°C, либо от -50°C до -30°C, либо от -50°C до -40°C.

[0013] Вторичное покрытие может быть сформировано из отверждаемой вторичной композиции, которая включает в себя один или более мономеров. Один или более 25 мономеров могут включать в себя бисфенол-А диакрилат или замещенный бисфенол-А диакрилат, или алкоксилированный бисфенол-А диакрилат. Алкоксилированный бисфенол-А диакрилат может быть этоксилированным бисфенол-А диакрилатом. Отверждаемая вторичная композиция может дополнительно включать в себя олигомер. Олигомер может быть уретановым акрилатом или уретановым акрилатом с 30 замещениями акрилата. Вторичная композиция может не содержать уретановых групп, уретан-акрилатных соединений, уретановых олигомеров или уретан-акрилатных олигомеров.

[0014] Вторичное покрытие может быть материалом с более высоким модулем упругости и более высокой температурой стеклования, чем первичное покрытие. Модуль 35 упругости *in situ* вторичного покрытия может быть не ниже 1200 МПа или не ниже 1500 МПа, или не ниже 1800 МПа, или не ниже 2100 МПа, или не ниже 2400 МПа, или не ниже 2700 МПа. Вторичное покрытие может иметь модуль упругости *in situ* приблизительно от 1500 МПа до 10000 МПа, или от 1500 МПа до 5000 МПа. Температура стеклования *in situ* вторичного покрытия может быть, по меньшей мере, 40 50°C или, по меньшей мере, 55°C, или, по меньшей мере, 60°C, или от 55°C до 65°C.

[0015] Радиус волокон с покрытием совпадает с внешним диаметром вторичного покрытия. Радиус волокна с покрытием может быть не больше 110 мкм или не больше 105 мкм, или не больше 100 мкм. Внутри волокна с покрытием, радиус стекла (совпадающий с внешним диаметром оболочки) может быть, по меньшей мере, 50 мкм 45 или, по меньшей мере, 55 мкм, или, по меньшей мере, 60 мкм, или, по меньшей мере, 62,5 мкм. Стекло может находиться в окружении первичного покрытия. Внешний радиус первичного покрытия может быть не больше 85 мкм, или не больше 82,5 мкм, или не больше 80 мкм, или не больше 77,5 мкм, или не больше 75 мкм. Остальная часть

диаметра волокна с покрытием обеспечивается вторичным покрытием.

[0016] Волокна с покрытием в соответствии с настоящим изобретением могут быть волокнами малого радиуса, которые характеризуются низкими изгибными потерями, с обеспечением при этом диаметра модового поля, который минимизирует потери, связанные со сращиванием и соединением со стандартными одномодовыми волокнами. Диаметр модового поля может быть не менее 9,0 мкм или не менее 9,1 мкм, или не менее 9,2 мкм на длине волны 1310 нм.

[0017] Волокна с покрытием могут иметь изгибные потери на длине волны 1550 нм ниже чем 0,5 дБ/виток, при намотке на оправку с 15-мм диаметром, или ниже чем 0,5 дБ/виток, при намотке на оправку с 20-мм диаметром, или ниже чем 0,25 дБ/виток, при намотке на оправку с 20-мм диаметром, или ниже чем 0,02 дБ/виток, при намотке на оправку с 30-мм диаметром, или ниже чем 0,012 дБ/виток, при намотке на оправку с 30-мм диаметром.

[0018] Оптические и механические характеристики волокон в соответствии с настоящим изобретением могут быть соответствовать стандарту G.652. Волокна могут иметь пороговую длину волны кабеля не больше 1260 нм. Волокна могут иметь длину волны нулевой дисперсии λ_0 в диапазоне $1300 \text{ нм} \leq \lambda_0 \leq 1324 \text{ нм}$.

[0019] Дополнительные признаки и преимущества изложены в последующем подробном описании и частично станут очевидными специалистам в данной области техники из описания или будут определены при практическом исполнении вариантов осуществления, охарактеризованных в описании и формуле изобретения, а также изображенных на прилагаемых чертежах.

[0020] Следует понимать, что как вышеприведенное общее описание, так и последующее подробное описание являются всего лишь примерными и предназначены для обеспечения общего представления или основы для понимания существа и характера формулы изобретения.

[0021] Прилагаемые чертежи включены для обеспечения более полного понимания и составляют неотъемлемую часть настоящего описания. Чертежи поясняют один или более вариантов осуществления и вместе с описанием служат для объяснения принципов и работы различных вариантов осуществления.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0022] Фигура 1 – схематическое изображение в поперечном сечении волокна, имеющего сердцевину, внутреннюю область оболочки, внешнюю область оболочки, первичное покрытие и вторичное покрытие.

[0023] Фигура 2 – схематическое изображение в поперечном сечении волокна, имеющего сердцевину, две внутренних области оболочки, внешнюю область оболочки, первичное покрытие и вторичное покрытие.

[0024] Фигуры 3А и 3В - схематические изображения наглядных профилей показателя преломления.

[0025] Фигура 4 – профиль показателя преломления сердцевины-оболочки, имеющий прямоугольную впадину.

[0026] Фигура 5 – профиль показателя преломления сердцевины-оболочки, имеющий треугольную впадину.

[0027] Фигура 6 – профиль показателя преломления сердцевины-оболочки, имеющий треугольную впадину.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[0028] Настоящее изобретение относится к оптическим волокнам с покрытием, которые могут сочетать малый диаметр, большой диаметр модового поля и низкие

потери на микроизгибах. Ниже приведено краткое пояснение выбранной терминологии, используемой в настоящей заявке:

[0029] «Профиль показателя преломления» означает зависимость между показателем преломления или относительным показателем преломления и радиусом волокна.

[0030] «Относительный показатель преломления в процентах» определяется в виде:

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

где $n(r)$ означает показатель преломления волокна на радиальном расстоянии r от осевой линии волокна, если не указано иначе, и n_s означает показатель преломления чистого кварцевого стекла на длине волны 1550 нм. В контексте настоящего описания, относительный показатель преломления представляется в виде Δ (или «дельта»), $\Delta\%$ (или «дельта %»), или %, из которых все используются равнозначно в настоящей заявке, и его значения даются в единицах процентов или %, если не указано иначе.

Относительный показатель преломления может также выражаться в виде $\Delta(r)$ или $\Delta(r)\%$.

[0031] «Хроматическая дисперсия», которая может также называться «дисперсией», оптического волокна является суммой дисперсии материала, волноводной дисперсии и межмодовой дисперсии на длине волны λ . В случае одномодовых оптических волокон, межмодовая дисперсия равна нулю. Значения дисперсии в двухмодовом режиме предполагают, что межмодовая дисперсия равна нулю. Длина волны нулевой дисперсии (λ_0) является длиной волны, на которой дисперсия имеет нулевое значение. Наклон дисперсии является скоростью изменения дисперсии относительно длины волны.

[0032] Термин « α -профиль» относится к профилю относительного показателя преломления $\Delta(r)$, который имеет следующую функциональную форму:

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

где r_0 является точкой, в которой $\Delta(r)$ имеет максимум, r_1 является точкой, в которой $\Delta(r)$ равно нулю, и r находится в диапазоне $r_1 \leq r \leq r_f$, где r_1 является начальной точкой α -профиля, r_f является конечной точкой α -профиля, и α является вещественным числом.

[0033] Диаметр модового поля (MFD) измеряется с использованием способа Петермана II (Petermann II) и определяется из выражения:

$$MFD = 2w,$$

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

где $f(r)$ означает поперечное распределение электрического поля канализируемого оптического излучения, и r означает радиальное положение в волокне.

[0034] Устойчивость к изгибам оптического волокна можно измерять посредством наведенного затухания в заданных условиях испытания. Для оценки изгибных потерь применяют различные испытания, включая испытание на микроизгиб с поперечной нагрузкой, испытание на штырьковой матрице и испытание намоткой на оправку.

[0035] При испытании с поперечной нагрузкой, заданную длину оптического волокна

помещают между двумя плоскими пластинами. К одной из пластин закрепляют проволочную сетку №70. Между пластинами зажимают известную длину оптического волокна, и измеряют опорный коэффициент затухания на выбранной длине волны (обычно в диапазоне 1200-1700 нм, например, 1310 нм или 1550 нм, или 1625 нм) в то время, как пластины сжимают с усилием 30 Ньютонов. Затем к пластинам прикладывают усилие 70 Ньютонов и измеряют увеличение коэффициента затухания на выбранной длине волны в дБ/м. Увеличение коэффициента затухания является коэффициентом затухания волновода на проволочной сетке с поперечной нагрузкой (LLWM).

[0036] Устойчивость к макроизгибам волокна можно измерять посредством измерения наведенного увеличения коэффициента затухания в ходе испытания намоткой на оправку. При испытании намоткой на оправку, волокно наматывают один или более раз вокруг цилиндрической оправки, имеющей установленный диаметр, и определяют увеличение коэффициента затухания на установленной длине, обусловленное изгибом. Коэффициент затухания при испытании намоткой на оправку выражают в единицах дБ/виток, где один виток соответствует одному обороту волокна вокруг оправки.

[0037] Испытание на изгиб на «штырьковой матрице» применяют для сравнения относительной устойчивости оптического волокна к изгибу. Для выполнения данного испытания, потери на ослабление на выбранной длине волны измеряют для оптического волокна в конфигурации, по существу, не имеющей изгибных потерь. Затем обвивают оптическое волокно вокруг штырьковой матрицы и снова измеряют коэффициент ослабления на выбранной длине волны (обычно в диапазоне 1200-1700 нм, например, 1310 нм или 1550 нм, или 1625 нм). Потери, наведенные изгибанием, равны разности между двумя измеренными коэффициентами ослабления. Штырьковая матрица представляет собой набор из десяти цилиндрических штырьков, расположенных в один ряд и закрепленных в фиксированном вертикальном положении на плоской поверхности. Расстояние между центрами штырьков составляет 5 мм. Диаметр штырька равен 0,67 мм. Во время испытания прикладывают достаточное натяжение, чтобы обеспечивать соответствие оптического волокна участку поверхности штырька.

[0038] Пороговую длину волны волокна можно измерить посредством стандартного испытания на пороговую длину волны 2-м волокна согласно FOTP-80 (EIA-TIA-455-80), чтобы получить «пороговую длину волны волокна», известную также как «пороговая длина волны 2-м волокна» или «измеренная пороговая длина волны». Стандартное испытание FOTP-80 выполняют либо для отделения мод более высокого порядка с использованием управляемой величины изгибания, либо для нормирования спектральной характеристики волокна по характеристике многомодового волокна.

[0039] Пороговая длина волны в кабеле или «пороговая длина волны кабеля» (известная также как «пороговая длина волны при 22 метрах») обычно ниже, чем измеренная пороговая длина волны волокна, вследствие более высоких уровней изгиба и механического давления в условиях кабеля. Фактическое состояние в кабеле можно аппроксимировать посредством испытания на пороговую длину волны в кабеле, описанного в процедурах испытаний волоконной оптики EIA-445, которые входят в стандарты на волоконную оптику EIA-TIA (стандартов на волоконную оптику Объединения электронной промышленности – Ассоциации телекоммуникационной промышленности (Electronics Industry Alliance - Telecommunications Industry Association Fiber Optics Standards)), известные также под сокращенным названием FOTP). Измерение пороговой длины волны в кабеле описано в стандарте EIA-455-170, Пороговая длина волны кабеля из одномодового волокна посредством пропускаемой мощности, или «FOTP-170». Если в настоящей заявке не указано иначе, то оптические свойства

(например, дисперсия, наклон кривой дисперсии и т.п.) сообщаются для моды LP01.

[0040] Настоящее изобретение предлагает волокна малого радиуса с покрытием с очень высокими микроизгибными и макроизгибными функциональными характеристиками и диаметром модового поля, который может допускать сращивание и соединение со стандартными одномодовыми волокнами с минимальными потерями. Волокна с покрытием в соответствии с настоящим изобретением могут исключать недостатки небольшого диаметра модового поля и/или значительных изгибных потерь, которые сопровождали работы известного уровня техники по получению волокон малого радиуса. С настоящими волокнами с покрытием, небольшие радиуса можно получать без ущерба для диаметра модового поля или изгибных функциональных характеристик. Настоящее изобретение может соответственно обеспечить компактные волокна с покрытием, которые могут быть собраны в высокоплотных конфигурациях для внутреннего монтажа и при этом обеспечивать надлежащее сопряжение и низкие потери, при интегрировании с внешними одномодовыми волокнами. Ниже охарактеризованы разные рисунки профилей, которые дают, в результате высокие микроизгибные и макроизгибные функциональные характеристики волокна, даже когда толщина слоев покрытия является небольшой. Раскрываются механические свойства, композиции и геометрия слоев первичных и вторичных покрытий уменьшенной толщины, которые могут давать низкие микроизгибные и макроизгибные потери и высокую прочность на прокол. Если не указано иначе, то все результаты, зависящие от длины волны, основаны на длине волны 1550 нм.

[0041] Настоящие волокна с покрытием могут включать в себя оболочку, имеющую две области и профиль показателя преломления, который различается в двух областях. Рисунок профиля показателя преломления оболочки может уменьшать чувствительность волокна с покрытием к изгибу и может допускать применение первичного покрытия с толщиной, уменьшенной по сравнению с волокнами с покрытиями в соответствии с известным уровнем техники. Более тонкое первичное покрытие приводит к уменьшению общего диаметра волокна с покрытием, что обеспечивает компактные волокна с покрытием, которые можно плотно упаковывать и/или надежно прокладывать в существующей волоконной инфраструктуре. Механические свойства первичного покрытия можно выбирать так, что высокая микроизгибная функциональная характеристика волокна с покрытием достигается даже в том случае, когда толщина первичного покрытия уменьшается.

[0042] Волокна с покрытием в соответствии с настоящим изобретением могут включать в себя сердцевину, оболочку, первичное покрытие и вторичное покрытие, при этом оболочка может включать в себя две или более области с различающимися профилями показателя преломления. Схематическое изображение поперечного сечения первого из многих волокон с покрытием в соответствии с настоящим изобретением показано на фиг. 1. Волокно 10 включает в себя сердцевину 20, оболочку 30, первичное покрытие 40 и вторичное покрытие 50. Оболочка 30 включает в себя внутреннюю область 33 оболочки и внешнюю область 37 оболочки. Схематическое поперечное сечение второго из многих волокон с покрытием в соответствии с настоящим изобретением показано на фиг. 2. Волокно 60 включает в себя сердцевину 70, оболочку 80, первичное покрытие 90 и вторичное покрытие 100. Оболочка 80 включает в себя первую внутреннюю область 81 оболочки, вторую внутреннюю область 83 оболочки и внешнюю область 85 оболочки.

[0043] Сердцевина и оболочка могут быть кварцевым стеклом или стеклом на основе кварца и, при желании, могут включать в себя легирующую примесь, повышающую

показатель преломления, или легирующую примесь, снижающую показатель преломления. Стекло на основе кварца может быть кварцевым стеклом, модифицированным щелочным или щелочноземельным элементом, или элементом группы III (например, В, Al), или элементом группы V (например, Р). Радиус сердцевины может быть в диапазоне 4-10 мкм для одномодового волокна. Оболочка может включать в себя две или более областей, которые различаются по профилю показателя преломления и могут продолжаться до внешнего радиуса, по меньшей мере, 50 мкм, или, по меньшей мере, 55 мкм, или, по меньшей мере, 60 мкм, или 62,5 мкм.

[0044] Показатель преломления в поперечнике сердцевины. Показатель преломления сердцевины может быть максимальным в центре или около центра сердцевины и может непрерывно снижаться по направлению к внешней границе сердцевины. Профиль показателя преломления сердцевины может иметь или может аппроксимировать гауссов профиль, супергауссов профиль, α -профиль или ступенчатый профиль.

[0045] Оболочка может включать в себя внутреннюю область оболочки и внешнюю область оболочки, при этом внутренняя область оболочки может иметь показатель преломления ниже, чем внешняя область оболочки. Показатель преломления внутренней области оболочки может быть постоянным или непрерывно изменяющимся. Внутренняя область оболочки может иметь показатель преломления, который непрерывно снижается от внутренней границы данной области к внешней границе. Непрерывное снижение может быть линейным снижением. Показатель преломления внутренней области оболочки может формировать впадину на профиле показателя преломления волокна с покрытием. Впадина представляет собой область пониженного показателя преломления и может быть прямоугольной или треугольной. Внешняя область оболочки может иметь постоянный или непрерывно изменяющийся показатель преломления. Минимальный показатель преломления внутренней области сердцевины может быть меньше, чем максимальный показатель преломления внешней области оболочки.

[0046] Оболочка может включать в себя первую внутреннюю область оболочки, прилегающую к сердцевине, и вторую внутреннюю область оболочки, расположенную между первой внутренней областью оболочки и внешней областью оболочки.

Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем показатель преломления первой внутренней области оболочки. Минимальный показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем максимальный показатель преломления первой внутренней области оболочки. Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем показатель преломления внешней области оболочки. Минимальный показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем максимальный показатель преломления внешней области оболочки. Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем показатели преломления первой внутренней области оболочки и внешней области оболочки. Минимальный показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть ниже, чем максимальные показатели преломления первой внутренней области оболочки и внешней области оболочки.

[0047] Показатель преломления второй внутренней области оболочки может быть постоянным или непрерывно изменяющимся. Вторая внутренняя область оболочки может иметь показатель преломления, который непрерывно снижается от внутренней границы данной области к ее внешней границе. Непрерывное снижение может быть линейным снижением. Показатель преломления второй внутренней области оболочки может формировать впадину на профиле показателя преломления волокна с покрытием.

Впадина является областью пониженного показателя преломления и может быть прямоугольной или треугольной. Область пониженного показателя преломления может характеризоваться объемом канавки профиля, V_3 , в единицах $\% \text{ мкм}^2$, равным:

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

Абсолютное значение $|V_3|$ объема канавки может быть, по меньшей мере, 30% мкм^2 или, по меньшей мере, 50% мкм^2 , или, по меньшей мере, 65% мкм^2 . Абсолютное значение $|V_3|$ объема канавки может быть также меньше чем 80% мкм^2 , или меньше чем 75% мкм^2 , или от 30% мкм^2 до 80% мкм^2 , включительно. Термины «канавка» и «впадина» применяются в настоящей заявке взаимозаменяемо.

[0048] Репрезентативные профили показателя преломления для сердцевин и оболочки представлены на фигурах 3А и 3В. Фигура 3А изображает прямоугольный профиль впадины для волокна (101), имеющего сердцевину (1) с внешним радиусом r_1 и показателем преломления Δ_1 , первую внутреннюю область (2) оболочки, продолжающуюся от радиального положения r_1 до радиального положения r_2 и имеющую показатель преломления Δ_2 , вторую внутреннюю область (3) оболочки, продолжающуюся от радиального положения r_2 до радиального положения r_3 и имеющую показатель преломления Δ_3 , и внешнюю область (4) оболочки, продолжающуюся от радиального положения r_3 до радиального положения r_4 и имеющую показатель преломления Δ_4 . На профиле, показанном на фигуре 3А, вторую внутреннюю область (3) оболочки может называться прямоугольной впадиной в настоящей заявке и может иметь постоянный показатель преломления, который ниже, чем показатели преломления первой внутренней области (2) оболочки и внешней области (4) оболочки. Серцевина (1) может иметь наиболее высокий показатель преломления на профиле. Серцевина (1) может включать в себя область пониженного показателя преломления на или около осевой линии (известную в данной области техники как «осевой провал»). Следует отметить, что первая внутренняя область (2) оболочки является необязательной и может отсутствовать.

[0049] Фигура 3В изображает профиль показателя преломления с треугольной впадиной для волокна (101), имеющего сердцевину (1) с радиусом r_1 и показателем преломления Δ_1 с максимальным $\Delta_{1\text{MAX}}$, первую внутреннюю область (2) оболочки, продолжающуюся от радиального положения r_1 до радиального положения r_2 и имеющую показатель преломления Δ_2 , вторую внутреннюю область (3) оболочки, продолжающуюся от радиального положения r_2 до радиального положения r_3 и имеющую показатель преломления Δ_3 с минимальным $\Delta_{3\text{MIN}}$, и внешнюю область (4) оболочки, продолжающуюся от радиального положения r_3 до радиального положения r_4 и имеющую показатель преломления Δ_4 . На профиле на фигуре 3В, вторая внутренняя область (3) оболочки может называться в настоящей заявке треугольной впадиной и может иметь непрерывно снижающийся показатель преломления между радиальными положениями r_2 , и при этом средний и минимальный показатели преломления треугольной впадины могут быть ниже, чем показатели преломления первой внутренней

области (2) оболочки и внешней области (4) оболочки. Сердцевина (1) может иметь максимальный показатель преломления на профиле. Сердцевина (1) может включать в себя область пониженного показателя преломления на или вблизи осевой линии, с показателем преломления ниже, чем $\Delta_{1\text{MAX}}$. Следует отметить, что первая внутренняя

область (2) оболочки является необязательной и может отсутствовать.

[0050] Профили показателя преломления сердцевин и оболочки могут достигаться регулированием пространственного распределения легирующих примесей или модификаторов в кремниевом стекле или стекле на основе кремния. Легирующие примеси, повышающие показатель преломления (например, GeO_2 , Al_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2 , Cl , Br), можно использовать для создания областей повышенного показателя преломления и легирующие примеси, понижающие показатель преломления (например, F , B_2O_3 , неперриодические междоузлия), можно использовать для создания областей пониженного показателя преломления. Области постоянного показателя преломления можно формировать отсутствием легирования или легированием с равномерной концентрацией. Области переменного показателя преломления можно формировать посредством неравномерных пространственных распределений легирующих примесей. Треугольная впадина, показанная на фигуре 3В, например, может быть создана посредством включения F в качестве легирующей примеси, понижающей показатель преломления, с неравномерным профилем пространственной концентрации. Концентрация F в радиальном положении r_2 может быть ниже, чем концентрация F в радиальном положении r_3 .

[0051] Волокно с покрытием может включать в себя области, расположенные между сердцевинной и первой внутренней областью оболочки или между первой внутренней областью оболочки и второй внутренней областью оболочки, или между второй внутренней областью оболочки и внешней областью оболочки, или между внешней областью оболочки и первичным покрытием, или между первичным покрытием и вторичным покрытием. Волокно может иметь сердцевину с внешним радиусом r_1 и показателем преломления Δ_1 с максимальным значением $\Delta_{1\text{MAX}}$ и минимальным значением $\Delta_{1\text{MIN}}$, первую внутреннюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_2 и имеющую показатель преломления Δ_2 с максимальным значением $\Delta_{2\text{MAX}}$ и минимальным значением $\Delta_{2\text{MIN}}$, вторую внутреннюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_3 и имеющую показатель преломления Δ_3 с максимальным значением $\Delta_{3\text{MAX}}$ и минимальным значением $\Delta_{3\text{MIN}}$, внешнюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_4 и имеющую показатель преломления Δ_4 с максимальным значением $\Delta_{4\text{MAX}}$ и минимальным значением $\Delta_{4\text{MIN}}$, первичное покрытие, имеющее внешний радиус r_5 , и вторичное покрытие, имеющее внешний радиус r_6 , где $r_6 > r_5 > r_4 > r_3 > r_2 > r_1$.

[0052] Сердцевина и оболочка настоящих волокон с покрытием могут создаваться за одноэтапную операцию или многоэтапную операцию с использованием способов, которые широко известны в данной области техники. Подходящие способы включают в себя: способ двойного тигля, процедуры штабика в трубке и процессы легирования кремния, называемые также, в общем, химическим осаждением из паровой фазы («CVD») или парофазным окислением. Известно множество различных процессов CVD, которые пригодны для создания сердцевин и слоя оболочки, используемых в оптических волокнах с покрытием в примерных вариантах осуществления, приведенных в настоящей заявке. Упомянутые процессы включают в себя процессы внешнего CVD, процессы

аксиального осаждения из паровой фазы, модифицированное CVD (MCVD), внутреннее осаждение из паровой фазы и плазменное CVD (PECVD).

[0053] Стекланный участок волокон с покрытием можно вытягивать из специально подготовленной цилиндрической заготовки, которая локально и симметрично нагрета до температуры, достаточной для размягчения стекла, например, температуры около 2000°C для кварцевого стекла. Когда заготовка нагревается, например, подачей заготовки в и через печь, стекловолокно вытягивается из расплавленного материала. Смотри, например, патенты США №№ 7,565,820; 5,410,567; 7,832,675; и 6,027,062; раскрытия которых включены в настоящую заявку путем отсылки для получения дополнительных сведений о процессах изготовления волокон.

[0054] Первичное покрытие может иметь модуль упругости меньше, чем вторичное покрытие. Первичное покрытие может быть сформировано из первичной композиции, которая включает в себя отверждаемый олигомер. Отверждаемая первичная композиция может также включать в себя мономеры, инициатор полимеризации и одну или более добавок. Если в настоящем описании не указано или не подразумевается иного, то весовое процентное содержание (весовой %) конкретного компонента в отверждаемой первичной композиции относится к количеству компонента, присутствующему в отверждаемой первичной композиции, без учета добавок. В общем, весовые процентные содержания мономера(ов), олигомера(ов) и инициатора(ов) составляют в сумме 100%. При наличии, количество добавки указывается в единицах частей на сто (pph) относительно суммарных количеств мономера(ов), олигомера(ов) и инициатора(ов). Добавка, присутствующая в концентрации 1 pph, например, присутствует в количестве 1 г на каждые 100 г суммарного количества мономера(ов), олигомера(ов) и инициатора(ов).

[0055] Олигомер отверждаемой первичной композиции может быть уретан-акрилатным олигомером или уретан-акрилатным олигомером, который включает в себя одну или более уретановых групп, или уретан-акрилатным олигомером, который включает в себя одну или более алифатических уретановых групп, или уретан-акрилатным олигомером, который включает в себя единственную уретановую группу, или уретан-акрилатным олигомером, который включает в себя единственную алифатическую уретановую группу. Уретановая группа может формироваться в результате химической реакции между изоцианатной группой и спиртовой группой.

[0056] Олигомер может быть олигомером с концевыми акрилатными группами. Предпочтительные олигомеры с концевыми акрилатными группами для использования в первичных отверждаемых композициях включают в себя BR3731, BR3741, BR582 и KWS4131 компании Dymax Oligomers & Coatings.; простые полиэфирные уретан-акрилатные олигомеры (например, CN986 компании Sartomer Company); сложные полиэфирные уретан-акрилатные олигомеры (например, CN966 и CN973 компании Sartomer Company, и BR7432 компании Dymax Oligomers & Coatings); простые полиэфирные акрилатные олигомеры (например, GENOMER 3456 компании Rahn AG); и сложные полиэфирные акрилатные олигомеры (например, EBECRYL 80, 584 и 657 компании Cytec Industries Inc.). Другие олигомеры описаны в патентах США №№ 4,609,718; 4,629,287; и 4,798,852, раскрытия которых в полном объеме включены в настоящую заявку путем отсылки.

[0057] Олигомер первичной отверждаемой композиции может включать в себя мягкий блок со среднечисленной молекулярной массой (M_n) приблизительно 4000 г/моль или выше. Примеры таких олигомеров описаны в патентной заявке США № 09/916,536, раскрытие которой в полном объеме включено в настоящую заявку путем отсылки.

Олигомеры могут иметь гибкие основные цепи, низкие полидисперсности и/или могут обеспечивать отверждающиеся покрытия с низкими плотностями сшивания.

[0058] Олигомеры можно применять поодиночке или в комбинации для управления свойствами покрытий. Суммарное содержание олигомера первичной отверждаемой композиции может составлять от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 95 весовых % или от приблизительно 25 весовых % до приблизительно 65 весовых %, или от приблизительно 35 весовых % до приблизительно 55 весовых %.

[0059] Мономерный компонент первичной отверждаемой композиции можно выбирать совместимым с олигомером, чтобы обеспечить низковязкий состав и/или повысить показатель преломления первичного покрытия. Мономер можно также выбирать, чтобы обеспечивать отверждаемые композиции, имеющие уменьшенные времена желатинизации и низкие модули упругости. Первичная отверждаемая композиция может включать в себя единственный мономер или комбинацию мономеров. Мономеры могут включать в себя этиленненасыщенные соединения, этоксилированные акрилаты, этоксилированные алкилфенольные моноакрилаты, пропиленоксидные акрилаты, н-пропиленоксидные акрилаты, изопропиленоксидные акрилаты, монофункциональные акрилаты, монофункциональные алифатические эпоксиакрилаты, многофункциональные акрилаты, многофункциональные алифатические эпоксиакрилаты и их комбинации. Мономерный компонент может включать в себя соединения, имеющие общую формулу $R_2-R_1-O-(CH_2CH_3CH-O)_n-COCH=CH_2$, где R_1 и R_2 являются алифатическими, ароматическими или смешением и тех и других, и $n=1-10$, или $R_1-O-(CH_2CH_3CH-O)_n-COCH=CH_2$, где R_1 является алифатическим или ароматическим, и $n=1-10$. Репрезентативные примеры включают в себя этиленненасыщенные мономеры, например, лаурилат (например, SR335 компании Sartomer Company, Inc., AGEFLEX FA12 компании BASF и PHOTOMER 4812 компании IGM Resins), этоксилированный нонилфенолакрилат (например, SR504 компании Sartomer Company, Inc. и PHOTOMER 4066 компании IGM Resins), капролактонакрилат (например, SR495 компании Sartomer Company, Inc. и TONE M-100 компании Dow Chemical), феноксиэтилакрилат (например, SR339 компании Sartomer Company, Inc., AGEFLEX PEA компании BASF и PHOTOMER 4035 компании IGM Resins), изооктилакрилат (например, SR440 компании Sartomer Company, Inc. и AGEFLEX FA8 компании BASF), тридецилакрилат (например, SR489 компании Sartomer Company, Inc.), изоборнилакрилат (например, SR506 компании Sartomer Company, Inc. и AGEFLEX IBOA компании CPS Chemical Co.), тетрагидрофурулакрилат (например, SR285 компании Sartomer Company, Inc.), стеарилакрилат (например, SR257 компании Sartomer Company, Inc.), изодецилакрилат (например, SR395 компании Sartomer Company, Inc. и AGEFLEX FA10 компании BASF), 2-(2-этоксиэтокси)этилакрилат (например, SR256 компании Sartomer Company, Inc.), эпоксиакрилат (например, CN120 компании Sartomer Company и EBECRYL 3201 и 3604 компании Cytec Industries Inc.), лаурилоксиглицидилакрилат (например, CN130 компании Sartomer Company), феноксиглицидилакрилат (например, CN131 компании Sartomer Company) и комбинации приведенных соединений.

[0060] Мономерный компонент первичной отверждаемой композиции может также включать в себя многофункциональный (мет) акрилат. В контексте настоящей заявки, термин «(мет) акрилат» означает акрилат или метакрилат. Многофункциональные (мет) акрилаты являются (мет) акрилатами, содержащими две или более полимеризуемых (мет) акрилатных групп на каждую молекулу. Многофункциональный (мет) акрилат может содержать три или более полимеризуемых (мет)акрилатных групп на каждую

молекулу. Примеры многофункциональных (мет) акрилатов включают в себя дипентаэритрит-моногидроксипентаакрилат (например, PHOTOMER 4399 компании IGM Resins); полиакрилаты метилолпропана с алкоксилированием и без алкоксилирования, например, триакрилат триметилолпропана, тетраакрилат дитриметилолпропана (например, PHOTOMER 4355 компании IGM Resins); алкоксилированные глицерилтриакрилаты, например, пропоксилированный глицерилтриакрилат с показателем пропоксилирования, равным 3 или выше (например, PHOTOMER 4096 компании IGM Resins); и эритрита полиакрилаты с алкоксилированием и без алкоксилирования, например, пентаэритрита тетраакрилат (например, SR295 компании Sartomer Company, Inc. (Westchester, Pa.)), этоксилированный пентаэритрита тетраакрилат (например, SR494 компании Sartomer Company, Inc.), дипентаэритрита пентаакрилат (например, PHOTOMER 4399 компании IGM Resins и SR399 компании Sartomer Company, Inc.), трипропиленгликоля ди(мет)акрилат, пропоксилированный гександиол ди(мет)акрилат, ди(мет)акрилат тетрапропиленгликоля, ди(мет)акрилат пентапропиленгликоля. Многофункциональный (мет)акрилат может присутствовать в первичной отверждаемой композиции в концентрации 0,05-15 весовых % или 0,1-10 весовых %.

[0061] Мономерный компонент первичных отверждаемых композиций может включать в себя N-виниламид, например, N-виниллактam, или N-винилпирролидон, или N-винилкапролактam. N-виниламидный мономер может присутствовать в первичной отверждаемой композиции в концентрации 0,1-40 весовых %, или 2-10 весовых %.

[0062] Композиция отверждаемого первичного покрытия может включать в себя один или более монофункциональных (мет)акрилатных мономеров в количестве 5-95 весовых % или 30-75 весовых %, или 40-65 весовых %. Композиция отверждаемого первичного покрытия может включать в себя один или более монофункциональных алифатических эпоксиакрилатных мономеров в количестве 5-40 весовых % или 10-30 весовых %.

[0063] Мономерный компонент первичной отверждаемой композиции может включать в себя гидроксифункциональный мономер. Гидроксифункциональный мономер является мономером, который содержит гидроксильную группу в боковой цепи в дополнение к другим реакционно-способным функциональным группам, например, (мет)акрилатным. Примеры гидроксифункциональных мономеров, включающих в себя гидроксильные группы в боковых цепях, включают в себя капролактона акрилат (выпускаемый компанией Dow Chemical под маркой TONE M-100); поли(алкиленгликоль)-моно(мет)акрилаты, например, поли(этиленгликоль)-моноакрилат, поли(пропиленгликоль)-моноакрилат и поли(тетраметилэтиленгликоль)-моноакрилат (выпускаемые компанией Monomer, Polymer & Dajac Labs); 2-гидроксиэтил(мет)акрилат, 3-гидроксипропил(мет)акрилат и 4-гидроксibuтил(мет)акрилат (выпускаемые компанией Aldrich).

[0064] Гидроксифункциональный мономер может присутствовать в количестве, достаточном для усиления адгезии покрытия к оптическому волокну. Гидроксифункциональный мономер может присутствовать в первичной отверждаемой композиции в количестве от приблизительно 0,1 весовых % до приблизительно 25 весовых % или в количестве от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 8 весовых %. Применение гидроксифункционального мономера может уменьшать количество промотора адгезии, необходимое для достаточной адгезии первичного покрытия к оптическому волокну. Применение гидроксифункционального мономера может также способствовать повышению гидрофильности первичного покрытия.

Гидроксифункциональные мономеры подробно описаны в патенте США № 6,563,996, раскрытие которого в полном объеме включено в настоящую заявку путем отсылки.

[0065] Суммарное содержание мономера первичной отверждаемой композиции может быть от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 95 весовых % или от приблизительно 30 весовых % до приблизительно 75 весовых %, или от приблизительно 40 весовых % до приблизительно 65 весовых %.

[0066] Мономер, присутствующий в первичной отверждаемой композиции, может включать в себя N-виниламидный мономер в концентрации от 0,1 до 40 весовых % или от 2 до 10 весовых % в комбинации с одним или более двухфункциональными уретан-акрилатными олигомерами в количестве от 5 до 95 весовых % или от 25 до 65 весовых %, или от 35 до 55 весовых %.

[0067] Композиция первичного покрытия может включать в себя один или более монофункциональных (мет)акрилатных мономеров в количестве от приблизительно 5 до 95 весовых %; N-виниламидный мономер в количестве от приблизительно 0,1 до 40 весовых %; и один или более двухфункциональных уретан-акрилатных олигомеров, которые включают в себя полиол, прореагировавший с изоцианатом для формирования уретана, при этом олигомер присутствует в количестве от приблизительно 5 до 95 весовых %. Полиол может быть полипропиленгликолем, и изоцианат может быть алифатическим диизоцианатом.

[0068] Композиция первичного покрытия может включать в себя один или более монофункциональных (мет)акрилатных мономеров в количестве от приблизительно 40 до 65 весовых %; N-виниламидный мономер в количестве от приблизительно 2 до 10 весовых %; и один или более двухфункциональных уретан-акрилатных олигомеров на основе полипропиленгликоля в количестве от приблизительно 35 до 60 весовых %.

[0069] Температура стеклования первичного покрытия может влиять на микроизгибные функциональные характеристики волокон при низкой температуре. Возможно, было бы желательно, чтобы первичное покрытие имело температуру стеклования ниже наименьшей предполагаемой температуры применения оптического волокна с покрытием. Температура стеклования первичного покрытия может быть не выше -15°C, или не выше -25°C, или не выше -30°C, или не выше -40°C. Температура стеклования первичного покрытия может быть выше чем -60°C, или выше чем -50°C, или выше чем -40°C. Температура стеклования первичного покрытия может быть или от -60°C до -15°C, или от -60°C до -30°C, или от -60°C до -40°C, или от -50°C до -15°C, или от -50°C до -30°C, или от -50°C до -40°C.

[0070] Первичное покрытие может иметь модуль упругости ниже, чем вторичное покрытие. Низкий модуль упругости может позволить первичному покрытию защитить сердцевину и оболочку посредством эффективного распределения внутренних напряжений, которые возникают, когда внешняя область волокна изгибается или подвергается воздействию внешней силы. В контексте настоящей заявки, модуль упругости *in situ* первичного покрытия является модулем упругости, измеренным с использованием метода, который описан ниже.

[0071] Для измерения модуля упругости *in situ* первичного покрытия применяется шестидюймовый образец волокна. Однодюймовую секцию от центра шестидюймового образца зачищают стриппером на участке и протирают изопропиловым спиртом. Образец закрепляют на держателе образца/юстировочном столике, снабженном алюминиевыми лапками 10 мм×5 мм, к которым приклеивают образец. Две лапки установлены так, что длина 10 мм расположена горизонтально, с 5-мм зазором между двумя лапками. Волокно укладывают горизонтально на держатель образца поперек

лапок. Конец волокна с покрытием размещают на одной лапке и продолжают до половины 5-мм пространства между лапками, и очищенное стекло располагают над другой половиной 5-мм зазора и на другой лапке. Образец выравнивают и затем отводят в сторону так, что небольшую каплю клея можно нанести на половину каждой лапки, ближайшей к 5-мм зазору. Затем волокно возвращают над лапками и центрируют. После этого юстировочный столик поднимают, пока клей не касается волокна. Затем конец с покрытием протягивают через клей таким образом, чтобы большая часть образца в 5-мм зазоре между лапками была зачищенным стеклом. Саму оконечность конца с покрытием оставляют продолжающейся за клей на лапке таким образом, что область, подлежащая измерению, остается открытой. Образцу дают время высохнуть. Длина волокна, зафиксированная к лапкам, обрезается до 5 мм. Измеряют длину с покрытием, заглубленную в клей, незаглубленную длину (между лапками) и первичный диаметр торцевой поверхности.

[0072] Измерения можно выполнять на приборе типа Rheometrics DMTA IV, при постоянной деформации $9 \cdot 10^{-6}$ 1/с в течение периода времени сорока пяти минут при комнатной температуре ($\sim 21^\circ\text{C}$). Расчетная длина равна 15 мм. Усилие и изменение длины записываются и используются для вычисления первичного модуля упругости. Образцы подготавливают удалением любого эпоксидного состава с лапок, который создал бы помехи на 15-мм длине зажима, для обеспечения условий, чтобы отсутствовал контакт с волокном, и чтобы образец был закреплен к зажимам под прямым углом. После того, как усилие прибора обнуляется, конец без покрытия закрепляется к нижнему зажиму (измерительный зонд). Лапка, содержащая конец волокна с покрытием, закрепляется к верхнему (неподвижному) зажиму. Затем выполняется испытание, и образец снимается после того, как анализ выполнен.

[0073] Модуль упругости *in situ* первичного покрытия может быть не выше 1 МПа или не выше 0,50 МПа, или не выше 0,25 МПа, или не выше 0,20 МПа, или не выше 0,19 МПа, или не выше 0,18 МПа, или не выше 0,17 МПа, или не выше 0,16 МПа, или не выше 0,15 МПа, или от 0,01 МПа до 1,0 МПа, или от 0,01 МПа до 0,50 МПа, или от 0,01 МПа до 0,20 МПа.

[0074] Первичная отверждаемая композиция может также включать в себя инициаторы полимеризации, антиоксиданты и другие добавки, известные специалисту.

[0075] Инициатор полимеризации может способствовать иницированию процесса полимеризации, связанного с отверждением первичной композиции для формирования первичного покрытия. Инициаторы полимеризации могут включать в себя термические инициаторы, химические инициаторы, электронно-лучевые инициаторы и фотоинициаторы. Для многих составов покрытий на основе (мет) акрилатов можно применять фотоинициаторы, например, кетонные добавки фотоиницирования и/или фосфиноксидные добавки. В процессе применения при фотоформировании первичного покрытия в соответствии с настоящим изобретением, фотоинициатор может присутствовать в количестве, достаточном для обеспечения быстрого ультрафиолетового отверждения.

[0076] Подходящие фотоинициаторы могут включать в себя 1-гидроксициклогексилфенилкетон (например, коммерческие смеси IRGACURE 184 компании BASF); бис(2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентилфосфиноксид (например, коммерческие смеси IRGACURE 1800, 1850 и 1700 компании BASF); 2,2-диметокси-2-фенилацетофенон (например, IRGACURE 651 компании BASF); бис(2,4,6-триметилбензоил)-фенилфосфиноксид (IRGACURE 819); (2,4,6-триметилбензоил)дифенилфосфиноксид (LUCIRIN TPO компании BASF (Мюнхен, Германия)); этокси

(2,4,6-триметилбензоил)-фенилфосфиноксид (LUCIRIN TPO-L компании BASF); и комбинации вышеприведенных соединений.

[0077] Фотоинициаторный компонент первичной отверждаемой композиции может состоять из единственного фотоинициатора или комбинации из двух или более фотоинициаторов. Суммарное содержание фотоинициатора в первичной отверждаемой композиции может быть до приблизительно 10 весовых % или от приблизительно 0,5 весовых % до приблизительно 6 весовых %.

[0078] В дополнение к мономеру(ам), олигомеру(ам) и инициатору(ам) полимеризации, первичная отверждаемая композиция может включать в себя другие добавки, например, промотор адгезии, упрочняющую добавку, активный разбавитель, антиоксидант, катализатор, стабилизатор, оптический отбеливатель, добавку, улучшающую свойства, аминный синергист, воск, смазку и/или антифрикционную добавку. Некоторые добавки могут выполнять функцию управления процессом полимеризации, воздействуя, тем самым, на физические характеристики (например, модуль упругости, температуру стеклования) продукта полимеризации, сформированному из первичной отверждаемой композиции. Другие добавки могут влиять на монолитность продукта полимеризации первичной отверждаемой композиции (например, защищать от деполимеризации или окислительной деструкции). Например, первичное отверждаемое покрытие может включать в себя носитель, описанный в патентах США №№ 6,326,416 и 6,539, 152, раскрытие которых включено в настоящую заявку путем отсылки.

[0079] Возможно, в состав первичного отверждаемого покрытия желательно включить промотор адгезии. Промотор адгезии представляет собой соединение, которое может способствовать адгезии первичного покрытия и/или первичной композиции к оболочке. Подходящие промоторы адгезии включают в себя алкоксисиланы, органотитанаты и цирконаты. Репрезентативные промоторы адгезии включают в себя 3-меркаптопропилтриалкоксисилан (например, 3-MPTMS, выпускаемый компанией Gelest (Tullytown, Pa.)); бис(триалкоксисилилэтил)бензол; акрилоксипропилтриалкоксисилан (например, (3-акрилоксипропил)-триметоксисилан, выпускаемый компанией Gelest), метакрилоксипропилтриалкоксисилан, винилтриалкоксисилан, бис(триалкоксисилилэтил)гексан, аллилтриалкоксисилан, стирилэтилтриалкоксисилан, и бис(триметоксисилилэтил)бензол (выпускаемый компанией United Chemical Technologies (Bristol, Pa.)); смотри патент США № 6,316,516, раскрытие которого в полном объеме включено в настоящую заявку путем отсылки.

[0080] Промотор адгезии может присутствовать в первичной композиции в количестве от приблизительно 0,02 ррh до приблизительно 10 ррh или от приблизительно 0,05 ррh до 4 ррh, или от приблизительно 0,1 ррh до приблизительно 2 ррh, или от приблизительно 0,1 ррh до приблизительно 1 ррh.

[0081] Композиция первичного покрытия может также включать в себя упрочняющую добавку типа описанной в опубликованной патентной заявке США № 20030077059, раскрытие которой в полном объеме включено в настоящую заявку путем отсылки. Репрезентативные упрочняющие добавки включают в себя меркапто-функциональные соединения, например, сложный метиловый эфир N-(трет-бутоксикарбонил)-L-цистеина, пентаэритритолтетраakis(3-меркаптопропионат), (3-меркаптопропил)-триметоксисилан; (3-меркаптопропил)триметоксисилан и додецилмеркаптан. Упрочняющая добавка может присутствовать в первичной отверждаемой композиции в количестве менее чем приблизительно 1 ррh, или в количестве меньше чем приблизительно 0,5 ррh, или в количестве от приблизительно 0,01 ррh до приблизительно 0,1 ррh.

[0082] Репрезентативный антиоксидант представляет собой тиодиэтиленбис [3-(3,5-

ди-трет-бутил)-4-гидроксифенил)пропионат] (например, IRGANOX 1035 компании BASF).

[0083] Возможно, было бы желательно включение оптического отбеливателя в первичную отверждаемую композицию. Репрезентативные оптические отбеливатели включают в себя TINOPAL OB (выпускаемый компанией BASF); Blankophor KLA (выпускаемый компанией Bayer); соединения бисбензоксазола; соединения фенилкумарина; и соединения бис(стирил)бифенила. Оптический отбеливатель может присутствовать в первичной отверждаемой композиции в концентрации 0,005 ррh–0,3 ррh.

[0084] Возможно также, было бы желательно включение аминного синергиста в первичную отверждаемую композицию. Репрезентативные аминные синергисты включают в себя триэтаноламин; 1,4-диазабицикло[2.2.2]октан (DABCO), триэтиламин и метилдиэтаноламин. Аминный синергист может присутствовать в концентрации 0,02 ррh-0,5 ррh.

[0085] Вторичное покрытие может защищать волокно от механического повреждения и окружающей среды. Вторичное покрытие может быть сформировано из отверждаемой вторичной композиции, которая включает в себя один или более мономеров. Мономеры могут включать в себя этиленненасыщенные соединения. Отверждаемая вторичная композиция может также включать в себя один или более олигомеров, один или более инициаторов полимеризации и одну или более добавок, более подробно описанных в настоящем описании.

[0086] Если не указано или не подразумевается иное, то весовое процентное содержание (весовой %) конкретного компонента в отверждаемой вторичной композиции относится к количеству компонента, присутствующему в отверждаемой вторичной композиции, без учета добавок. В общем, весовые процентные содержания мономера(ов), олигомера(ов) и инициатора(ов) составляют в сумме 100%. При наличии, количество добавки указывается в настоящем описании в единицах частей на сто (pph) относительно суммарных количеств мономера(ов), олигомера(ов) и инициатора(ов). Добавка, присутствующая в концентрации 1 ррh, например, присутствует в количестве 1 г на каждые 100 г суммарного количества мономера(ов), олигомера(ов) и инициатора (ов).

[0087] Для снижения стоимости, содержание олигомеров, содержание уретановых олигомеров, или содержание уретан-акрилатных олигомеров вторичной композиции можно минимизировать. В отношении преобладающих вторичных композиций, известных в данной области техники, содержание олигомеров, содержание уретановых олигомеров, или содержание уретан-акрилатных олигомеров настоящей вторичной композиции является особенно низким. Олигомеры, уретановые олигомеры или уретан-акрилатные олигомеры могут присутствовать в качестве неосновного компонента или совершенно отсутствовать во вторичной композиции в соответствии с настоящим изобретением. Олигомеры, уретановые олигомеры или уретан-акрилатные олигомеры могут присутствовать во вторичной композиции в количестве приблизительно не более 3 весовых % или в количестве приблизительно не более 2 весовых %, или в количестве приблизительно не более 1 весовых %. Вторичная композиция может быть также лишена олигомеров, уретановых олигомеров или уретан-акрилатных олигомеров.

[0088] Мономерный компонент отверждаемой вторичной композиции может включать в себя один или более мономеров. Один или более мономеров могут присутствовать во вторичной композиции в количестве не менее 50 весовых % или в количестве от приблизительно 75 весовых % до приблизительно 99 весовых %, или в

количестве от приблизительно 80 весовых % до приблизительно 99 весовых %, или в количестве от приблизительно 85 весовых % до приблизительно 98 весовых %.

[0089] Мономерный компонент отверждаемой вторичной композиции может включать в себя этиленненасыщенные соединения. Этиленненасыщенные мономеры могут быть монофункциональными или полифункциональными. Функциональные группы могут быть полимеризуемыми группами и/или группами, которые облегчают или способствуют поперечной сшивке. В комбинациях из двух или более мономеров, составляющие мономеры могут быть монофункциональными, полифункциональными или комбинацией из монофункциональных и полифункциональных соединений.

Подходящие функциональные группы для этиленненасыщенных мономеров включают в себя, без ограничения, (мет)акрилаты, акриламиды, N-виниламиды, стиролы, простые винилэфиры, сложные винилэфиры, кислые сложные эфиры и их комбинации.

[0090] Примерные монофункциональные этиленненасыщенные мономеры включают в себя, без ограничения, гидроксиалкилакрилаты, например, 2-гидроксиэтилакрилат, 2-гидроксипропилакрилат и 2-гидроксибутилакрилат; длинно- и короткоцепные алкилакрилаты, например, метилакрилат, этилакрилат, пропилакрилат, изопропилакрилат, бутилакрилат, амилакрилат, изобутилакрилат, т-бутилакрилат, пентилакрилат, изоамилакрилат, гексилакрилат, гептилакрилат, октилакрилат, изооктилакрилат, 2-этилгексилакрилат, нонилакрилат, децилакрилат, изодецилакрилат, ундецилакрилат, додецилакрилат, лаурилакрилат, октадецилакрилат и стеарилакрилат; аминоксалилакрилаты, например, диметиламиноэтилакрилат, диэтиламиноэтилакрилат и 7-амино-3,7-диметилоктилакрилат; алкоксиалкилакрилаты, например, бутоксиэтилакрилат, феноксиэтилакрилат (например, SR339 компании Sartomer Company, Inc.) и этоксиэтоксиэтилакрилат; одно- и многокольцевые циклические ароматические и неароматические акрилаты, например, циклогексилакрилат, бензилакрилат, дициклопентадиенакрилат, дициклопентанилакрилат, трициклодканилакрилат, борнилакрилат, изоборнилакрилат (например, SR423 компании Sartomer Company, Inc.), тетрагидрофурфурилакрилат (например, SR285 компании Sartomer Company, Inc.), капролактонакрилат (например, SR495 компании Sartomer Company, Inc.) и акрилоилморфолин; акрилаты на спиртовой основе, например, моноакрилат полиэтиленгликоля, моноакрилат полипропиленгликоля, акрилат метоксиэтиленгликоля, акрилат метоксиполипропиленгликоля, акрилат метоксиполиэтиленгликоля, акрилат этоксидиэтиленгликоля и различные алкоксилированные алкилфенолакрилаты, например, этоксилированный(4) нонилфенолакрилат (например, Photomer 4066 компании IGM Resins); акриламиды, например, диацетон-акриламид, изобутоксиметил-акриламид, N,N'-диметил-аминопропил-акриламид, N,N-диметил-акриламид, N,N-диэтил-акриламид и t-октил-акриламид; виниловые соединения, например, N-винилпирролидон и N-винилкапролактam; и сложные кислые эфиры, например, сложный эфир малеиновой кислоты и сложный эфир фумаровой кислоты. В отношении длинно- и короткоцепных алкилакрилатов, перечисленных выше, короткоцепной алкилакрилат представляет собой алкильную группу с 6 или менее атомами углерода, и длинноцепной алкилакрилат представляет собой алкильную группу с 7 или более атомами углерода.

[0091] Многие подходящие мономеры являются либо коммерчески доступными, либо легко синтезируемыми с использованием реакционных схем, известных в данной области техники. Например, большинство из вышеперечисленных монофункциональных мономеров можно синтезировать посредством взаимодействия подходящего спирта или амида с акриловой кислотой или акрилоилхлоридом.

[0092] Репрезентативные полифункциональные этиленненасыщенные мономеры

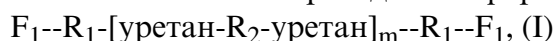
включают в себя, без ограничения, алкоксилированные бисфенол-А диакрилаты, например, этоксилированный бисфенол-А диакрилат со степенью алкоксилирования не менее 2. Мономерный компонент вторичной композиции может включать в себя этоксилированный бисфенол-А диакрилат со степенью этоксилирования в диапазоне от 2 до приблизительно 30 (например, SR349 и SR601 компании Sartomer Company, Inc. West Chester, Pa. и Photomer 4025 и Photomer 4028 компании IGM Resins) или пропоксилированный бисфенол-А диакрилат со степенью пропоксилирования не ниже 2; например, в диапазоне от 2 до приблизительно 30; полиакрилаты метилолпропана с алкоксилированием и без алкоксилирования, например, этоксилированный триметилолпропантриакрилат со степенью этоксилирования не ниже 3; например, в диапазоне от 3 до приблизительно 30 (например, Photomer 4149 компании IGM Resins и SR499 компании Sartomer Company, Inc.); пропоксилированный триметилолпропантриакрилат со степенью пропоксилирования не ниже 3; например, в диапазоне от 3 до 30 (например, Photomer 4072 компании IGM Resins и SR492 компании Sartomer); дитриметилолпропантетраакрилат (например, Photomer 4355 компании IGM Resins); алкоксилированные глицерилтриакрилаты, например, пропоксилированный глицерилтриакрилат со степенью пропоксилирования не ниже 3 (например, Photomer 4096 компании IGM Resins и SR9020 компании Sartomer); эритрита полиакрилаты с алкоксилированием и без алкоксилирования, например, пентаэритрита тетраакрилат (например, SR295 компании Sartomer Company, Inc. (West Chester, Pa.)), этоксилированный пентаэритрита тетраакрилат (например, SR494 компании Sartomer Company, Inc.) и дипентаэритрита пентаакрилат (например, PHOTOMER 4399 компании IGM Resins и SR399 компании Sartomer Company, Inc.); изоцианурата полиакрилаты, сформированные взаимодействием подходящего функционального изоцианурата с акриловой кислотой или акрилоилхлоридом, например, трис-(2-гидроксиэтил) изоцианурата триакрилат (например, SR368 компании Sartomer Company, Inc.) и трис-(2-гидроксиэтил)изоцианурата диакрилат; спиртовые полиакрилаты с алкоксилированием и без алкоксилирования, например, трициклодекандиметанолдиакрилат (например, CD406 компании Sartomer Company, Inc.) и этоксилированный диакрилат полиэтиленгликоля со степенью этоксилирования не ниже 2; например, в диапазоне от приблизительно 2 до 30; эпоксиакрилаты, сформированные добавлением акрилата в диглицидный эфир бисфенола-А и т.п. (например, Photomer 3016 компании IGM Resins); и одно- и многокольцевые циклические ароматические и неароматические полиакрилаты, например, дициклопентадиена диакрилат и дициклопентана диакрилат.

[0093] В дополнение к функционированию в качестве полимеризуемой функциональной группы, монофункциональные мономеры могут также включаться в отверждаемую вторичную композицию для других целей. Монофункциональные мономерные компоненты могут влиять, например, на степень, в которой отвержденный продукт поглощает воду, сцепляется с другими материалами покрытий или ведет себя под нагрузкой.

[0094] Вторичная композиция может или не может включать в себя олигомерный компонент. Как указано выше, при наличии, олигомеры могут присутствовать как малые составляющие во вторичной композиции. Во вторичной композиции могут присутствовать один или более олигомеров. Один класс олигомеров, который может содержаться во вторичной композиции, представляет собой этиленненасыщенные олигомеры. При использовании, подходящие олигомеры могут быть монофункциональными олигомерами, полифункциональными олигомерами или комбинацией монофункционального олигомера и полифункционального олигомера.

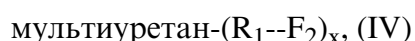
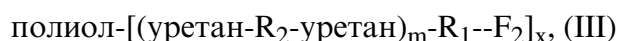
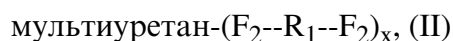
В случае присутствия, олигомерный компонент вторичной композиции может включать в себя алифатические и ароматические уретан-(мет)акрилатные олигомеры, мочевино (мет)акрилатные олигомеры, сложные и простые полиэфир(мет)акрилатные олигомеры, акрилатные акриловые олигомеры, полибутадие(мет)акрилатные олигомеры, поликарбонат(мет)акрилатные олигомеры и меламина(мет)акрилатные олигомеры или их комбинации. Вторичная композиция может не содержать уретановых групп, уретан-акрилатных соединений, уретановых олигомеров или уретан-акрилатных олигомеров.

[0095] Олигомерный компонент вторичной композиции может включать в себя двухфункциональный олигомер. Двухфункциональный олигомер может иметь структуру в соответствии с нижеприведенной формулой (I):



где F_1 может быть, независимо, реакционно-способной функциональной группой, например, акрилатной, метакрилатной, акриламидной, N-виниламидной, стирольной, простой винилэфирной, сложной винилэфирной или другой функциональной группой, известной в данной области техники; R_1 может включать в себя, независимо, $-C_{2-12}O-$, $-(C_{2-4}O)_n-$, $-C_{2-12}O-(C_{2-4}O)_n-$, $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}O)_n-$, или $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}NH)_n-$, где n означает целое число от 1 до 30, включая, например, от 1 до 10; R_2 может быть простым полиэфиром, сложным полиэфиром, поликарбонатом, полиамидом, полиуретаном, полимочевиной или их комбинацией; и m означает целое число от 1 до 10, включая, например, от 1 до 5. В структуре формулы (I), уретановая группа может быть остатком, сформированным в результате реакции диизоцианата с R_2 и/или R_1 . Термин «независимо» применен в настоящем описании для указания, что каждая F_1 может отличаться от другой F_1 , и то же самое справедливо для каждого R_1 .

[0096] Олигомерный компонент отверждаемой вторичной композиции может включать в себя полифункциональный олигомер. Полифункциональный олигомер может иметь структуру по формуле (II), формуле (III) или формуле (IV), приведенным ниже:



где F_2 может независимо представлять от 1 до 3 функциональных групп, например, акрилатных, метакрилатных, акриламидных, N-виниламидных, стирольных, простых винилэфирных, сложных винилэфирных или других функциональных групп, известных в данной области техники; R_1 может включать в себя, независимо, $-C_{2-12}O-$, $-(C_{2-4}O)_n-$, $-C_{2-12}O-(C_{2-4}O)_n-$, $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}O)_n-$, или $-C_{2-12}O-(CO-C_{2-5}NH)_n-$, где n означает целое число от 1 до 10, включая, например, от 1 до 5; R_2 может быть простым полиэфиром, сложным полиэфиром, поликарбонатом, полиамидом, полиуретаном, полимочевиной или их комбинацией; x означает целое число от 1 до 10, включая, например, от 2 до 5, и m означает целое число от 1 до 10, включая, например, от 1 до 5. В структуре формулы (II), мультиуретановая группа может быть остатком, сформированным в результате взаимодействия мультиизоцианата с R_2 . Аналогично, уретановая группа в структуре формулы (III) может быть продуктом взаимодействия, сформированным вслед за связыванием диизоцианата с R_2 и/или R_1 .

[0097] Уретановые олигомеры можно приготавливать взаимодействием

алифатического или ароматического диизоцианата с простым или сложным полиэфиром двухосновной кислоты, обычно полиоксипропиленгликолем, например, полиэтиленгликолем. Водостойкие олигомеры можно синтезировать аналогичным образом, за исключением того, что полярные простые полиэфиры или сложные

полиэфиргликоли исключаются в пользу преимущественно насыщенных и преимущественно неполярных алифатических диолов. Данные диолы могут включать в себя алкановые или алкиленовые диолы с приблизительно 2-250 атомами углерода, которые могут быть, по существу, свободны от простых или сложных эфирных групп.

[0098] Полимочевинные элементы могут содержать в олигомерах, приготовленных данными способами, например, посредством замещения диолов или полиолов диаминами или полиаминами в процессе синтеза. Присутствие небольших относительных количеств полимочевин в композиции вторичного покрытия не считается вредным для функциональных характеристик покрытия, при условии, что диамины или полиамины, используемые при синтезе, являются достаточно неполярными и насыщенными, чтобы

исключить снижение водостойкости системы.

[0099] Композиции вторичных покрытий могут также содержать инициатор полимеризации для поддержки полимеризации (отверждения) вторичной композиции после ее нанесения на стекловолокно или стекловолокно, предварительно покрытое первичным или другим слоем. Инициаторы полимеризации, пригодные для использования в композициях примерных вариантов осуществления, могут включать в себя термические инициаторы, химические инициаторы, электронно-лучевые инициаторы, микроволновые инициаторы, инициаторы, чувствительные к актиничному излучению и фотоинициаторы. Для многих составов покрытий на основе акрилатов можно применять фотоинициаторы, например, известные кетонные добавки фотоиницирования и/или фосфиноксидные добавки. При использовании в композициях, фотоинициатор может присутствовать в количестве, достаточном для обеспечения быстрого ультрафиолетового отверждения. Фотоинициатор может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 0,5 весовых % до приблизительно 10 весовых %, или от приблизительно 1,5 весовых % до приблизительно 7,5 весовых %, или в количестве приблизительно 3 весовых %.

[00100] Количество фотоинициатора можно регулировать для промотирования радиационного отверждения, чтобы обеспечить обоснованную скорость отверждения без вызова преждевременной желатинизации композиции покрытия. Требуемая скорость отверждения может быть скоростью, достаточной для обеспечения отверждения композиции покрытия выше чем приблизительно 90%, или выше чем 95%. Как измерено на кривой зависимости дозы от модуля упругости, скорость отверждения для толщины покрытия приблизительно 75 мкм может быть, например, ниже чем 1,0 Дж/см² или ниже чем 0,5 Дж/см².

[00101] Подходящие фотоинициаторы могут включать в себя, без ограничения, 2,4,6-триметилбензоил-дифенилфосфиноксид (например, Lucirin TPO); 1-гидроксикиклогексилфенилкетон (например, Irgacure 184 компании BASF); (2,6-диэтоксibenзоил)-2,4,4-триметилпентилфосфиноксид (например, в коммерческих смесях Irgacure 1800, 1850 и 1700 компании BASF); 2,2-диметоксил-2-фенилацетофенон (например, Irgacure 651 компании BASF); бис(2,4,6-триметилбензоил)фенилфосфиноксид (например, Irgacure 819 компании BASF); (2,4,6-триэтилбензоил)дифенилфосфиноксид (например, в коммерческой смеси Darocur 4265 компании BASF); 2-гидрокси-2-метил-1-фенилпропан-1-он (например, в коммерческой смеси Darocur 4265 компании BASF) и их комбинации.

[00102] В дополнение к вышеописанным компонентам, композиция вторичного покрытия может, при желании, включать в себя добавку или комбинацию добавок. Репрезентативные добавки включают в себя, без ограничения, антиоксиданты, катализаторы, смазки, низкомолекулярные несшивающие смолы, промоторы адгезии и стабилизаторы. Добавки могут выполнять функцию управления процессом полимеризации, оказывая, тем самым, влияние на физические свойства (например, модуль упругости, температуру стеклования) продукта полимеризации, сформированного из композиции. Добавки могут влиять на монолитность продукта полимеризации композиции (например, защищать от деполимеризации или окислительной деструкции).

[00103] Вторичная композиция может содержать тиодидиэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксигидроциннамат (например, Irganox 1035 компании BASF) в качестве антиоксиданта. Вторичная композиция может включать в себя кислотный акрилатный промотор адгезии (например, Ebecryl 170 (выпускаемый компанией UCB Radcure (Smyrna Ga.)). Другие подходящие материалы для использования в материалах вторичных покрытий, а также соображения, связанные с выбором данных материалов, общеизвестны в данной области техники и описаны в патентах США №№ 4,962,992 и 5,104,433, раскрытия которых включены в настоящую заявку путем отсылки.

[00104] Даже при небольшом содержании олигомера, настоящие вторичные композиции могут давать, в результате, материал вторичного покрытия, имеющий высокую прочность при растяжении и высокий модуль упругости (модуль Юнга). Вторичное покрытие может иметь более высокий модуль упругости и более высокую температуру, чем первичное покрытие. В контексте настоящего описания, модуль упругости *in situ* вторичного покрытия является модулем упругости, измеренным методом, который изложен в настоящем описании.

Модуль *in situ* вторичного покрытия

[00105] Модуль *in situ* вторичного покрытия измеряют с использованием образцов снятой трубки покрытия волокна. Чтобы получить образец снятой трубки покрытия волокна, 0,0055-дюймовый (0,14-мм) стриппер Миллера сначала сжимают на расстоянии приблизительно 1 дюйм (25,4 мм) от конца волокна с покрытием. Однодюймовую (2,54-мм) область волокна, продолжающуюся от стриппера, окунают в струю жидкого азота и выдерживают в ней в течение 3 секунд. Затем волокно извлекают из струи жидкого азота и быстро очищают. Очищенный конец волокна проверяют, чтобы убедиться в снятии покрытия. Если покрытие остается на стекле, то образец подготавливают снова. В результате получается пустотелая трубка из первичного и вторичного покрытий. Диаметры стекла, первичного покрытия и вторичного покрытия измеряют на торце неочищенного волокна.

[00106] Для измерения вторичного модуля *in situ*, образцы снятой трубки покрытия волокна можно измерять прибором типа Rheometrics DMTA IV, при расчетной длине образца 11 мм. Ширину, толщину и длину образца определяют и обеспечивают в качестве входных данных в системное программное обеспечение прибора. Образец закрепляют и обрабатывают с помощью программы временной развертки при температуре окружающего воздуха (21°C) и с использованием следующих параметров:

Частота: 1 рад/сек

Деформация: 0,3%

Суммарное время = 120 сек

Время на измерение = 1 сек

Первоначальное статическое усилие = 15,0 [г]

Статическое > Динамическое усилие на =10,0 [%]

[00107] После окончания, последние пять экспериментальных значений E' (модуля накопления) усредняются. Каждый образец обрабатывается три раза (свежий образец для каждой серии) для получения в сумме пятнадцати экспериментальных значений.

5 Среднее значение трех серий сообщается как модуль *in situ* вторичного покрытия.

[00108] Прочность при растяжении продукта полимеризации вторичной композиции в соответствии с настоящим изобретением, при подготовке в форме отвержденных стержней, может быть, по меньшей мере, 50 МПа. При измерении на отвержденных стержнях покрытия при комнатной температуре ($\sim 21^\circ\text{C}$), модуль упругости
10 отвержденного продукта вторичной композиции может быть в диапазоне от приблизительно 1400 МПа до приблизительно 2200 МПа или в диапазоне от приблизительно 1700 МПа до приблизительно 2100 МПа, или в диапазоне от приблизительно 1600 МПа до приблизительно 3000 МПа. Модуль упругости *in situ* вторичного покрытия может быть не ниже 1200 МПа или не ниже 1500 МПа, или не
15 ниже 1800 МПа, или не ниже 2100 МПа, или не ниже 2400 МПа, или не ниже 2700 МПа.

Модуль Юнга, прочность при растяжении и относительное удлинение (%) при разрыве

[00109] Композиции покрытия подготавливают в форме стержневых образцов для испытания на растяжение. Стержни подготавливают отливкой отверждаемых композиций в тефлоновую (Teflon®) трубку, имеющую внутренний диаметр
20 приблизительно 0,025 дюймов (0,635 мм). Стержневые образцы отверждают с использованием лампы накаливания Fusion D с дозировкой приблизительно $2,4 \text{ Дж/см}^2$ (измеренной по диапазону длин волн 225-424 нм прибором Light Bug модели IL390, выпускаемом компанией International Light). После отверждения, тефлоновую трубку очищают для обеспечения стержневых образцов из композиции покрытия.

25 Отвержденным стержням предоставляется возможность кондиционирования в течение ночи при 23°C и относительной влажности 50%. Такие свойства, как модуль Юнга, прочность при растяжении и относительное удлинение в % при разрыве измеряют с использованием прибора для испытаний при растяжении (например, прибора для испытаний на растяжение Sintech MTS или системы для универсальных испытаний
30 материалов Instron Universal) на бездефектных стержневых образцах с расчетной длиной 51 мм и скоростью испытания 250 мм/мин. Свойства определяются в виде среднего значения, по меньшей мере, пяти образцов, с исключением дефектных образцов из среднего.

[00110] Высокий модуль упругости вторичных покрытий может обеспечить более
35 надежную защиту волокна от механического повреждения и более высокую микроизгибную функциональную характеристику. Однако высокая скорость обработки высокомодульных вторичных покрытий в башне вытяжки может представлять трудности, так как повышенная тенденция процесса вытяжки к формированию таких дефектов, как лыски и ветровые точечные дефекты (WIPD) во вторичном покрытии,
40 которые, в конечном счете, ухудшают функциональные характеристики волокна.

[00111] Во время разработки покрытий, не содержащих олигомеров, покрытий, не содержащих уретановых олигомеров, и покрытий, не содержащих уретан-акрилатных олигомеров, выяснилось, что исключение олигомера из состава, без модифицирования
45 других компонентов, может давать, в результате, вторичное покрытие с модулем упругости выше чем 2000 МПа. Данные вторичные покрытия могут представлять трудность для обработки с высокими скоростями в вытяжной башне. Соответственно, возможно, потребуется компенсировать эффект исключения олигомера посредством разработки состава вторичной композиции, включающего в себя мономеры с длинными

гибкими (например, этоксилированными) цепями между функциональными группами. Длинные гибкие цепи могут увеличивать расстояние между сшивками, могут снижать плотность сшивания и могут, в конечном счете, снижать модуль отвержденного вторичного покрытия. Потенциальный недостаток данных мономеров состоит в том, что они могут иметь сниженную температуру стеклования (T_g) и могут иметь тенденцию к снижению T_g отвержденного вторичного покрытия. Вторичные покрытия с низкой T_g могут быть нежелательными, так как низкая T_g может давать, в результате, материал, который является слишком мягким по время нанесения и может приводить к дефектам во время обработки с высокой скоростью. Вторичные покрытия с более высокой T_g могут быть тверже при комнатной температуре и могут обеспечивать улучшенную механическую защиту оптического волокна. Однако если T_g является слишком высокой, то покрытие может быть достаточно жестким, чтобы сделать волокно более подверженным дефектам во время обработки.

[00112] Вторичное покрытие в соответствии с настоящим изобретением может быть предназначено для получения вторичного покрытия с умеренной T_g , которое придает оптическому волокну достаточную механическую защиту и устойчивость к изгибу, но при этом допускает бездефектную обработку волокна в высокоскоростных вытяжных башнях. Температуру T_g можно измерять с использованием нижеописанного метода.

[00113] Температуры стеклования измеряют с использованием образцов в форме отвержденных пленок (первичного покрытия) или стержней (вторичного покрытия), сформированных из композиции покрытия. Температуры стеклования измеряют посредством определения пика кривых $\text{tg}\delta$, полученных на приборе типа Rheometrics DMTA IV при растяжении. Ширина, толщина и длина образца являются входными данными в секцию «Геометрия образца» программы. Образец закрепляют и затем охлаждают до приблизительно -85°C . После достижения стабильности, температуру повышают с использованием следующих параметров:

Частота: 1 Гц

Деформация: 0,3%

Скорость нагрева: $2^\circ\text{C}/\text{мин}$

Окончательная температура: 150°C

Первоначальное статическое усилие = 20,0 [г]

Статическое > динамического усилия на = 10,0 [%]

[00114] T_g определяют как максимум пика $\text{tg}\delta$, где пик $\text{tg}\delta$ определяется в виде: $\text{tg}\delta = E''/E'$

где E'' означает модуль потерь, который пропорционален потерям энергии в виде тепла в цикле деформирования, и E' означает модуль накопления или упругости, который пропорционален энергии, накопленной в цикле деформирования.

[00115] T_g отвержденных стержней, приготовленных из отвержденного продукта композиции вторичного покрытия, может составлять, по меньшей мере, приблизительно 50°C . Температура стеклования вторичного покрытия может составлять, по меньшей мере, 50°C или, по меньшей мере, 55°C , или, по меньшей мере, 60°C , или от 55°C до 65°C .

[00116] Вторичная композиция может быть лишена олигомерного компонента, уретанового олигомерного компонента или уретан-акрилатного олигомерного компонента, и мономерный компонент может включать в себя мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата, мономер этоксилированного (30) бисфенола-А диакрилата и мономер эпоксидакрилата. Мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 50 весовых % до приблизительно 90 весовых % или от приблизительно

60 весовых % до приблизительно 80 весовых %, или от приблизительно 70 весовых % до приблизительно 75 весовых %. Мономер этоксилированного (30) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 20 весовых % или от приблизительно 7 весовых % до приблизительно 15 весовых %, или от приблизительно 8 весовых % до приблизительно 12 весовых %. Мономер эпоксидакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 25 весовых % или от приблизительно 10 весовых % до приблизительно 20 весовых %, или от приблизительно 12 весовых % до приблизительно 18 весовых %.

[00117] Вторичная композиция может быть лишена олигомерного компонента, уретанового олигомерного компонента или уретан-акрилатного олигомерного компонента, и мономерный компонент может включать в себя мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата, мономер этоксилированного (10) бисфенола-А диакрилата и мономер эпоксидакрилата. Мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 30 весовых % до приблизительно 80 весовых % или от приблизительно 40 весовых % до приблизительно 70 весовых %, или от приблизительно 50 весовых % до приблизительно 60 весовых %. Мономер этоксилированного (10) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 10 весовых % до приблизительно 50 весовых % или от приблизительно 20 весовых % до приблизительно 40 весовых %, или от приблизительно 25 весовых % до приблизительно 35 весовых %. Мономер эпоксидакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 25 весовых %, или от приблизительно 10 весовых % до приблизительно 20 весовых %, или от приблизительно 12 весовых % до приблизительно 18 весовых %.

[00118] Вторичная композиция может быть лишена олигомерного компонента, уретанового олигомерного компонента или уретан-акрилатного олигомерного компонента, и мономерный компонент может включать в себя мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата, мономер этоксилированного (10) бисфенола-А диакрилата, мономер этоксилированного (30) бисфенола-А диакрилата и мономер эпоксидакрилата. Мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 40 весовых % до приблизительно 80 весовых % или от приблизительно 60 весовых % до приблизительно 70 весовых %. Мономер этоксилированного (10) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 1 весовых % до приблизительно 30 весовых % или от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 10 весовых %. Мономер этоксилированного (30) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 20 весовых %, или в количестве приблизительно 10 весовых %. Мономер эпоксидакрилата может присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 25 весовых % или в количестве приблизительно 15 весовых %.

[00119] Вторичная композиция может быть лишена олигомерного компонента, уретанового олигомерного компонента или уретан-акрилатного олигомерного компонента, и мономерный компонент может включать в себя мономер этоксилированного (10) бисфенола-А диакрилата, мономер трипропиленгликоля диакрилата, мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата и мономер эпоксидиакрилата. Мономер этоксилированного (10) бисфенола-А диакрилата может

ЭПОКСИДИАКРИЛАТА. МОНОМЕР ЭТОКСИЛИРОВАННОГО (10) БИСФЕНОЛА-А ДИАКРИЛАТА МОЖЕТ

присутствовать в количестве в диапазоне от приблизительно 10 весовых % до приблизительно 50 весовых %. Мономер трипропиленгликоля диакрилата может присутствовать в количестве от приблизительно 5 весовых % до приблизительно 40 весовых %. Мономер этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата может присутствовать в количестве от приблизительно 10 весовых % до приблизительно 55 весовых %. Мономер эпоксидакрилата может присутствовать в количестве до приблизительно 15 весовых %.

[00120] Вторичная композиция может содержать от приблизительно 40 весовых % до 80 весовых % мономера этоксилированного (4) бисфенола-А, от приблизительно 0 весовых % до приблизительно 30 весовых % мономера этоксилированного (10) бисфенола-А, от приблизительно 0 весовых % до приблизительно 25 весовых % мономера этоксилированного (30) бисфенола-А, от приблизительно 5 весовых % до 18 весовых % эпоксиакрилата, от приблизительно 0 весовых % до 10 весовых % мономера трициклодекандиметанола диакрилата, от приблизительно 0,1 весовых % до 40 весовых % одного или более фотоинициаторов, от приблизительно 0 ррн до 5 ррн по весу добавки-смазки; и от 0 ррн до приблизительно 5 ррн по весу антиоксиданта. Вторичная композиция может дополнительно содержать не более 3% олигомера или не более 1% олигомера, или может быть лишена олигомера. Эпоксиакрилат может быть эпоксиакрилатным мономером. Эпоксиакрилат может быть эпоксидакрилатом бисфенола-А. Эпоксиакрилат может быть немодифицированным эпоксиакрилатом, например, эпоксиакрилатом, который не модифицирован жирнокислотными, аминными, кислотными или ароматическими функциональными группами. Данные композиции могут иметь вязкость при 45°C, по меньшей мере, приблизительно 3 Пуаз и, при отверждении, могут характеризоваться модулем Юнга от приблизительно 1400 МПа до приблизительно 2100 МПа. Композиции могут характеризоваться температурой стеклования, по меньшей мере, приблизительно 55°C. Мономерный компонент может включать в себя мономер алкоксилированного бисфенола-А диакрилата, содержащего, по меньшей мере, 10 алкоксигрупп.

[00121] Первичную и вторичную отверждаемые композиции можно наносить на стеклянный участок волокна с покрытием после того, как оно вытянуто из заготовки. Первичную и вторичную композиции можно наносить непосредственно после охлаждения. Затем отверждаемые композиции можно отверждать для создания оптического волокна с покрытием. Способ отверждения может быть термическим, химическим или под действием излучения, например, посредством облучения нанесенной отверждаемой композиции на стекловолокне ультрафиолетовым светом, актиничным излучением, микроволновым излучением или электронным пучком, в зависимости от характера применяемых композиции(ий) покрытия и инициатора полимеризации. В предпочтительном варианте можно нанести как первичную отверждаемую композицию, так и вторичную отверждаемую композицию последовательно после процесса вытягивания. Способы нанесения двойных слоев отверждаемых композиций на передвигающееся стекловолокно раскрыты в патентах США №№ 4,474,830 и 4,585,165, раскрытия которых включены в настоящую заявку путем отсылки. В качестве альтернативы, первичную отверждаемую композицию можно наносить и отверждать для формирования материала первичного покрытия до нанесения и отверждения вторичной отверждаемой композиции для формирования вторичного покрытия.

ПРИМЕРЫ

[00122] Ниже описаны и моделируются различные примерные волокна с покрытиями в соответствии с настоящим изобретением для иллюстрации одного или более полезных

признаков, раскрытых в настоящей заявке.

[00123] Волокна с покрытиями, смоделированные для настоящих примеров, включали в себя стекловолокно с диаметром 125 мкм. Сердцевина стекловолокна имела радиус в диапазоне от 4 до 10 мкм и могла изготавливаться модифицированием кварца с помощью GeO_2 для повышения показателя преломления сердцевин относительно оболочки. Оболочка окружала сердцевину, продолжалась до радиуса 62,5 мкм и включала в себя внутреннюю область оболочки и внешнюю область оболочки, при этом внутренняя область оболочки имела показатель преломления ниже, чем внешняя оболочка. Пониженный показатель преломления внутренней области оболочки относительно внешней оболочки можно получать легированием внутренней оболочки понижающим легирующим фтором. В качестве альтернативы, более высокий показатель преломления внешней области оболочки по сравнению с внутренней областью оболочки можно получить легированием внешней оболочки повышающими легирующими примесями, например, хлором, оксидом германия, оксидом алюминия, оксидом титана, оксинитридом кремния, фосфором и т.п. Примерные профили показателя преломления более подробно поясняются ниже.

[00124] Репрезентативные отверждаемые композиции А-Н для первичного покрытия показаны ниже в таблице I.

Таблица I								
ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ПЕРВИЧНОГО ПОКРЫТИЯ								
Компонент	A	D	C	D	E	F	G	H
Photomer 4066 (вес. %)	41,5	0	61,5	41,5	46,5	46,5	45,5	47
Photomer 4960 (вес. %)	0	41,5	0	0	0	0	0	0
BR3741 (вес. %)	55	55	35	55	50	50	50	50
N-винилкапролактam (вес. %)	2	2	2	2	2	2	2	1,5
TPO (вес. %)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	1,5
(3-акрилоксипропил) триметоксисилан (pph)	1	1	1	1	1	0,8	0,8	0,8
Irganox 1035 (pph)	1	1	1	1	1	1	1	1
Пентаэритрит-меркаптопропионат (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

[00125] Photomer 4066 является этоксилированного нонилфенола акрилатом, выпускаемым компанией IGM Resins. Photomer 4960 является пропоксилированного нонилфенола акрилатом, выпускаемым компанией IGM Resins. BR3741 является алифатическим простым полиэфирным уретан-акрилатным олигомером, выпускаемым компанией Dymax Oligomers and Coatings. N-винилкапролактam выпускается компанией ISP Technologies, Inc. TPO ((2,4,6-триметилбензоил)дифенилфосфиноксид) является фотоинициатором, выпускаемым компанией BASF. (3-акрилоксипропил) триметоксисилан является промотором адгезии, выпускаемым компанией Gelest. IRGANOX 1035 ((тиодизэтиленбис[3-(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксифенил]пропионат)) является антиоксидантом, выпускаемым компанией BASF. Пентаэритрит-меркаптопропионат является стабилизатором промотора адгезии, выпускаемым компанией Aldrich. UVITEX OB ($\text{C}_{26}\text{H}_{26}\text{N}_2\text{O}_2\text{S}$, CAS № 7128-64-5) является оптическим отбеливателем, выпускаемым компанией BASF.

[00126] Для приготовления первичной композиции, олигомер и мономер(ы) смешивали в течение, по меньшей мере, 10 минут при 60°C. Затем можно вводить фотоинициатор (ы) и добавки, и смешение можно продолжать в течение одного часа. И, наконец, можно вводить промотор адгезии, и смешение можно продолжать в течение 30 минут. Затем

полученный раствор можно наносить на стеклянный участок волокна и отверждать УФ-излучением для формирования первичного покрытия.

[00127] Репрезентативные отверждаемые композиции J-L для вторичного покрытия показаны ниже в таблице II.

Таблица II			
ИЛЛЮСТРАТИВНЫЕ КОМПОЗИЦИИ ВТОРИЧНОГО ПОКРЫТИЯ			
Компонент	J	K	L
SR601/Photomer 4028 (вес. %)	72	52	72
CD 9038 (вес. %)	10	0	10
Photomer 3016 (вес. %)	15	15	15
SR602 (вес. %) 30 вес. %	0	30	0
Irgacure 184 (вес. %)	1,5	1,5	1,5
TPO (вес. %)	1,5	1,5	1,5
DC 190 жидкая добавка-смазка (pph)	0	0	1
Irganox 1035 (pph)	0,5	1	1

[00128] SR601/Photomer 4028 является мономером этоксилированного (4) бисфенола-А диакрилата, выпускаемым компанией Sartomer или IGM Resins. CD9038 является мономером этоксилированного (30) бисфенола-А диакрилата, выпускаемым компанией Sartomer. Photomer 3016 является мономером эпоксидакрилата, выпускаемым компанией IGM Resins. SR602 является мономером этоксилированного (10) бисфенола-А диакрилата, выпускаемым компанией Sartomer. IRGACURE 184 (1-гидроксициклогексилфенилкетон) является фотоинициатором, выпускаемым компанией BASF. TPO ((2,4,6-триметилбензоил)дифенилфосфиноксид) является фотоинициатором, выпускаемым компанией BASF. DC 190 является жидкой добавкой-смазкой, выпускаемой компанией Dow Corning. IRGANOX 1035 (тиодиэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидрокси-2,2,6,6-тетраметилпиперидин) является антиоксидантом, выпускаемым компанией BASF.

[00129] Вторичные композиции можно подготавливать с перечисленными компонентами, с использованием коммерческого смешивающего оборудования. Мономерные компоненты можно взвешивать, вводить в нагреваемый бак и смешивать при температуре в диапазоне от приблизительно 50°C до 65°C. Затем смешение можно продолжать, пока не получается однородная смесь. Затем фотоинициатор можно взвешивать и вводить в однородный раствор с одновременным перемешиванием. И, наконец, оставшиеся компоненты можно взвешивать и вводить в раствор с одновременным перемешиванием. Перемешивание можно продолжать, пока снова не получается однородный раствор. После этого, однородный раствор можно наносить на первичное покрытие или первичную композицию волокна и отверждать УФ-излучением для формирования вторичного покрытия.

[00130] Волокна с покрытием, имеющие 125-мкм диаметр области сердцевинно-оболочки и первичное и вторичное покрытия со свойствами, удовлетворяющими покрытиям, получаемым отверждением первичных и вторичных композиций, перечисленных в таблицах I и II, моделировали. Характеристики волокон с покрытием, на основе которых создавались модели, описаны ниже для пяти примерных волокон с покрытием. Примерные волокна с покрытием будут обозначаться пробными экземплярами 1, 2, 3, 4 и 5.

[00131] Профиль показателя преломления, выраженный в $\Delta\%$ относительно чистого кварцевого стекла, для примерного волокна 1 с покрытием показан на фиг. 4. Волокно 1 с покрытием содержало сердцевину с внешним радиусом r_1 6 мкм и профилем Δ_1 показателя преломления, основанном на α -профиле с $\alpha=2$, с максимальным показателем

преломления сердцевины $\Delta_{1\text{MAX}}$ 0,41%. Внутренняя оболочка из кварца окружала сердцевину и продолжалась до внешнего радиуса r_3 30 мкм. Внешняя оболочка окружала внутреннюю оболочку, продолжалась до радиуса r_4 62,5 мкм и имела показатель преломления Δ_4 приблизительно 0,05%.

[00132] Профиль показателя преломления, выраженный в $\Delta\%$ относительно чистого кварцевого стекла, для примерного волокна 2 с покрытием показан на фиг. 5. Волокно 2 с покрытием содержало сердцевину с внешним радиусом r_1 5,73 мкм и профилем Δ_1 показателя преломления, основанном на α -профиле с $\alpha=2$, с максимальным показателем преломления сердцевины $\Delta_{1\text{MAX}}$ 0,385%. Первая внутренняя оболочка из кварца окружала сердцевину и продолжалась до внешнего радиуса r_2 6,88 мкм. Вторая внутренняя оболочка окружала первую внутреннюю оболочку и продолжалась до внешнего радиуса r_3 17,2 мкм. Вторая внутренняя оболочка включала в себя область треугольной впадины, легированной фтором, которая обеспечивала линейное снижение показателя преломления от $\Delta_3=0\%$ в точках радиуса r_2 до $\Delta_3=-0,2\%$ в точках радиуса r_3 . Внешняя оболочка из кварца окружала вторую внутреннюю оболочку и продолжалась до радиуса r_4 62,5 мкм.

[00133] При моделировании примерные волокна 1 и 2 с покрытиями рассматривались, каждое, как имеющие первичное покрытие с внешним диаметром 165 мкм и модулем упругости *in situ* ниже чем 0,50 МПа, и вторичное покрытие с внешним диаметром 200 мкм и модулем упругости *in situ* выше чем 1600 МПа. Ожидается, что композиции первичного и вторичного покрытий, перечисленных в таблицах 1 и 2, должны давать отвержденные первичные и вторичные покрытия, имеющие упомянутые характеристики.

[00134] Смоделированные характеристики примерных волокон 1 и 2 с покрытиями представлены в таблице III. Смоделированные технические данные содержали пороговую длину волны (моды LP₁₁ и кабеля), диаметр модового поля (при 1310 нм и 1550 нм), длину волны нулевой дисперсии, дисперсию и наклон дисперсии при 1310 нм и 1550 нм, микроизгибные потери при 1550 нм (на основании испытания намоткой на оправку с использованием оправок с диаметрами 10 мм, 20 мм и 30 мм) и микроизгибные потери при 1550 нм (на основании испытаний на штырьковой матрице и поперечной нагрузкой). Данные моделирования показывают, что примерные волокна 1 и 2 с покрытием являются волокнами с малым диаметром, которые характеризуются (1) диаметром модового поля, совместимым с эффективным сращиванием и соединением со стандартными одномодовыми волокнами, и (2) низкими изгибными потерями.

Таблица III		
ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ВОЛОКОН		
Параметр	Волокно 1 с покрытием	Волокно 2 с покрытием
Диаметр модового поля при 1310 нм (мкм)	9,2	9,2
Диаметр модового поля при 1550 нм (мкм)	10,51	10,43
Длина волны нулевой дисперсии (нм)	1319	1320
Дисперсия при 1310 нм (пс/нм/км)	-0,801	-0,909
Наклон дисперсии при 1310 нм (пс/нм ² /км)	0,089	0,0909
Дисперсия при 1550 нм (пс/нм/км)	17,27	17,65
Наклон дисперсии при 1550 нм (пс/нм ² /км)	0,06	0,626
Пороговая длина волны в кабеле (22-м) (нм)	1209	1229
Изгибные потери при 1550 – на оправке 10-мм диаметра (дБ/виток)	1,13	1,52
Изгибные потери при 1550 – на оправке 15-мм диаметра (дБ/виток)	0,279	0,337
Изгибные потери при 1550 – на оправке 20-мм диаметра (дБ/виток)	0,068	0,074

Изгибные потери при 1550 – на оправке 30-мм диаметра (дБ/виток)	0,006	0,003
Изгибные потери при 1550 нм – на штырьковой матрице (дБ)	21,73	9,89
Изгибные потери при 1550 нм – под поперечной нагрузкой (дБ)	0,229	0,223

[00135] Профиль показателя преломления, выраженный в $\Delta\%$ относительно чистого кварцевого стекла, для примерного волокна 3 с покрытием показан на фиг. 5. Профиль показателя преломления каждого из волокон 3, 4 и 5 с покрытием имел сходную форму профиля, и профили описаны в таблице 4. Каждое из примерных волокон 3, 4 и 5 с покрытием включало в себя сердцевину с высоким показателем преломления, которая продолжалась до внешнего радиуса r_1 приблизительно 4,5 мкм, первую внутреннюю область оболочки, продолжающуюся от радиуса r_1 до внешнего радиуса r_2 приблизительно 7 мкм, вторую внутреннюю область оболочки от радиуса r_2 до внешнего радиуса r_3 приблизительно 18 мкм и внешнюю область оболочки, продолжающуюся от радиуса r_3 до внешнего радиуса r_4 62,5 мкм. Показатель преломления второй внутренней области непрерывно снижался при увеличении радиуса положения, как показано, с формированием треугольной впадины в профиле показателя преломления примерных волокон 3, 4 и 5 с покрытием.

[00136] При моделировании, примерные волокна 3, 4 и 5 с покрытием рассматривались, каждое, как имеющие первичное покрытие с внешним диаметром 165 мкм и модулем упругости *in situ* ниже чем 0,5 МПа, и вторичное покрытие с внешним диаметром 200 мкм и модулем упругости *in situ* выше чем 1600 МПа. Ожидается, что композиции первичного и вторичного покрытий, перечисленных в таблицах 1 и 2, должны давать отвержденные первичные и вторичные покрытия, имеющие упомянутые характеристики.

[00137] Смоделированные характеристики примерных волокон 3, 4 и 5 с покрытиями представлены в таблице IV. Таблица IV содержит список численных значений для показателя преломления и радиальных положений области сердцевины (области 1), первой внутренней области оболочки (области 2), второй внутренней области оболочки (области 3) и внешней области оболочки (области 4). Смоделированные технические данные включали в себя пороговую длину волны (в сердцевине и кабеле), диаметр модового поля (как для сердцевины, так и волокна при 1310 нм), длину волны нулевой дисперсии, число MAC сердцевины (отношение диаметра модового поля при 1310 нм к пороговой длине волны в кабеле) и микроизгибные потери при 1550 нм (по результатам испытания намоткой на оправку с использованием оправок с диаметрами 10 мм, 20 мм и 30 мм).

[00138] Модель показывает, что каждое из примерных волокон 3, 4 и 5 с покрытиями характеризовалось MFD (диаметром модового поля) при 1310 нм больше чем 9 мкм, микроизгибными потерями при длине волны 1550 нм ниже чем 0,35 дБ/виток для оправки 10-мм диаметра, ниже чем 0,09 дБ/виток для оправки 15-мм диаметра, ниже чем 0,025 дБ/виток для оправки 20-мм диаметра и ниже чем 0,004 дБ/виток для оправки 30-мм диаметра. Каждое из примерных волокон 3, 4 и 5 с покрытиями характеризовалось пороговой длиной волны в кабеле меньше чем 1260 нм и длиной волны нулевой дисперсии от 1,3 мкм до 1,324 мкм. Результаты моделирования показывают, что примерные волокна 3, 4 и 5 с покрытиями являются волокнами малого диаметра, которые характеризуются как (1) диаметром модового поля, совместимым с эффективным сращиванием и соединением со стандартными одномодовыми волокнами, так и (2) низкими изгибными потерями.

Таблица IV			
ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ВОЛОКОН			
Параметр	Волокно 3 с покрытием	Волокно 4 с покрытием	Волокно 5 с покрытием
$\Delta_1, \max (\%)$	0,345	0,34	0,335
r_1 (мкм)	4,55	4,58	4,6
$\Delta_2 (\%)$	0	0	0
r_2 (мкм)	7,17	7,2	7,25
$\Delta_3, \min (\%)$	-0,435	-0,435	-0,435
r_3 (мкм)	17,7	17,8	17,9
$\Delta_4 (\%)$	0	0	0
Объем канавки ($\% \text{ мкм}^2$)	62,93	63,65	64,36
MFD (диаметр модового поля) при 1310 нм (мкм)	9,12	9,18	9,24
Длина волны нулевой дисперсии (мкм)	1,321	1,321	1,32
Пороговая длина волны в кабеле (22-метровом) (нм)	1226	1226	1226
Изгибные потери при 1550 – на оправке 10-мм диаметра (дБ/виток)	0,27	0,276	0,31
Изгибные потери при 1550 – на оправке 15-мм диаметра (дБ/виток)	0,07	0,074	0,08
Изгибные потери при 1550 – на оправке 20-мм диаметра (дБ/виток)	0,017	0,019	0,02
Изгибные потери при 1550 – на оправке 30-мм диаметра (дБ/виток)	0,003	0,003	0,0037

[00139] Если в прямой форме не указано иное, то никаким образом не предполагается, что какой-либо способ, изложенный в настоящей заявке, следует истолковывать, как требующий, чтобы его этапы выполнялись в конкретном порядке. Соответственно, в случае, если пункт формулы изобретения на способ фактически не излагает порядок, которому должны следовать его этапы, или в формуле изобретения или описании не

указано конкретно в других отношениях, что этапы должны быть ограничены конкретным порядком, то никаким образом не предполагается, что подразумевается какой-то конкретный порядок.

[00140] Специалистам в данной области техники будет очевидно, что можно будет создать различные модификации и варианты, не выходящие за пределы существа или объема примерных вариантов осуществления, раскрытых в настоящей заявке. Поскольку специалистами в данной области техники могут быть предложены модификации, комбинации, субкомбинации и варианты раскрытых вариантов осуществления, охватывающих сущность описания, то описание следует истолковывать как включающее в себя весь объем прилагаемой формулы изобретения и ее эквивалентов.

(57) Формула изобретения

1. Оптическое волокно, содержащее:

сердцевину, при этом упомянутая сердцевина имеет внешний радиус r_1 ,

оболочку, окружающую упомянутую сердцевину, причем упомянутая оболочка имеет внешний радиус r_4 ;

первичное покрытие, окружающее упомянутую оболочку, причем упомянутое первичное покрытие имеет внешний радиус r_5 , упомянутое первичное покрытие имеет модуль упругости *in situ* не выше 0,50 МПа; и

вторичное покрытие, окружающее упомянутое первичное покрытие, причем упомянутое вторичное покрытие имеет внешний радиус r_6 , упомянутое вторичное покрытие имеет модуль упругости *in situ* 1500 МПа или больше;

причем упомянутый внешний радиус r_6 равен 110 мкм или меньше, и упомянутое

волокно имеет диаметр модового поля 9 мкм или больше при 1310 нм и характеризуется изгибными потерями на длине волны 1550 нм при намотке на оправку, имеющую диаметр 15 мм, ниже чем 0,5 дБ/виток.

2. Волокно по п. 1, в котором упомянутая оболочка включает в себя внутреннюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_3 , и внешнюю область оболочки, окружающую упомянутую внутреннюю область оболочки и имеющую упомянутый внешний радиус r_4 , при этом упомянутая внутренняя область оболочки имеет показатель преломления Δ_3 с минимальным значением $\Delta_{3\text{MIN}}$, причем упомянутая внешняя область оболочки имеет показатель преломления Δ_4 с минимальным значением $\Delta_{4\text{MIN}} > \Delta_{3\text{MIN}}$.

3. Волокно по п. 2, в котором упомянутая внутренняя область оболочки непосредственно прилегает к упомянутой сердцевине, и упомянутый показатель преломления Δ_3 является, по существу, постоянным от упомянутого внешнего радиуса r_1 до упомянутого внешнего радиуса r_3 .

4. Волокно по п. 2, в котором упомянутая внутренняя область оболочки непосредственно прилегает к упомянутой сердцевине, при этом упомянутый показатель преломления Δ_3 линейно снижается от упомянутого внешнего радиуса r_1 до упомянутого внешнего радиуса r_3 .

5. Волокно по п. 4, в котором упомянутая внешняя область оболочки непосредственно прилегает к упомянутой внутренней области оболочки, и упомянутый показатель преломления Δ_4 является, по существу, постоянным от упомянутого внешнего радиуса r_3 до упомянутого внешнего радиуса r_4 .

6. Волокно по п. 1, в котором упомянутая оболочка включает в себя первую внутреннюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_2 , вторую внутреннюю область оболочки, окружающую упомянутую первую внутреннюю область оболочки и имеющую внешний радиус r_3 , и внешнюю область оболочки, окружающую упомянутую вторую внутреннюю область оболочки и имеющую упомянутый внешний радиус r_4 , при этом упомянутая первая внутренняя область оболочки имеет показатель преломления Δ_2 с минимальным значением $\Delta_{2\text{MIN}}$, упомянутая вторая внутренняя область оболочки имеет показатель преломления Δ_3 с минимальным значением $\Delta_{3\text{MIN}} < \Delta_{2\text{MIN}}$, упомянутая внешняя область оболочки имеет показатель преломления Δ_4 с минимальным значением $\Delta_{4\text{MIN}} > \Delta_{3\text{MIN}}$.

7. Волокно по п. 6, в котором вторая внутренняя область оболочки непосредственно прилегает к упомянутой первой внутренней области оболочки, и упомянутый показатель преломления Δ_3 является, по существу, постоянным от упомянутого внешнего радиуса r_2 до упомянутого внешнего радиуса r_3 .

8. Волокно по п. 6, в котором вторая внутренняя область оболочки непосредственно прилегает к упомянутой первой внутренней области оболочки, и упомянутый показатель преломления Δ_3 линейно снижается от упомянутого внешнего радиуса r_2 до упомянутого внешнего радиуса r_3 .

9. Волокно по п. 1, в котором упомянутый внешний радиус r_4 равен, по меньшей мере, 60 мкм.

10. Волокно по п. 1, в котором упомянутый внешний радиус r_5 равен 85 мкм или меньше.

11. Волокно по п. 1, в котором упомянутый внешний радиус r_6 равен 100 мкм или меньше.

12. Волокно по п. 1, в котором упомянутое волокно характеризуется изгибными потерями на длине волны 1550 нм при намотке на оправку, имеющую диаметр 20 мм, ниже чем 0,25 дБ/виток.

13. Волокно по п. 1, в котором упомянутое волокно имеет пороговую длину волны в кабеле 1260 нм или меньше и длину волны нулевой дисперсии λ_0 в диапазоне $1300 \text{ нм} \leq \lambda_0 \leq 1324 \text{ нм}$.

14. Волокно по п. 1, в котором упомянутая оболочка включает в себя область пониженного показателя преломления, при этом упомянутая область пониженного показателя преломления имеет объем канавки величиной от 30% мкм² до 80% мкм².

15. Волокно по п. 1, в котором упомянутое первичное покрытие имеет модуль упругости in situ 0,20 МПа или меньше.

16. Волокно по п. 1, в котором упомянутое вторичное покрытие имеет модуль упругости in situ 1800 МПа или больше.

17. Волокно по п. 1, в котором упомянутое первичное покрытие имеет температуру стеклования ниже чем -15°C.

18. Волокно по п. 1, в котором упомянутое первичное покрытие имеет температуру стеклования выше чем -50°C.

19. Волокно по п. 1, в котором упомянутое первичное покрытие имеет температуру стеклования выше чем -60°C.

20. Волокно по п. 1, в котором упомянутое первичное покрытие является отвержденным продуктом первичной композиции, которая включает в себя уретан-акрилатный олигомер и мономер, выбранный из группы, состоящей из (мет)акрилатов, N-виниламидов и эпоксиакрилатов.

21. Волокно по п. 20, в котором упомянутая первичная композиция содержит один или более монофункциональных (мет)акрилатных мономеров в количестве от приблизительно 5 до 95% по весу; N-виниламидный мономер в количестве от приблизительно 0,1 до 40% по весу; и один или более двухфункциональных уретан-акрилатных олигомеров, которые содержат полиол и изоцианат, при этом упомянутый олигомер присутствует в количестве от приблизительно 5 до 95% по весу, причем полиол в упомянутом олигомере является полипропиленгликолем, и изоцианат в упомянутом олигомере является алифатическим диизоцианатом.

22. Волокно по п. 20, в котором упомянутая первичная композиция содержит один или более монофункциональных (мет)акрилатных мономеров в количестве от приблизительно 40 до 65% по весу; N-виниламидный мономер в количестве от приблизительно 2 до 10% по весу; и один или более двухфункциональных уретан-акрилатных олигомеров на основе полипропиленгликоля в количестве от приблизительно 35 до 60% по весу.

23. Волокно по п. 1, в котором упомянутое вторичное покрытие является отвержденным продуктом вторичной композиции, в которой отсутствуют уретансодержащие олигомеры.

24. Волокно по п. 23, в котором упомянутая вторичная композиция содержит мономер, выбранный из группы, состоящей из алкоксилированного бисфенола-А диакрилата, алкиленгликоля акрилата и эпоксидакрилата.

25. Волокно по п. 24, в котором упомянутая вторичная композиция содержит: от приблизительно 40 до 80% по весу мономера этоксилированного (4) бисфенола-

А;

от приблизительно 0 до приблизительно 30% по весу мономера этоксилированного (10) бисфенола-А;

от приблизительно 0 до приблизительно 25% по весу мономера этоксилированного (30) бисфенола-А; и

от приблизительно 5 до 18% по весу эпоксиакрилата.

10

15

20

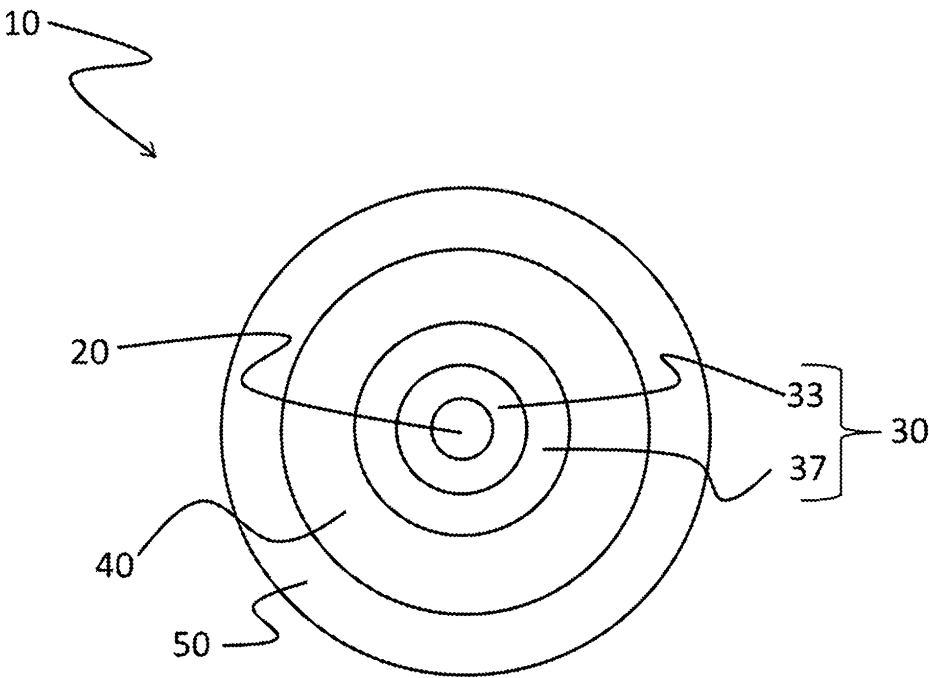
25

30

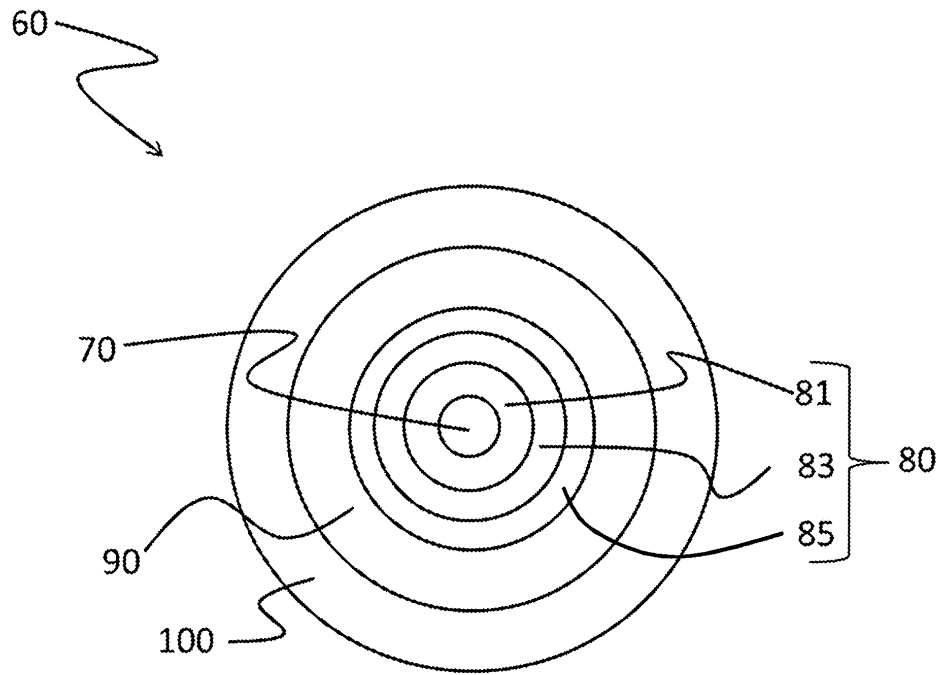
35

40

45

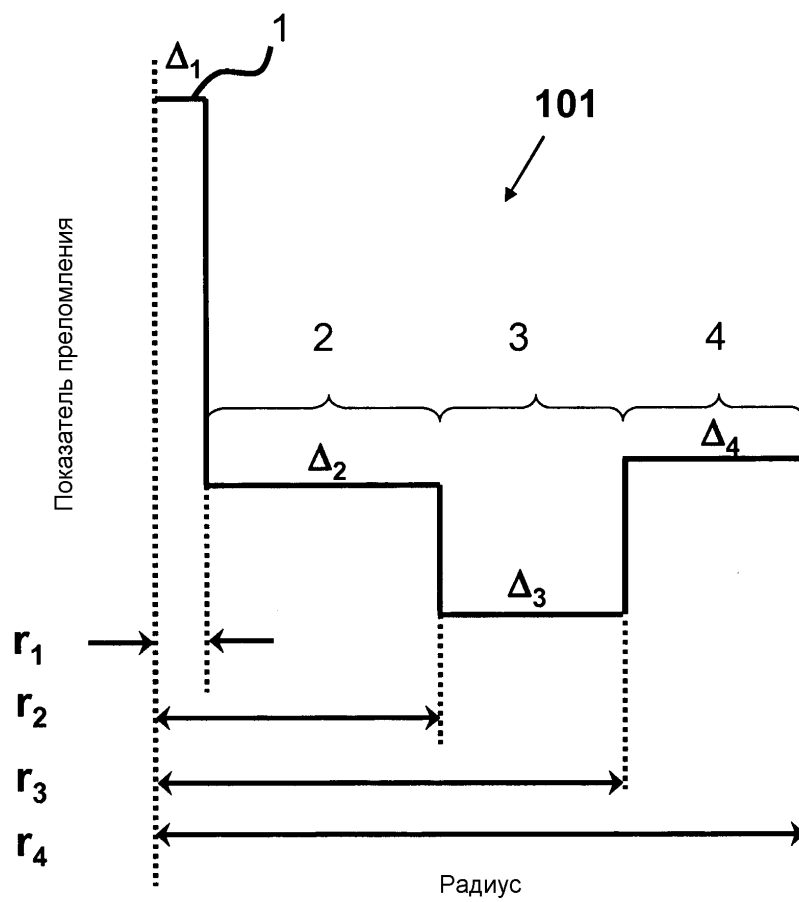


ФИГ.1



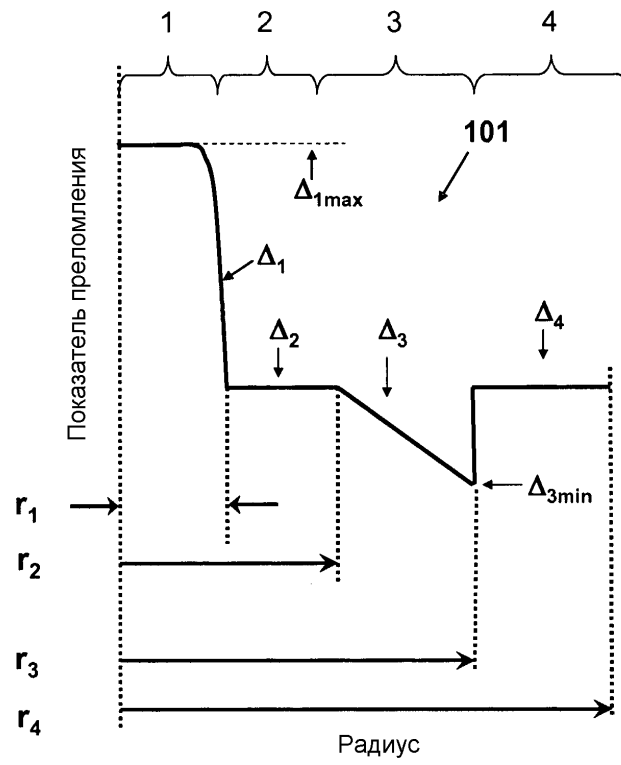
ФИГ.2

3/7



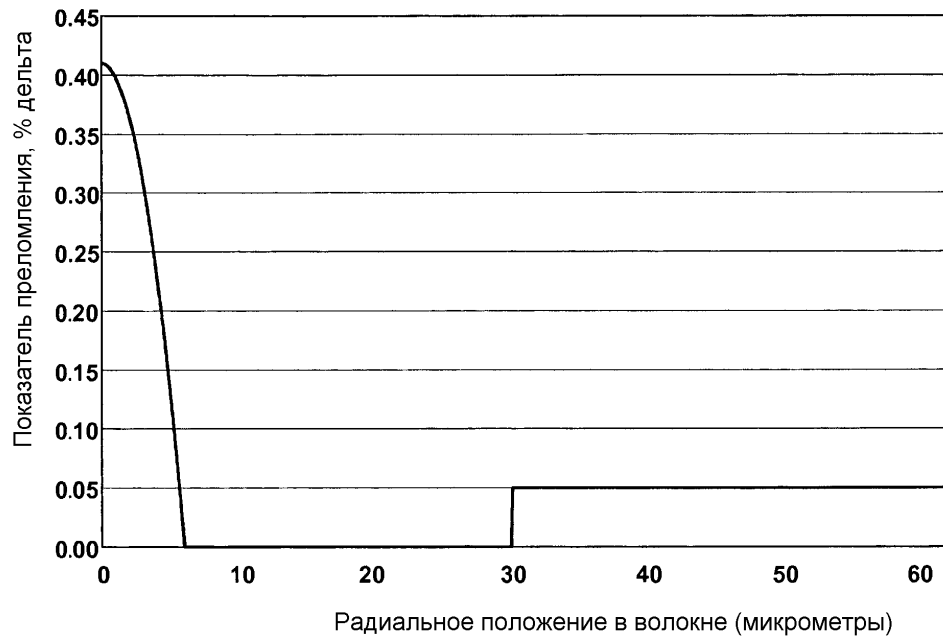
ФИГ.3А

4/7



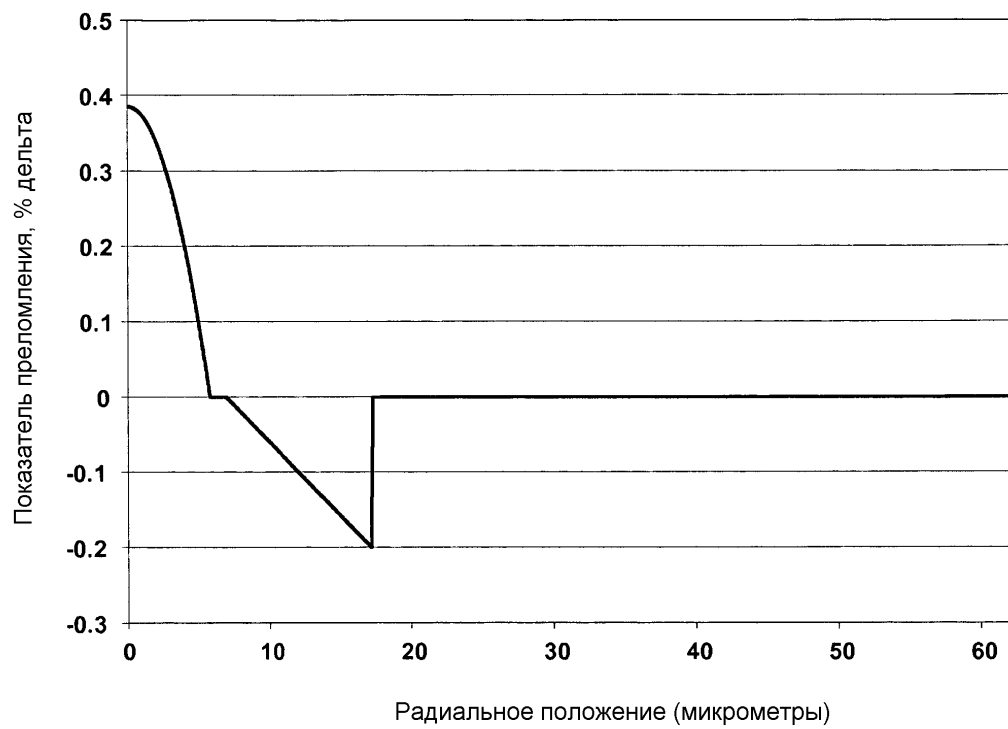
ФИГ.3В

5/7

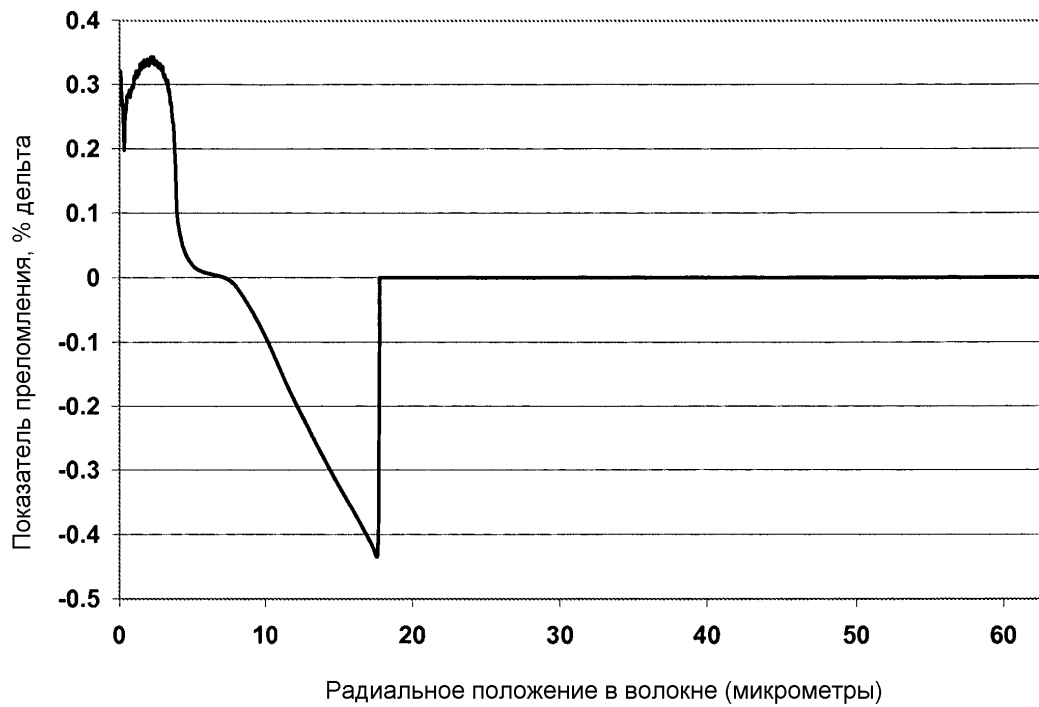


ФИГ.4

6/7



ФИГ.5



ФИГ.6