



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012108879/03, 12.08.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.08.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
12.08.2009 US 61/233,273

(43) Дата публикации заявки: 20.09.2013 Бюл. № 26

(45) Опубликовано: 10.11.2014 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: GB 2096353 A, 02.04.1981. EP 1457468
A1, 02.01.2004. GB 1524316 A1, 13.09.1978. RU
2260570 C2, 20.09.2005. RU 2266265 C2,
20.12.2005. . .(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 12.03.2012(86) Заявка РСТ:
US 2010/045283 (12.08.2010)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2011/019885 (17.02.2011)

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

ЧИЕН Чинг-Ки (US),
МУР Роберт К. (US)

(73) Патентообладатель(и):

КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

(54) ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО, СОДЕРЖАЩЕЕ МНОГОСЛОЙНУЮ СИСТЕМУ ПОКРЫТИЙ

(57) Реферат:

Настоящее изобретение относится к оптическому волокну, которое включает стекловолокно и три или более покрытия, которые герметизируют стекловолокно, причем эти три или более покрытия включают первичное покрытие в контакте с упомянутым стекловолокном, одно или более промежуточных покрытий, которые окружают первичное покрытие, и вторичное покрытие, которое окружает промежуточные покрытия. Техническим результатом изобретения является обеспечение повышенной стойкости к микроизгибам.

Первичное покрытие имеет модуль Юнга от 0,025 до 3 МПа и температуру стеклования (T_g) от -100°C до -25°C , а промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который является по существу таким же как, или более низким, чем модуль Юнга первичного покрытия, и T_g , которая является по существу такой же как, или более низкой, чем T_g первичного покрытия, и внешнее покрытие оптического волокна имеет диаметр менее 300 мкм. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 8 ил., 6 пр., 1 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012108879/03, 12.08.2010**

(24) Effective date for property rights:
12.08.2010

Priority:

(30) Convention priority:
12.08.2009 US 61/233,273

(43) Application published: **20.09.2013 Bull. № 26**

(45) Date of publication: **10.11.2014 Bull. № 31**

(85) Commencement of national phase: **12.03.2012**

(86) PCT application:
US 2010/045283 (12.08.2010)

(87) PCT publication:
WO 2011/019885 (17.02.2011)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**ChIEN Ching-Ki (US),
MUR Robert K. (US)**

(73) Proprietor(s):

KORNING INKORPOREJTED (US)

(54) **OPTICAL FIBRE HAVING MULTILAYER COATING SYSTEM**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: optical fibre includes glass fibre and three or more coatings which seal the glass fibre, wherein said three or more coatings include a primary coating in contact with said glass fibre, one or more intermediate coatings surrounding the primary coating, and a secondary coating surrounding the intermediate coatings. The primary coating has Young's modulus of 0.025 to 3 MPa and glass transition temperature (Ts)

of -100°C to -25°C, and the intermediate coating has one or both of said Young's moduli, which is substantially the same or lower than Young's modulus of the primary coating and Ts which is substantially the same or lower than the Ts of the primary coating, and the external coating of the optical fibre has a diameter of less than 300 μm.

EFFECT: high resistance to microbending.

20 cl, 8 dwg, 6 ex, 1 tbl

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

[0001] Настоящая заявка испрашивает преимущество и приоритет предварительной заявки на патент США № 61/233273, поданной 12 августа 2009 года, озаглавленной "Оптическое волокно, содержащее многослойную систему покрытий", содержание которой служит основой и включено сюда путем ссылки во всей своей полноте.

ОБЛАСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0002] Настоящее изобретение в целом относится к системам покрытий оптических волокон, оптическим волокнам, содержащим такие системы покрытий, а также к способам их производства.

ПРЕДПОСЫЛКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0003] Оптические волокна обычно содержат стеклянную сердцевину и по меньшей мере два покрытия, например первичное (или внутреннее) покрытие и вторичное (или внешнее) покрытие. Первичное покрытие наносится непосредственно на стекловолокно и, при отверждении, образует мягкий, упругий и гибкий материал, который герметизирует стекловолокно. Первичное покрытие служит в качестве буфера для смягчения и защиты сердцевины стекловолокна при изгибе волокна, прокладке или сматывании, но также оно защищает стеклянную поверхность от поглощения воды, что может способствовать росту трещин и увеличивать статическую усталость, которые приводят к разрушению. Вторичное покрытие наносится на первичное покрытие и функционирует как жесткий, защитный внешний слой, который предотвращает повреждение стекловолокна в процессе обработки и применения.

[0004] Для вторичного покрытия желательны определенные характеристики. Перед отверждением композиция вторичного покрытия должна иметь подходящую вязкость и быть способной к быстрому отверждению, чтобы обеспечивать обработку оптического волокна. После отверждения вторичное покрытие должно иметь следующие характеристики: достаточную жесткость для защиты герметизированного стекловолокна, но в то же время достаточную гибкость для обращения с ним (т.е. модуль упругости), низкое водопоглощение, низкую клейкость, позволяющую обращаться с оптоволокном, химическую стойкость и достаточную адгезию к первичному покрытию.

[0005] Для первичного покрытия желательны определенные характеристики. Перед отверждением композиция первичного покрытия должна также иметь подходящую вязкость и быть способной к быстрому отверждению, чтобы обеспечивать обработку оптического волокна. После отверждения первичное покрытие должно иметь достаточно низкий модуль упругости, чтобы смягчать и защищать волокно, полностью снимая механические напряжения в волокне, которые могут вызывать микроизгибы и последующую неэффективную передачу сигнала. Такой эффект амортизации должен сохраняться в течение всего срока службы волокна. Из-за различных свойств термического расширения первичного и вторичного покрытий первичное покрытие также должно иметь температуру стеклования (T_g), которая ниже, чем предполагаемая минимальная температура эксплуатации, что позволяет первичному покрытию оставаться упругим в пределах всего температурного диапазона эксплуатации. Наконец, важно, чтобы первичное покрытие обладало хорошими свойствами адгезии к стеклу, но в то же время могло быть механически удалено с индивидуального волокна или с ленты с приемлемым усилием, оставляя незначительный остаток (предпочтительно совсем не оставляя его).

[0006] Такие требования накладывают противоречащие ограничения на покрытия, а в особенности на первичное покрытие. Эффективность снятия ленты и механическое

повреждение первичного покрытия ухудшаются, когда первичное покрытие является мягким и толстым, например, тогда как при тех же условиях повышается стойкость к микроизгибам. Защита от статической усталости также обычно ухудшается, если покрытие очень мягкое.

- 5 [0007] К настоящему времени производители предлагали только такие покрытия, которые являются компромиссом между этими свойствами. В ответ на потребности в более стойких к микроизгибам покрытиях для волокон в высокоплотных или очень
10 маленьких кабелях, коммерческие покрытия стали мягче, чем они были 10 лет назад, но везде основная двухслойная структура покрытия волокна не изменилась. Тем не менее, крутильные машины продолжают требовать дальнейших усовершенствований, и двухслойный композит может более не отвечать требованиям. Таким образом, желательно разработать систему покрытий оптического волокна, которая улучшает стойкость к микроизгибам и степень усталостного разрушения по сравнению с этими показателями, достигаемыми обычными системами с двумя покрытиями, с
15 одновременным сохранением или улучшением снимаемости покрытия.

[0008] Настоящее изобретение направлено на преодоление таких недостатков в уровне техники.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- [0009] Первый аспект настоящего изобретения относится к оптическому волокну, которое включает стекловолокно и три или более покрытия, которые герметизируют
20 стекловолокно, причем эти три или более покрытия включают первичное покрытие в контакте с упомянутым стекловолокном, одно или более промежуточных покрытий, которые окружают первичное покрытие, и внешнее покрытие, которое окружает одно или более промежуточных покрытий. Предпочтительно, оптические волокна по
25 настоящему изобретению имеют диаметр внешнего покрытия (или размер поперечного сечения) менее примерно 300 мкм.

- [0010] Согласно одному предпочтительному варианту осуществления первичное покрытие имеет модуль Юнга от примерно 0,025 до примерно 3 МПа, более предпочтительно от примерно 0,05 до примерно 3 МПа, и/или T_c от примерно -100°C
30 до примерно -25°C, а промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который является по существу таким же как, или более низким, чем модуль Юнга первичного покрытия, и T_c , которая является по существу такой же как, или более низкой, чем T_c первичного покрытия.

- [0011] Согласно другому предпочтительному варианту осуществления оптическое
35 волокно включает по меньшей мере четыре покрытия, которые герметизируют стекловолокно, причем эти по меньшей мере четыре покрытия включают первичное покрытие в контакте с упомянутым стекловолокном, первое промежуточное покрытие, которое окружает первичное покрытие, второе промежуточное покрытие, которое
40 окружает первое промежуточное покрытие, и внешнее покрытие, которое окружает второе промежуточное покрытие. Первое промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который выше, чем модуль Юнга первичного покрытия, и температуру стеклования (T_c), которая выше, чем T_c первичного покрытия; второе промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который ниже, чем
45 модуль Юнга первого промежуточного покрытия, и T_c , которая ниже, чем T_c первого промежуточного покрытия; и внешнее покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который выше, чем модуль Юнга второго промежуточного покрытия, и T_c , которая выше, чем T_c второго промежуточного покрытия. Предпочтительно, оптические волокна

по настоящему изобретению имеют диаметр внешнего покрытия (или размер поперечного сечения) менее примерно 300 мкм.

[0012] Используемый здесь модуль Юнга отвержденного материала первичного или второго промежуточного покрытия измеряют с использованием испытания на растяжение *in situ*, как описано в Steeman et al., "Mechanical Analysis of the in-situ Primary Coating Modulus Test for Optical Fibers", Proc. of the 52nd International Wire and Cable Symposium (IWCS, Philadelphia, USA, November 10-13, 2003), статья 41. Модуль упругости отвержденного материала первого промежуточного или внешнего покрытия может быть определен с использованием Динамического механического анализа при частоте 1 Гц, или трехточечного изгиба композитной структуры первичного/вторичного покрытий (после отделения композита от стекловолокна). Поскольку модуль вторичного покрытия примерно на три порядка выше, чем модуль первичного покрытия, вкладом первичного покрытия можно пренебречь. Под фразой "по существу такой же" понимается, что значение модуля Юнга отвержденного продукта не более чем на примерно 20% выше или ниже, или, более предпочтительно, не более чем на примерно 17,5% выше или ниже, или, наиболее предпочтительно, не более чем на примерно 15% выше или ниже, чем значение модуля Юнга отвержденного продукта сравнительного полимерного материала.

[0013] Используемая здесь температура стеклования (T_g) материала покрытия относится к точке, в которой его коэффициент теплового расширения резко изменяется (т.е. где тангенс потерь ($\tan \delta$) имеет максимальное значение как функция температуры). Ниже этой температуры материал хрупок, а выше этой температуры материал гибок. T_g может быть определена с помощью Динамического механического анализа при частоте 1 Гц. Под фразой "по существу такая же" понимается, что T_g не более чем на примерно 10°C выше или ниже, более предпочтительно, не более чем на примерно 5°C выше или ниже, наиболее предпочтительно, не более чем на примерно 2°C выше или ниже, чем измеренная T_g сравнительного полимерного материала.

[0014] Второй аспект изобретения относится к оптоволоконной ленте или оптоволоконному жгуту, которая(ый) включает множество оптических волокон согласно первому аспекту настоящего изобретения и материал матрицы, герметизирующий множество оптических волокон.

[0015] Третий аспект изобретения относится к телекоммуникационной системе, которая включает оптическое волокно согласно первому аспекту настоящего изобретения или оптоволоконную ленту или оптоволоконный жгут согласно второму аспекту настоящего изобретения.

[0016] Четвертый аспект настоящего изобретения относится к способу изготовления оптического волокна согласно первому аспекту настоящего изобретения. Этот способ включает этапы нанесения на стекловолокно трех или более полимеризуемых композиций и вызывания полимеризации этих трех или более полимеризуемых композиций с образованием тем самым трех или более покрытий, которые герметизируют стекловолокно, с получением в результате оптического волокна.

[0017] Конструкция покрытий оптических волокон в соответствии с настоящим изобретением обеспечивает ряд преимуществ. Одно существенное преимущество состоит в том, что размеры самого внутреннего (первичного) и самого внешнего (вторичного) покрытий, которые часто включают дорогие добавки или даже основные компоненты для регулирования их свойств, можно корректировать с целью уменьшения расхода таких добавок/компонентов на единицу длины волокна. Например, путем регулирования

размеров самого внутреннего покрытия может быть уменьшено используемое количество усилителя адгезии к стеклу и поверхностно-активного носителя на единицу длины волокна, а путем регулирования размеров самого внешнего покрытия может быть уменьшено количество усилителя клейкости, смазки, улучшающих скольжение добавок, восков и добавок, которые повышают эффективность захвата фотонов (оптических отбеливателей), на единицу длины волокна. Кроме того, использование меньшего количества олигомеров или фотоинициаторов в одном или более из промежуточных покрытий также должно приводить к уменьшению общего содержания олигомера или фотоинициатора на единицу длины волокна. Наконец, в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения упомянутые три или более покрытия могут иметь суммарную толщину, которая уменьшена по сравнению с системами покрытий, имеющимися на коммерческих волокнах, доступных на сегодняшний день. Все эти изменения должны обеспечивать значительную экономию затрат. В качестве примера, усилитель адгезии часто дорог - он добавляет вплоть до 20% к стоимости покрытия, и при этом он дает незначительную выгоду по объемным свойствам покрытия. Поэтому при уменьшении размера первичного покрытия общая стоимость усилителя адгезии может быть уменьшена до менее чем 10%, а еще более предпочтительно, менее чем 5% от общей стоимости покрытия.

[0018] Другое существенное преимущество состоит в том, что свойства самого внутреннего (первичного) и самого внешнего покрытий могут быть улучшены в отношении их соответствующих функций без мешающего влияния нежелательных взаимодействий между такими покрытиями, как это обычно происходит в традиционных двухслойных конструкциях. Например, в двухслойных конструкциях модуль упругости и T_c вторичного покрытия ограничены, поскольку оно может оттягивать первичное покрытие от стекла (Aloisio et al., "Optical Fiber Coating Delamination Using Model Coating Materials," Proc. of the 51st International Wire and Cable Symposium, стр. 738-747 (2002); Aloisio et al., "A Viscoelastic Analysis of Thermally Induced Residual Stresses in Dual Coated Optical Fibers," Proceedings 44th International Wire and Cable Symposium, стр. 139-145 (1995), которые настоящим включены путем ссылки во всей своей полноте). Однако в многослойных структурах по настоящему изобретению имеет место большая гибкость в выборе данных свойств, поскольку эти два покрытия больше не находятся в непосредственном контакте. В результате могут применяться внешние покрытия с намного более высоким модулем упругости. Наконец, в отношении четырехслойных (или более многослойных) конструкций, присутствие первого промежуточного покрытия с относительно более высоким модулем упругости и T_c обеспечивает некоторую защиту волокна в том случае, если внешнее вторичное покрытие повреждено.

[0019] Дополнительные признаки и преимущества изобретения будут изложены в нижеследующем подробном описании, а частично будут легко понятны специалистам в данной области техники из настоящего описания или выявлены при практическом осуществлении изобретения, описанного здесь, включая нижеследующее подробное описание, формулу изобретения, а также прилагаемые чертежи.

[0020] Следует понимать, что предыдущее общее описание и последующее подробное описание являются лишь примерной иллюстрацией изобретения и предназначены для обеспечения обзора или базовой структуры для понимания природы и характера изобретения в том виде, в котором оно заявлено. Сопровождающие чертежи включены с целью обеспечения более полного понимания изобретения и входят в настоящее описание и составляют его часть. Чертежи иллюстрируют различные варианты

осуществления изобретения и вместе с описанием служат для объяснения принципов и эффектов изобретения.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0021] Фиг. 1 является видом в разрезе четырехслойного покрытия на оптическом
5 волокне согласно первому варианту осуществления настоящего изобретения.

[0022] Фиг. 2 является видом в разрезе трехслойного покрытия на оптическом волокне согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения.

[0023] Фиг. 3 является видом в разрезе оптоволоконной ленты по настоящему
10 изобретению, содержащей одно или более оптических волокон по настоящему

[0024] Фиг. 4 является схемой процесса вытягивания и нанесения покрытий на оптическое волокно с системой из четырех покрытий.

[0025] Фиг. 5 является графиком, иллюстрирующим прогнозируемое смещение сердцевин для двух коммерческих гибких оптических волокон стандарта G652 в
15 сравнении с оптическим волокном, содержащим системы четырехслойных покрытий. Смещение сердцевин может быть уменьшено в системе с четырьмя покрытиями, когда второй промежуточный слой покрытия простирается за пределы примерно 190 мкм от центра сердцевин. Это указывает на то, что четырехслойное покрытие должно превосходить двухслойные покрытия по стойкости к микроизгибам, поскольку второй
20 промежуточный слой может быть намного более мягким, чем первичное покрытие в двухслойном варианте.

[0026] Фиг. 6 является графиком, иллюстрирующим стойкость к микроизгибам Испытываемого волокна 1 с потерями на затухание при 1310 нм, 1550 нм и 1625 нм в процессе термоциклирования от -60 до 70°C.

[0027] Фиг. 7 является графиком, иллюстрирующим стойкость к микроизгибам Испытываемого волокна 2 с потерями на затухание при 1310 нм, 1550 нм и 1625 нм в
25 процессе термоциклирования от -60 до 70°C.

[0028] Фиг. 8 является графиком, иллюстрирующим прогнозируемое смещение сердцевин на основе потерь на затухание, измеренных в испытании на барабане из
30 проволочной сетки при натяжении 100 граммов. Расчетные значения смещения оценены на основе измеренной потери на затухание и модулей, а также толщины соответствующих слоев покрытий.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0029] Настоящее изобретение относится к оптическим волокнам, содержащим три
35 или более покрытий, которые герметизируют нижележащее волокно, а также к способам их производства и применения в оптоволоконных лентах/кабелях и телекоммуникационных системах.

[0030] Оптические волокна по настоящему изобретению содержат три или более покрытий, которые герметизируют нижележащее волокно. Эти три или более покрытия
40 включают первичное покрытие в контакте со стекловолокном, одно или более промежуточных покрытий и внешнее покрытие. За счет присутствия одного или более промежуточных покрытий становится возможным лучше отрегулировать свойства первичного и внешнего покрытий по их целевому назначению, без нежелательного воздействия одного на другое. Такие промежуточные покрытия обеспечивают общую
45 повышенную стойкость оптического волокна к микроизгибам при более низких потерях на затухание.

[0031] Обращаясь теперь к Фиг. 1, оптическое волокно 10 согласно одному варианту осуществления настоящего изобретения включает волокно 12 и четыре покрытия 14,

15, 16 и 18, которые герметизируют волокно 12. Предпочтительно, волокно 12 содержит стеклянную сердцевину. Покрытие 14 представляет собой первичное (самое внутреннее) покрытие и выполняет традиционное назначение первичного покрытия, как описано выше. Покрытие 18 представляет собой внешнее покрытие и выполняет традиционное
5 назначение вторичного покрытия, как описано выше. Между первичным и вторичным покрытиями расположено первое промежуточное покрытие 15 и второе промежуточное покрытие 16. Материалы и композиции, используемые для получения этих покрытий, описаны ниже.

[0032] Волокно 12 обычно сформировано из стекла, преимущественно силикатного (кварцевого) стекла, и включает в себя стеклянную сердцевину и стеклянное покрытие, известное как слой оболочки. Стекловолокно может быть сформировано согласно
10 ряду известных в уровне техники способов. Во многих применениях стеклянная сердцевина и слой оболочки имеют заметную границу между сердцевиной и оболочкой. Альтернативно, сердцевина и слой оболочки могут не иметь четкой границы. Одним
15 таким стекловолокном является волокно со ступенчатым изменением показателя преломления. Примеры волокна со ступенчатым изменением показателя преломления описаны в патентах США №№ 4300930 и 4402570 (Chang), каждый из которых настоящим
20 включен путем ссылки во всей своей полноте. Другим таким волокном является волокно с градиентным измерением показателя преломления, сердцевина которого имеет
показатель преломления, изменяющийся с расстоянием от центра волокна. Волокно с
градиентным измерением показателя преломления в принципе сформировано путем
диффузии стеклянной сердцевины и слоя оболочки друг в друга. Примеры волокон с
градиентным измерением показателя преломления описаны в патенте США № 5729645
(Garito et al.), патенте США № 4439008 (Joormann et al.), патенте США № 4176911 (Marcatili
25 et al.) и патенте США № 4076380 (DiMarcello et al.), каждый из которых настоящим
включен путем ссылки во всей своей полноте. Стекловолокно также может быть одно-
или многомодовым на целевой длине волны, например 1310 или 1550 нм. Оптические
волокна по настоящему изобретению могут содержать эти или любую другую
традиционную конфигурацию сердцевины-оболочки, известные в настоящее время или
30 разработанные в будущем.

[0033] Различные покрытия, используемые в оптических волокнах по настоящему изобретению, обычно сшиваются в течение процесса отверждения, за исключением
указанного ниже. Такие покрытия могут быть сформированы из одного или более
олигомеров или полимеров, одного или более мономеров, инициатора полимеризации
35 (если желательно) и одной или более дополнительных добавок.

[0034] Олигомерный компонент, если таковой присутствует, предпочтительно является этиленненасыщенным олигомером, более предпочтительно (мет)акрилатным олигомером. Термин «(мет)акрилат» предполагается охватывающим и акрилаты, и метакрилаты, а также их комбинации. Концевые (мет)акрилатные группы в таких
40 олигомерах могут быть известным образом предоставлены монофункциональным поли(мет)акрилатным кэпирующим компонентом или моно(мет)акрилатным кэпирующим компонентом, таким как 2-гидроксиэтилакрилат.

[0035] Уретановые олигомеры традиционно получают реактивованием алифатического или ароматического диизоцианата с двухатомным простым или сложным полиэфиром,
45 чаще всего полиоксиалкиленгликолем, таким как полиэтиленгликоль. Такие олигомеры обычно содержат 4-10 уретановых групп и могут иметь высокую молекулярную массу, например, 2000-8000. Впрочем, также могут использоваться олигомеры с более низкой молекулярной массой, которые имеют молекулярные массы в диапазоне 500-2000.

Такие синтезы подробно описаны в патенте США № 4608409 (Coady et al.) и патенте США № 4609718 (Bishop et al.), каждый из которых настоящим включен путем ссылки.

[0036] В случае, когда желательно использовать влагостойкие олигомеры, они могут быть синтезированы аналогичным способом, за исключением того, что от полярных простых или сложных полиэфиргликолей отказываются в пользу преобладающе насыщенных и преобладающе неполярных алифатических диолов. Такие диолы включают, например, алкан- или алкилендиолы, содержащие от 2-250 атомов углерода, и, предпочтительно, практически не содержащие эфирных или сложноэфирных групп. Пределы значений вязкости и молекулярной массы олигомеров, получаемые в таких системах, аналогичны значениям у олигомеров, получаемым в системах ненасыщенных полярных олигомеров, благодаря чему вязкость и свойства покрытий на их основе могут оставаться по существу неизменными. Уменьшенное содержание кислорода в таких покрытиях, как установили, не приводило к неприемлемому ухудшению характеристик сцепления покрытий с поверхностями покрываемых стекловолокон.

[0037] Как известно, в олигомеры, полученные указанными способами, поликарбамидные компоненты могут быть включены просто путем замены диолов или полиолов диаминами или полиаминами в ходе синтеза. Присутствие небольших долей поликарбамидных компонентов в настоящих системах покрытий не считается неблагоприятным для эксплуатационных качеств покрытий, но только при условии, что используемые в синтезе диамины или полиамины являются в достаточной степени неполярными и насыщенными, чтобы исключить ухудшение влагостойкости системы.

[0038] Подходящие этиленненасыщенные олигомеры включают полиэфируретанакрилатные олигомеры (CN986, поставляемый Sartomer Company, Inc., West Chester, PA), а также BR 3731, BR 3741 и STC3-149 (поставляемые Bomar Specialty Co., Winstead, CT), акрилатные олигомеры на основе трис(гидроксиэтил)изоцианурата, модифицированные (мет)акрилатами акриловые олигомеры, сложные полиэфируретанакрилатные олигомеры (CN966 и CN973, поставляемые Sartomer Company, Inc; и BR7432, поставляемый Bomar Specialty Co.), поликарбамидуретанакрилатные олигомеры (например, олигомеры, раскрытые в патентах США №№ 4690502 и 4798852 (Zimmerman et al.), патенте США № 4609718 (Bishop et al.) и патенте США № 4629287 (Bishop et al.), каждый из которых настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте), полиэфиракрилатные олигомеры (Genomer 3456, поставляемый Rahn AG, Zurich, Switzerland), сложные полиэфиракрилатные олигомеры (Ebecryl 80, 584 и 657, поставляемые UCB Radcure, Atlanta, GA), поликарбамадакрилатные олигомеры (например, олигомеры, раскрытые в патентах США №№ 4690502 и 4798852 (Zimmerman et al.), патенте США № 4609718 (Bishop et al.) и патенте США № 4629287 (Bishop et al.), каждый из которых настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте), эпоксиакрилатные олигомеры (CN120, поставляемый Sartomer Company, Inc., и Ebecryl 3201 и 3604, поставляемые UCB Radcure), гидрированные полибутадиеновые олигомеры (Echo Resin MBNX, поставляемая Echo Resins and Laboratory, Versailles, MO), а также их комбинации.

[0039] Альтернативно, олигомерный компонент также может включать нереакционноспособный олигомерный компонент, который описан в публикации заявки на патент США № 20070100039 (Schissel et al.), которая настоящим включена путем ссылки во всей своей полноте. Эти нереакционноспособные олигомерные компоненты могут применяться для достижения покрытий с высоким модулем упругости, которые не являются чрезмерно хрупкими. Такие нереакционноспособные олигомерные материалы наиболее предпочтительны для покрытий с более высоким модулем

упругости.

[0040] Олигомерный(е) компонент(ы) обычно присутствует(ют) в композиции покрытия в количествах от примерно 0 до примерно 90 процентов по весу, более предпочтительно от примерно 25 до примерно 75 процентов по весу, а наиболее предпочтительно от примерно 40 до примерно 65 процентов по весу.

[0041] Композиция(и) покрытия также может(могут) включать один или более полимерных компонентов либо в качестве замены олигомерного компонента, либо в комбинации с олигомерным компонентом. Применение полимерных компонентов описано, например, в патенте США № 6869981 (Fewkes et al.), который настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте.

[0042] Полимер может быть блок-сополимером, включающим по меньшей мере один жесткий блок и по меньшей мере один мягкий блок, при этом жесткий блок имеет более высокую T_c , чем T_c мягкого блока. Предпочтительно, основная цепь мягкого блока является алифатической. Подходящие алифатические основные цепи включают поли(бутадиеновые), полиизопреновые, полиэтилен/бутиленовые, полиэтилен/пропиленовые и диольные блоки. Одним примером блок-сополимера является диблок-сополимер, имеющий общую структуру А-В. Другим примером подходящего сополимера является триблок, имеющий общую структуру А-В-А. Предпочтительно, средний блок имеет молекулярную массу, по меньшей мере, примерно 10000, более предпочтительно более примерно 20000, еще более предпочтительно более примерно 50000, а наиболее предпочтительно более примерно 100000. В случае триблок-сополимера (А-В-А) средний блок (В, такой как бутадиен в сополимере SBS, как определено здесь) имеет T_c ниже примерно 20°C. Пример мультиблок-сополимера, который содержит больше трех блоков, включает термопластичный полиуретан (TPU). Источники TPU включают BASF, B. F. Goodrich и Bayer. Блок-сополимер может содержать любое число множественных блоков.

[0043] Полимерный компонент может быть или не быть химически сшитым при отверждении. Предпочтительно, полимер является термопластичным эластомерным полимером. Предпочтительно, полимерный компонент содержит, по меньшей мере, два термопластичных концевых блока и эластомерную основную цепь между двумя концевыми блоками, такие как стирольные блок-сополимеры. Подходящие материалы термопластичных концевых блоков включают полистирол и полиметилметакрилат. Подходящие средние блоки включают этиленпропилендиеновый мономер ("ЭПДМ") и этиленпропиленовый каучук. Эластомерный средний блок может быть полибутадиеном, полиизопреном, полиэтилен/бутиленом и полиэтилен/пропиленом.

[0044] Примерами коммерческих стирольных блок-сополимеров являются KRATON™ (Kraton Polymers, Houston Tex.), CALPRENE™ (Repsol Quimica S.A. Corporation, Spain), SOLPRENE™ (Phillips Petroleum Co), STEREO™ (Firestone Tire & Rubber Co., Akron, Ohio), KRATON™ D1101, который является бутадиен-стирольным линейным блок-сополимером (Полимеры Kraton), KRATON™ D1193, который является изопрен-стирольным линейным блок-сополимером (Kraton Polymers), KRATON™ FG1901X, который является стирол-этилен-бутиленовым блок-сополимером, привитым примерно 2 вес.% малеинового ангидрида (Kraton Polymers), KRATON™ D1107, который является изопрен-стирольным линейным блок-сополимером (Kraton Polymers) и HARDMAN ISOLENE™ 400, который является жидким полиизопреном (Elementis Performance Polymers, Belleville, N.J.).

[0045] Полимерный(е) компонент(ы), при их использовании, обычно присутствует(ют) в композиции покрытия в количествах от примерно 5 до примерно 90 процентов

по весу, предпочтительно от примерно 10 процентов по весу до примерно 30 процентов по весу, а наиболее предпочтительно от примерно 12 процентов по весу до примерно 20 процентов по весу.

[0046] Один или более мономерных компонентов предпочтительно являются этиленненасыщенными. Подходящие функциональные группы этиленненасыщенных мономеров, применяемых в соответствии с настоящим изобретением, включают, без ограничения, акрилаты, метакрилаты, акриламиды, N-виниламиды, стиролы, простые виниловые эфиры, сложные виниловые эфиры, сложные эфиры кислот и их комбинации (т.е. для полифункциональных мономеров). Из перечисленного обычно предпочтительны (мет)акрилатные мономеры.

[0047] Как правило, для обеспечения текучести, требуемой для нанесения композиции покрытия с помощью традиционного оборудования для нанесения жидкого покрытия, к составу добавляют жидкий (мет)акрилат-функциональный мономер, имеющий более низкую молекулярную массу (т.е. примерно 120-600). Типичные акрилат-функциональные жидкости в данных системах включают монофункциональные и полифункциональные акрилаты (т.е. мономеры, имеющие две или более акрилат-функциональных группы). Иллюстративными примерами таких полифункциональных акрилатов являются дифункциональные акрилаты, которые имеют две функциональные группы; трифункциональные акрилаты, которые имеют три функциональные группы; и тетрафункциональные акрилаты, которые имеют четыре функциональные группы. Монофункциональные и полифункциональные метакрилаты могут применяться вместе.

[0048] Если желательно использовать влагостойкие компоненты, мономерный компонент будет выбираться исходя из его совместимости с выбранным влагостойким олигомером. Не все подобные жидкие мономеры удастся успешно смешивать и сополимеризировать с влагостойкими олигомерами, поскольку такие олигомеры являются сильно неполярными. Для достижения удовлетворительной совместимости и влагостойкости покрытия желательно использовать жидкий акрилатный мономерный компонент, включающий преобладающе насыщенный алифатический моно- или диакрилатный мономер, или алкоксиакрилатные мономеры.

[0049] Подходящие полифункциональные этиленненасыщенные мономеры включают, без ограничения, диакрилаты алкоксилированного бисфенола А, такие как диакрилат этоксилированного бисфенола А с этоксилированием, составляющим 2 или больше, предпочтительно в пределах от 2 до примерно 30 (SR349 и SR601, поставляемые Sartomer Company, Inc; и Photomer 4025 и Photomer 4028, поставляемые Cognis Corp., Ambler, PA) и диакрилат пропоксилированного бисфенола А с пропоксилированием, составляющим 2 или больше, предпочтительно в пределах от 2 до примерно 30; полиакрилаты метилолпропана с алкоксилированием и без алкоксилирования, такие как триакрилат этоксилированного триметилолпропана с этоксилированием 3, составляющим или больше, предпочтительно в пределах от 3 до примерно 30 (Photomer 4149, поставляемый Cognis Corp., и SR499, поставляемый Sartomer Company, Inc.), триакрилат пропоксилированного триметилолпропана с пропоксилированием, составляющим 3 или больше, предпочтительно в пределах от 3 до 30 (Photomer 4072, поставляемый Cognis Corp.; и SR492, поставляемый Sartomer Company, Inc.), и тетраакрилат дитриметилолпропана (Photomer 4355, поставляемый Cognis Corp.); триакрилаты алкоксилированного глицерила, такие как триакрилат пропоксилированного глицерила с пропоксилированием, составляющим 3 или больше (Photomer 4096, поставляемый Cognis Corp.; и SR9020, поставляемый Sartomer Company, Inc.); полиакрилаты эритрита с алкоксилированием и без алкоксилирования, такие как тетраакрилат пентаэритрита

(SR295, поставляемый Sartomer Company, Inc.), тетраакрилат этоксилированного пентаэритрита (SR494, поставляемый Sartomer Company, Inc.) и пентаакрилат дипентаэритрита (Photomer 4399, поставляемый Cognis Corp.; и SR399, поставляемый Sartomer Company, Inc.); полиакрилаты изоцианурата, образованные реактированием соответствующего функционального изоцианурата с акриловой кислотой или акрилоилхлоридом, такие как триакрилат трис-(2-гидроксиэтил)изоцианурата (SR368, поставляемый Sartomer Company, Inc.) и диакрилат трис-(2-гидроксиэтил)изоцианурата; полиакрилаты спиртов с алкоксилированием и без алкоксилирования, такие как диакрилат трициклодекандиметанола (CD406, поставляемый Sartomer Company, Inc.) и диакрилат этоксилированного полиэтиленгликоля с этоксилированием, составляющим 2 или больше, предпочтительно в пределах от примерно 2 до 30; эпоксиакрилаты, образованные при добавлении акрилата к диглицидиловому эфиру бисфенола А и т.п. (Photomer 3016, поставляемый Cognis Corp.); и моно- и полициклические ароматические или неароматические полиакрилаты, такие как диакрилат дициклопентадиена.

[0050] Также может быть желательно использовать некоторые количества монофункциональных этиленненасыщенных мономеров, которые могут быть введены для изменения той степени, в которой отвержденный продукт абсорбирует воду, прилипает к материалам других покрытий или ведет себя под нагрузкой. Примеры монофункциональных этиленненасыщенных мономеров включают, без ограничения, гидроксикарилаты, такие как 2-гидроксиэтил-акрилат, 2-гидроксипропил-акрилат и 2-гидроксибутил-акрилат; алкарилаты с длинной и короткой цепью, такие как метилакрилат, этилакрилат, пропилакрилат, изопропилакрилат, бутилакрилат, амилакрилат, изобутилакрилат, т-бутилакрилат, пентилакрилат, изоамилакрилат, гексилакрилат, гептилакрилат, октилакрилат, изооктилакрилат (SR440, поставляемый Sartomer Company, Inc., и Ageflex FA8, поставляемый CPS Chemical Co.), 2-этилгексилакрилат, нонилакрилат, децилакрилат, изодецилакрилат (SR395, поставляемый Sartomer Company, Inc.; и Ageflex FA10, поставляемый CPS Chemical Co.), ундецилакрилат, додецилакрилат, тридецилакрилат (SR489, поставляемый Sartomer Company, Inc.), лаурилакрилат (SR335, поставляемый Sartomer Company, Inc., Ageflex FA12, поставляемый CPS Chemical Co., Old Bridge, NJ) и (Photomer 4812, поставляемый Cognis Corp.), октадецилакрилат и стеарилакрилат (SR257, поставляемый Sartomer Company, Inc.); аминоалкарилаты, такие как диметиламиноэтилакрилат, диэтиламиноэтилакрилат и 7-амино-3,7-диметилоктилакрилат; алкоксиалкарилаты, такие как бутоксиэтилакрилат, феноксиэтилакрилат (SR339, поставляемый Sartomer Company, Inc., Ageflex PEA, поставляемый CPS Chemical Co., и Photomer 4035, поставляемый Cognis Corp.), феноксиглицидилакрилат (CN 131, поставляемый Sartomer Company, Inc.), лаурилоксиглицидилакрилат (CN 130, поставляемый Sartomer Company, Inc.), и этоксиэтоксиэтилакрилат (SR256, поставляемый Sartomer Company, Inc.); моно- и полициклические ароматические или неароматические акрилаты, такие как циклогексилакрилат, бензилакрилат, дициклопентадиенакрилат, дициклопентанилакрилат, трициклодеканилакрилат, борнилакрилат, изоборнилакрилат (SR423 и SR506, поставляемые Sartomer Company, Inc., и Ageflex IBOA, поставляемый CPS Chemical Co.), тетрагидрофурфурилакрилат (SR285, поставляемый Sartomer Company, Inc.), акрилат капролактона (SR495, поставляемый Sartomer Company, Inc.; и Tone M100, поставляемый Union Carbide Company, Danbury, CT) и акрилоилморфолин; акрилаты на основе спиртов, такие как моноакрилат полиэтиленгликоля, моноакрилат полипропиленгликоля, акрилат метоксиэтиленгликоля, акрилат метоксиполипропиленгликоля, акрилат метоксиполиэтиленгликоля, акрилат

этоксидиэтиленгликоля и различные акрилаты алкоксилированных алкилфенолов, такие как акрилат этоксилированного (4) нонилфенола (Photomer 4003, поставляемый Cognis Corp.; и SR504, поставляемый Sartomer Company, Inc.) и акрилат пропоксилированного нонилфенола (Photomer 4960, поставляемый Cognis Corp.); акриламида, такие как акриламид диацетона, изобутоксиметилакриламид, N,N'-диметил-аминопропилакриламид, N,N-диметилакриламид, N,N-диэтилакриламид и т-октилакриламид; винильные соединения, такие как N-винилпирролидон и N-винилкапролактан (оба поставляемые International Specialty Products, Wayne, N.J.); и сложные эфиры кислот, такие как сложный эфир малеиновой кислоты и сложный эфир фумаровой кислоты.

[0051] Мономерный(е) компонент(ы) обычно присутствует(ют) в композиции покрытия в количествах от примерно 10 до примерно 90 процентов по весу, более предпочтительно от примерно 20 до примерно 60 процентов по весу, а наиболее предпочтительно от примерно 25 до примерно 50 процентов по весу.

[0052] Как хорошо известно, композиции покрытий оптических волокон также могут содержать инициатор полимеризации, который подходит для того, чтобы вызывать полимеризацию (т.е. отверждение) композиции после ее нанесения на стекловолокно. Инициаторы полимеризации, подходящие для применения в композициях первичного покрытия по настоящему изобретению, включают термоинициаторы, химические инициаторы, электроннолучевые инициаторы и фотоинициаторы. Наиболее предпочтительными являются фотоинициаторы. В большинстве составов для нанесения покрытий на основе акрилатов предпочтительны обычные фотоинициаторы, такие как известные кетонные фотоинициаторы и/или фосфиноксидные фотоинициаторы. При использовании в композициях по настоящему изобретению фотоинициатор присутствует в количестве, достаточном для обеспечения быстрого отверждения ультрафиолетом (УФ). Как правило, это включает от примерно 0,5 до примерно 10,0 процентов по весу, более предпочтительно от примерно 1,5 до примерно 7,5 процентов по весу. Если желательны более низкие степени отверждения, или если отверждение не требуется, количество фотоинициатора, применяемого в конкретной композиции, может составлять менее 0,5 процента по весу, или же фотоинициатор может полностью отсутствовать.

[0053] Фотоинициатор, при его использовании в небольшом, но эффективном количестве для ускорения отверждения излучением, должен обеспечивать приемлемую скорость отверждения, не вызывая при этом преждевременной желатинизации композиции покрытия. Желательная скорость отверждения является любой скоростью, достаточной для того, чтобы вызывать существенное отверждение материалов покрытия. При измерении по кривой зависимости дозировки от модуля упругости скорость отверждения для покрытия толщиной примерно 25-35 мкм составляет, например, менее 1,0 Дж/см², предпочтительно менее 0,5 Дж/см².

[0054] Подходящие фотоинициаторы включают 1-гидроксициклогексилфенилкетон (Irgacure 184, поставляемый Ciba Specialty Chemical, Hawthorne, NY), (2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфиноксид (коммерческие смеси Irgacure 1800, 1850 и 1700, поставляемые Ciba Specialty Chemical), 2,2-диметокси-2-фенилацетофенон (Irgacure 651, поставляемый Ciba Specialty Chemical), бис-(2,4,6-триметилбензоил)фенил-фосфиноксид (Irgacure 819, поставляемый Ciba Specialty Chemical), (2,4,6-триметилбензоил)дифенил-фосфиноксид (Lucerin TPO, поставляемый BASF, Munich, Germany), этокси-(2,4,6-триметилбензоил)фенилфосфиноксид (Lucerin TPO-L, BASF), а также их комбинации.

[0055] Покрытия необязательно могут включать одну или более дополнительных

добавок. Эти добавки включают, без ограничения, катализаторы, поверхностно-активные вещества-носители, усилители клейкости, усилители адгезии, антиокислители, стабилизаторы, активные разбавители, смазки, оптические отбеливатели и низкомолекулярные несшивающиеся смолы. Некоторые добавки, например катализаторы, реакционноспособные поверхностно-активные вещества и оптические отбеливатели, могут обеспечивать регулирование процесса полимеризации, тем самым влияя на физические свойства (например, модуль упругости, температуру стеклования) продукта полимеризации, образующегося из композиции покрытия. Другие добавки могут влиять на целостность продукта полимеризации композиции покрытия (например, защищать от деполимеризации или окислительной деградации).

[0056] Примером катализатора является оловосодержащий катализатор, который применяют, чтобы катализировать образование уретановых связей в некоторых олигомерных компонентах. Независимо от того, остается ли катализатор в качестве добавки олигомерного компонента или дополнительные количества катализатора вводят в композицию по настоящему изобретению, присутствие катализатора может способствовать стабилизации олигомерного компонента в композиции.

[0057] Подходящие носители, более конкретно носители, которые функционируют как реакционноспособные поверхностно-активные вещества, включают полиалкоксополисилоксаны. Предпочтительные носители поставляет Goldschmidt Chemical Co. (Hopewell, VA) под торговым наименованием TEGORAD 2200 и TEGORAD 2700 (акрированный силосан). Эти реакционноспособные поверхностно-активные вещества могут присутствовать в предпочтительном количестве от примерно 0,01 до примерно 5 rph (частей на сто), более предпочтительно от примерно 0,25 до примерно 3 rph.

[0058] Другие классы подходящих носителей являются полиолами и нереакционноспособными поверхностно-активными веществами. Примеры подходящих полиолов и нереакционноспособных поверхностно-активных веществ включают полиол Aclaim 3201 (сополимер этиленоксида и пропиленоксида, поставляемый Lyondel (ранее известный как Arco Chemicals)(Newtowne Square, Pa.)) и нереакционноспособное поверхностно-активное вещество Tegoglide 435 (полиалкоксополисилоксан), поставляемый Goldschmidt Chemical Co. Полиол или нереакционноспособные поверхностно-активные вещества могут присутствовать в предпочтительном количестве от примерно 0,01 rph до примерно 10 rph, более предпочтительно от примерно 0,05 до примерно 5 rph, наиболее предпочтительно от примерно 0,1 до примерно 2,5 rph.

[0059] Подходящие носители также могут быть амфифильными молекулами. Амфифильная молекула является молекулой, которая имеет как гидрофильный, так и гидрофобный сегменты. Гидрофобный сегмент альтернативно может быть описан как липофильный (обладающий сродством к жиру/маслу) сегмент. Усилитель клейкости является примером одной такой амфифильной молекулы. Усилитель клейкости является молекулой, которая может изменять зависящее от времени реологическое свойство полимерного продукта. Обычно добавка усилителя клейкости делает полимерный продукт более жестким при более высоких скоростях деформации или скоростях сдвига и делает полимерный продукт более мягким при более низких скоростях деформации или скоростях сдвига. Усилитель клейкости является добавкой, которую обычно используют в производстве клеящих материалов и которая, как известно, повышает способность покрытия создавать связь с объектом, на который это покрытие наносят.

[0060] Предпочтительным усилителем клейкости является Uni-tac[®] R-40 (в дальнейшем "R-40"), поставляемый International Paper Co., Purchase, N.Y. R-40 является смолой

таллового масла, которая содержит полиэфирный сегмент и относится к химической группе абиетиновых сложных эфиров. Предпочтительно, усилитель клейкости присутствует в композиции в количестве от примерно 0,01 до примерно 10 ррh, более предпочтительно в количестве от примерно 0,05 до примерно 5 ррh. Подходящим альтернативным усилителем клейкости является серия Escorez углеводородных усилителей клейкости, поставляемых Еххон. Для получения дополнительной информации по усилителям клейкости Escorez, см. патент США № 5242963 (Mao), который настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте. Вышеуказанные носители также могут использоваться в комбинации.

[0061] Может применяться любой подходящий усилитель адгезии. Примеры подходящего усилителя адгезии включают органофункциональные силаны, титанаты, цирконаты и их смеси. Предпочтительно, усилитель адгезии является поли(алкокси)силаном, наиболее предпочтительно бис(триметоксисилилэтил)бензолом. Подходящие альтернативные усилители адгезии включают 3-меркаптопропилтриметоксисилан (3-MPTMS, поставляемый United Chemical Technologies, Bristol, PA; также поставляется Gelest, Morrisville, PA), 3-акрилоксипропилтриметоксисилан (поставляемый Gelest) и 3-метакрилоксипропилтриметоксисилан (поставляемый Gelest), а также бис(триметоксисилилэтил)бензол (поставляемый Gelest). Другие подходящие усилители адгезии описаны в патентах США № 4921880 и 5188864 (Lee et al.), каждый из которых настоящим включен путем ссылки. Усилитель адгезии, если таковой присутствует, используется в количестве от примерно 0,1 до примерно 10 ррh, более предпочтительно от примерно 0,25 до примерно 3 ррh.

[0062] Может использоваться любой подходящий антиокислитель. Предпочтительные антиокислители включают, без ограничения, сульфид бис стерически затрудненного фенола или тиодиэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидрокси гидроциннамат (Irganox 1035, поставляемый Ciba Specialty Chemical). Антиокислитель, если таковой присутствует, используется в количестве от примерно 0,1 до примерно 3 ррh, более предпочтительно от примерно 0,25 до примерно 2 ррh.

[0063] Может использоваться любой подходящий стабилизатор. Одним предпочтительным стабилизатором является тетрафункциональный тиол, например, тетракис(3-меркаптопропионат) пентаэритрита от Sigma-Aldrich (St. Louis, Mo). Стабилизатор, если таковой присутствует, используется в количестве от примерно 0,01 до примерно 1 ррh, более предпочтительно от примерно 0,01 до примерно 0,2 ррh.

[0064] Может использоваться любой подходящий оптический отбеливатель. Примеры оптических отбеливателей включают, без ограничения, Uvitex OB, 2,5-тиофенедиилбис(5-трет-бутил-1,3-бензоксазол) (Ciba Specialty Chemical); Blankophor KLA, поставляемый Bayer; соединения бисбензоксазола; соединения фенилкумарина; и соединения бис(стирил)бифенила. Оптический отбеливатель желателен присутствует в композиции в концентрации от примерно 0,003 до примерно 0,5 ррh, более предпочтительно от примерно 0,005 до примерно 0,3 ррh.

[0065] Используемый здесь весовой процент конкретного компонента относится к количеству, вводимому в валовой состав, исключая любые добавки. Количество добавок, которые вводят в валовой состав с получением композиции по настоящему изобретению, перечислено в частях на сто. Например, олигомер, мономер и фотоинициатор объединяют, получая такой валовой состав, что суммарный весовой процент этих компонентов равен 100 процентам. В этот валовой состав вводят некоторое количество конкретной добавки, например 1 часть на сто, сверх 100 весовых процентов валового состава.

[0066] Снова обращаясь к Фиг. 1 и системе покрытий, показанной на ней, первичное покрытие 14 предпочтительно сформировано из мягкого сшитого полимерного материала, имеющего низкий модуль Юнга (например, менее примерно 5 МПа при 25°C) и низкую T_c (например, ниже примерно -10°C). Модуль Юнга первичного

5 покрытия 14 предпочтительно составляет от примерно 0,025 до примерно 3 МПа, более предпочтительно от примерно 0,05 до примерно 3 МПа, более предпочтительно от примерно 0,1 МПа до примерно 3 МПа, еще более предпочтительно от примерно 0,05 МПа до примерно 0,5 МПа, а наиболее предпочтительно от примерно 0,05 МПа до примерно 0,3 МПа. T_c предпочтительно составляет от примерно -100°C до примерно 10 -25°C, более предпочтительно от примерно -100°C до примерно -40°C, наиболее предпочтительно от примерно -100°C до примерно -50°C. Первичное покрытие предпочтительно имеет толщину менее примерно 25 мкм, более предпочтительно менее примерно 20 мкм, еще более предпочтительно менее примерно 15 мкм, а наиболее предпочтительно в пределах от примерно 5 мкм до примерно 10 мкм. Первичные 15 покрытия обычно наносят на стекловолокно в виде жидкости и отверждают, как будет более подробно описано ниже. Также могут присутствовать различные добавки, которые улучшают одно или более свойств первичного покрытия, включая антиокислители, усилители адгезии, поверхностно-активные вещества-носители, усилители клейкости, катализаторы, стабилизаторы, поверхностные агенты и оптические отбеливатели.

20 [0067] Некоторое число подходящих первичных покрытий раскрыто, например, в патентах США №№ 6326416 (Chien et al.), 6531522 (Winningham et al.), 6539152 (Fewkes et al.), 6563996 (Winningham), 6869981 (Fewkes et al.), 7010206 и 7221842 (Baker et al.), а также 7423105 (Winningham), каждый из которых включен сюда путем ссылки во всей своей полноте.

25 [0068] Подходящие композиции первичного покрытия включают, без ограничения, примерно от 25 до 75 весовых процентов одного или более уретанаакрилатных олигомеров; от примерно 25 до примерно 65 весовых процентов одного или более монофункциональных этиленненасыщенных мономеров; от примерно 0 до примерно 10 весовых процентов одного или более полифункциональных этиленненасыщенных 30 мономеров; от примерно 1 до примерно 5 весовых процентов одного или более фотоинициаторов; от примерно 0,5 до примерно 1,5 ррh одного или более антиокислителей; от примерно 0,5 до примерно 1,5 ррh одного или более усилителей адгезии; и от примерно 0,01 до примерно 0,5 ррh одного или более стабилизаторов.

35 [0069] Другие подходящие композиции первичного покрытия включают примерно 52 весовых процента полиэфируретанаакрилата (BR 3741 производства Bomar Specialties Company), от примерно 40 до примерно 45 весовых процентов полифункционального акрилатного мономера (Photomer 4003 или Photomer 4960 производства Cognis), от 0 до примерно 5 весовых процентов монофункционального акрилатного мономера (акрилат капролактона или N-винилкапролактама), вплоть до примерно 1,5 весовых процентов 40 фотоинициатора (Irgacure 819 или Irgacure 184 производства Ciba Specialty Chemical, LUCIRIN[®] ТРО производства BASF или их комбинации), к которым добавляют примерно 1 ррh усилителя адгезии (3-акрилоксипропилтриметоксисилана), примерно 1 ррh антиокислителя (Irganox 1035 производства Ciba Specialty Chemical), необязательно 45 вплоть до примерно 0,05 ррh оптического отбеливателя (Uvitex OB производства Ciba Specialty Chemical) и необязательно вплоть до примерно 0,03 ррh стабилизатора (тетракис (3-меркаптопропионат) пентаэритрита, поставляемого Sigma-Aldrich).

[0070] Примерные композиции первичного покрытия включают, без ограничения,

следующие составы:

(1) 52 весовых процента полиэфируретанаакрилатного олигомера (BR 3741, Bomar Specialty), 40 весовых процентов акрилата этоксилированного (4) нонилфенола (Photomer 4003, Cognis Corp.), 5 весовых процентов N-винилпирролидинона, 1,5 весовых процента бис(2,4,6-триметилбензоил)фенил-фосфиноксида (Irgacure 819, Ciba Specialty), 1,5 весовых процента 1-гидроксициклогексилфенилкетона (Irgacure 184, Ciba Specialty), 1 pph тиодиаэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty) и 1 pph 3-акрилоксипропилтриметоксисилана;

(2) 52 весовых процента полиэфируретанаакрилатного олигомера (BR3741, Bomar Specialty), 40 весовых процентов акрилата этоксилированного (4) нонилфенола (Photomer 4003, Cognis Corp.), 5 весовых процентов N-винилкапролактама, 1,5 весовых процента бис(2,4,6-триметилбензоил)фенил-фосфиноксида (Irgacure 819, Ciba Specialty), 1,5 весовых процента 1-гидроксициклогексилфенилкетона (Irgacure 184, Ciba Specialty), 1 pph тиодиаэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty) и 1 pph 3-акрилоксипропилтриметоксисилана;

(3) 52 весовых процента полиэфируретанаакрилатного олигомера (BR3731, Sartomer Co.), 45 весовых процентов акрилата этоксилированного (4) нонилфенола (SR504, Sartomer Co.), 3 весовых процента (2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфиноксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty), 1 pph тиодиаэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty), 1 pph усилителя адгезии бис(триметоксисилилэтил)бензола и 0,5 pph носителя полиалкоксиполисилоксана (Tegorad 2200, Goldschmidt); и

(4) 52 весовых процента полиэфируретанаакрилатных олигомеров (BR3731, Sartomer Co.), 45 весовых процентов акрилата этоксилированного (4) нонилфенола (Photomer 4003, Cognis Corp.), 3 весовых процента (2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфиноксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty), 1 pph тиодиаэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty), 1 pph усилителя адгезии бис(триметоксисилилэтил)бензола и 0,5 pph усилителя клейкости (Unitac R-40, Union Camp);

(5) 52 весовых процента полиэфируретанаакрилатных олигомеров (BR3731, Sartomer Co.), 45 весовых процентов акрилата этоксилированного нонилфенола (SR504, Sartomer Co.) и 3 весовых процента (2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфиноксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty); и

(6) 52 весовых процента уретанаакрилатного олигомера (BR3741, Bomar), 41,5 весовых процента мономера акрилата этоксилированного нонилфенола (Photomer 4003, Cognis), 5 весовых процентов мономера акрилата капролактона (Tone M-100, Dow), 1,5 весовых процента фотоинициатора Irgacure 819 (Ciba), 1 pph тиодиаэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty), 1 pph 3-акрилоксипропилтриметоксисилана (Gelest) и 0,032 pph тетракис(3-меркаптопропионата) пентаэритрита (Aldrich).

[0071] Материал внешнего покрытия 18 обычно является продуктом полимеризации композиции покрытия, которая содержит уретанаакрилатные жидкости, молекулы которых становятся сильно сшитыми при полимеризации. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления внешнее покрытие не является термопластичным материалом. Внешнее покрытие 18 имеет высокий модуль Юнга (например, выше примерно 0,08 ГПа при 25°C) и высокую T_c (например, выше примерно 50°C). Модуль Юнга предпочтительно составляет от примерно 0,1 ГПа до примерно 8 ГПа, более предпочтительно от примерно 0,5 ГПа до примерно 5 ГПа, а наиболее предпочтительно от примерно 0,5 ГПа до примерно 3 ГПа. T_c предпочтительно

составляет от примерно 50°C до примерно 120°C, более предпочтительно от примерно 50°C до примерно 100°C. Вторичное покрытие имеет толщину, которая составляет менее примерно 40 мкм, более предпочтительно от примерно 20 до примерно 40 мкм, наиболее предпочтительно от примерно 20 до примерно 30 мкм.

5 [0072] Другие подходящие материалы для применения в материалах внешнего покрытия, а также факторы, влияющие на выбор таких материалов, хорошо известны из уровня техники и описаны в патентах США №№ 4962992 и 5104433 (Chapin), каждый из которых настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте. В качестве альтернативы им, покрытия с высоким модулем упругости также были получены с
10 применением систем покрытий с низким содержанием олигомеров и низким содержанием уретанов, как описано в патентах США №№ 6775451 (Botelho et al.) и 6689463 (Chou et al.), каждый из которых настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте. Кроме того, нереакционноспособные олигомерные компоненты использовали при получении покрытий с высоким модулем упругости, как описано в публикации заявки на патент
15 США № 20070100039 (Schissel et al.), которая настоящим включена путем ссылки во всей своей полноте. Внешние покрытия обычно наносят на предварительно покрытое волокно (с предшествующим отверждением или без него) и затем отверждают, как будет более подробно описано ниже. Также могут присутствовать различные добавки, которые улучшают одно или более свойств покрытия, включая антиокислители,
20 катализаторы, смазки, низкомолекулярные несшивающиеся смолы, стабилизаторы, поверхностно-активные вещества, поверхностные агенты, улучшающие скольжение добавки, воски, микронизированный политетрафторэтилен и т.д. Вторичное покрытие также может включать краситель, как хорошо известно в уровне техники.

[0073] Подходящие композиции внешнего покрытия включают, без ограничения, от
25 примерно 0 до 20 весовых процентов одного или более уретанакрилатных олигомеров; от примерно 75 до примерно 95 весовых процентов одного или более монофункциональных этиленненасыщенных мономеров; от примерно 0 до примерно 10 весовых процентов одного или более полифункциональных этиленненасыщенных мономеров; от примерно 1 до примерно 5 весовых процентов одного или более
30 фотоинициаторов; и от примерно 0,5 до примерно 1,5 ррн одного или более антиокислителей.

[0074] Другие подходящие композиции внешнего покрытия включают, без ограничения, примерно 10 весовых процентов полиэфируретанакрилатного олигомера (KWS 4131 производства Bomar Specialty Co.), от примерно 72 до примерно 82 весовых
35 процентов мономера диакрилата этоксилированного (4) бисфенола А (Photomer 4028 производства Cognis), примерно 5 весовых процентов бисфенол А диглицидил диакрилата (Photomer 3016 производства Cognis), необязательно вплоть до примерно 10 весовых процентов диакрилатного мономера (Photomer 4002 производства Cognis) или N-винилкапролактама, вплоть до примерно 3 весовых процентов фотоинициатора (Irgacure
40 184 производства Ciba Specialty Chemical, или Lucirin® TPO производства BASF или их комбинации), к которому добавляют примерно 0,5 ррн антиокислителя (Irganox 1035 производства Ciba Specialty Chemical).

[0075] Примерные композиции внешнего покрытия включают, без ограничения, следующие составы:

45 (1) 40 весовых процентов уретанакрилатного олигомера (CN981, Sartomer Company, Inc.), 17 весовых процентов мономера триакрилата пропоксилированного (3) глицерила (SR9020, Sartomer Inc), 25 весовых процентов тетраакрилата пентаэритрита (SR295, Sartomer Inc), 15 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (2)

бисфенола А (SR349, Sartomer Inc) и 3 весовых процента смеси 1-гидроксициклогексилфенилкетона и бис(2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфинооксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty Chemical); и

(2) 10 весовых процентов полиэфируретанаакрилата (KWS 4131, Bomar), 5 весовых процентов бисфенол А диглицидил диакрилата (Photomer 3016, Cognis), 82 весовых процента диакрилата этоксилированного (4) бисфенола А (Photomer 4028, Cognis), 1,5 весовых процента фотоинициатора Lucirin TPO (BASF), 1,5 весовых процента 1-гидроксициклогексилфенилкетона (Irgacure 184, Ciba) и 0,5 ррн антиокислителя тиодидиэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил-4-гидрокси)гидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty Chemical).

[0076] Первое промежуточное покрытие 15 обычно является продуктом полимеризации композиции покрытия, которая приобретает относительно более высокий модуль Юнга и относительно более высокую T_g по сравнению с модулем Юнга и T_g первичного покрытия. Модуль Юнга предпочтительно составляет от примерно 0,1 ГПа до примерно 2 ГПа, более предпочтительно от примерно 0,2 ГПа до примерно 1 ГПа, а наиболее предпочтительно от примерно 0,3 ГПа до примерно 1 ГПа. T_g предпочтительно составляет от примерно 0°C до примерно 60°C, более предпочтительно от примерно 10°C до примерно 60°C, наиболее предпочтительно от примерно 10°C до примерно 50°C. Первое промежуточное покрытие имеет толщину менее примерно 25 мкм, более предпочтительно менее примерно 20 мкм, еще более предпочтительно менее примерно 15 мкм, а наиболее предпочтительно в пределах от примерно 5 мкм до примерно 10 мкм.

[0077] Первое промежуточное покрытие может быть составлено с применением любого числа композиций, ранее известных для применения при формировании внешних (или вторичных) покрытий, при этом они включают системы покрытий с низким содержанием олигомера и низким содержанием уретана, как описано, например, в патенте США №№ 6775451 (Botelho et al.) и 6689463 (Chou et al.), а также публикации заявки на патент США № 20070100039 (Schissel et al.), которые настоящим включены путем ссылки во всей своей полноте. Такое покрытие необязательно может содержать краситель, как хорошо известно, в уровне техники. В некоторых вариантах осуществления первое промежуточное покрытие предпочтительно не содержит дорогих добавок, которые могут применяться для изменения свойств отвержденного продукта, таких как смазки, улучшающие скольжение добавки и воски.

[0078] Подходящие композиции первого промежуточного покрытия включают, без ограничения, от примерно 0 до 20 весовых процентов одного или более уретанаакрилатных олигомеров; от примерно 75 до примерно 95 весовых процентов одного или более монофункциональных этиленненасыщенных мономеров; от примерно 0 до примерно 10 весовых процентов одного или более полифункциональных этиленненасыщенных мономеров; от примерно 1 до примерно 5 весовых процентов одного или более фотоинициаторов; и от примерно 0,5 до примерно 1,5 ррн одного или более антиокислителей.

[0079] Примерные композиции первого промежуточного покрытия включают, без ограничения, следующие составы:

(1) 10 весовых процентов алифатического уретанаакрилатного олигомера (KWS4131, Bomar Specialty Co.), 87 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (4) бисфенола А (Photomer 4028, Cognis Corp.), 3 весовых процента смеси 1-гидроксициклогексилфенилкетона и бис(2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфинооксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty Chemical), 0,5 ррн антиокислителя

тиодизэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил-4-гидрокси)гидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty Chemical) и 1 pph усилителя адгезии с акрилатной и кислотной функциональностью (Ebecryl 170, UCB Radcure);

(2) 10 весовых процентов уретандиакрилатного олигомера на полиэфирной основе (BR301, Bomar Specialty Co.), 22 весовых процента мономера диакрилата этоксилированного (8) бисфенола А (Photomer 4025, Cognis Corp.), 65 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (4) бисфенола А (Photomer 4028, Cognis Corp.), 3 весовых процента смеси 1-гидроксициклогексилфенилкетона и бис(2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфиноксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty Chemical), 0,5 pph антиокислителя тиодизэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил-4-гидрокси) гидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty Chemical) и 1 pph усилителя адгезии с акрилатной и кислотной функциональностью (Ebecryl 170, UCB Radcure);

(3) 10 весовых процентов алифатического уретанаакрилатного олигомера (KWS4131, Bomar Specialty Co.), 50 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (4) бисфенола А (Photomer 4028, Cognis Corp.), 37 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (3) бисфенола А (RCC12-984, Cognis Corp.), 3 весовых процента смеси 1-гидроксициклогексилфенилкетона и бис(2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфиноксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty Chemical), 0,5 pph антиокислителя тиодизэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил-4-гидрокси)гидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty Chemical); и

(4) 30 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (4) бисфенола А (SR601, Sartomer Co.), 37 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (10) бисфенола А (SR602, Sartomer Co.), 30 весовых процентов мономера диакрилата этоксилированного (2) бисфенола А (SR349, Sartomer Co.) и 3 весовых процента смеси 1-гидроксициклогексилфенилкетона и бис(2,6-диметоксибензоил)-2,4,4-триметилпентил-фосфиноксида (Irgacure 1850, Ciba Specialty Chemical).

[0080] Второе промежуточное покрытие 16 может быть либо в виде мягкого сшитого полимерного материала, как и первичное покрытие 14, либо в виде слабо сшитого или даже по существу жидкого материала покрытия. Второе промежуточное покрытие предпочтительно демонстрирует относительно более низкий модуль Юнга и/или относительно более низкую T_g по сравнению с модулем Юнга и T_g первого промежуточного покрытия. Например, в одном предпочтительном варианте осуществления модуль Юнга второго промежуточного покрытия примерно на три порядка меньше, а разность между значениями T_g данных материалов покрытий составляет по меньшей мере примерно 70°C.

[0081] Согласно одному варианту осуществления второе промежуточное покрытие остается в значительной степени жидким даже после процесса отверждения (в ходе которого происходит отверждение остальных покрытий). Используемая в настоящем описании фраза "в значительной степени жидкий" означает, что покрытие демонстрирует менее чем примерно 70% отверждение после процесса отверждения, более предпочтительно менее чем примерно 60% отверждение, наиболее предпочтительно менее чем примерно 50% отверждение. Покрытия, которые остаются в значительной степени жидкими, демонстрируют ограниченное сшивание компонентов в композиции покрытия. Это может быть достигнуто за счет использования нереакционноспособных олигомерных компонентов, неакрилатных мономерных компонентов, а также несшивающихся смол и наполнителей.

[0082] Уменьшение содержания реагентов-фотоинициаторов в композиции второго промежуточного покрытия может также значительно уменьшить степень отверждения

и таким образом способствовать более низкой степени сшивания. В данном варианте осуществления содержание фотоинициатора может быть уменьшено до менее чем примерно 5 весовых процентов, более предпочтительно менее чем 3 весовых процентов, наиболее предпочтительно менее чем примерно 1 весового процента.

[0083] Согласно альтернативному варианту осуществления второе промежуточное покрытие является сшитым покрытием, которое остается достаточно мягким. В данном варианте осуществления второе промежуточное покрытие предпочтительно имеет модуль Юнга, который является по существу таким же как, или более низким, чем модуль Юнга первичного покрытия, и T_g , которая является по существу такой же как, или более низкой, чем T_g первичного покрытия. Модуль Юнга предпочтительно составляет менее примерно 1 МПа, более предпочтительно от примерно 0,01 МПа до примерно 0,5 МПа, наиболее предпочтительно от примерно 0,03 МПа до примерно 0,3 МПа. Согласно одному варианту осуществления модуль Юнга второго промежуточного покрытия на по меньшей мере примерно 30% ниже, чем модуль Юнга первичного покрытия, более предпочтительно, по меньшей мере примерно 40% ниже, наиболее предпочтительно, по меньшей мере примерно 50% ниже. T_g второго промежуточного покрытия предпочтительно составляет от примерно -100°C до примерно -30°C, более предпочтительно от примерно -100°C до примерно -40°C, наиболее предпочтительно от примерно -100°C до примерно -50°C.

[0084] Второе промежуточное покрытие имеет толщину, которая составляет менее примерно 40 мкм, более предпочтительно в пределах от примерно 20 до примерно 40 мкм, наиболее предпочтительно от примерно 20 до примерно 30 мкм.

[0085] Важно, что второе промежуточное покрытие предпочтительно не содержит дорогих добавок, которые могут применяться для изменения некоторых свойств отвержденного продукта, используемого в качестве первичного покрытия, таких как усилители адгезии и поверхностно-активные вещества. Предпочтительно, композиция второго промежуточного покрытия содержит менее 0,25 ррн, более предпочтительно менее 0,15 ррн, а наиболее предпочтительно менее 0,05 ррн усилителя адгезии; и менее 0,25 ррн, более предпочтительно менее 0,15 ррн, а наиболее предпочтительно менее 0,05 ррн поверхностно-активного вещества. Эти добавки могут полностью отсутствовать, поскольку второе промежуточное покрытие не контактирует со стекловолокном. Согласно одному варианту осуществления второе промежуточное покрытие идентично первичному покрытию, но совсем не содержит усилителя адгезии.

[0086] Одним предпочтительным классом композиций второго промежуточного покрытия, которые образуют сшитые покрытия, являются УФ-отверждаемые, чувствительные к давлению композиции, описанные в патенте США № 6869981 (Fewkes), который настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте.

[0087] Примерные вторые промежуточные покрытия включают, без ограничения, следующие составы:

(1) 40 весовых процентов этоксилированного моноакрилата нонилфенола (Ph4003, Cognis Corp.), 5 весовых процентов пропоксилированного диакрилата неопентилгликоля (Ph4127, Cognis Corp.), 52 весовых процента полиэфируретанаакрилатных олигомеров (BR3731, Sartomer Co.), 1,5 весовых процента 1-гидроксициклогексилфенилкетона (Irgacure 184, Ciba Specialty), 1,5 весовых процента бис(2,4,6-триметилбензоил)-фенилфосфиноксида (Irgacure 819, Ciba Specialty), 1 ррн тиодиэтилен-бис(3,5-дитретбутил-4-гидрокси) гидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty), 1 ррн 3-акрилоксипропилтриметоксисилана (Gelest), 0,3 ррн 3-меркаптопропилтриметоксисилана (Gelest) и 20 ррн сложного эфира

канифоли Sylvatac RE-40N (Arizona Chemical Company);

(2) 43 весовых процента этоксилированного моноакрилата нонилфенола (Ph4003, Cognis Corp.), 2 весовых процента пропоксилированного диакрилата неопентилгликоля (Ph4127, Cognis Corp.), 52 весовых процента полиэфируретанакрилатных олигомеров (BR3731, Sartomer Co.), 1,5 весовых процента 1-гидроксициклогексилфенилкетона (Irgacure 184, Ciba Specialty), 1,5 весовых процента бис(2,4,6-триметилбензоил)-фенилфосфиноксида (Irgacure 819, Ciba Specialty), 1 pph тиодидиэтилен-бис(3,5-дитретбутил-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty), 1 pph 3-акрилоксипропилтриметоксисилана (Gelest) и 15 pph сложного эфира канифоли Sylvatac RE-40N (Arizona Chemical Company);

и

(3) 30 весовых процентов этоксилированного моноакрилата нонилфенола (Ph4003, Cognis Corp.), 15 весовых процентов акрилата капролактона (Tone M-100, Union Carbide), 52 весовых процента полиэфируретанакрилатного олигомера (BR3741, Bomar Specialty), 1,5 весовых процента 1-гидроксициклогексилфенилкетона (Irgacure 184, Ciba Specialty), 1,5 весовых процента бис(2,4,6-триметилбензоил)-фенилфосфиноксида (Irgacure 819, Ciba Specialty), 1 pph тиодидиэтилен-бис(3,5-дитретбутил-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty), 1 pph 3-акрилоксипропилтриметоксисилана (Gelest) и 0,5 pph канифоли Sylvalite 10L (Arizona Chemical Company).

[0088] В дополнение к этим композициям второго промежуточного покрытия, любая из вышеуказанных композиций первичного покрытия, а также вышеперечисленных композиций второго промежуточного покрытия могут быть изменены исключением усилителей адгезии.

[0089] Согласно одному предпочтительному варианту осуществления оптического волокна с четырьмя покрытиями, композиции покрытий выбраны так, чтобы получаемые покрытия имели следующую конфигурацию: первое промежуточное покрытие, которое имеет одно или оба из модуля Юнга, который выше, чем модуль Юнга первичного покрытия, и температуры стеклования (T_g), которая выше, чем T_g первичного покрытия; второе промежуточное покрытие, которое имеет одно или оба из модуля Юнга, который ниже, чем модуль Юнга первого промежуточного покрытия, и T_g , которая ниже, чем T_g первого промежуточного покрытия; и вторичное покрытие, которое имеет одно или оба из модуля Юнга, который выше, чем модуль Юнга второго промежуточного покрытия, и T_g , которая выше, чем T_g второго промежуточного покрытия. В такой конфигурации толщина покрытий является такой, что одно или оба из второго промежуточного покрытия и вторичного покрытия имеет толщину, которая в от примерно 1 до примерно 10 раз больше толщины, более предпочтительно в от примерно 1 до примерно 8 раз больше толщины, наиболее предпочтительно в от примерно 1 до примерно 6 раз больше толщины, соответственно, первичного покрытия и первого промежуточного покрытия.

[0090] Обращаясь теперь к Фиг. 2, оптическое волокно 20 согласно второму варианту осуществления настоящего изобретения включает волокно 22 и три покрытия 24, 26 и 28, которые герметизируют волокно 22. Покрытие 24 является первичным (самым внутренним) покрытием и оно выполняет традиционную функцию первичного покрытия. Покрытие 28 является внешним покрытием и оно выполняет традиционную функцию вторичного покрытия. Между первичным и вторичным покрытиями расположено единственное промежуточное покрытие 26. Именно присутствие данного промежуточного покрытия обеспечивает повышенную стойкость к микроизгибам.

[0091] Покрытия 24, 26 и 28 могут в целом быть такого же типа, как описано выше

применительно к покрытиям 14, 16 и 18 в первом варианте осуществления.

[0092] Согласно одной предпочтительной конструкции данного второго варианта осуществления, первичное покрытие 24 имеет модуль Юнга от примерно 0,1 до примерно 3 МПа и/или температуру стеклования (T_g) от примерно -100°C до примерно -30°C , а

промежуточное покрытие 26 имеет одно или оба из модуля Юнга, который является по существу таким же как, или более низким, чем модуль Юнга первичного покрытия 24, и T_g , которая является по существу такой же как, или более низкой, чем T_g первичного покрытия. Вторичное покрытие 28, как правило, выбирают так, чтобы его модуль Юнга и T_g были выше, чем у промежуточного покрытия 26.

[0093] В одном варианте осуществления композиция покрытия, используемая для формирования промежуточного покрытия, является продуктом полимеризации композиции, которая является по существу такой же как, а предпочтительно во всем остальном идентичной композиции, которая образует композицию первичного покрытия, за исключением того, что усилитель адгезии, присутствующий в композиции первичного покрытия, отсутствует в композиции промежуточного покрытия.

[0094] Оптические волокна по настоящему изобретению могут быть также сформированы в виде оптоволоконной ленты, которая содержит множество по существу выровненных, по существу компланарных оптических волокон, герметизированных материалом матрицы. Одна примерная конструкция ленты проиллюстрирована на Фиг. 3, на которой лента 30 показана включающей двенадцать оптических волокон 20, герметизированных матрицей 32. Материал матрицы может быть выполнен из одного слоя или композитной конструкции. Подходящие материалы матрицы включают поливинилхлорид или другие термопластичные материалы, а также такие материалы, которые известны как применяющиеся в качестве материалов вторичного покрытия. В одном варианте осуществления материал матрицы может быть продуктом полимеризации композиции, применяемой для формирования внешнего покрытия.

[0095] Оптические волокна по настоящему изобретению могут быть изготовлены с применением стандартной технологии башен вытяжки для производства стекловолокна и его покрытий. Вкратце, способ производства оптического волокна с покрытием в соответствии с изобретением включает изготовление стекловолокна 12, покрытие стекловолокна композицией первичного покрытия, одной или более композициями промежуточного покрытия и композицией вторичного покрытия, а затем одновременное отверждение всех покрытий. Такой способ известен как "мокрое по мокрому".

Необязательно каждая следующая наносимая композиция покрытия может быть нанесена на покрытое волокно либо до, либо после полимеризации нижележащих покрытий. Полимеризация нижележащих покрытий до нанесения следующих наносимых покрытий известна как способ "мокрое по сухому". При использовании способа "мокрое по сухому" необходимо использовать дополнительные этапы полимеризации.

[0096] Известно вытягивание стекловолокна из специально приготовленной цилиндрической преформы, которую подвергают локальному и симметричному нагреву до температуры, например, примерно 2000°C . По мере того как преформу нагревают, например, путем подачи преформы в и через печь, из расплавленного материала вытягивают стекловолокно. Композиции первичного, промежуточного и вторичного покрытий наносят на стекловолокно после того, как его вытянули из преформы, предпочтительно сразу после охлаждения. Затем композиции покрытия отверждают, получая оптическое волокно с покрытием. Способ отверждения может быть термическим, химическим или вызванным излучением, например, при воздействии на

неотвержденную композицию покрытия на стекловолокне нагревания или ультрафиолетового излучения, или электронного луча, в зависимости от природы композиции(й) покрытия и применяемого инициатора полимеризации. Зачастую выгодно наносить композицию первичного покрытия и любые композиции вторичного покрытия последовательно после процесса вытяжки. Способы нанесения двойных слоев композиций покрытия на движущееся стекловолокно раскрыты в патенте США № 4474830 (Taylor) и № 4851165 (Rennell et al.), каждый из которых настоящим включен путем ссылки во всей своей полноте.

[0097] Один вариант осуществления способа производства оптического волокна с покрытием в соответствии с изобретением далее проиллюстрирован на Фиг. 4 и в целом обозначен как 40. Как показано, спеченную преформу 42 (показанную как частичная преформа) вытягивают в оптическое волокно 44. Волокно 44 проходит через покрывающие элементы 46 и 48, которые могут включать в себя одну или более головок, которые позволяют наносить одиночные композиции покрытия или множественные композиции покрытий, как известно в уровне техники. Головки также регулируют толщину покрытия до желательного значения. Предпочтительно, первичное и первое промежуточное покрытия наносят на волокно 44 в элементе 46, а второе промежуточное и вторичное покрытия наносят на волокно 44 в элементе 48. Отверждающий элемент 50 расположен ниже по ходу от элемента 46, а отверждающий элемент 52 расположен ниже по ходу от элемента 48, чтобы отверждать покрытия, нанесенные на волокно 44. Альтернативно, покрытия, наносимые в элементе 46, могут быть отверждены после прохождения волокна 44 через элемент 48. Тянущие устройства 56 используются для протягивания покрытого оптического волокна 54 через элемент 52.

[0098] Как будет понятно специалистам в данной области техники, система, показанная на Фиг. 4, может быть изменена с целью приспособления нанесения и отверждения покрытий отдельно или одновременно посредством любой комбинации известных способов "мокрое по мокрому" или "мокрое по сухому". Согласно одному подходу, одно или оба из первичного и первого промежуточного покрытий могут быть отверждены до нанесения композиций второго промежуточного и вторичного покрытий. Альтернативно, все четыре композиции покрытий могут быть нанесены на волокно и затем последовательно отверждены в одном этапе полимеризации.

[0099] После изготовления оптического волокна или оптоволоконной ленты в соответствии с настоящим изобретением эти материалы могут быть внедрены в телекоммуникационную систему для передачи информационных сигналов.

ПРИМЕРЫ

[00100] Далее изобретение поясняется следующими примерами, которые предназначены быть примерами изобретения.

Пример 1 - Изготовление оптического волокна с четырьмя покрытиями

[00101] Одномодовое оптическое волокно, соответствующее стандарту G652 и имеющее диаметр примерно 125 мкм, покрывали в башне вытяжки, используя описанные ниже композиции. Покрытия отверждали одиночной дозой актиничного излучения при протягивании через шесть ламп с мощностью 375 Вт/в колбах (на скорости 20 м/с).

[00102] Испытываемое волокно 1 содержало коммерческое стекловолокно толщиной 125 мкм, первичное покрытие толщиной 4 мкм (0,170 МПа, T_g -27°C), сформированное с использованием Композиции А (до диаметра 133 мкм), первое промежуточное покрытие толщиной 8 мкм (1,0 ГПа, T_g 64°C), сформированное с использованием Композиции В (до диаметра 149 мкм), второе промежуточное покрытие толщиной 22

мкм (0,125 МПа, T_c -26°C), сформированное с использованием Композиции С (до диаметра 193 мкм), и внешнее покрытие толщиной 26 мкм (1,6 ГПа, T_c 68°C), сформированное с использованием Композиции D (до диаметра 245 мкм).

[00103] Испытываемое волокно 2 содержало коммерческое стекловолокно толщиной 125 мкм, первичное покрытие толщиной 5 мкм (0,125 МПа, T_c -26°C), сформированное с использованием Композиции С (до диаметра 135 мкм), первое промежуточное покрытие толщиной 9,5 мкм (1,0 ГПа, T_c 64°C), сформированное с использованием Композиции В (до диаметра 154 мкм), второе промежуточное покрытие толщиной 21 мкм (0,125 МПа, T_c -26°C), сформированное с использованием Композиции С (до диаметра 196 мкм), и внешнее покрытие толщиной 24,5 мкм (1,6 ГПа, T_c 68°C), сформированное с использованием Композиции D (до диаметра 245 мкм).

[00104] Композицию А приготавливали, смешивая 52 вес.% уретанаакрилатного олигомера (BR3741, Bomar), 41,5 вес.% мономера акрилата этоксилированного нонилфенола (Photomer 4003, Cognis), 5 вес.% капролактон-акрилатного мономера (Tone M-100, Dow) и 1,5 вес.% фотоинициатора Irgacure 819 (Ciba), к которым добавляли 1 pph антиокислителя Irganox 1035 (Ciba), 1 pph 3-акрилоксипропилтриметоксисилана (Gelest) и 0,032 pph тетракис(3-меркаптопропионата) пентаэритрита (Aldrich).

[00105] Композиция В является имеющимся в продаже составом для нанесения внешнего (вторичного) покрытия с модулем упругости 1,0 ГПа при 23°C и T_c 64°C на основе определения пиков тангенса дельта, измеряемого с помощью Динамического механического анализа на пленке толщиной 75 микронов, отвержденной при 1,0 Дж/см² при помощи лампы Fusion D.

[00106] Композицию D приготавливали, смешивая 10 вес.% полиэфируретанаакрилата (KWS 4131, Bomar), 5 вес.% бисфенол А диглицидил диакрилата (Photomer 3016, Cognis), 82 вес.% диакрилата этоксилированного (4) бисфенола А (Photomer 4028, Cognis), 1,5 вес.% фотоинициатора Lucirin TPO (BASF) и 1,5 вес.% фотоинициатора Irgacure 184 (Ciba), к которым добавляли 0,5 pph антиокислителя Irganox 1035 (Ciba).

[00107] Оптические волокна впоследствии наматывали на катушку и испытывали на потери от микроизгибов.

Пример 2 - Моделируемое испытание смещения волокна в оптическом волокне с четырьмя покрытиями

[00108] Влияние системы четырехслойного покрытия на смещение сердцевины волокна оценивали теоретически. В модели короткий отрезок (длиной 0,2 см) волокна закрепляли на обоих концах и оттягивали вверх посередине с постоянной силой. Величину смещения сердцевины оценивали, используя 3-D анализ методом конечных элементов. Обычно оно зависит от приложенной силы и модулей упругости, а также толщин слоев. Это уместно, поскольку прогнозируемое смещение сердцевины должно коррелировать с потерями от микроизгибов.

[00109] Фиг. 5 представляет собой график, иллюстрирующий относительное прогнозируемое смещение сердцевины двух коммерческих оптических волокон, соответствующих стандарту G652 и имеющих двухслойные покрытия, в сравнении с волокном, содержащим систему четырехслойного покрытия. Толщина первичного покрытия изменяется по оси X, при этом внешний диаметр волокна составляет 244 мкм. Как показано, ожидаемое смещение сердцевины под постоянной нагрузкой примерно 9400 дин в волокнах с двумя покрытиями должно быть намного выше, чем смещение сердцевины в системах с четырьмя покрытиями. В отличие от систем с двумя

покрытиями, в которых достигается малая гибкость по размеру первичного покрытия, размер второго промежуточного покрытия можно легко регулировать, чтобы минимизировать смещение сердцевины (и максимально повысить стойкость к микроизгибам). Теоретически, в моделируемой системе, взаимодействие между

5 четырехслойными покрытиями должно уменьшать смещение сердцевины.

[00110] Таким образом, четырехслойные покрытия по настоящему изобретению должны превосходить обычные двухслойные покрытия по стойкости к микроизгибам.

Пример 3 - Измерение потерь на затухание испытываемых волокон 1 и 2

[00111] Испытываемые волокна 1 и 2 подвергали "шахматному" испытанию на
10 потери от микроизгибов. Оптические волокна свободно сматывали при низком натяжении, а затем перематывали с высоким натяжением в шахматном порядке. Шахматная или корзиночная схема намотки является такой схемой, при которой в каждом витке намотки имеется несколько точек пересечения волокна. Потери на затухание измеряли при 1310 нм, 1550 нм и 1625 нм после термоциклирования оптических
15 волокон при различной температуре от -60 до 70°C.

[00112] Начальное термоциклирование привело к высоким потерям до достижения 70°C. Предполагается, что это было следствием наличия дефектов в системах покрытий после начального отверждения. Впрочем, выдержка при 70°C, как оказалось, устраняла такие дефекты, и последующие потери на затухание были значительно снижены даже
20 при -60°C. Результаты демонстрируют, что оба Испытываемых волокна 1 и 2 показали повышенную стойкость к микроизгибам при 1625 нм по сравнению с волокнами, несущими коммерческие покрытия, тогда как потери при 1310 нм и 1550 нм были сопоставимы с контрольными покрытиями (Фиг. 6 и 7). Таким образом, системы с четырьмя покрытиями демонстрируют повышенную стойкость к микроизгибам, и
25 ожидается, что дальнейшие усовершенствования могут быть достигнуты путем оптимизации комбинаций покрытий.

Пример 4 - Оценка смещения сердцевины после измерения потерь от микроизгибов с помощью испытания на барабане из проволоочной сетки

[00113] Потери от микроизгибов в образцах оптического волокна с 4-слойным
30 (Испытываемое волокно 1 и 2) и стандартным 2-слойным покрытием сравнивали с использованием испытания на барабане из проволоочной сетки. В данном испытании потери в волокне длиной 750 м измеряли три раза на безнатяжном барабане с большим диаметром и гладкой поверхностью. Волокно, как и тогда, наматывали с натяжением (например, 80 или 100 граммов) на алюминиевый барабан, покрытый проволоочной
35 сеткой, и потери снова измеряли три раза. Разность между средним затуханием без натяжения и средним затуханием при натяжении является расчетной потерей от микроизгибов.

[00114] В теории потеря от микроизгибов у оптических волокон с покрытием пропорциональна смещению сердцевины, как показано в статье Gloge, "Optical Fiber
40 Packaging and its Influence on Fiber Straightness and Loss", Bell System Technical Journal 54, 2, стр. 245 (1975), которая настоящим включена путем ссылки во всей своей полноте. Смещение, в свою очередь, связано с механическими свойствами волокна и покрытия, с приложенной нагрузкой и с шероховатостью поверхности, к которой прижато волокно. Смещение оценивали посредством решения методом конечных элементов в
45 предположении постоянной силы, приложенной к средней точке волокна известной длины. Приближенный метод вычисления смещения сердцевины описан в статье Baldauf et al., "Relationship of Mechanical Characteristics of Dual Coated Single Mode Optical Fibers and Microbending Loss", IEICE Trans. Commun. E76-B(4):352-357 (1993), которая настоящим

включена путем ссылки во всей своей полноте.

[00115] Добавочные потери, измеренные для нескольких оптических волокон с разными покрытиями, намотанных при натяжении 100 граммов, сравнивали с прогнозом модели смещения сердцевины. Параметры смещения сердцевины оценивали, используя модули упругости и толщину четырехслойных покрытий, идентифицированных в Примере 1 выше. Параметры смещения сердцевины волокон с двухслойными покрытиями оценивали, используя модули упругости и толщину, приведенные в Таблице 1 ниже.

Таблица 1

Модули упругости покрытий оптических волокон с двухслойными покрытиями		
Контрольное волокно	Первичный модуль, МПа	Вторичный модуль, ГПа
1	0,263	1,59
2	0,126	1,68
3	0,358	1,0
4	0,358	1,0

[00116] Потеря в дБ/км является логарифмической функцией смещения. Это подтверждает линейные соотношения между потерями и смещением, поскольку дБ является логарифмической величиной. Как показано на Фиг. 8, оба четырехслойных волокна (Испытываемые волокна 1 и 2) лежат ниже кривой. Это, вероятно, является результатом недоотвержденного третьего слоя, поскольку покрытия наносили в две стадии, и третий слой был обработан только половиной ламп по сравнению со слоем первого и второго слоев. Впрочем, такое уменьшение потери демонстрирует, что второй промежуточный слой с очень низким модулем упругости может приводить к значительно увеличенной стойкости к микроизгибам.

Пример 5 - Получение оптического волокна с тремя покрытиями

[00117] Оптическое волокно показанного на Фиг. 2 типа изготавливали с использованием первичного покрытия и промежуточного покрытия, которые являются идентичными, за исключением отсутствия усилителя адгезии в промежуточном покрытии.

[00118] Оба состава для нанесения первичного и промежуточного покрытия содержали 52 весовых процента полиэфируретанакрилатного олигомера (BR3741, Bomar Specialty), 40 весовых процентов акрилата этоксилированного (4) нонилфенола (Photomer 4003, Cognis Corp.), 5 весовых процентов N-винилпирролидинона, 1,5 весовых процента бис(2,4,6-триметилбензоил)фенилфосфиноксида (Irgacure 819, Ciba Specialty), 1,5 весовых процента 1-гидроксициклогексилфенил-кетона (Irgacure 184, Ciba Specialty) и 1 phh тиодизэтилен-бис(3,5-ди-трет-бутил)-4-гидроксигидроциннамата (Irganox 1035, Ciba Specialty). Состав для нанесения первичного покрытия также содержал 1 phh 3-акрилоксипропилтриметоксисилана, а состав для нанесения промежуточного покрытия - нет.

[00119] Испытываемое волокно 3 изготавливали с этими первичным и промежуточным покрытиями, при этом их общий диаметр регулировали в процессе вытяжки до 190 мкм. Первичное покрытие имело толщину примерно 7,5 мкм, а промежуточное покрытие имело толщину примерно 25 мкм.

[00120] Изготовили два контрольных волокна с двумя покрытиями. Контрольное волокно 5 изготавливали с использованием такого же состава для нанесения первичного покрытия, который использовали в Испытываемом волокне 3, за исключением того, что толщину первичного покрытия регулировали в процессе вытяжки до общего диаметра 190 мкм (толщина примерно 32,5 мкм). Контрольное волокно 6 изготавливали

с использованием такого же состава для нанесения промежуточного покрытия, который использовали в Испытываемом волокне 3 (в качестве первичного покрытия), за исключением того, что толщину первичного покрытия регулировали в процессе вытяжки до общего диаметра 190 мкм (толщина примерно 32,5 мкм).

5 [00121] Все три волокна изготавливали с таким же составом для нанесения вторичного покрытия, получив покрытие, имеющее модуль Юнга 1,642 МПа и T_g 65°C. Толщину состава для нанесения вторичного покрытия регулировали в процессе вытяжки до общего диаметра волокна 245 мкм.

10 [00122] Испытываемое волокно 3 изготавливали с использованием способа нанесения покрытий "мокрое по мокрому", так что слой промежуточного покрытия наносили на слой первичного покрытия, пока последний оставался в жидком состоянии (не был отвержден). Это выполняли при помощи блока для нанесения покрытий "мокрое по мокрому", где два слоя покрытия наносили последовательно в одном блоке. Состав для нанесения первичного покрытия с усилителем адгезии помещали в верхнюю камеру 15 блока для нанесения покрытия, а состав для нанесения промежуточного покрытия помещали в нижнюю камеру. Оба слоя отверждали как одно целое с помощью ряда УФ-ламп, а затем наносили и отверждали вторичное покрытие.

[00123] Контрольные волокна 5 и 6 изготавливали с использованием способа нанесения покрытий "мокрое по сухому", при этом каждый слой, наносимый на 20 стекловолотно, отверждали до нанесения состава для нанесения вторичного покрытия. Затем наносили и отверждали вторичное покрытие.

[00124] Все три оптических волокна затем сматывали и испытывали на образование микроотслоений.

Пример 6 - Испытание на микроотслоение оптических волокон с тремя покрытиями

25 [00125] Испытываемое волокно 3 и Контрольные волокна 5 и 6 подвергали испытанию на микроотслоение. Для каждого волокна слабосмотанный моток волокна выдерживали в водяной бане либо при температуре окружающей среды, либо при 65°C на протяжении вплоть до 30 дней. Волокно извлекали из бани, промакивали досуха и исследовали под микроскопом на предмет наличия участков отслоения на границе 30 стекла и первичного покрытия периодически.

[00126] Ни Испытываемое волокно 3, ни Контрольное волокно 5 не показали каких-либо признаков отслоения ни при температуре окружающей среды, ни при 65°C, в течение 30 дней. Контрольное волокно 6, не содержащее усилителя адгезии в своем первичном покрытии, показало сильное отслоение. Это подтверждает, что между 35 волокном с тремя покрытиями по настоящему изобретению и волокном с двумя покрытиями нет никакого различия в эффективности адгезии во влажном состоянии. Ограничив первичное покрытие (с усилителем адгезии) тонкой пленкой, наносимой непосредственно на стекловолотно, и используя промежуточное покрытие с подобранными свойствами (но без усилителя адгезии), можно достигнуть существенного 40 уменьшения количества усилителя адгезии, используемого на единицу длины. Это преобразуется в более низкие затраты на производство волокна и не должно оказывать никакого нежелательного влияния на эксплуатационные свойства волокна.

[00127] Хотя здесь выше были подробно изображены и описаны предпочтительные варианты осуществления, специалистам в данной области будет очевидно, что без 45 отступления от сущности изобретения могут быть проделаны различные модификации, дополнения, замены и т.п., и они считаются входящими в объем изобретения, определенный в следующей ниже формуле изобретения.

Формула изобретения

1. Оптическое волокно, включающее:

стекловолокно и

три или более покрытия, которые герметизируют стекловолокно, причем эти три или более покрытия включают первичное покрытие в контакте с упомянутым стекловолокном, промежуточное покрытие, которое окружает первичное покрытие, и внешнее покрытие, которое окружает промежуточное покрытие,

при этом первичное покрытие имеет модуль Юнга от примерно 0,025 до примерно 3 МПа и температуру стеклования (T_g) от примерно -100°C до примерно -25°C, а

промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который является по существу таким же как, или более низким, чем модуль Юнга первичного покрытия, и T_g , которая является по существу такой же как, или более низкой, чем T_g первичного покрытия, и

при этом внешнее покрытие оптического волокна имеет диаметр, который составляет менее примерно 300 мкм.

2. Оптическое волокно по п.1, при этом промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который составляет менее примерно 0,2 МПа, и T_g от примерно -100°C до примерно -25°C.

3. Оптическое волокно по п.1, при этом внешнее покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга от примерно 0,5 до примерно 8,0 ГПа и T_g от примерно 50°C до примерно 120°C.

4. Оптическое волокно по п.1, при этом первичное покрытие имеет толщину менее примерно 15 мкм.

5. Оптическое волокно по п.1, при этом промежуточное покрытие имеет толщину менее примерно 15 мкм.

6. Оптическое волокно по п.1, при этом внешнее покрытие имеет толщину менее примерно 40 мкм.

7. Оптическое волокно по п.1, при этом упомянутые три или более покрытия имеют толщину, которая составляет менее примерно 60 мкм.

8. Оптическое волокно по п.1, при этом

первичное покрытие является продуктом полимеризации композиции, включающей один или более сшиваемых агентов, инициатор полимеризации и усилитель адгезии; и

промежуточное покрытие является продуктом полимеризации композиции, которая является такой же, как и композиция, которая образует первичное покрытие, за исключением отсутствия усилителя адгезии.

9. Оптическое волокно, включающее:

стекловолокно и

по меньшей мере четыре покрытия, которые герметизируют стекловолокно, причем эти по меньшей мере четыре покрытия включают первичное покрытие в контакте с упомянутым стекловолокном, первое промежуточное покрытие, которое окружает первичное покрытие, второе промежуточное покрытие, которое окружает первое промежуточное покрытие, и внешнее покрытие, которое окружает второе промежуточное покрытие,

при этом первое промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который выше, чем модуль Юнга первичного покрытия, и температуры стеклования (T_g), которая выше, чем T_g первичного покрытия,

при этом второе промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который ниже, чем модуль Юнга первого промежуточного покрытия, и T_c , которая ниже, чем T_c первого промежуточного покрытия;

при этом внешнее покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который выше, чем модуль Юнга второго промежуточного покрытия, и T_c , которая выше, чем T_c второго промежуточного покрытия, и

при этом оптическое волокно имеет диаметр, который составляет менее примерно 300 мкм.

10. Оптическое волокно по п.9, при этом второе промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который является по существу таким же как, или более низким, чем модуль Юнга первичного покрытия, и T_c , которая является по существу такой же как, или более низкой, чем T_c первичного покрытия.

11. Оптическое волокно по п.9, при этом первичное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга от примерно 0,025 до примерно 3 МПа и T_c от примерно -100°C до примерно -25°C.

12. Оптическое волокно по п.11, при этом первое промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга от примерно 0,1 до примерно 2,0 ГПа и T_c от примерно 0°C до примерно 60°C.

13. Оптическое волокно по п.12, при этом второе промежуточное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который составляет менее примерно 0,2 МПа, и T_c от примерно -100°C до примерно -30°C.

14. Оптическое волокно по п.13, при этом вторичное покрытие имеет одно или оба из модуля Юнга, который составляет от примерно 0,1 до примерно 2,0 ГПа, и T_c от примерно 50°C до примерно 120°C.

15. Оптическое волокно по п.9, при этом первичное покрытие имеет толщину менее примерно 15 мкм.

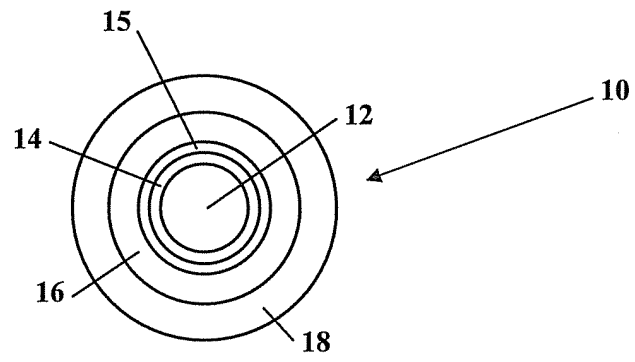
16. Оптическое волокно по п.9, при этом первое промежуточное покрытие имеет толщину менее примерно 15 мкм.

17. Оптическое волокно по п.9, при этом второе промежуточное покрытие имеет толщину менее примерно 40 мкм.

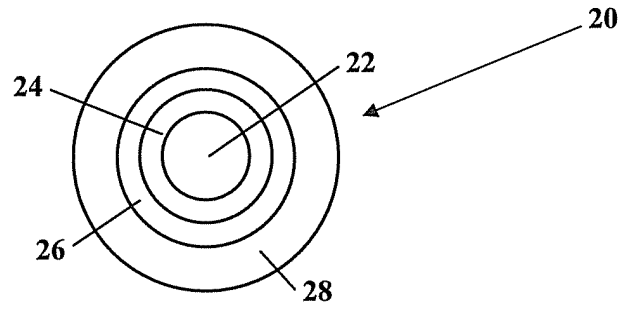
18. Оптическое волокно по п.9, при этом внешнее покрытие имеет толщину менее примерно 40 мкм.

19. Оптическое волокно по п.1, при этом упомянутые четыре или более покрытия имеют толщину, которая составляет менее примерно 60 мкм.

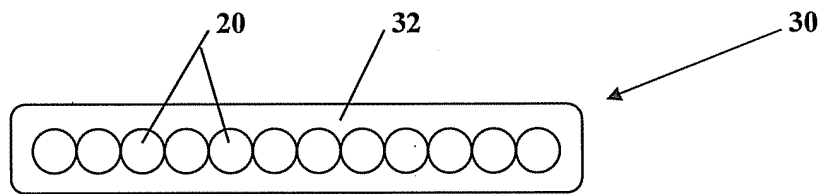
20. Оптическое волокно по п.1, при этом одно или оба из второго промежуточного покрытия и внешнего покрытия имеют толщину, которая в от примерно 2 до примерно 10 раз превышает толщину соответственно первичного покрытия и первого промежуточного покрытия.



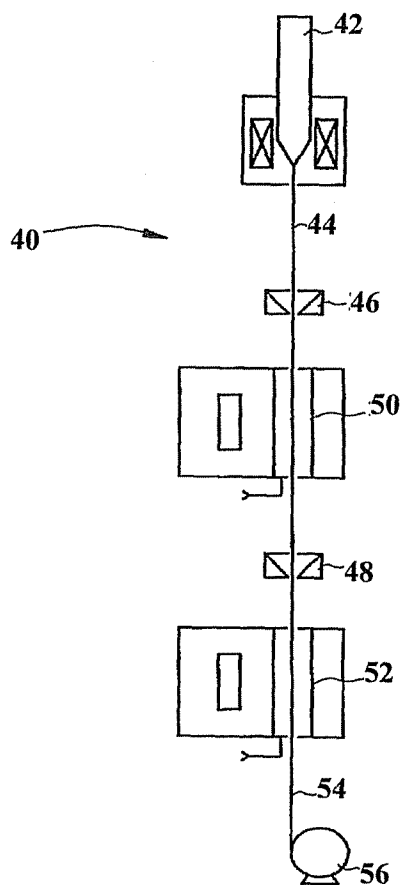
ФИГ.1



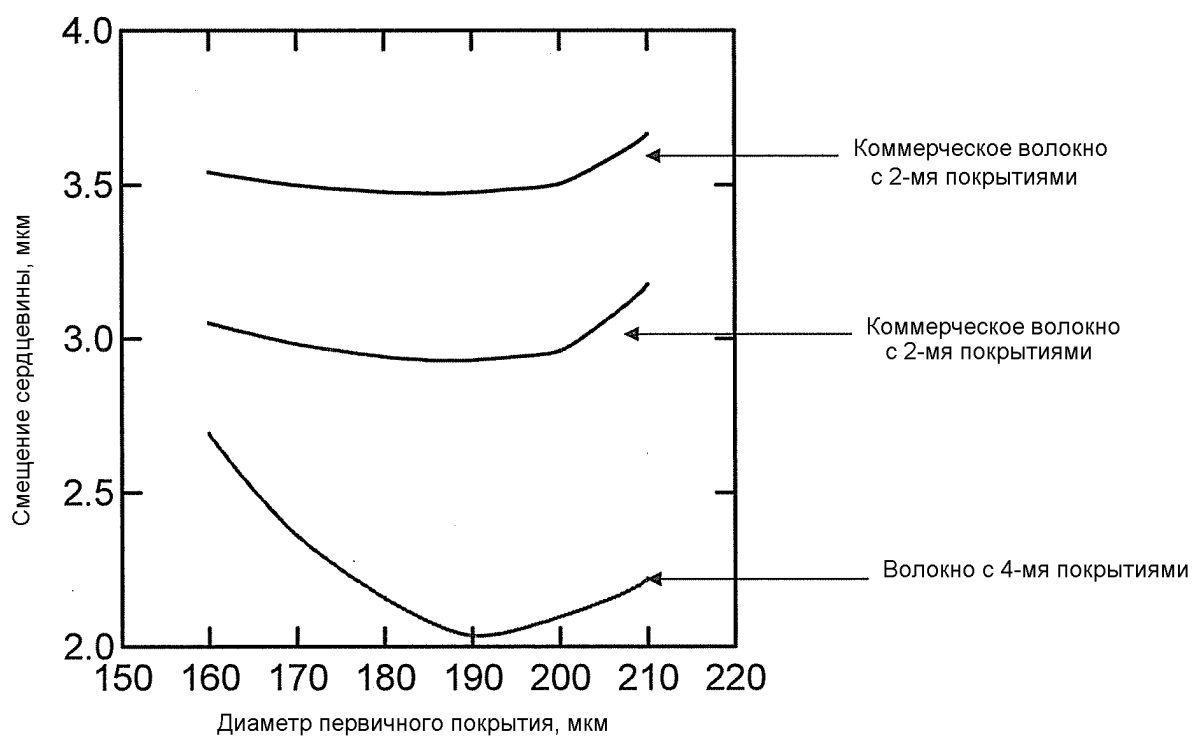
ФИГ.2



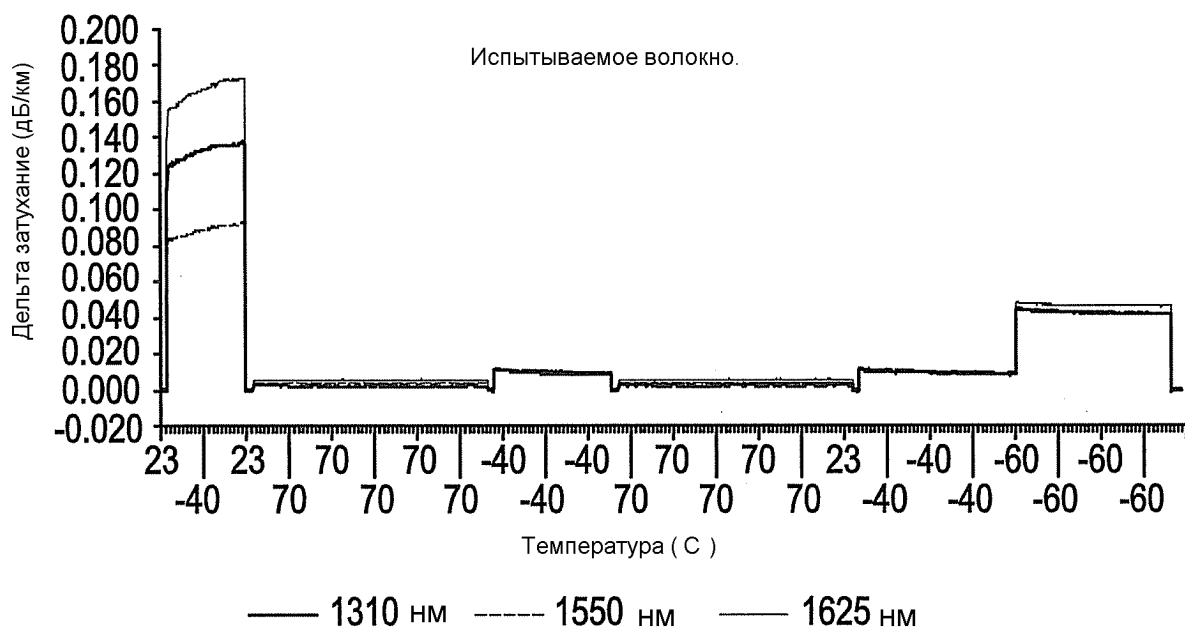
ФИГ.3



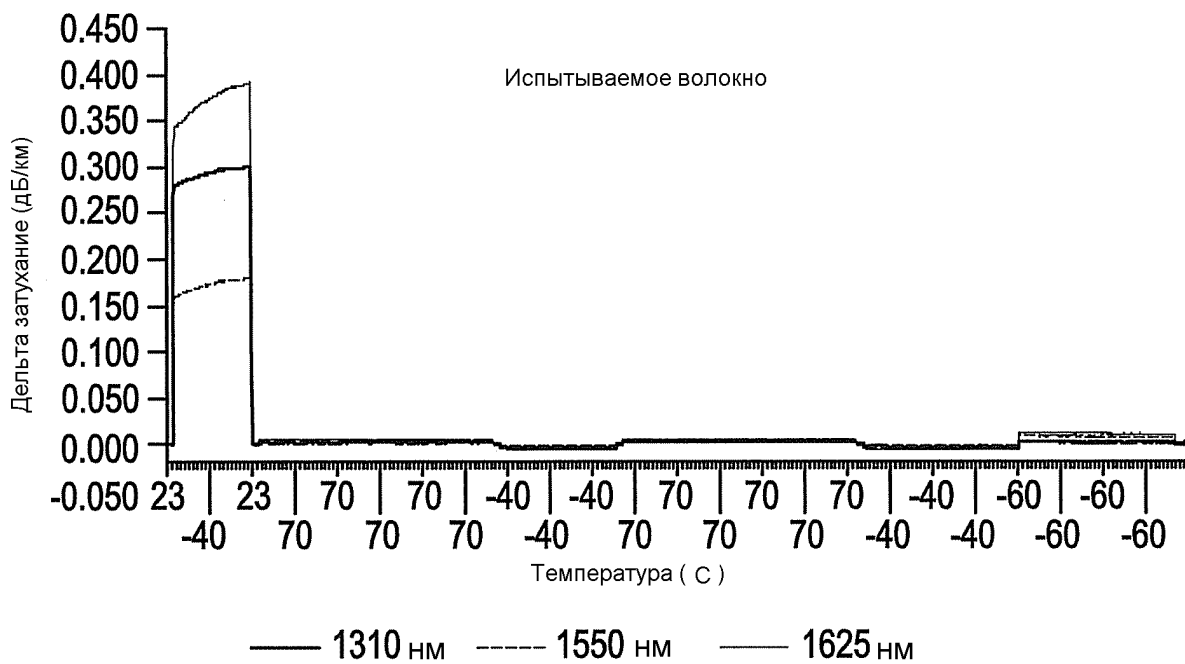
ФИГ.4



ФИГ.5



ФИГ.6



ФИГ.7

