



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

G02B 6/02004 (2020.02); G02B 6/0365 (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2018137801, 28.03.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
28.03.2017

Дата регистрации:
24.07.2020

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
29.03.2016 US 62/314,607

(43) Дата публикации заявки: 29.04.2020 Бюл. № 13

(45) Опубликовано: 24.07.2020 Бюл. № 21

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 29.10.2018

(86) Заявка РСТ:
US 2017/024472 (28.03.2017)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2017/172714 (05.10.2017)

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

(72) Автор(ы):

БУКБАЙНДЕР Дана Крейг (US),
ЛИ Мин-Цзюнь (US),
МИШРА Снigdхарадж Кумар (US),
ТАНДОН Пушкар (US)

(73) Патентообладатель(и):

КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 7929818 B1, 19.04.2011. US
2012189258 A1, 26.07.2012. US 2011211788 A1,
01.09.2011. US 2001017967 A1, 30.08.2001.

(54) ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО С НИЗКИМИ ПОТЕРЯМИ НА ИЗГИБАХ

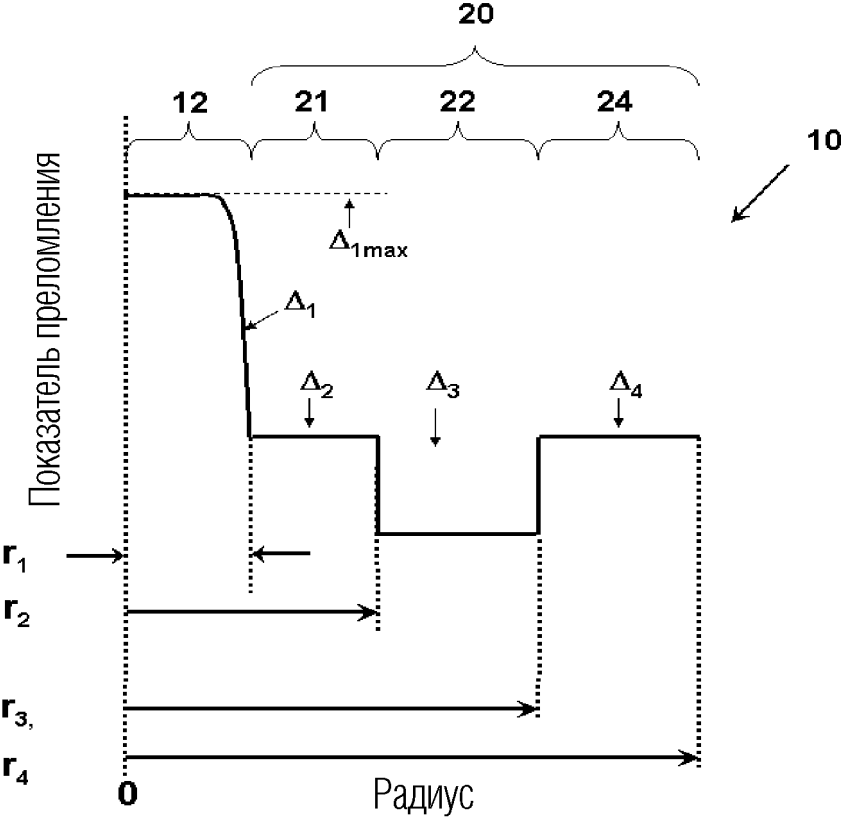
(57) Реферат:

Изобретение относится к оптической волоконной технике. Одномодовое оптическое волокно включает (I) сердцевину, содержащую внешний радиус r_1 , максимальное приращение $\Delta_{1\max}$ показателя преломления в процентах и альфа сердцевины, α , большее чем 5; и (II) оболочку, окружающую сердцевину. Оболочка содержит (i) внутреннюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_2 и приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, причем $\Delta_{1\max} > \Delta_2$. Также оболочка содержит (ii)

канальную область, окружающую внутреннюю область оболочки, причем канальная область имеет внешний радиус r_3 , причем $r_3 > 10$ мкм, и приращение Δ_3 показателя преломления в процентах. Кроме того, оболочка содержит (iii) внешнюю область оболочки, имеющую концентрацию хлора $\geq 1,2\%$ по весу, окружающую канальную область и содержащую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах; причем $\Delta_{1\max} > \Delta_4$, и $\Delta_2 > \Delta_3$, и $\Delta_4 > \Delta_3$ и причем разница между Δ_4 и $\Delta_3 \geq 0,12\%$. Технический результат

заключается в обеспечении возможности снижения оптических потерь на изгибах волокна.

25 з.п. ф-лы, 7 ил., 3 табл.



ФИГ. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC

G02B 6/02004 (2020.02); *G02B 6/0365* (2020.02)(21)(22) Application: **2018137801, 28.03.2017**(24) Effective date for property rights:
28.03.2017Registration date:
24.07.2020

Priority:

(30) Convention priority:
29.03.2016 US 62/314,607(43) Application published: **29.04.2020 Bull. № 13**(45) Date of publication: **24.07.2020 Bull. № 21**(85) Commencement of national phase: **29.10.2018**(86) PCT application:
US 2017/024472 (28.03.2017)(87) PCT publication:
WO 2017/172714 (05.10.2017)

Mail address:

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

(72) Inventor(s):

**BOOKBINDER, Dana Craig (US),
LI, Ming-Jun (US),
MISHRA, Snigdharaj Kumar (US),
TANDON, Pushkar (US)**

(73) Proprietor(s):

CORNING INCORPORATED (US)(54) **LOW-LOSS AT BENDS OPTICAL FIBER**

(57) Abstract:

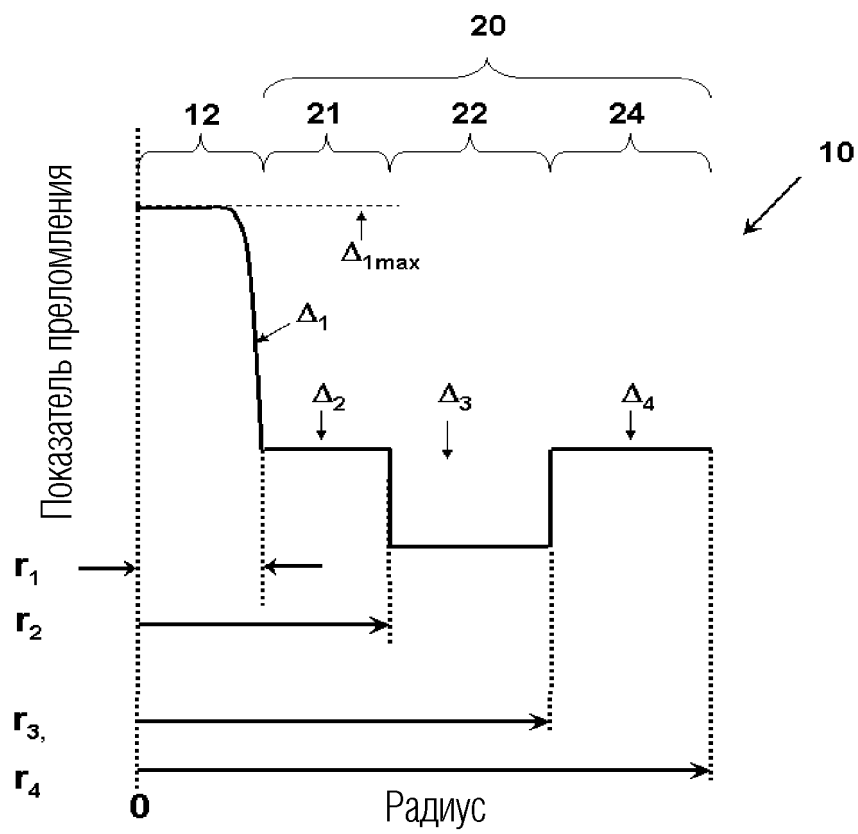
FIELD: optical fiber engineering.

SUBSTANCE: single-mode optical fiber includes (I) a core containing outer radius r_1 , maximum increment $\Delta_{1\max}$ of refraction index in percentage and alpha core, α , greater than 5; and (II) a shell surrounding the core. Envelope comprises (i) an inner region of the shell having an outer radius r_2 and an increment Δ_2 refraction indices in percentage, wherein $\Delta_{1\max} > \Delta_2$. Shell also comprises (ii) a channel area surrounding the inner region of the shell, wherein the channel area has an outer radius r_3 , wherein $r_3 > 10$ mcm, and increment

Δ_3 refraction indices in percentage. Besides, the shell contains (iii) external area of the shell, having concentration of chlorine ≥ 1.2 wt %, surrounding channel area and containing increment Δ_4 refraction indices in percentage; wherein $\Delta_{1\max} > \Delta_4$, and $\Delta_2 > \Delta_3$, and $\Delta_4 > \Delta_3$ and wherein the difference between Δ_4 and $\Delta_3 \geq 0.12$ %.

EFFECT: technical result consists in enabling reduction of optical losses at fiber bends.

26 cl, 7 dwg, 3 tbl



ФИГ. 1

[0001] По настоящей заявке испрашивается приоритет согласно 119 U.S.C. 35 предварительной заявки на патент США № 62/314,607, поданной 29 марта, 2016, полное содержание которой взято за основу и включено в настоящую заявку в качестве ссылки во всей ее полноте.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0002] Настоящее изобретение относится к оптическим волокнам, имеющим низкие потери на изгибах.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0003] Существует потребность в оптических волокнах с низкими потерями на изгибах, в частности, в оптических волокнах, используемых для так называемого «доступа», и в волокнах для оптических сетей (FTTx) зданий (помещений). Оптическое волокно может быть развернуто в таких сетях таким образом, что оптические сигналы, передаваемые через оптическое волокно, будут тестировать потери на изгибах. Некоторые применения, которые могут вводить физические требования, например, малые радиусы изгиба, сжатие оптического волокна, и т.д., которые вносят потери на изгибах, включают в себя развертывание оптического волокна в узлах оптических ответвительных кабелей, распределительных кабелей с оконечными системами заводской установки (Factory Installed Termination System - FITS) и ненатянутыми витками, многопортовыми устройствами с малым радиусом изгиба, расположенными в шкафах, которые соединяют фидер и распределительные кабели, и перемычками в Точках доступа к сети между распределительными кабелями и ответвительными кабелями.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0004] Согласно по меньшей мере некоторым вариантам осуществления, здесь раскрыты оптические волноводные волокна, содержащие: (I) сердцевину, содержащую внешний радиус r_1 , приращение $\Delta_{1\max}$ показателя преломления в процентах, и альфа сердцевины, $\alpha > 5$; и (II) оболочку, окружающую сердцевину, причем оболочка содержит: (i) внутреннюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_2 и приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, причем $\Delta_{1\max} > \Delta_2$; (ii) канальную область, окружающую внутреннюю область оболочки, причем канальная область имеет внешний радиус r_3 , где $r_3 \geq 10 \text{ мкм}$, и приращение Δ_3 показателя преломления в процентах; и (iii) внешнюю область оболочки, имеющую концентрацию хлора $\geq 1,2\%$ по весу, окружающую канальную область и содержащую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах, причем $\Delta_{1\max} > \Delta_4$, и $\Delta_2 > \Delta_3$, $\Delta_4 > \Delta_3$, и причем разница между Δ_4 и Δ_3 составляет $\geq 0,12\%$. Волокно имеет диаметр поля моды, $\text{MFD} > 9 \text{ мкм}$ на длине волны, равной 1310 нм, отсечку кабеля, меньшую чем 1260 нм, и потери на изгибах, на 1550 нм, для оправки диаметром 15 мм, меньшие чем 0,5 дБ/виток, и $1300 \text{ нм} \leq \lambda_0 \leq 1324 \text{ нм}$, где λ_0 является длиной волны нулевой дисперсии.

[0005] В некоторых вариантах осуществления, объем профиля, $|V_3|$, канальной области составляет по меньшей мере $30\% \Delta \text{ мкм}^2$. В некоторых вариантах осуществления, объем профиля, $|V_3|$, канальной области составляет по меньшей мере 45%, и в некоторых вариантах осуществления, по меньшей мере $50\% \Delta \text{ мкм}^2$. Согласно некоторым вариантам осуществления, альфа сердцевины составляет по меньшей мере 10.

[0006] Волокна, имеющие канальную область (область с пониженным показателем) в оболочке, имеют улучшенные (уменьшенные) потери на микроизгибах. Канальная область в оболочке может быть образована либо посредством понижающего

легирования канальной области (например, посредством легирования фтором (F) или посредством легирования непериодическими пустотами) или посредством повышающего легирования внешней области оболочки. В других вариантах осуществления, волокна могут включать в себя как канальную область, так и внешнюю область оболочки, которая легирована с повышением относительно диоксида кремния (SiO_2), т.е. область оболочки, которая включает в себя увеличивающую-показатель легирующую примесь, такую как оксид германия (GeO_2) или хлор (Cl), в количествах, достаточных для заметного подъема показателя диоксида кремния.

[0007] В некоторых вариантах осуществления, $1,2 \leq r_2/r_1 \leq 2,5$, например, $1,2 \leq r_2/r_1 \leq 2,35$, между 1,25 и 2,3, или между 1,25 и 2,15. По меньшей мере в некоторых иллюстративных вариантах осуществления, описанных здесь, $1,6 \leq r_2/r_1 \leq 2,4$,

[0008] В некоторых вариантах осуществления, разница между Δ_4 и Δ_3 составляет по меньшей мере 0,15%. В некоторых вариантах осуществления, разница между $\Delta_{1\text{max}}$ и Δ_2 больше или равна по меньшей мере 0,25%, разница между $\Delta_{1\text{max}}$ и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,35%, и разница между Δ_2 и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,08%.

[0009] В некоторых вариантах осуществления, Δ_4 и Δ_2 имеют одинаковое значение. В некоторых вариантах осуществления, разница между Δ_4 и Δ_2 больше чем 0,01%. В некоторых вариантах осуществления, разница между Δ_4 и Δ_3 находится между 0,15% и 0,4%, в некоторых вариантах осуществления, разница между Δ_4 и Δ_3 находится между 0,15% и 0,2%; и в некоторых вариантах осуществления, $0,38 \leq \Delta_{1\text{max}} - \Delta_3 \leq 0,65$, например, $0,4 \leq \Delta_{1\text{max}} - \Delta_3 \leq 0,5$. В некоторых вариантах осуществления, $0,15 \leq \Delta_{1\text{max}} - \Delta_2 \leq 0,45$; $0,38 \leq \Delta_{1\text{max}} - \Delta_3 \leq 0,6$; $0,1 \leq \Delta_2 - \Delta_3 \leq 0,3$; и $0,1 \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,2$. В некоторых вариантах осуществления, $0,25 \leq \Delta_{1\text{max}} - \Delta_2 \leq 0,35$ и $0,4 \leq \Delta_{1\text{max}} - \Delta_3 \leq 0,5$ и $0,14 \leq \Delta_2 - \Delta_3 \leq 0,2$. В некоторых вариантах осуществления, $0,15 \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,2$.

[0010] Варианты осуществления волокна имеют оптические свойства, которые соответствуют стандарту G.652, MFD между 9,0 и 9,5 мкм на 1310 нм, длину волны нулевой дисперсии, λ_0 , в диапазоне $1300 \text{ нм} \leq \lambda_0 \leq 1324 \text{ нм}$, отсечку кабеля, меньшую или равную 1260 нм (например, между 1000 нм и 1260 нм), и затухание, на 1550 нм, $\leq 0,185 \text{ дБ/км}$, и, по меньшей мере в некоторых вариантах осуществления, $\leq 0,185 \text{ дБ/км}$ на 1550 нм (например, 0,17-0,18 дБ/км).

[0011] Иллюстративные волокна, раскрытые здесь, способны демонстрировать потери на микроизгибах на барабане, покрытом проволоочной сеткой (т.е. увеличение затухания относительно неизогнутого состояния), на 1550 нм (WMCD на 1550 нм), которые меньше или равны 0,07 дБ/км и, в некоторых вариантах осуществления, меньше или равны 0,05 дБ/км, например, 0,005-0,05 дБ/км. Иллюстративные волокна, раскрытые здесь, способны демонстрировать потери на микроизгибах при сетчатом плетении, при -60°C (т.е. увеличение затухания относительно неизогнутого состояния), на 1550 нм, которые меньше или равны 0,05 дБ/км, в некоторых вариантах осуществления меньше или равны 0,02 дБ/км, и в некоторых вариантах осуществления меньше или равны 0,01 дБ/км, например, 0,001-0,01 дБ/км.

[0012] Дополнительно, варианты осуществления волокна, раскрытые здесь, демонстрируют потери на изгибах, которые не больше чем 0,5 дБ/виток, на 1550 нм, при наматывании вокруг оправки диаметром 15 мм. В других вариантах осуществления,

потери на изгибах при диаметре 15мм, на 1550нм, составляют не более чем 0,3 дБ/виток, и в некоторых вариантах осуществления не более чем 0,2 дБ/виток, или даже менее чем 0,1 дБ/виток (например, 0,075-0,29 дБ/виток, или 0,09-0,25 дБ/виток). В некоторых вариантах осуществления, потери на изгибах при диаметре 30мм (волокно обмотано
 5 вокруг оправки диаметром 30мм), на 1550нм, составляют не более чем 0,02 дБ/виток, например, не более чем 0,01 дБ/виток, и в некоторых вариантах осуществления не более чем 0,005 дБ/виток, или в некоторых вариантах осуществления не более чем 0,003 дБ/виток, на 1550нм.

[0013] В то же время, эти варианты осуществления волокна способны обеспечить
 10 затухание на 1550нм, которое меньше или равно 0,185 дБ/км, например, меньше чем 0,182 дБ/км (например, 0,17-0,182 дБ/км или 0,17-0,18 дБ/км), а также затухание на 1310нм, которое меньше или равно 0,34 дБ/км, например, не больше чем 0,32 дБ/км.

[0014] Такие рабочие показатели потерь на изгибах и затухания могут быть достигнуты с использованием первичного и вторичного покрытия, нанесенных на
 15 волокно, причем модуль Юнга первичного покрытия меньше чем 2 МПа, в некоторых вариантах осуществления меньше чем 1 МПа, и в некоторых вариантах осуществления меньше чем 0,5 МПа. Модуль Юнга вторичного покрытия больше чем 500 МПа, более того, в некоторых вариантах осуществления больше чем 1000 МПа, и в некоторых вариантах осуществления больше чем 1500 МПа. В некоторых вариантах осуществления,
 20 внешний диаметр вторичного покрытия составляет 242 мкм. В некоторых других вариантах осуществления, внешний диаметр вторичного покрытия составляет 200 мкм.

[0015] Теперь ссылка будет делаться на элементы вариантов осуществления настоящего раскрытия, примеры которых показаны в сопутствующих чертежах.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

25 [0016] Фиг. 1 показывает профиль показателя преломления, соответствующий одному варианту осуществления оптического волноводного волокна, раскрытого здесь.

[0017] Фиг. 2 показывает профиль показателя преломления согласно одному варианту осуществления оптического волокна, раскрытого здесь.

[0018] Фиг. 3 показывает профиль показателя преломления одного варианта
 30 осуществления оптического волокна, раскрытого здесь.

[0019] Фиг. 4 показывает профиль показателя преломления одного варианта осуществления оптического волокна, раскрытого здесь.

[0020] Фиг. 5 показывает профиль показателя преломления одного варианта осуществления оптического волокна, раскрытого здесь.

35 [0021] Фиг. 6 показывает профиль показателя преломления одного варианта осуществления оптического волокна, раскрытого здесь.

[0022] Фиг. 7 показывает профиль показателя преломления одного варианта осуществления оптического волокна, раскрытого здесь.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

40 [0023] Дополнительные признаки и преимущества будут изложены в нижеследующем подробном описании и станут понятны специалистам в данной области техники из этого описания или при применении их на практике так, как описано в нижеследующем описании, формуле изобретения и прилагаемых чертежах.

[0024] Согласно по меньшей мере некоторым вариантам осуществления, оптические
 45 волокна имеют низкие потери, индуцированные изгибами, конкретно, при сильных изгибах, таких как изгибы диаметром 15мм, для применений в центрах обработки данных и волокнах для домашних подключений. Согласно по меньшей мере некоторым вариантам осуществления, оптические волокна, раскрытые здесь, обратно совместимы

с существующими установленными волоконными сетевыми системами. Согласно по меньшей мере некоторым вариантам осуществления, оптические волокна, раскрытые здесь, имеют диаметр поля моды, на 1310 нм, составляющий >9 мкм, для обеспечения низких потерь на соединениях с существующими установленными оптическими

5 волоконными. Оптические волокна, раскрытые здесь, могут быть обеспечены в виде кабеля и могут быть частью сетевой системы, имеющей передатчик и приемник.

[0025] «Профиль показателя преломления» является соотношением между показателем преломления или относительным показателем преломления и радиусом волокна. Радиус для каждого сегмента профиля показателя преломления задается сокращениями r_1 , r_2 , r_3 , r_{4a} , r_4 , и т.д., и строчные и прописные буквы используются здесь взаимозаменяемо (например, r_1 эквивалентно R_1).

[0026] «Относительный показатель преломления в процентах» (также называемый здесь «приращением показателя преломления в процентах», «относительным показателем преломления», «приращением показателя преломления» и «приращением

15 относительного показателя преломления») определяют как $\Delta\% = 100 \cdot (n_i^2 - n_c^2) / 2n_i^2$, и используемый здесь n_c является средним показателем преломления нелегированного диоксида кремния. Используемый здесь относительный показатель преломления представлен Δ , и его значения задаются в «%», если не указано иное. Термины:

20 приращение, Δ , $\Delta\%$, $\% \Delta$, приращение%, приращение в % и приращение в процентах могут использоваться здесь взаимозаменяемо. Для вариантов осуществления, описанных здесь, эквивалентный профиль относительного показателя преломления может быть получен посредством сдвига всего профиля показателя преломления оптического

25 волокна либо вверх, либо вниз. В случаях, когда показатель преломления области меньше, чем средний показатель преломления нелегированного диоксида кремния, относительный показатель преломления в процентах является отрицательным и говорят, что имеется пониженная область или пониженный показатель. В случаях, когда

30 показатель преломления области больше, чем средний показатель преломления области оболочки, относительный показатель преломления в процентах является положительным. «Повышающая легирующая примесь» считается здесь легирующей примесью, которая имеет свойство повышать показатель преломления относительно чистого нелегированного SiO_2 . «Понижающая легирующая примесь» считается здесь

35 легирующей примесью, которая имеет свойство понижать показатель преломления относительно чистого нелегированного SiO_2 . Примеры повышающих легирующих примесей включают в себя GeO_2 (оксид германия), Al_2O_3 , P_2O_5 , TiO_2 , Cl, Br. Примеры понижающих легирующих примесей включают в себя фтор и бор. В некоторых вариантах осуществления, сердцевина содержит диоксид кремния, легированный оксидом германия. В некоторых вариантах осуществления, максимальная концентрация оксида германия в области сердцевины, $[\text{GeO}_2]_{\text{сердцевины-мах}}$, в процентах по весу, удовлетворяет

40 неравенству $4\% \text{ по весу} \leq [\text{GeO}_2]_{\text{сердцевины-мах}} \leq 13\% \text{ по весу}$, в некоторых вариантах осуществления $6\% \text{ по весу} \leq [\text{GeO}_2]_{\text{сердцевины-мах}} \leq 12\% \text{ по весу}$, и в некоторых вариантах осуществления $7\% \text{ по весу} \leq [\text{GeO}_2]_{\text{сердцевины-мах}} \leq 11\% \text{ по весу}$. В некоторых вариантах

45 осуществления, сердцевина содержит диоксид кремния, легированный хлором. В некоторых вариантах осуществления, максимальная концентрация хлора в области сердцевины, $[\text{Cl}]_{\text{сердцевины-мах}}$, в процентах по весу, удовлетворяет неравенству $1\% \text{ по весу} \leq [\text{Cl}]_{\text{сердцевины-мах}} \leq 7\% \text{ по весу}$, в некоторых вариантах осуществления $1\% \text{ по весу}$

$\leq [CI]_{\text{сердцевины-max}} \leq 6\%$ по весу, и в некоторых вариантах осуществления 1,5% по весу
 $\leq [CI]_{\text{сердцевины-max}} \leq 6\%$ по весу.

[0027] «Хроматическая дисперсия» волноводного волокна, называемая здесь «дисперсией», если не указано иное, является суммой дисперсии материала, дисперсии волновода и межмодовой дисперсии. В случае одномодовых волноводных волокон межмодовая дисперсия равна нулю. Длина волны нулевой дисперсии является длиной волны, на которой дисперсия имеет значение, равное нулю. Наклон дисперсии является скоростью изменения дисперсии в зависимости от длины волны.

[0028] «Эффективную площадь» определяют в уравнении 1 как:

$$A_{\text{eff}} = 2\pi (\int_0^\infty f^2 r dr)^2 / (\int_0^\infty f^4 r dr) \quad (\text{уравнение 1})$$

где пределами интегрирования являются 0 и ∞ , r является радиальным расстоянием от центра сердцевины, и f является поперечной составляющей электрического поля, связанного со светом, распространяющимся в волноводе. Используемые здесь термины «эффективная площадь» или « A_{eff} » относятся к оптической эффективной площади на длине волны, равной 1550 нм, если не указано иное.

[0029] Термин « α -профиль» относится к профилю показателя преломления, выраженному в терминах $\Delta(r)$, которое вычисляется в «%», где r является радиусом, который подчиняется уравнению 2, показанному ниже

$$\Delta(r) = \Delta(r_0) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha) \quad (\text{уравнение 2})$$

где r_0 является точкой (радиальным местоположением) в сердцевине, в которой $\Delta(r)$ является максимальным, r_1 является точкой, в которой $\Delta(r)\%$ равно нулю, и r находится в диапазоне $r_1 < r < r_f$, при этом Δ определено выше, r_f является начальной точкой α -профиля, r_f является конечной точкой α -профиля, и α является показателем степени, который является вещественным числом (называемым здесь « α сердцевины», «альфа сердцевины», «значение альфа», или «значение α »).

[0030] Диаметр поля моды (mode field diameter - MFD) измеряют с использованием способа Петермана II (Peterman II method), в котором $2w = \text{MFD}$, и $w^2 = (2 \int_0^\infty f^2 r dr) / \int_0^\infty [df/dr]^2 r dr$, причем пределами интегрирования являются 0 и ∞ .

[0031] Сопротивление изгибу волноводного волокна можно оценить посредством индуцированного затухания в заранее заданных условиях тестирования, например, путем размещения или наматывания волокна вокруг оправки заданного диаметра, например наматывания 1 витка вокруг оправки диаметром 6 мм, 10 мм или 20 мм, или подобного диаметра (например, «потери на макроизгибах диаметром 1*10 мм» или «потери на макроизгибах диаметром 1*20 мм»), и измерения увеличения затухания на один виток.

[0032] Одним типом теста на изгиб является тест на микроизгиб с боковой (латеральной) нагрузкой. В этом так называемом тесте с «боковой нагрузкой» («lateral load» test - LLWM), заданная длина волноводного волокна размещается между двумя плоскими пластинами. Проволочную сетку #70 прикрепляют к одной из пластин. Известную длину волноводного волокна размещают между пластинами и измеряют образцовое затухание, в то время как пластины сжимают вместе с силой в 30 Ньютонов. Затем силу в 70 Ньютонов прикладывают к пластинам и измеряют увеличение затухания в дБ/м. Увеличение затухания является затуханием волновода при боковой нагрузке в дБ/м на заданной длине волны (обычно в диапазоне 1200-1700 нм, например, 1310 нм или 1550 нм или 1625 нм).

[0033] Другим типом теста на изгиб является тестирование на микроизгиб на покрытом проволочной сеткой барабане (wire mesh covered drum microbend test - WMCD). В этом тесте, на алюминиевый барабан диаметром 400мм наматывают проволочную сетку. Сетку наматывают плотно без натяжения и обеспечивают отсутствие отверстий, впадин и повреждений. Спецификация материала проволочной сетки: McMaster-Carr Supply Company (Cleveland, OH), номер детали 85385T106, коррозионно-стойкая проволочная ткань из нержавеющей стали типа 304, ячеек на погонный дюйм: 165*165, диаметр проволоки: 0,0019 дюйма, ширина отверстий: 0,0041 дюйма, живое сечение, в %: 44,0. Заданную длину (750 метров) волноводного волокна наматывают со скоростью 1 м/с на барабан с проволочной сеткой с шагом наматывания, равным 0,050 сантиметра, при приложении натяжения 80 (+/- 1) грамм. Концы волокна заданной длины заклеивают для сохранения натяжения, и обеспечивают отсутствие перехлестов волокна. Затухание оптического волокна измеряют на заданной длине волны (обычно в диапазоне 1200-1700 нм, например, 1310 нм или 1550 нм или 1625 нм); образцовое затухание измеряют на оптическом волокне, намотанном на ровный барабан. Увеличение затухания является затуханием волновода на покрытом проволочной сеткой барабане в дБ/км на заданной длине волны (обычно в диапазоне 1200-1700 нм, например, 1310 нм или 1550 нм или 1625 нм).

[0034] Другим типом теста на изгиб является тест на микроизгиб при сетчатом плетении. В тесте на потери на микроизгибах при сетчатом плетении, волокна наматывают с большим натяжением на стеклянную катушку и подвергают воздействию цикла изменения температуры. Устройство тестирования содержит барабан фиксированного диаметра из диоксида кремния. Поверхность барабана является ровной. В этом тесте, диаметр барабана составляет 110 мм. Волокно наматывают на стеклянный барабан с натяжением намотки, равным 79 грамм, и шагом, равным 2 мм (расстоянием между смежными витками волокна). Множественные слои волокна наматывают с этим натяжением и шагом. Шаговые углы реверсируют после каждого намотанного слоя. Перехлест натянутых волокон из смежных слоев создает механизм микроизгибов. Используют волокно длиной 2,5 км. Исходное измерение затухания волокна выполняют при около 23°, при относительной влажности около 45%, причем волокно размещают в конфигурации сетчатого плетения с натяжением 70 грамм. Исходные измерения потерь на затухание проводят на длинах волн, равных 1310 нм, 1550 нм, и 1625 нм. OTDR (оптический рефлектометр временной области) используют для получения данных о потерях на затухание.

[0035] После исходного измерения потерь на затухание при 23°C, волокно подвергают циклическому изменению температуры. При циклическом изменении температуры, волокно сначала охлаждают от 23°C до -60°C со скоростью 1°C/мин. Волокно поддерживают при -60°C в течение 20 часов и затем нагревают со скоростью 1°C/мин обратно до 23°C. Волокно поддерживают при 23°C в течение 2 часов, затем нагревают до 70°C со скоростью 1°C/мин и поддерживают при 70°C в течение 20 часов. Затем волокно охлаждают до 23°C со скоростью 1°C/мин и поддерживают при 23°C в течение двух часов. Затем волокно подвергают воздействию второго теплового цикла, который является идентичным первому тепловому циклу - т.е. его охлаждают от 23°C до -60°C, затем нагревают обратно до 23°C, поддерживают при этой температуре в течение 2 часов и затем нагревают от 23°C до 70°C, после чего его охлаждают обратно до 23°C. Наконец, после поддержания волокна при температуре 23°C в течение двух часов, после второго цикла, волокно еще раз охлаждают до -60°C со скоростью 1°C/мин, поддерживают при -60°C в течение 20 часов, и затем дополнительно охлаждают со

скоростью 1°C/мин до -60°C. Волокно поддерживают при -60°C в течение 20 часов, затем нагревают со скоростью 1°C/мин обратно до 23°C и поддерживают при 23°C в течение 2 часов. В этот момент циклическое изменение температуры завершают.

[0036] Во время циклического изменения температуры волокна, непрерывно измеряют потери на затухание. Определяют максимальные потери на затухание на протяжении двух тепловых циклов вниз до -60°C, и сообщают здесь разницу между этими максимальными потерями на затухание и исходными потерями на затухание при 23°C в виде потерь на микроизгибах при сетчатом плетении волокна в диапазоне температур от -60°C до 70°C. В тепловом цикле вниз до -60°C, разницу между потерями на затухание, измеренными при -60°C, и исходными потерями на затухание при 23°C сообщают здесь в виде потерь на микроизгибах при сетчатом плетении волокна в диапазоне температур от -60°C до 23°C.

[0037] Тест на изгиб с «массивом штырьков» используют для сравнения относительного сопротивления волноводного волокна изгибанию. Для выполнения этого теста, потери на затухание измеряют для волноводного волокна по существу в отсутствие индуцированных потерь на изгибах. Волноводное волокно теперь плетут вокруг массива штырьков и снова измеряют затухание. Потери, индуцируемые при изгибании, являются разницей между двумя измеренными затуханиями. Массив штырьков является набором из десяти цилиндрических штырьков, расположенных в единственном ряду и удерживаемых в фиксированном вертикальном положении на плоской поверхности. Межцентровой интервал между штырьками составляет 5 мм. Диаметр штырька составляет 0,67 мм. Во время тестирования, прикладывают достаточное натяжение, чтобы сделать волноводное волокно конформным участку поверхности штырька. Увеличение затухания является затуханием волновода вследствие массива штырьков, в дБ, на заданной длине волны (обычно в диапазоне 1200-1700 нм, например, 1310 нм или 1550 нм или 1625 нм).

[0038] Теоретическая длина волны отсечки волокна, или «теоретическая отсечка волокна», или «теоретическая отсечка», для данной моды, является длиной волны, выше которой направленный свет не может распространяться в этой моде. Математическое определение может быть найдено в работе Single Mode Fiber Optics, Jeunhomme, стр. 39-44, Marcel Dekker, New York, 1990, где теоретическая отсечка волокна описана в виде длины волны, на которой постоянная распространения моды становится равной постоянной распространения плоской волны во внешней оболочке. Эта теоретическая длина волны подходит для бесконечно длинного, идеально прямого волокна, которое не имеет никаких изменений в диаметре.

[0039] Отсечку волокна измеряют с помощью стандартного теста отсечки 2-метрового волокна, FOTP-80 (EIA-TIA-455-80), чтобы получить «длину волны отсечки волокна», также известную как «отсечка 2-метрового волокна» или «измеренная отсечка». Тестирование стандарта FOTP-80 выполняют либо чтобы исключить моды более высокого порядка с использованием управляемой величины изгиба, либо чтобы нормировать спектральную характеристику волокна относительно спектральной характеристики многомодового волокна.

[0040] Под длиной волны кабеля, «отсечкой кабеля», «длиной волны отсечки кабеля», используемыми здесь, мы подразумеваем длину волны отсечки кабеля, определяемую тестом отсечки 22-метрового кабеля, описанным в Процедурах Тестов Волоконной Оптики EIA-455, которые являются частью Волоконно-оптических Стандартов EIA-TIA, а именно, Волоконно-оптических Стандартов Ассоциации электронной промышленности и Ассоциации телекоммуникационной промышленности.

[0041] Если здесь не указано иное, то оптические свойства (такие как дисперсия, наклон дисперсии, и т.д.) обеспечены для моды LP01.

[0042] Оптические волокна, раскрытые здесь, способны демонстрировать эффективную площадь на 1550нм, которая больше чем около 70 мкм^2 , в некоторых вариантах осуществления, находится между 75 и 95 мкм^2 , например, между около 80 и 90 мкм^2 . В некоторых вариантах осуществления, эффективная площадь оптической моды на 1550нм находится между около 82 и 88 мкм^2 .

[0043] Варианты осуществления волокна 10 (см., например, фиг. 1) включают в себя сердцевину 12 с содержащимся максимальным приращением Δ_1 показателя преломления в процентах и оболочку 20, которая окружает сердцевину 12. По меньшей мере в некоторых вариантах осуществления, раскрытых здесь, альфа сердцевины больше, чем 5 (т.е. $\alpha > 5$). Согласно иллюстративным вариантам осуществления, описанным здесь, волокно 10 предпочтительно является одномодовым волокном.

[0044] Оболочка 20 включает в себя внутреннюю область 21 оболочки, которая находится в контакте с сердцевиной 12 и окружает ее, область 22 оболочки с пониженным показателем преломления (также называемая здесь канальной областью), которая окружает внутреннюю область 21 оболочки. Область 22 оболочки имеет приращение Δ_3 показателя преломления в процентах. Внешняя область 24 оболочки окружает канальную область 22 и содержит приращение Δ_4 показателя преломления в процентах. Канальная область является областью с низким показателем преломления, окруженной областями с более высокими показателями преломления. Как показано, например, на фиг. 1, канальная область 22 в оболочке 20 окружена двумя областями оболочки с более высокими показателями преломления - т.е. областями 21 и 24 оболочки.

[0045] В вариантах осуществления, описанных здесь, $\Delta_{1\max} > \Delta_4$; $\Delta_3 < \Delta_2$; и $\Delta_4 > \Delta_3$. В вариантах осуществления, показанных на фиг. 1-7, области 21, 22 и 24 оболочки являются непосредственно смежными друг с другом. Однако это необязательно, и альтернативно могут быть использованы дополнительные области оболочки.

[0046] Сердцевина 12 содержит внешний радиус r_1 (который определяется местом, в котором касательная, проведенная через точку максимального наклона приращения показателя преломления в процентах центральной сердцевины 12 пересекает линию нулевого приращения), который находится между $2,75$ и 6 мкм , в некоторых вариантах осуществления между $3,5$ и $5,75 \text{ мкм}$, например, между $3,5$ и $5,6 \text{ мкм}$, и в некоторых вариантах осуществления составляет $4-5 \text{ мкм}$. Сердцевина 12 демонстрирует приращение Δ_1 показателя преломления в процентах (относительно чистого диоксида кремния). Например, максимальное приращение показателя преломления сердцевины, $\Delta_{1\max}$, может составлять от 0% (если оно изготовлено из чистого диоксида кремния) до $0,65\%$, или может находиться между $0,15$ и $0,5\%$, и в некоторых вариантах осуществления между около $0,2$ и $0,5\%$. В некоторых вариантах осуществления, $\Delta_{1\max} \geq 0,38$, например, $0,38 \leq \Delta_{1\max} \leq 0,5$.

[0047] В некоторых вариантах осуществления, сердцевина 12 демонстрирует альфа (α) сердцевины, причем α больше чем 5, например, составляет по меньшей мере 10. В некоторых вариантах осуществления, альфа сердцевины составляет 15 или более. В некоторых вариантах осуществления, сердцевина 12 может содержать альфа между около 10 и 100, например, в некоторых вариантах осуществления альфа сердцевины, α , может находиться между 15 и 100, и в некоторых вариантах осуществления между

15 и 40. Профиль показателя преломления иллюстративного варианта осуществления волокна с α_1 , составляющим около 20, показан, например, на фиг. 1.

[0048] В вариантах осуществления, показанных на фиг. 3-7, внутренняя область 21) оболочки является смежной с сердцевинной 12 и содержит внутренний радиус r_1 и внешний радиус r_2 . Внутренняя область 21 оболочки предпочтительно демонстрирует приращение показателя преломления в процентах, $\Delta_2 \leq 0,3$ (относительно чистого диоксида кремния).

Как указано выше, $\Delta_1 \geq \Delta_2$. В иллюстративных вариантах осуществления, описанных здесь, $0,15\% \leq \Delta_{1\max} - \Delta_2 \leq 0,5\%$, например, $0,2\% \leq \Delta_{1\max} - \Delta_2 \leq 0,4\%$, или $0,25\% \leq \Delta_{1\max} - \Delta_2 \leq 0,35\%$.

В некоторых вариантах осуществления, Δ_2 составляет от 0 до 0,3%, например, находится между около 0 и 0,25%, или между 0,1 и 0,2%. Альтернативно, например, если область 12 сердцевинной 12 (также называемая здесь сердцевинной) изготовлена из чистого диоксида кремния, то внутренняя область 21 оболочки легирована с понижением относительно чистого диоксида кремния, причем $\Delta_{1\max} - \Delta_2 \leq 0,5\%$. Внешний радиус r_2 внутренней

области 21 оболочки находится между 5 и 17 мкм, в некоторых вариантах осуществления между 7 и 15 мкм, например, составляет от 6 до 12 мкм, или от 6 до 10 мкм. В некоторых вариантах осуществления, отношение $r_2/r_1 > 1,2$. В некоторых вариантах осуществления, отношение $r_2/r_1 \geq 1,25$, например, $1,25 \leq r_2/r_1 \leq 2,5$. По меньшей мере в некоторых

иллюстративных вариантах осуществления, описанных здесь, $1,6 \leq r_2/r_1 \leq 2,4$. По меньшей мере в некоторых иллюстративных вариантах осуществления, описанных здесь, $1,8 \leq r_2/r_1 \leq 2,35$. Вышеупомянутые значения радиуса r_1 , разницы между $\Delta_{1\max}$ и Δ_2 , и отношения r_2/r_1 помогают волокнам иметь $1300\text{нм} \leq \lambda_0 \leq 1324\text{нм}$, и MFD между 8,2 мкм

и 9,5 мкм на длине волны 1310нм.

[0049] Канальная область 22 (также называемая здесь областью оболочки с пониженным показателем) окружает внутреннюю область 21 оболочки. Канальная область 22 имеет приращение Δ_3 показателя преломления в процентах, которое меньше чем Δ_2 . В некоторых вариантах осуществления, Δ_3 удовлетворяет неравенству

$-0,4\% \leq \Delta_3 \leq 0,1\%$. Например, в некоторых вариантах осуществления упомянутый канал образован из чистого диоксида кремния, и Δ_3 равно 0. В некоторых вариантах

осуществления, приращение относительного показателя преломления в процентах в канальной области 22 является по существу плоским, т.е. разница между относительным

приращением показателя преломления в процентах на любых двух радиусах меньше чем 0,03%, и в некоторых вариантах осуществления меньше чем 0,01%. В других вариантах осуществления могут быть флуктуации в результате малых изменений конструкции профиля или производственных изменений. В некоторых вариантах

осуществления, канальная область 22 содержит диоксид кремния, который по существу не легирован ни фтором, ни оксидом германия, т.е. таким образом, эта область является по существу свободной от фтора и оксида германия, т.е. имеется меньше чем 0,1% по весу F или GeO_2 . В некоторых вариантах осуществления, канальная область является

чистым диоксидом кремния, в других вариантах осуществления она является диоксидом кремния, легированным фтором, для обеспечения $-0,4\% \leq \Delta_3 \leq 0,1\%$. В некоторых

вариантах осуществления, $0,35\% \leq \Delta_{1\max} - \Delta_3 \leq 0,65\%$.

[0050] Канальная область 22 предпочтительно демонстрирует ширину W_t (причем $W_t = r_3 - r_2$), находящуюся между около 4 мкм и 22 мкм, в некоторых вариантах

осуществления между 8 и 20 мкм. В некоторых вариантах осуществления, внешний радиус r_3 канальной области может быть не меньшим чем 10 мкм, например, большим чем 12 мкм и меньшим чем 27 мкм, или может составлять от около 14,5 мкм до около 25,5 мкм для обеспечения хорошей эффективности при изгибах и отсечки кабеля ≤ 1260 нм. Внешняя область 24 оболочки окружает канальную область 22 и содержит приращение Δ_4 показателя преломления в процентах, которое больше чем приращение Δ_3 показателя преломления в процентах канальной области 22, в результате чего образуется область, которая является «легированной с повышением» внешней областью 24 оболочки относительно области 22 оболочки с пониженным показателем, например, посредством добавления некоторого количества легирующей примеси (такой как оксид германия или хлор), достаточного для увеличения показателя преломления внешней области оболочки. В некоторых вариантах осуществления, не существует никакого фтора и других понижающих легирующих примесей в канальной области 22, и внешняя область 24 оболочки содержит повышающую легирующую примесь, например, хлор. В некоторых вариантах осуществления, концентрация хлора во внешней области 24 оболочки составляет $\geq 1\%$ по весу. В некоторых других вариантах осуществления, концентрация хлора во внешней области 24 оболочки составляет $\geq 1,2\%$ по весу. Еще в других вариантах осуществления, концентрация хлора во внешней области 24 оболочки составляет $\geq 1,5\%$ по весу. Еще в других вариантах осуществления, концентрация хлора во внешней области 24 оболочки составляет $\geq 2\%$ по весу. Внешняя область 24 оболочки содержит более высокий показатель преломления, чем показатель преломления канальной области 22, и может, например, иметь приращение Δ_4 показателя преломления в процентах, которое находится между 0,12% и 0,4%. В некоторых вариантах осуществления, $0,12\% \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,4\%$, например, в некоторых вариантах осуществления $0,12\% \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,3\%$. В некоторых вариантах осуществления, внешняя область 24 оболочки состоит из первой внешней области 24a оболочки (с внешним радиусом r_{4a}) и второй внешней области 24b оболочки (с внешним радиусом r_4), причем первая внешняя область 24a оболочки имеет концентрацию хлора $\geq 1,2\%$ по весу от r_3 до 40 мкм. В некоторых вариантах осуществления, первая внешняя область 24a оболочки имеет концентрацию хлора $\geq 1,5\%$ по весу от r_3 до 40 мкм, и в некоторых вариантах осуществления первая внешняя область 24a оболочки имеет концентрацию хлора $\geq 2\%$ по весу от r_3 до 40 мкм. В некоторых вариантах осуществления, вторая внешняя область 24b оболочки имеет более высокую вязкость, чем первый внешний слой оболочки. А именно, вязкость стекла второй внешней области 24b оболочки больше чем вязкость стекла первой внешней области 24a оболочки. В этом варианте осуществления, вторая внешняя область 24b оболочки является слоем поглощения натяжения. В некоторых вариантах осуществления, вторая внешняя область 24b оболочки имеет концентрацию хлора $\leq 0,5\%$ по весу от r_{4a} до r_4 (где r_{4a} является внешним радиусом сильнолегированной (например, $\geq 1,2\%$ по весу хлора) с повышением области, как показано, например, на фиг. 2, и r_4 является внешним радиусом стеклянного оптического волокна, например, равным 62,5 мкм). В некоторых вариантах осуществления, вторая внешняя область 24b оболочки имеет концентрацию хлора $\leq 0,25\%$ по весу от своего внутреннего радиуса r_{4a} до внешнего радиуса r_4 . В некоторых вариантах осуществления, вторая внешняя область оболочки имеет концентрацию хлора, [Cl], равную 0,0% по весу, [Cl] $\leq 0,2\%$ по весу от r_{4a} до r_4 . В некоторых вариантах осуществления, $40 \text{ мкм} \leq r_{4a} \leq 55 \text{ мкм}$, например,

r_{4a} составляет около 40 мкм, 45 мкм, 50 мкм, или 55 мкм. Предпочтительно, участок с более высоким показателем (по сравнению с канальной областью 22) внешней области 24 оболочки продолжается по меньшей мере до точки, где оптическая мощность, которая может передаваться через оптическое волокно, больше или равна 90%

передаваемой оптической мощности, более предпочтительно, до точки, где оптическая мощность, которая может передаваться через оптическое волокно, больше или равна 95% передаваемой оптической мощности, и наиболее предпочтительно, до точки, где оптическая мощность, которая может передаваться через оптическое волокно, больше или равна 98% передаваемой оптической мощности, что предпочтительно для обеспечения хорошей эффективности при изгибах и отсечки кабеля ≤ 1260 нм. В некоторых вариантах осуществления, это достигается посредством обеспечения «легированной с повышением» третьей кольцевой области (т.е. первой внешней области 24а оболочки), которая продолжается по меньшей мере до радиальной точки около 30 мкм. В некоторых вариантах осуществления, «легированная с повышением» третья кольцевая область 24а продолжается по меньшей мере до радиальной точки около 40 мкм, причем четвертая кольцевая область (т.е. вторая внешняя область 24b оболочки) состоит по существу из диоксида кремния, окружающего третью кольцевую область. В некоторых вариантах осуществления, оболочка 20 имеет внешний диаметр, в 2 раза больший максимального радиуса, R_{max} , равного около 125 мкм. Как показано на фиг. 2, легированная с повышением область 24а (т.е. первая внешняя область оболочки) внешней оболочки 24 имеет приращение показателя преломления в процентах, Δ_4 , и область 24b оболочки (т.е. вторая внешняя область оболочки) имеет приращение показателя преломления в процентах, Δ_5 , и $\Delta_4 > \Delta_5$.

[0051] Объем V_3 профиля канальной области 22 вычисляют с использованием $\Delta_{(4-3)}$ (r) dr между радиусом r_2 и r_3 , и, таким образом, определяют в уравнении 3 в виде

$$V_3 = 2 \int_{r_2}^{r_3} \Delta_{(4-3)}(r) r dr \quad (\text{Уравнение 3})$$

[0052] Все объемы являются абсолютными величинами (т.е. $V_3 = |V_3|$). Для обеспечения хорошей эффективности при изгибах, объем V_3 канальной области 22 предпочтительно больше чем $30\% \Delta_{\text{мкм}}^2$, и может быть больше чем $45\% \Delta_{\text{мкм}}^2$, и в некоторых вариантах осуществления больше чем $50\% \Delta_{\text{мкм}}^2$, и в некоторых вариантах осуществления может быть больше чем $55\% \Delta_{\text{мкм}}^2$. В некоторых вариантах осуществления, объем V_3 канальной области 22 составляет от $30\% \Delta_{\text{мкм}}^2$ до $90\% \Delta_{\text{мкм}}^2$, например, от $40\% \Delta_{\text{мкм}}^2$ до $80\% \Delta_{\text{мкм}}^2$.

[0053] В иллюстративных вариантах осуществления, раскрытых здесь, сердцевина 12 везде имеет положительный показатель преломления. Сердцевина 12 содержит максимальное приращение Δ_{1max} показателя преломления в процентах, возникающее между $r=0$ и $r=3$ мкм. В этих вариантах осуществления, Δ_{1max} находится между около 0,38% и около 0,5%.

[0054] Волокна способны демонстрировать потери на изгибах, меньшие чем 0,5 дБ/виток, при наматывании на оправку диаметром 15 мм, для волокон с МАС-числами $\geq 7,25$. В некоторых вариантах осуществления, оптические волокна, раскрытые здесь,

имеют МАС-число $\geq 7,6$ или даже $\geq 7,7$, и, в некоторых примерах, $7,6 \leq \text{МАС} \leq 8$, и длину волны нулевой дисперсии, λ_0 , удовлетворяющую неравенству $1300\text{нм} \leq \lambda_0 \leq 1324\text{нм}$.

Используемое здесь МАС-число означает диаметр поля моды на 1310 (нм), деленный на длину волны (нм) отсечки 22-метрового кабеля.

[0055] Волокна, раскрытые здесь, могут быть вытянуты из предварительно отформованных заготовок оптического волокна с использованием общепринятых технологий изготовления и с использованием известных способов и устройств для вытягивания волокон, например, раскрытых в патентах США № 7,565,820, 5,410,567, 7,832,675, 6,027,062, описания которых включены в настоящий документ по ссылке.

[0056] Различные иллюстративные варианты осуществления будут дополнительно разъяснены в нижеследующих примерах. Специалистам в данной области техники следует понимать, что различные модификация и изменения могут быть реализованы, не выходя за рамки сущности или объема формулы изобретения.

ПРИМЕРЫ

[0057] В таблице 1, показанной ниже, приведены характеристики примеров 1-3 вариантов осуществления волокон. Эти варианты осуществления волокон имеют профили показателя преломления, показанные на фиг. 3-5. В частности, для каждого примера ниже приведены приращение Δ_1 показателя преломления в процентах, альфа 1 (α_1), и внешний радиус r_1 сердцевины 12; приращение Δ_2 показателя преломления в процентах и внешний радиус r_2 внутренней области 21 оболочки; и приращение Δ_3 показателя преломления в процентах и внешний радиус r_3 , а также объем V_3 профиля канальной области 22, который вычисляют между r_2 и r_3 ; приращение Δ_4 показателя преломления в процентах. Также приведены хроматическая дисперсия и наклон дисперсии на 1310нм, хроматическая дисперсия и наклон дисперсии на 1550нм, диаметр поля моды на 1310нм и 1550нм, микроизгиб на проволочной сетке с боковой нагрузкой на 1550нм, макроизгиб на массиве штырьков на 1550нм, длина (λ_0) волны нулевой дисперсии, отсечка на 22-метровом кабеле, МАС-число на 1310нм, потери на изгибах диаметром 1*15мм (потери на изгибах, когда волокно обернуто один раз вокруг оправки диаметром 15 мм), и спектральное затухание на 1310нм и 1550нм.

[0058] Таблица 1

Параметр	Пример 1	Пример 2	Пример 3
$\Delta_{1\text{max}}$ (%)	0,47	0,47	0,45
r_1 (мкм)	4,3	4,3	4,3
альфа сердцевины области 12	20	20	20
Δ_2 (%)	0,15	0,15	0,15
$\Delta_1 - \Delta_2$	0,32	0,32	0,30
r_2 (мкм)	10	9	8,1
r_2/r_1	2,3	2,1	1,9
Δ_3 (%)	0,00	0,00	0,00
$\Delta_2 - \Delta_3$	0,15	0,15	0,15
r_3 (мкм)	20	19,5	20
Δ_4 (%)	0,15	0,15	0,15
r_4 (мкм)	62,5	62,5	62,5
Максимальная концентрация хлора во внешней области 24 оболочки, % по весу	1,5	1,5	1,5
$\Delta_4 - \Delta_3$	0,15	0,15	0,15

	V_3 (%мкм ²)	45	45	50
	Дисперсия на 1310нм (пк/нм/км)	4,9E-04	0,346	0,25
	Наклон дисперсии на 1310нм (пк/нм ² /км)	0,088	0,099	0,091
5	λ_0 , нм	1318	1315	1315
	Дисперсия на 1550нм (пк/нм/км)	17,5	18	18
	Наклон дисперсии на 1550нм (пк/нм ² /км)	0,062	0,062	0,063
	MFD на 1310нм (мкм)	9,2	9,16	9,25
	MFD на 1550нм (мкм)	10,44	10,34	10,38
	LLWM @ 1550нм, дБ/м	0,6	0,56	0,77
10	WMCD на 1550нм, дБ/км	0,04	0,04	0,04
	Массив штырьков на 1550нм, дБ	14,9	15,0	23,9
	Отсечка кабеля (нм)	1206	1206	1200
	Aeff на 1310нм (мкм ²)	66,5	65,9	67,2
	Aeff на 1550нм (мкм ²)	85,6	84,0	84,6
15	MAC # (MFD на 1310нм/отсечка кабеля)	7,63	7,60	7,71
	Потери на изгибах диаметром 1*15 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,19	0,2	0,29
	Потери на изгибах диаметром 1*20 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,047	0,047	0,074
	Потери на изгибах диаметром 1*30 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,0045	0,0045	0,01
20	Затухание на 1550нм, дБ/км	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$	$\leq 0,18$
	Затухание на 1310нм, дБ/км	$\leq 0,32$	$\leq 0,32$	$\leq 0,32$

Как можно увидеть в таблице 1 выше, иллюстративные волокна, показанные в таблице 1, используют стеклянную область 12 сердцевины, имеющую показатель Δ_1 , внутреннюю область 21 оболочки, имеющую показатель Δ_2 , и канальную область 22 оболочки, имеющую приращение Δ_3 показателя преломления в процентах, и внешнюю область 24 оболочки, имеющую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах; причем $\Delta_{1\max} > \Delta_2$; $\Delta_{1\max} > \Delta_4$; $\Delta_3 > \Delta_2$; $\Delta_4 > \Delta_3$, причем разница между $\Delta_{1\max}$ и Δ_2 больше или равна по меньшей мере 0,15, разница между $\Delta_{1\max}$ и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,35 (например, $0,38 \leq \Delta_{1\max} - \Delta_3 \leq 0,65$); разница между Δ_2 и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,08 (например, $0,08 \leq \Delta_2 - \Delta_3 \leq 0,4$); и разница между Δ_4 и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,08 (например, $0,1 \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,4$ или $0,1 \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,3$); и абсолютное значение объема профиля, $|V_3|$, составляет по меньшей мере 30%Δмкм². Эти волокна имеют диаметры поля моды (MFD) на 1310нм между 9 мкм и 9,5 мкм, например, между 9,2 мкм и 9,5 мкм, и длину волны нулевой дисперсии между 1300нм и 1324нм. Эти волокна имеют затухание $\leq 0,18$ дБ/км и $\leq 0,32$ дБ/км на 1550нм и 1310нм, соответственно.

[0059] Таблица 2 ниже показывает характеристики варианта осуществления примера 4 волокна. Этот вариант осуществления волокна имеет профиль показателя преломления, показанный на фиг. 6.

[0060] Таблица 2

	Параметр	Пример 4
	$\Delta_{1\max}$ (%)	0,53
45	r_1 (мкм)	4,4
	альфа сердцевины области 12	20
	Δ_2 (%)	0,2
	$\Delta_1 - \Delta_2$	0,33
	r_2 (мкм)	10

5	r_2/r_1	2,27
	Δ_3 (%)	0,00
	$\Delta_2 - \Delta_3$	0,2
	r_3 (мкм)	18,2
	Δ_4 (%)	0,2
10	r_{4a} (мкм)	45
	Максимальная концентрация хлора во внешней области 24 оболочки, % по весу	2
	$\Delta_4 - \Delta_3$	0,2
	Δ_5 (%)	0
	r_4 (мкм)	62,5
15	V_3 (%мкм ²)	46,2
	Дисперсия на 1310нм (пк/нм/км)	0,483
	Наклон дисперсии на 1310нм (пк/нм ² /км)	0,089
	λ_0 , нм	1312
	Дисперсия на 1550нм (пк/нм/км)	18,5
20	Наклон дисперсии на 1550нм (пк/нм ² /км)	0,062
	MFD на 1310нм (мкм)	9,16
	MFD на 1550нм (мкм)	10,31
	LLWM @ 1550нм, дБ/м	0,4
	WMCD на 1550нм, дБ/км	0,04
25	Массив штырьков на 1550нм, дБ	8,96
	Отсечка кабеля (нм)	1257
	A_{eff} на 1310нм (мкм ²)	66,1
	A_{eff} на 1550нм (мкм ²)	81,7
	MAC # (MFD на 1310нм/отсечка кабеля)	7,29
30	Потери на изгибах диаметром 1*15 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,102
	Потери на изгибах диаметром 1*20 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,023
	Потери на изгибах диаметром 1*30 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,002
	Затухание на 1550нм, дБ/км	$\leq 0,18$
	Затухание на 1310нм, дБ/км	$\leq 0,32$

Как можно увидеть в таблице 2 выше, иллюстративные волокна, такие как волокно, показанное в таблице 2 и фиг. 6, используют стеклянную область 12 сердцевины, имеющую показатель приращение Δ_{1max} показателя преломления в процентах, внутреннюю область 21 оболочки, имеющую приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, и канальную область 22 оболочки, имеющую приращение Δ_3 показателя преломления в процентах, и первую внешнюю область 24а оболочки, имеющую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах, и вторую внешнюю область 24b оболочки, имеющую приращение Δ_5 показателя преломления в процентах; причем $\Delta_{1max} > \Delta_2$; $\Delta_{1max} > \Delta_4$; $\Delta_3 > \Delta_2$; $\Delta_4 > \Delta_3$, причем разница между Δ_{1max} и Δ_2 больше или равна по меньшей мере 0,15, разница между Δ_{1max} и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,35 (например, $0,38 \leq \Delta_{1max} - \Delta_3 \leq 0,65$); разница между Δ_2 и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,08 (например, $0,08 \leq \Delta_2 - \Delta_3 \leq 0,4$); и разница между Δ_4 и Δ_3 больше или равна по меньшей мере 0,08 (например, $0,1 \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,4$ или $0,1 \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,3$); и абсолютное значение объема профиля, $|V_3|$, составляет по меньшей мере 30% $\Delta_{мкм}^2$. В этом варианте осуществления, область 24b оболочки является слоем диоксида кремния с относительным показателем преломления в процентах, равным около нуля. Область 24b оболочки (т.е. вторая внешняя область оболочки) действует как слой поглощения сильного натяжения.

Этот вариант осуществления волокна имеет диаметр поля моды (MFD) на 1310 нм между 9 мкм и 9,5 мкм, и длину волны нулевой дисперсии между 1300 нм и 1324 нм.

[0061] Варианты осуществления волокон, описанные здесь, демонстрируют отсечку кабеля, меньшую или равную 1260 нм, и потери на изгибах, меньшие чем 0,5 дБ/виток при наматывании на оправку диаметром 15 мм. Эти волокна также демонстрируют диаметр поля моды между около 9 и 9,5 мкм на 1310 нм, длину волны нулевой дисперсии между 1300 и 1324 нм, наклон дисперсии на 1310 нм, который меньше или равен 0,092 пк/нм²/км. Эти волокна демонстрируют потери на изгибах на барабане, покрытом проволочной сеткой (Wire Mesh Covered Drum - WMCD), на 1550 нм, которые меньше или равны 0,07 дБ/км, в некоторых вариантах осуществления меньше или равны 0,06 дБ/км, и в некоторых вариантах осуществления меньше или равны 0,05 дБ/км. Эти волокна также демонстрируют потери на изгибах на массиве штырьков, на 1550 нм, которые меньше чем 8,5 дБ, в некоторых вариантах осуществления меньше чем 5 дБ, и в некоторых вариантах осуществления меньше чем 4 дБ. Эти волокна демонстрируют потери на микроизгибах при сетчатом плетении, на 1550 нм, которые меньше или равны 0,05 дБ/км, в некоторых вариантах осуществления меньше или равны 0,025 дБ/км, и в некоторых вариантах осуществления меньше или равны 0,01 дБ/км.

[0062] Многие из этих волокон также демонстрируют потери на изгибах, на 1550 нм, при наматывании на оправку диаметром 15 мм, меньшие чем 0,5 дБ/виток, и в некоторых случаях меньшие чем 0,2 дБ/виток. Эти волокна также демонстрируют потери на изгибах, на 1550 нм, при наматывании на оправку диаметром 20 мм, меньшие чем 0,2 дБ/виток, в некоторых вариантах осуществления меньше чем 0,15 дБ/виток, и некоторые волокна в некоторых вариантах осуществления меньше чем 0,1 дБ/виток. Эти волокна также демонстрируют потери на изгибах, на 1550 нм, при наматывании на оправку диаметром 30 мм, меньшие чем 0,02 дБ/виток, например, меньшие чем 0,005 дБ/виток, или даже меньшие чем 0,003 дБ/виток.

[0063] Такие значения характеристик потерь на изгибах и затухания достижимы с использованием первичного и вторичного покрытия, нанесенных на волокно, причем модуль Юнга первичного покрытия меньше чем 2 МПа, в некоторых вариантах осуществления меньше чем 1 МПа, и в некоторых вариантах осуществления меньше чем 0,5 МПа. Модуль Юнга вторичного покрытия больше чем 500 МПа, в некоторых вариантах осуществления больше чем 1000 МПа, и в некоторых вариантах осуществления больше чем 1500 МПа. В некоторых вариантах осуществления, внешний диаметр вторичного покрытия составляет 242 мкм. В некоторых других вариантах осуществления, внешний диаметр вторичного покрытия составляет 200 мкм.

[0064] Таблица 3 обеспечивает данные варианта осуществления изготавливаемого оптического волокна (Пример 5 волокна). Профиль показателя преломления примера 5 оптического волокна показан на фиг. 7.

Таблица 3. Данные для изготавливаемого оптического волокна

Параметр	Пример 5
$\Delta_{1\max}$ (%)	0,48
r_1 (мкм)	4,87
альфа сердцевин, α	20
r_2 (мкм)	6,11
r_2/r_1	1,25
Δ_2 (%)	0,153
r_3 (мкм)	19,8

	Δ_3 (%)	0
	V_3 (%мкм ²)	60
	Δ_4 (%)	0,168
	r_4 (мкм)	62,5
5	Дисперсия на 1310нм (пк/нм/км)	0,483
	Наклон дисперсии на 1310нм (пк/нм ² /км)	0,091
	Дисперсия на 1550нм (пк/нм/км)	18,1
	Длина волны нулевой дисперсии (нм)	1304
10	MFD на 1310нм (мкм)	9,34
	MFD на 1550нм (мкм)	10,45
	Aeff на 1550нм (мкм ²)	85,8
	Отсечка кабеля (нм)	1204
	Потери на макроизгибах для оправки диаметром 15 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,078
	Потери на макроизгибах для оправки диаметром 20 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,084
15	Потери на макроизгибах для оправки диаметром 30 мм на 1550нм (дБ/виток)	0,005
	Потери на микроизгибах на 1550нм в тестировании с сетчатым плетением при -60°C для диаметра покрытия 242 мкм (дБ/км)	0,005
20	Потери на микроизгибах на 1550нм в тестировании с сетчатым плетением при -60°C для диаметра покрытия 200 мкм (дБ/км)	0,003

[0065] В варианте осуществления таблицы 3, оптические волокна демонстрируют потери на микроизгибах при сетчатом плетении при -60°C, на 1550нм, которые меньше или равны 0,05 дБ/км, например, меньше или равны 0,03 дБ/км.

[0066] В некоторых вариантах осуществления, сердцевина волокна может содержать профиль относительного показателя преломления, имеющий так называемый наклон центральной линии, который может возникать в результате одной или нескольких технологий изготовления волокна. Однако наклон центральной линии в любом из профилей показателя преломления, раскрытых здесь, является необязательным.

[0067] Оптическое волокно, раскрытое здесь, содержит сердцевину 12 и оболочку 20, окружающую сердцевину и непосредственно смежную с ней. Согласно некоторым вариантам осуществления, сердцевина состоит из диоксида кремния, легированного германием, т.е. из легированного оксидом германия диоксида кремния. Согласно некоторым вариантам осуществления, сердцевина состоит из диоксида кремния, легированного хлором, т.е. из легированного хлором диоксида кремния. Легирующие примеси, отличные от германия или хлора, отдельно или в комбинации могут быть использованы в сердцевине, и, конкретно, у или вблизи центральной линии оптического волокна, раскрытого здесь, для получения требуемого показателя преломления и плотности. В вариантах осуществления, область 12 сердцевины оптического волокна 10, раскрытого здесь, имеет неотрицательный профиль показателя преломления, более предпочтительно положительный профиль показателя преломления, причем внутренняя область 21 оболочки окружает область 12 сердцевины и является непосредственно смежной с ней.

[0068] Оптическое волокно, раскрытое здесь, может быть окружено защитным покрытием, например, первичным покрытием Р, контактирующим со внешней областью 24 оболочки и окружающим ее, причем первичное покрытие Р имеет модуль Юнга, меньший чем 1,0 МПа, в некоторых вариантах осуществления меньший чем 0,9 МПа, и в некоторых вариантах осуществления меньший чем 0,8 МПа, и дополнительно содержит вторичное покрытие S, контактирующее с первичным покрытием Р, причем

вторичное покрытие S имеет модуль Юнга, больший чем 1200 МПа, и в некоторых вариантах осуществления больший чем 1400 МПа.

[0069] Согласно некоторым вариантам осуществления, с первичным и вторичным покрытиями, внешний диаметр вторичного покрытия меньше чем 250 мкм. Согласно некоторым вариантам осуществления, волокно дополнительно покрыто первичным и вторичным покрытиями, и внешний диаметр вторичного покрытия меньше чем 210 мкм.

[0070] Используемые здесь модуль Юнга, относительное удлинение при разрыве, и предел прочности при растяжении отверждаемого полимерного материала первичного покрытия измеряют с использованием инструмента тестирования на предел прочности при растяжении (например, Sintech MTS Tensile Tester, или INSTRON Universal Material Test System) на образце материала, отформованного в виде пленки толщиной между около 0,003 дюйма (76 мкм) и 0,004 дюйма (102 мкм) и шириной около 1,3 см, причем длина тестируемой части образца составляет 5,1 см, и скорость тестирования составляет 2,5 см/мин.

[0071] Дополнительное описание и пригодные первичное и вторичное покрытия могут быть найдены в публикации PCT WO2005/010589, которая полностью включена в настоящий документ по ссылке.

[0072] Предпочтительно, оптические волокна, раскрытые здесь, имеют низкое содержание ОН, и предпочтительно имеют кривую затухания, которая демонстрирует относительно низкий пик воды или его отсутствие в конкретном диапазоне длин волн, главным образом, в Е-диапазоне. Оптическое волокно, раскрытое здесь, предпочтительно имеет оптическое (спектральное) затухание на 1383нм, которое не более чем на 0,10 дБ/км выше оптического затухания на 1310нм, и более предпочтительно не большее чем оптическое затухание на 1310нм. Оптическое волокно, раскрытое здесь, предпочтительно имеет максимальное индуцированное водородом изменение затухания, меньшее чем 0,03 дБ/км на 1383нм, после подвергания воздействию водородной атмосферы, например, при парциальном давлении водорода, равном 0,01 атм, в течение по меньшей мере 144 часов.

[0073] Низкий пик воды, в общем, обеспечивает низкие потери на затухание, конкретно, для сигналов передачи между около 1340нм и около 1470нм. Дополнительно, низкий пик воды также обеспечивает улучшенную эффективность накачки устройства излучения света накачки, которое оптически связано с оптическим волокном, такого как рамановское устройство накачки или рамановский усилитель, который может работать на одной или нескольких длинах волн накачки. Предпочтительно, рамановский усилитель обеспечивает накачку на одной или нескольких длинах волн, которые на около 100нм меньше, чем любая требуемая рабочая длина волны или диапазон длин волн. Например, оптическое волокно, несущее рабочий сигнал на длине волны около 1550нм, может накачиваться рамановским усилителем на длине волны накачки, равной около 1450нм. Таким образом, низкое затухание волокна в диапазоне длин волн от около 1400нм до около 1500нм, как правило, уменьшает затухание накачки и увеличивает эффективность накачки, например, коэффициент усиления на каждый мВт мощности накачки, особенно для длин волн накачки около 1400нм.

[0074] Волокна, раскрытые здесь, демонстрируют низкие значения PMD, в частности, при изготовлении с использованием процессов OVD. Вращение оптического волокна может также снизить значения PMD для волокна, раскрытого здесь.

[0075] Следует понимать, что приведенное выше описание является только иллюстративным и предназначено для обеспечения обзора для понимания природы и

характера волокон, которые определяются формулой изобретения. Сопутствующие чертежи включены в состав для обеспечения дополнительного понимания вариантов осуществления и встроены в это описание изобретения и образуют его часть. Чертежи иллюстрируют различные признаки и варианты осуществления, которые, вместе с их описанием, служат для объяснения принципов и работы. Специалистам в данной области техники следует понимать, что различные модификации вариантов осуществления, описанных здесь, могут быть реализованы, не выходя за рамки сущности и объема прилагаемой формулы изобретения.

(57) Формула изобретения

1. Одномодовое оптическое волокно, содержащее:

(I) сердцевину, имеющую внешний радиус r_1 , максимальное приращение $\Delta_{1\max}$

показателя преломления в процентах и альфа сердцевины >5 ;

(II) оболочку, окружающую сердцевину, причем оболочка содержит

(i) внутреннюю область оболочки, имеющую внешний радиус r_2 и приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, причем $\Delta_{1\max} > \Delta_2$; и

(ii) канальную область, окружающую внутреннюю область оболочки, причем канальная область имеет внешний радиус $r_3 > 10$ мкм и приращение Δ_3 показателя преломления в процентах; и

(iii) внешнюю область оболочки, имеющую концентрацию хлора, большую чем 1,2% по весу, окружающую канальную область и содержащую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах; причем $\Delta_{1\max} > \Delta_4$, и $\Delta_2 > \Delta_3$, и $\Delta_4 > \Delta_3$ и причем $\Delta_4 - \Delta_3 \geq 0,12\%$, и упомянутое волокно демонстрирует диаметр поля моды, $MFD > 9$ мкм, на длине волны 1310 нм, отсечку кабеля, меньшую чем 1260 нм, и потери на изгибах на 1550 нм для оправки диаметром 15 мм, меньшие чем 0,5 дБ/виток, и $1300\text{ нм} \leq \lambda_0 \leq 1324$, где λ_0 является длиной волны нулевой дисперсии.

2. Оптическое волокно по п. 1, в котором объем профиля, $|V_3|$ канальной области составляет по меньшей мере $30\% \Delta$ мкм².

3. Оптическое волокно по п. 2, в котором объем профиля, $|V_3|$ канальной области составляет по меньшей мере $45\% \Delta$ мкм².

4. Оптическое волокно по п. 1, в котором $\Delta_4 - \Delta_3 \geq 0,15\%$.

5. Оптическое волокно по п. 1, в котором $\Delta_{1\max} - \Delta_2 \geq 0,25\%$; и $\Delta_{1\max} - \Delta_3 \geq 0,35$; и $\Delta_2 - \Delta_3 \geq 0,08\%$.

6. Оптическое волокно по п. 5, в котором приращение $0,15\% \leq \Delta_4 - \Delta_3 \leq 0,4\%$.

7. Оптическое волокно по п. 1, в котором сердцевина содержит меньше чем 10% по весу оксида германия.

8. Оптическое волокно по п. 1, в котором канальная область содержит от 0 до 2% по весу фтора.

9. Оптическое волокно по п. 1, в котором внешняя область оболочки содержит концентрацию хлора $\geq 1,5\%$ по весу.

10. Оптическое волокно по п. 1, в котором отношение радиуса сердцевины и радиуса внутренней оболочки удовлетворяет неравенству $1,2 < r_2/r_1 < 2,5$.

11. Оптическое волокно по п. 1, причем упомянутое волокно дополнительно демонстрирует потери на микроизгибах на покрытом проволоочной сеткой барабане на 1550 нм, которые меньше или равны 0,05 дБ/км.

12. Оптическое волокно по п. 1, причем упомянутое волокно дополнительно демонстрирует потери на микроизгибах на покрытом проволоочной сеткой барабане на 1550 нм, которые меньше или равны 0,01 дБ/км.

13. Оптическое волокно по п. 1, в котором канальная область по существу свободна от фтора и оксида германия.

14. Оптическое волокно по п. 1, в котором $\Delta_4 \geq \Delta_2$ для радиального положения, продолжающегося от r_3 до радиуса, равного по меньшей мере 30 мкм.

15. Оптическое волокно по п. 1, причем упомянутое волокно демонстрирует затухание на 1550 нм, которое меньше или равно 0,18 дБ/км.

16. Оптическое волокно по п. 1, причем упомянутое волокно демонстрирует затухание на 1310 нм, которое меньше или равно 0,32 дБ/км.

17. Оптическое волокно по п. 1, в котором альфа сердцевины больше чем 10.

18. Оптическое волокно по любому из пп. 1-17, в котором $9 \text{ мкм} < \text{MFD на } 1310 \text{ нм} < 9,5 \text{ мкм}$.

19. Оптическое волокно по любому из пп. 1-17, причем упомянутое волокно дополнительно демонстрирует потери на микроизгибах при сетчатом плетении при -60°C , на 1550 нм, которые меньше или равны 0,05 дБ/км.

20. Оптическое волокно по любому из пп. 1-17, причем упомянутое волокно дополнительно демонстрирует потери на микроизгибах при сетчатом плетении при -60°C , на 1550 нм, которые меньше или равны 0,01 дБ/км.

21. Оптическое волокно по любому из пп. 1-17, причем упомянутое волокно дополнительно покрыто первичным и вторичным покрытиями, причем внешний диаметр вторичного покрытия меньше чем 250 мкм.

22. Оптическое волокно по любому из пп. 1-17, причем упомянутое волокно дополнительно покрыто первичным и вторичным покрытиями, причем внешний диаметр вторичного покрытия меньше чем 210 мкм.

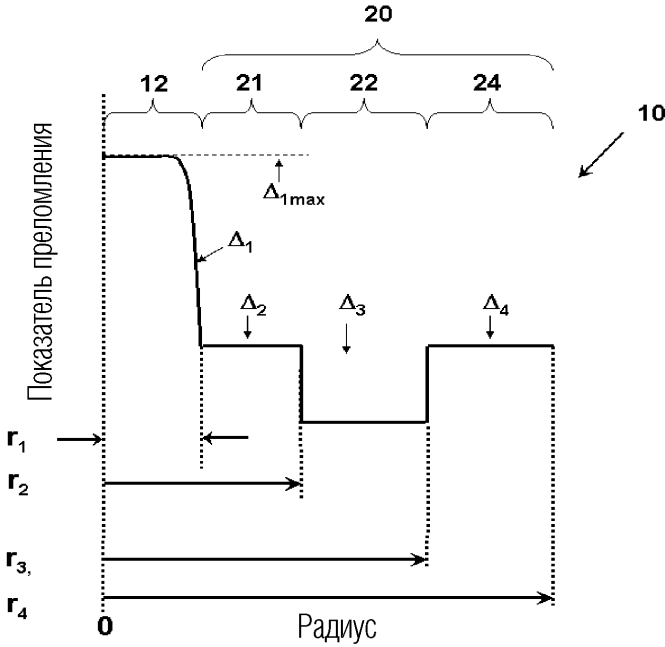
23. Оптическое волокно по п. 1, в котором внешняя область оболочки содержит первую внешнюю область оболочки с приращением Δ_4 показателя преломления в процентах и концентрацией хлора, большей чем 1,2% по весу; и вторую внешнюю область оболочки, окружающую первую внешнюю область оболочки и содержащую приращение Δ_5 показателя преломления в процентах, причем $\Delta_4 > \Delta_5$, причем вторая внешняя область оболочки имеет концентрацию хлора, меньшую чем 0,5% по весу.

24. Оптическое волокно по п. 23, в котором вязкость стекла упомянутой второй внешней области оболочки больше, чем вязкость стекла упомянутой первой внешней области оболочки.

25. Оптическое волокно по п. 1, в котором максимальная концентрация оксида германия в области сердцевины, $[\text{GeO}_2]_{\text{сердцевины-мах}}$, в % по весу удовлетворяет неравенству $4\% \text{ по весу} \leq [\text{GeO}_2]_{\text{сердцевины-мах}} \leq 13\% \text{ по весу}$.

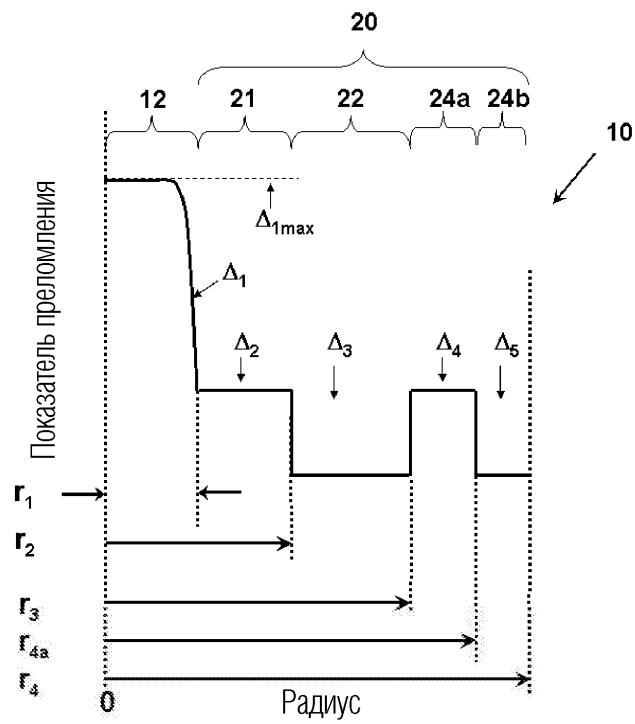
26. Оптическое волокно по п. 1, в котором максимальная концентрация хлора в области сердцевины, $[\text{Cl}]_{\text{сердцевины-мах}}$, в % по весу удовлетворяет неравенству $1\% \text{ по весу} \leq [\text{Cl}]_{\text{сердцевины-мах}} \leq 7\% \text{ по весу}$, или максимальная концентрация хлора в области сердцевины, $[\text{Cl}]_{\text{сердцевины-мах}}$, в % по весу удовлетворяет неравенству $1,5\% \text{ по весу} \leq [\text{Cl}]_{\text{сердцевины-мах}} \leq 6\% \text{ по весу}$.

1/4

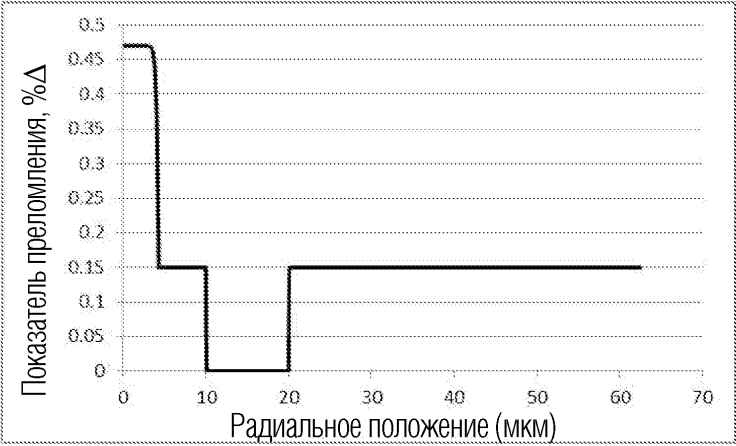


ФИГ. 1

2/4

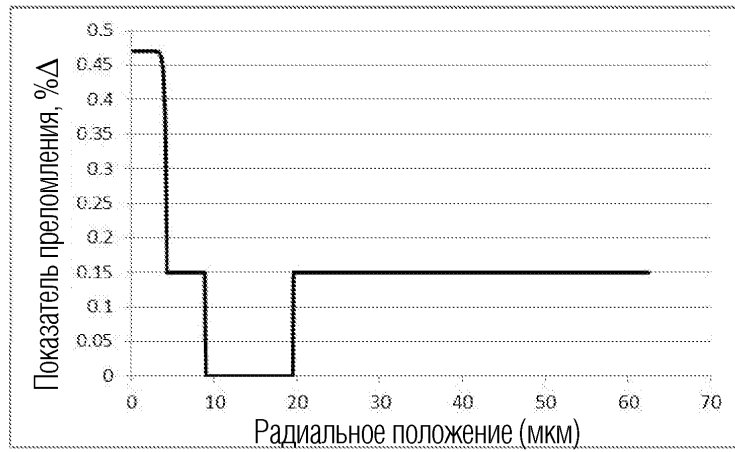


ФИГ. 2

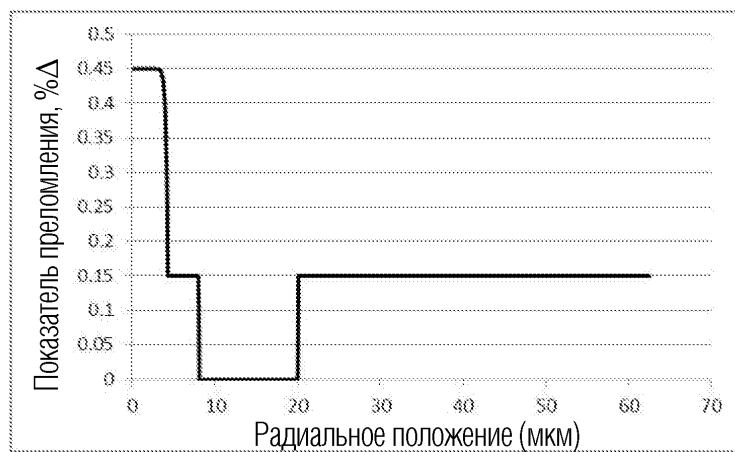


ФИГ. 3

3/4

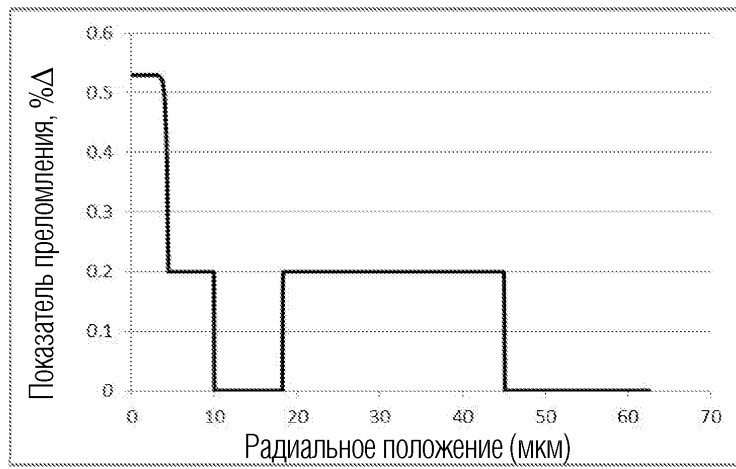


ФИГ. 4

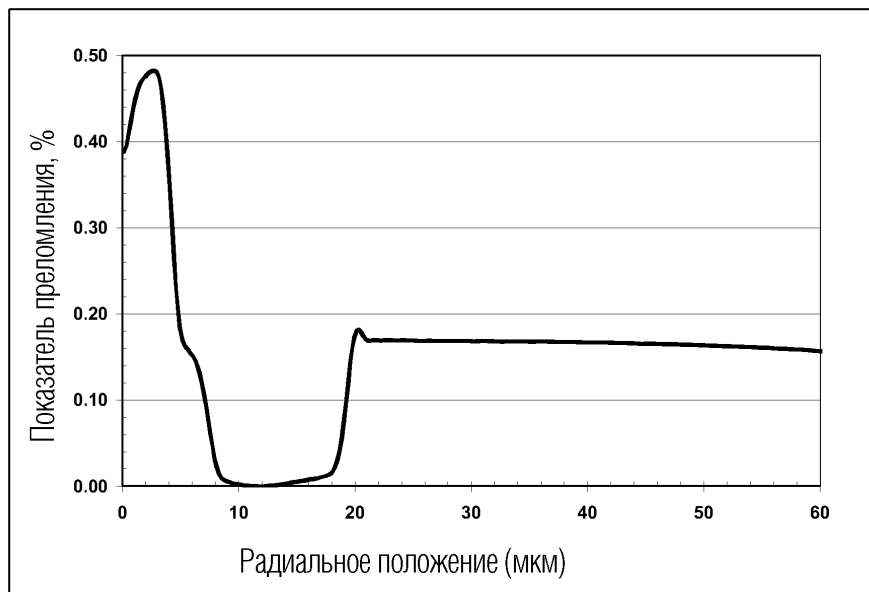


ФИГ. 5

4/4



ФИГ. 6



ФИГ. 7