



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012114137/28, 02.09.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.09.2010

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
11.09.2009 US 61/241,636;
04.05.2010 US 12/773,358

(43) Дата публикации заявки: 20.10.2013 Бюл. № 29

(45) Опубликовано: 27.12.2014 Бюл. № 36

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: WO 2009104724 A1, 07.08.2009. US
7526169 B2, 28.04.2009. US 20080056654 A1,
06.03.2008. RU 2216756 C2, 20.11.2003(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 11.04.2012(86) Заявка РСТ:
US 2010/047610 (02.09.2010)(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2011/031612 (17.03.2011)

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

**БУКБИНДЕР Дана К. (US),
ЛИ Мин-Цзюнь (US),
ТАНДОН Пушкар (US)**

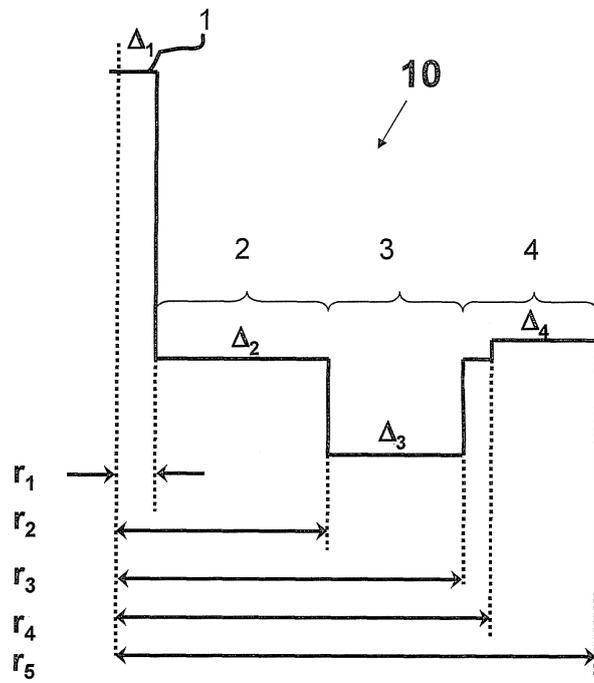
(73) Патентообладатель(и):

КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)**(54) ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛОКНО С НИЗКИМИ ИЗГИБНЫМИ ПОТЕРЯМИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к одномодовым оптическим волокнам с низкими изгибными потерями. Оптическое волокно включает в себя центральную область стеклянной сердцевины, имеющую максимальное приращение $\Delta_{1\text{макс}}$ показателя преломления в процентах. Первая внутренняя кольцевая область окружает сердцевину и имеет приращение Δ_2 показателя преломления в процентах. Кольцевая область с

понижением окружает внутреннюю кольцевую область и имеет приращение Δ_3 . Третья кольцевая область окружает кольцевую область с понижением и имеет приращение Δ_4 показателя преломления в процентах. При этом $\Delta_{1\text{макс}} > \Delta_4 > \Delta_2 > \Delta_3$. Разность между Δ_4 и Δ_2 превышает 0,01, а объем $|V_3|$ профиля составляет, по меньшей мере, $60\% \Delta \text{ мкм}^2$. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 1 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2012114137/28, 02.09.2010**
 (24) Effective date for property rights:
02.09.2010
 Priority:
 (30) Convention priority:
11.09.2009 US 61/241,636;
04.05.2010 US 12/773,358
 (43) Application published: **20.10.2013 Bull. № 29**
 (45) Date of publication: **27.12.2014 Bull. № 36**
 (85) Commencement of national phase: **11.04.2012**
 (86) PCT application:
US 2010/047610 (02.09.2010)
 (87) PCT publication:
WO 2011/031612 (17.03.2011)
 Mail address:
129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):
BUKBINDER Dana K. (US),
LI Min-Tszjun' (US),
TANDON Pushkar (US)
 (73) Proprietor(s):
KORNING INKORPOREJTED (US)

(54) **OPTICAL FIBRE WITH LOW FLEXURAL LOSSES**

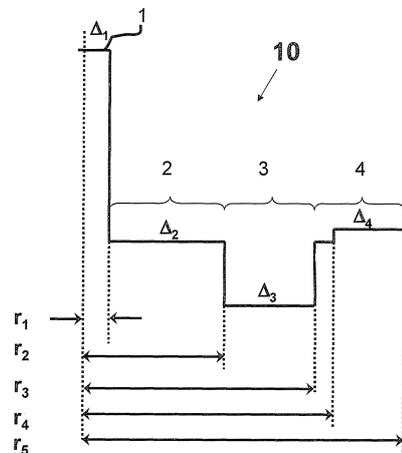
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: optical fibre includes the central area of the glass core with the maximum gain Δ_{1max} of the index of refraction in percents. The first internal annular field surrounds a core and has the gain Δ_2 of the index of refraction in percentage. The annular field with depression surrounds the internal annular field and has the gain Δ_3 . The third internal annular field surrounds the annular field with depression and has the gain Δ_4 of the index of refraction in percentage. Meanwhile $\Delta_{1max} > \Delta_4 > \Delta_2 > \Delta_3$. The difference between Δ_4 and Δ_2 exceeds 0.01, and the volume $|V_3|$ of the profile amounts, at least, $60\% \Delta \text{ mcm}^2$.

EFFECT: low flexural losses.

20 cl, 1 dwg



RU 2 537 086 C 2

RU 2 537 086 C 2

Перекрестная ссылка на родственные заявки

По этой заявке испрашивается приоритет согласно предварительной заявки №61/241636 на патент США, поданной 11 сентября 2009 года, и не предварительной заявки №12/773358 на патент США, поданной 4 мая 2010 года, обе называются «Оптическое волокно с низкими изгибными потерями» (“Low bend loss optical fiber”), содержание которых является основанием и полностью включено в состав данной заявки посредством ссылки.

Уровень техники

Раскрытие относится к оптическому волокну, а более конкретно к одномодовым оптическим волокнам, которые имеют низкие изгибные потери на 1550 нм.

Оптические волокна с низкими изгибными потерями являются привлекательными волокнами для бытовых применений, поскольку они позволяют снижать затраты на монтаж. Для снижения изгибных потерь были предложены конфигурации профилей с легированным фтором кольцом или со случайно распределенными пустотами. Однако представляет интерес получение нечувствительного к изгибу волокна, в то же время удовлетворяющего требованиям стандарта G.652 и других стандартов (относительно диаметра модового поля, отсечки кабеля, дисперсии и т.д.).

Раскрытие изобретения

В этой заявке раскрываются одномодовые оптические волокна, которые включают в себя центральную область стеклянной сердцевины, имеющую максимальное приращение Δ_1 показателя преломления в процентах, первую внутреннюю кольцевую область, окружающую упомянутую сердцевину, имеющую приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, кольцевую область с понижением, окружающую упомянутую внутреннюю кольцевую область и имеющую Δ_3 , и третью кольцевую область, окружающую кольцевую область с понижением, имеющую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах, где $\Delta_{1\text{макс}} > \Delta_4 > \Delta_2 > \Delta_3$. Область с понижением имеет объем V_3 профиля, равный

$$2 \int_{R_2}^{R_3} \Delta(r) r dr .$$

В некоторых вариантах осуществления разность между Δ_4 и Δ_2 больше чем 0,01, а величина объема $|V_3|$ профиля составляет, по меньшей мере, $60\% \Delta$ мкм².

Предпочтительно, чтобы волокно имело отсечку кабеля ниже чем 1260 нм и изгибные потери на 1550 нм в случае намотки на шпиндель диаметром 10 мм ниже чем 0,2 дБ/виток, и более предпочтительно, ниже чем 0,1 дБ/виток, еще более предпочтительно, ниже чем 0,075 дБ/виток, и наиболее предпочтительно, ниже чем 0,05 дБ/виток.

В некоторых предпочтительных вариантах осуществления профилю показателя преломления сердцевины волокна придана такая конфигурация, что волокно имеет длину волны нулевой дисперсии между 1300 и 1324 нм, диаметр модового поля от приблизительно 8,2 до приблизительно 9,5 мкм на 1310 нм и отсечку кабеля ниже чем 1260 нм.

Оптическое волокно может содержать центральную область стеклянной сердцевины, имеющую максимальное приращение Δ_1 показателя преломления в процентах, первую внутреннюю кольцевую область, окружающую упомянутую сердцевину, имеющую приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, кольцевую область с понижением, окружающую упомянутую внутреннюю кольцевую область и имеющую Δ_3 и третью

кольцевую область, окружающую кольцевую область с понижением, имеющую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах; при этом упомянутая пониженная область с понижением имеет объем V_3 профиля, равный

$$5 \quad 2 \int_{R_2}^{R_1} \Delta(r) r dr ;$$

при этом центральная область стеклянной сердцевины имеет максимальное приращение Δ_1 показателя преломления в процентах и радиус r_1 , достаточный, чтобы
 10 приводить к диаметру модового поля большему чем 8,2 мкм на 1310 нм, и при этом величина разности между Δ_4 и Δ_2 и величина $|V_3|$ являются достаточно большими, чтобы приводить к отсечке 22-метрового кабеля ниже чем 1260 нм и изгибным потерям на 1550 нм в случае намотки на шпиндель диаметром 10 мм ниже чем 0,2 дБ/виток, более предпочтительно, ниже чем 0,1 дБ/виток, еще более предпочтительно, ниже чем 0,075
 15 дБ/виток, и наиболее предпочтительно, ниже чем 0,05 дБ/виток. Предпочтительно, чтобы величина разности между Δ_4 и Δ_2 была больше чем 0,01, более предпочтительно, больше чем 0,02, еще более предпочтительно, больше чем 0,05. В некоторых вариантах осуществления разность между Δ_4 и Δ_2 превышает 0,08. Предпочтительно, чтобы разность между Δ_4 и Δ_2 была меньше чем 0,1. В некоторых вариантах осуществления
 20 предпочтительно, чтобы разность между Δ_4 и Δ_2 была больше чем 0,01 и меньше чем 0,1. В некоторых вариантах осуществления предпочтительно, чтобы разность между Δ_4 и Δ_2 была больше чем 0,01 и меньше чем приблизительно 0,05. Предпочтительно, чтобы кольцевая область с понижением имела такой объем V_3 профиля, при котором
 25 $|V_3|$ составляет, по меньшей мере, $60\% \Delta \text{ мкм}^2$, более предпочтительно, больше, чем приблизительно $65\% \Delta \text{ мкм}^2$, а в некоторых случаях, больше, чем приблизительно $70\% \Delta \text{ мкм}^2$ или $80\% \Delta \text{ мкм}^2$. В некоторых вариантах осуществления объем V_3 профиля кольцевой области с пониженным показателем преломления является таким, что $|V_3|$
 30 составляет меньше чем приблизительно $120\% \Delta \text{ мкм}^2$, более предпочтительно, меньше чем приблизительно $100\% \Delta \text{ мкм}^2$.

Дальнейшие признаки и преимущества изложены в подробном описании осуществления изобретения ниже и будут очевидными для специалистов в данной
 35 области техники из этого описания или будут понятны при применении на практике вариантов осуществления, описанных в этой заявке, с учетом нижеследующего подробного описания, формулы изобретения и прилагаемого чертежа.

Должно быть понятно, что приведенное выше раскрытие изобретения и нижеследующее подробное описание осуществления изобретения являются только
 40 примерными и предназначены для получения общего представления или усвоения основных положений, необходимых для понимания сущности и характерных особенностей формулы изобретения. Сопровождающий чертеж включен сюда для обеспечения более полного понимания и, будучи включенным в это описание, составляет его неотъемлемую часть. Чертеж иллюстрирует один или несколько вариантов
 45 осуществления изобретения и совместно с описанием служит для пояснения принципов и работы различных вариантов осуществления.

Краткое описание чертежей

На фиг.1 показан пример профиля показателя преломления согласно одному

примерному варианту осуществления оптического волокна.

Осуществление изобретения

Далее представлено подробное описание предпочтительных в настоящее время вариантов осуществления, пример которых показан на сопровождающем чертеже.

5 «Профиль показателя преломления» представляет собой зависимость между показателем преломления или относительным показателем преломления и радиусом волоконного световода.

10 «Относительный показатель преломления в процентах» определяется как $\Delta\% = 100 \times (n_i^2 - n_c^2) / 2n_i^2$ и, как используется в этой заявке, n_c является средним показателем преломления нелегированного диоксида кремния. Если не оговорено иное, используемый в этой заявке относительный показатель преломления представляется Δ , а значения его даются в единицах процентов, «%». В случаях когда показатель преломления области меньше, чем средний показатель преломления нелегированного диоксида кремния, относительный показатель преломления в процентах является отрицательным и обозначается как имеющий область с понижением или пониженный показатель преломления. В случаях когда показатель преломления области больше, чем средний показатель преломления области оболочки, относительный показатель преломления в процентах является положительным. В этой заявке «повышающей примесью» считается примесь, которая обладает свойством повышать показатель преломления относительно показателя преломления чистого нелегированного SiO₂. В этой заявке «понижающей примесью» считается примесь, которая обладает свойством понижать показатель преломления относительно показателя преломления чистого нелегированного SiO₂.

Примеры повышающих примесей включают в себя GeO₂, Al₂O₃, P₂O₅, TiO₂, Cl, Br.

25 Примеры понижающих примесей включают в себя фтор и бор.

«Хроматическая дисперсия» оптического волокна, в этой заявке называемая «дисперсией», если не указано иное, является суммой дисперсии материала, дисперсии световода и межмодовой дисперсии. В случае одномодовых оптических волокон межмодовая дисперсия равна нулю. Наклон дисперсии является скоростью изменения дисперсии в зависимости от длины волны.

Термин « α -профиль», или «альфа-профиль», относится к профилю относительного показателя преломления, выраженному, как $\Delta(r)$ в единицах процентов, где r является радиусом, который подчиняется уравнению

$$35 \quad \Delta(r) = \Delta(r_0) (1 - [|r - r_0| / (r_1 - r_0)]^\alpha),$$

где r_0 является точкой, в которой величина $\Delta(r)$ максимальна, r_1 является точкой, в которой величина $\Delta(r)\%$ равна нулю, и r находится в диапазоне $r_1 < r < r_f$, при этом величина Δ определена выше, r_f является начальной точкой α -профиля, r_f является конечной точкой α -профиля, и α представляет собой показатель степени, который является вещественным числом.

Диаметр модового поля (ДМП) измеряют, используя способ Петермана II (Peterman II method), в котором $2w = \text{ДМП}$ и $w^2 = (2 \int f^2 r dr) / \int [df/dr]^2 r dr$, при этом пределы интегрирования составляют от 0 до ∞ .

45 Соппротивление изгибу волоконного световода можно оценить посредством наведенного затухания в заранее заданных условиях испытаний, например, путем размещения или наматывания волокна вокруг шпинделя заданного диаметра, например наматывания 1 витка вокруг шпинделя диаметром 6 мм, 10 мм или 20 мм, или

аналогичного диаметра (например, «потери на макроизгибах в 1×10 мм диаметре» или «потери на макроизгибах в 1×20 мм диаметре»), и измерения повышения затухания в расчете на виток.

Отсечка волокна измеряется с помощью стандартного теста отсечки 2-метрового
5 волокна FOTP-80 (EIA-TIA-455-80), чтобы получить «длину волны отсечки волокна», также известную как «отсечка 2-метрового волокна» или «измеренная отсечка». Тест стандарта FOTP-80 выполняется либо чтобы исключить моды высокого порядка путем использования управляемой степени изгиба, либо чтобы нормировать спектральную
10 характеристику волокна относительно спектральной характеристики многомодового волокна.

Под длиной волны отсечки кабеля, или «отсечкой кабеля», как она здесь называется, понимается результат теста отсечки 22-метрового кабеля, описанного в Процедурах
5 Тестирования Оптического Волокна EIA-455, входящих в состав Волоконно-оптических Стандартов EIA-TIA, то есть Волоконно-оптических Стандартов Ассоциации
15 электронной промышленности и Ассоциации телекоммуникационной промышленности, более известных как стандарты FOTP.

На фиг.1 показан один пример волокна 10, которое включает в себя центральную область 1 стеклянной сердцевины, имеющую максимальное приращение Δ_1 показателя
5 преломления в процентах. Первая внутренняя кольцевая область 2 окружает центральную область 1 сердцевины, при этом первая внутренняя кольцевая область 2 имеет приращение Δ_2 показателя преломления в процентах. Кольцевая область 3 с
20 понижением окружает первую внутреннюю кольцевую область 2 и имеет Δ_3 . Третья кольцевая область 4 окружает кольцевую область 3 с понижением и имеет приращение
25 Δ_4 показателя преломления в процентах. В предпочтительных вариантах осуществления $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2 > \Delta_3$. В варианте осуществления, показанном на фиг.1, области 1, 2, 3 и 4 непосредственно прилегают друг к другу. Однако это не является обязательным и, как
30 вариант, можно использовать дополнительные области сердцевины и оболочки. Например, можно использовать внешнюю область оболочки (не показана), которая окружает кольцевую область 4 и имеет меньшее приращение Δ_5 показателя преломления по сравнению с кольцевой областью 4.

Центральная область 1 сердцевины имеет внешний радиус r_1 , который определяется как место, где касательная линия, проведенная через максимум наклона показателя
35 преломления центральной области 1 сердцевины, пересекает линию нулевого приращения. Предпочтительно, чтобы область 1 сердцевины имела приращение Δ_1 показателя преломления в процентах от приблизительно 0,3 до приблизительно 0,5, более предпочтительно, от приблизительно 0,32 до приблизительно 0,45. В некоторых вариантах осуществления предпочтительно, чтобы Δ_1 составляло от 0,32 до 0,40.
40 Предпочтительно, чтобы радиус r_1 сердцевины составлял от 3 до 5 мкм, более предпочтительно, от приблизительно 3,5 до приблизительно 4,5 мкм. Предпочтительно, чтобы центральная область 1 сердцевины имела значение альфа от приблизительно 10 до приблизительно 100.

В варианте осуществления, показанном на фиг.1, первая кольцевая область 2 окружает
45 центральную область 1 сердцевины и имеет внутренний радиус r_1 и внешний радиус r_2 , при этом r_1 определен выше, а r_2 определяется как место, где касательная линия, проведенная через максимум наклона показателя преломления внутреннего участка показателя преломления кольцевой области 3, пересекает линию нулевого приращения.

В некоторых случаях показатель преломления в области 2 является по существу плоским. В других случаях профиль показателя преломления может быть градиентным. Более того, он может содержать флуктуации как результат малых вариаций в проектировании или процессе изготовления профиля. В некоторых вариантах осуществления первая кольцевая область содержит диоксид кремния, который является по существу нелегированным фтором или оксидом германия, т.е. так, что область является по существу свободной от фтора и оксида германия. Первая кольцевая область 2 имеет приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, которое рассчитывают с использованием:

$$\Delta_2 = \int_{r_1}^{r_2} \Delta(r) dr / (r_2 - r_1) .$$

Предпочтительно, чтобы первая внутренняя кольцевая область имела ширину от приблизительно 4 до приблизительно 10 мкм, более предпочтительно, от приблизительно 5 до приблизительно 7 мкм. Предпочтительно, чтобы отношение радиуса r_1 сердцевинки к радиусу r_2 внутренней кольцевой области 2 составляло от приблизительно 0,35 до приблизительно 0,55, более предпочтительно, от приблизительно 0,40 до приблизительно 0,50.

Кольцевая область 3 с понижением имеет внутренний радиус r_2 и внешний радиус r_3 , при этом r_3 определяется как точка между кольцевой областью 3 с понижением и третьей кольцевой областью 4, где $d\Delta(r)/dr$ (« r » представляет собой радиус), значение производной радиального профиля относительной разности $\Delta(r)$ показателей преломления, является максимальным. Предпочтительно, чтобы кольцевая область 3 с понижением имела приращение в процентах от приблизительно -0,3 до приблизительно -1, более предпочтительно, от -0,35 до -0,7, и наиболее предпочтительно, от -0,4 до -0,6.

Область 3 с понижением имеет объем V_3 профиля, равный:

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

Предпочтительно, чтобы объем $|V_3|$ составлял, по меньшей мере $60\% \Delta$ мкм², более предпочтительно, больше чем приблизительно $65\% \Delta$ мкм², а в некоторых случаях, больше чем приблизительно $70\% \Delta$ мкм² или $80\% \Delta$ мкм². В некоторых случаях может быть желательным поддерживать объем V_3 профиля кольцевой области с пониженным показателем преломления таким, чтобы $|V_3|$ был меньше чем $120\% \Delta$ мкм², более предпочтительно, меньше чем $100\% \Delta$ мкм². Кольцевая область 3 с понижением имеет приращение Δ_3 показателя преломления в процентах, которое между r_2 и r_3 вычисляют в соответствии с $\int \Delta(3) dr / (r_3 - r_2)$. Кольцевой участок с пониженным показателем преломления может содержать, например, стекло, содержащее множество пустот, или стекло, легированное понижающей примесью, такой как фтор, бор или их смесью, или стекло, легированное одной или несколькими такими понижающими примесями, и дополнительно, стекло, содержащее множество пустот. В некоторых предпочтительных вариантах осуществления кольцевой участок с пониженным показателем преломления состоит из легированного фтором кварцевого стекла. В случаях когда оболочка включает в себя пустоты, в некоторых вариантах осуществления эти пустоты могут быть расположены не периодически в пределах кольцевого участка с пониженным

показателем преломления. «Расположены не периодически» означает, что в поперечном сечении (таким как поперечное сечение, перпендикулярное продольной оси) оптического волокна, не периодически расположенные пустоты распределены случайно или не периодически по всему участку волокна (например, в пределах кольцевой области с пониженным показателем преломления). Аналогичные поперечные сечения, взятые в различных точках по длине волокна, будут выявлять различные узоры дырок, случайно распределенных по поперечному сечению, то есть различные поперечные сечения будут содержать разные узоры дырок, при этом распределения пустот и размеры пустот не будут точно совпадать. Имеется в виду, что дырки или пустоты являются не периодическими, то есть они не периодически расположены в структуре волокна. Эти пустоты вытянуты (удлинены) вдоль длины (то есть параллельно продольной оси) оптического волокна, но не продолжают по всей длине всего волокна для типичных длин передающего волокна. Считается, что пустоты должны продолжаться по длине волокна на расстояние меньше 20 м, более предпочтительно, меньше 10 м, еще более предпочтительно, меньше 5 м, а в некоторых вариантах осуществления, меньше 1 м. Оптическое волокно, раскрытое в этой заявке, можно изготавливать способами, в которых используют режимы затвердевания предварительно отформованной заготовки, которые являются эффективными для захвата значительного количества газов в затвердевшей стеклянной заготовке, вызывая, таким образом, образование пустот в затвердевшей стеклянной заготовке оптического волокна. Вместо выполнения этапов по удалению этих пустот полученную заготовку используют для формирования оптического волокна с пустотами в нем. Как используется в этой заявке, диаметр дырки представляет собой самый длинный отрезок прямой линии, конечные точки которого расположены на внутренней поверхности оксида кремния, определяющий дырку при наблюдении оптического волокна в перпендикулярном сечении, расположенном поперек продольной оси волокна. Третья кольцевая область 4 окружает кольцевую область 3 с понижением и имеет приращение Δ_4 показателя преломления в процентах, которое выше, чем Δ_4 показателя преломления первой кольцевой области 2, в результате чего образуется область, которая является областью 4, легированной повышающей примесью, относительно внутренней кольцевой области 2. Заметим, что не является крайне необходимым, чтобы область 4 была легирована повышающей примесью, в смысле включения в область 4 повышающей примеси. Действительно, такой же эффект легирования повышающей примесью в кольцевой области 4 можно получить легированием внутренней кольцевой области 2 понижающей примесью относительно кольцевой области 4. Внутренний радиус r_4 третьей кольцевой области определяется как точка, в которой начинается область с более высоким показателем преломления (по сравнению с показателем преломления внутренней кольцевой области 2). В некоторых вариантах осуществления участок с более высоким показателем преломления третьей кольцевой области 4 может начинаться в точке, где заканчивается кольцевая область 3 с понижением, таким образом, что r_3 равен r_4 . В некоторых других вариантах осуществления радиальная точка r_4 третьей кольцевой области 4 (то есть области, имеющей более высокий показатель преломления, чем первая кольцевая область 2) может быть отнесена на некоторое расстояние от внешней радиальной точки r_3 кольцевой области 3 с понижением. Объем показателя преломления между внутренним радиусом r_4 и внешним радиусом третьей кольцевой области 4 вычисляют согласно $\int \Delta(4)dr / \int dr$. Кольцевая область 4 имеет более высокий показатель преломления, чем первая внутренняя кольцевая область 2. Предпочтительно, чтобы участок с более высоким

показателем преломления (по сравнению с первой внутренней областью 2) кольцевой области 4 продолжался, по меньшей мере, до точки, где оптическая мощность, которая должна передаваться по оптическому волокну, превышает или равна 90% передаваемой оптической мощности, более предпочтительно, до точки, где оптическая мощность, которая должна передаваться по оптическому волокну, превышает или равна 95% передаваемой мощности, и наиболее предпочтительно, до точки, где оптическая мощность, которая должна передаваться по оптическому волокну, превышает или равна 98% передаваемой оптической мощности. В предпочтительных вариантах осуществления третья кольцевая область, легированная повышающей примесью, продолжается, по меньшей мере, до некоторой радиальной точки вне области в волокне, где передается большая часть света, например, до, по меньшей мере, радиальной точки, равной приблизительно 30 мкм. Следовательно, объем V_{4A} третьей кольцевой области 4, который определяется как объем, вычисляемый между внутренним радиусом r_4 третьей кольцевой области, легированной повышающей примесью, и радиальным расстоянием в 30 мкм, составляет

$$V_{4A} = 2 \int_{r^3}^{r^{30}} \Delta_{(4-2)}(r) r dr .$$

Предпочтительно, чтобы объем V_{4A} был больше 5, более предпочтительно, больше 7, а в некоторых вариантах осуществления больше $10\% \Delta$ мкм². Объем V_{4A} третьей кольцевой области 4 может быть меньше, чем объем V_{4B} третьей кольцевой области 4, при этом объем V_{4B} , как используется в этой заявке, вычисляется от r_3 до 62,5 мкм (то есть до внешнего диаметра волокна 125-микрометрового диаметра). В некоторых случаях объем V_{4B} может быть больше $80\% \Delta$ мкм², больше $200\% \Delta$ мкм² или больше $300\% \Delta$ мкм².

Как показано на фиг.1, третья кольцевая область 4 может быть отнесена от кольцевой области 3 или, альтернативно, кольцевая область 4 может непосредственно прилегать к кольцевой области 3. Кольцевая область 4 может продолжаться до внешнего, наибольшего радиуса оптического волокна. В некоторых вариантах осуществления Δ_4 третьей кольцевой области больше 0,01%. В некоторых вариантах осуществления Δ_4 показателя преломления третьей кольцевой области больше 0,01% по сравнению с внутренней кольцевой областью 2. В некоторых вариантах осуществления третья кольцевая область содержит хлор (Cl) в количестве, больше чем 1000 промилле, более предпочтительно, больше 1500 промилле и, наиболее предпочтительно, больше 2000 промилле (0,2%) по массе.

Примеры

Нижеследующими примерами поясняются различные варианты осуществления. Специалистам в данной области техники должно быть понятно, что различные модификации и изменения могут быть сделаны в них без отступления от сущности или объема изобретения.

Ниже в таблицах приведены характеристики моделируемых иллюстративных примеров 1-18, имеющих показатель преломления, показанный на фиг.1. В частности, ниже для каждого примера показаны приращение Δ_1 показателя преломления, альфа₁ и внешний радиус R_1 центральной области 1 сердцевин, приращение Δ_2 показателя преломления и внешний радиус R_2 и ширина W внутренней кольцевой области 2, внешний

радиус R_3 , приращение Δ_3 показателя преломления и объем V_3 второй (с понижением) кольцевой области 3, приращение Δ_4 показателя преломления, объем V_{4A} третьей кольцевой области 4, который вычисляется между внутренним радиусом R_4 третьей кольцевой области 4 и радиальным расстоянием в 30 мкм, объем V_{4B} третьей кольцевой области 4, который вычисляется от R_4 до 62,5 мкм (то есть до внешнего диаметра волокна). В некоторых вариантах осуществления R_3 равен R_4 . R_5 является внешним радиусом волокна. Кроме того, представлены: теоретическая длина волны отсечки в нанометрах, диаметр модового поля (ДМП) на 1310 нм, эффективная площадь на 1310 нм, хроматическая дисперсия на 1310 нм, наклон дисперсии на 1310 нм, затухание на 1310 нм, диаметр модового поля (ДМП) на 1550 нм, эффективная площадь на 1550 нм, хроматическая дисперсия на 1550 нм, наклон дисперсии на 1550 нм, затухание на 1550 нм, и изгибные потери, наведенные в одном витке диаметром 10 мм, в децибелах на виток на 1550 нм. Эти свойства в таблице 1 получены моделированием.

Свойство	Профиль 1	Профиль 2	Профиль 3	Профиль 4	Профиль 5	Профиль 6	Профиль 7	Профиль 8	Профиль 9
$\Delta_1(\%)$	0,35	0,35	0,38	0,34	0,34	0,37	0,36	0,4	0,35
α_1	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$R_1(\text{мкм})$	4,1	4,1	4,1	4,3	4,3	4	4	4,1	3,9
$\Delta_2(\%)$	0	0	0	0	0	0,035	0,040	0,024	0
$R_2(\text{мкм})$	9,76	9,76	9,76	12,73	12,73	9,8	9	12	8,5
$W(\text{мкм})$	6	7	8	6,5	4,5	6,5	12	5	7
$R_3(\text{мкм})$	15,76	16,76	17,76	19,23	17,23	16,3	21	17	15,5
$\Delta_3(\%)$	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,6	-0,4	-0,2	-1,3	-0,4
$V_3(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	-61,2	-74,3	-88,1	-83,1	-80,9	-67,9	-72	-188,5	-67,2
$R_4(\text{мкм})$	15,76	16,76	17,76	19,23	19,23	16,3	21	17	15,5
$\Delta_4(\%)$	0,05	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
$R_5(\text{мкм})$	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
$V_{4a}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	33	62	88	53	60	63	46	61	66
$V_{4b}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	183	363	539	354	354	364	347	362	367
Теоретическая отсечка (нм)	1074,4	883,1	817,2	904,3	904,3	943,2	923,7	1014,3	840,8
ДМП на 1310 нм (мкм)	8,5	8,8	8,5	9,0	9,0	8,9	9,0	8,7	8,6
$A_{\text{эфф}}$ на 1310 нм (мкм ²)	57,4	60,1	57,4	64,1	64,1	62,0	63,0	59,4	57,1
Дисперсия на 1310 нм (пс/нм/км)	0,07	-0,04	0,07	-0,17	-0,13	-0,08	-0,06	-0,23	0,06
Наклон дисперсии на 1310 нм (пс/нм ² /км)	0,0887	0,0895	0,0887	0,0869	0,0872	0,0912	0,0909	0,0886	0,0912
Затухание на 1310 нм (дБ/км)	0,342	0,341	0,342	0,340	0,340	0,339	0,339	0,341	0,341
ДМП на 1550 нм (мкм)	9,6	9,9	9,6	10,3	10,3	10,1	10,2	9,8	9,6
$A_{\text{эфф}}$ на 1550 нм (мкм ²)	70,7	74,7	70,7	80,5	80,4	77,2	78,7	73,9	70,7
Дисперсия на 1550 нм (пс/нм/км)	17,7	17,8	17,7	17,0	17,1	18,1	18,0	17,4	18,3
Наклон дисперсии на 1550 нм (пс/нм ² /км)	0,0631	0,0641	31,0697	0,0613	0,0619	0,0653	0,0643	0,0635	0,0650
Затухание на 1550 нм (дБ/км)	0,194	0,193	0,194	0,193	0,193	0,192	0,191	0,193	0,193
Изгибные потери (дБ/виток диаметром 10)	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05	<0,1

мм)									
Свойство	Профиль 10	Профиль 11	Профиль 12	Профиль 13	Профиль 14	Профиль 15	Профиль 16	Профиль 17	Профиль 18
5 $\Delta_1(\%)$	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,24	0,28	0,34	0,34
α_1	20	20	20	20	20	20	20	20	20
$R_1(\text{мкм})$	4	4	4	4	4,3	4,3	4,2	4	4
$\Delta_2(\%)$	0	0	0	0	0	-0,1	-0,08	0	0
$R_2(\text{мкм})$	9,8	9,8	10	10	14	14	14	9,5	9,5
$W(\text{мкм})$	5	5	4	4	4	7	4	6	6
10 $R_3(\text{мкм})$	14,8	14,8	14	14	18	21	18	15,5	15,5
$\Delta_3(\%)$	-0,7	-1	-1,3	-1,3	-1,3	-0,4	-1,3	-0,5	-0,5
$V_3(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	-86,1	-123	-124,8	-124,8	-166,4	-98	-166,4	-75	-75
$R_4(\text{мкм})$	14,8	14,8	14	20	18	21	18	15,5	15,5
$\Delta_4(\%)$	0,1	0,2	0,1	0,2	0,1	0	0	0,01	0,03
15 $R_5(\text{мкм})$	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
$V_{4a}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	68	136	70	141	58	46	46	7	20
$V_{4b}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	369	737	371	701	358	347	287	37	110
Теоретическая отсечка (нм)	842,7	592,8	842,7	592,8	904,3	915,2	988,1	1097,0	1035,4
20 ДМП на 1310 нм (мкм)	8,8	8,8	8,8	8,8	9,0	9,1	8,8	8,8	8,8
$A_{\text{эфф}}$ на 1310 нм (мкм ²)	59,9	59,8	59,8	59,8	64,2	65,1	61,5	59,8	59,8
Дисперсия на 1310 нм (пс/нм/км)	-0,15	0,04	0,01	0,01	-0,21	0,24	0,02	-0,14	-0,14
Наклон дисперсии на 1310 нм (пс/нм ² /км)	0,0909	0,0916	0,0917	0,0917	0,0867	0,0856	0,0857	0,0906	0,0906
25 Затухание на 1310 нм (дБ/км)	0,341	0,341	0,341	0,341	0,340	0,340	0,341	0,341	0,341
ДМП на 1550 нм (мкм)	9,9	9,8	9,8	9,8	10,3	10,3	10,0	9,9	9,9
$A_{\text{эфф}}$ на 1550 нм (мкм ²)	74,7	74,1	74,3	74,3	80,7	81,7	77,0	74,6	74,6
Дисперсия на 1550 нм (пс/нм/км)	18,2	18,5	18,6	18,6	16,9	17,1	16,9	18,1	18,1
30 Наклон дисперсии на 1550 нм (пс/нм ² /км)	0,0660	0,0670	0,0673	0,0673	0,0614	0,0595	0,0603	0,0655	0,0655
Затухание на 1550 нм (дБ/км)	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193	0,193
Изгибные потери (дБ/виток диаметром 10 мм)	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,1	<0,1

35 Волокна, перечисленные выше, имеют теоретическую длину волны отсечки, полученную моделированием, ниже 1100 нм. Все эти волокна имеют длину волны отсечки кабеля (при длине кабеля 22 м) ниже 1260 нм. Нижеследующие волокна в таблице 2 были изготовлены с использованием процесса OVD (внешнего химического напыления) изготовления, при этом каждое волокно было вытянуто из предварительно формованных заготовок оптического волокна со скоростью 10 м/с и имеет нанесенные на него стандартные первичное и вторичное покрытия из уретан акрилата. После чего были измерены их свойства.

Параметр	Пример 19	Пример 20	Пример 21	Пример 22	Пример 23	Пример 24	Пример 25	Сравнительный пример 26
$\Delta_1(\%)$	0,37	0,35	0,35	0,34	0,37	0,40	0,40	0,33
$R_1(\text{мкм})$	4,5	4,5	4,5	4,3	4,5	4,2	4,6	4,1
Повышающая примесь в области 1 сердцевинны	GeO2							

	$\Delta_2(\%)$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	$R_2(\text{мкм})$	12	9,5	9,6	9,4	9,3	8	8,3	9,8
	Повышающая примесь во внутренней кольцевой области 2	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет	нет
5	$\Delta_3(\%)$	-0,35	-0,44	-0,40	-0,43	-0,36	-0,48	-0,47	-0,44
	$R_3(\text{мкм})$	20	17,9	17,5	17,7	18,1	15,8	16,5	17,9
	$V_3(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	-73	-87	-78	-87	-67	-79	-76	-90
	$R_4(\text{мкм})$	20	17,9	17,5	17,7	18,1	15,8	16,5	17,9
10	Повышающая примесь в области 3	F	F	F	F	F	F	F	F
	$\Delta_4(\%)$	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00
	$R_5(\text{мкм})$	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
	Повышающая примесь в области 4	GeO2	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	Cl	нет
15	Концентрация повышающей примеси в области 4 (мас.%)	0,65	0,32	0,6	0,25	0,25	0,25	0,32	нет данных
	Объем V_{4A} легированной области от R_4 до 30 мкм ($\% \Delta \cdot \text{мкм}^2$)	15	11	38	8	12	12	17	0
	Затухание на 1550 нм (дБ/км)	0,19	0,191	0,192	0,186	0,186	0,191	0,184	0,184
20	Отсечка при 22 м (нм)	1255	1266	1230	1239	1220	1205	1260	1351
	ДМП на 1310 нм (мкм)	8,98	8,73	8,54	8,67	8,58	8,25	8,39	8,85
	Длина волны нулевой дисперсии	1320	1327	1324	1326	1330	1321	1315	1326
	Наклон дисперсии на 1310 нм (пс/нм ² /км)	0,084	0,086	0,085	0,087	0,086	0,088	0,087	0,087
25	Изгибные потери (дБ/виток), шпиндель диаметром 10 мм	0,06	0,017	0,071	0,043	0,084	0,027	0,044	0,084
	Изгибные потери (дБ/виток), шпиндель диаметром 15 мм	нет данных	0,006	0,032	0,017	0,032	0,012	0,015	0,015
	Изгибные потери (дБ/виток), шпиндель диаметром 20 мм	нет данных	0,003	0,029	0,009	0,028	0,015	0,005	0,013
30	Изгибные потери (дБ/виток), шпиндель диаметром 30 мм	нет данных	0,002	0,010	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001

Как можно видеть из таблиц 1 и 2 выше, а также из таблицы 3 ниже, приведенные здесь примеры иллюстрируют примерные волокна, в которых используются центральная область стеклянной сердцевины, имеющая Δ_1 показателя преломления, первая внутренняя кольцевая область, имеющая Δ_2 показателя преломления, кольцевая область с понижением, имеющая Δ_3 показателя преломления, и третья кольцевая область, имеющая приращение Δ_4 показателя преломления в процентах; где $\Delta_1 > \Delta_4 > \Delta_2 > \Delta_3$, при этом разность между Δ_4 и Δ_2 больше чем или равна 0,01, а абсолютное значение объема профиля, $|V_3|$, составляет, по меньшей мере, $60\% \Delta \text{ мкм}^2$. Эти волокна имеют отсечку кабеля ниже чем 1260 нм (за исключением сравнительного примера 26, в котором не выявлена длина волны отсечки кабеля ниже чем 1260 нм) и изгибные потери ниже чем 0,2 дБ/виток при намотке на шпиндель диаметром 10 мм. Кроме того, эти волокна имеют диаметр модового поля (ДМП) от приблизительно 8,2 до приблизительно 9,5 мкм на 1310 нм, длину волны нулевой дисперсии от 1300 от 1324 нм, наклон дисперсии на 1310 нм меньше 0,09 пс/нм²/км и изгибные потери на 1550 нм в случае намотки на

шпиндель диаметром 10 мм - ниже 0,2 дБ/виток, более предпочтительно, ниже 0,1 дБ/виток, еще более предпочтительно, ниже 0,075 дБ/виток, и наиболее предпочтительно, ниже 0,05 дБ/виток. Кроме того, на 1550 нм в случае намотки на шпиндель диаметром 15 мм эти волокна имеют изгибные потери ниже 0,05 дБ/виток, более предпочтительно, ниже 0,03 дБ/виток, в случае шпинделя диаметром 20 мм - ниже 0,03 дБ/виток, более предпочтительно, ниже 0,01 дБ/виток и в случае шпинделя диаметром 30 мм - ниже 0,01 дБ/виток, более предпочтительно, ниже 0,005 дБ/виток.

Следующие примеры, приведенные в таблице 3 ниже, получены моделированием. Хотя в этих примерах не представлена длина волны нулевой дисперсии, во всех случаях эта длина волны была между 1300 и 1324 нм.

Свойство	Профиль 27	Профиль 28	Профиль 29	Профиль 30	Профиль 31	Профиль 32	Профиль 33	Профиль 34	Профиль 35
$\Delta_1(\%)$	0,32	0,32	0,32	0,32	0,34	0,34	0,36	0,36	0,38
α_1	12	12	12	12	12	12	12	12	12
$R_1(\text{мкм})$	4	4	4,2	4,2	4	4,2	4	4,2	4
$\Delta_2(\%)$	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$R_2(\text{мкм})$	8,7	8,7	9,1	9,1	8,7	9,1	8,7	9,1	8,7
$W(\text{мкм})$	8,6	9,2	8,0	9,0	8,2	7,4	7,9	6,5	7,2
$R_3(\text{мкм})$	17,3	17,9	17,2	18,1	16,9	16,5	16,6	15,6	15,9
$\Delta_3(\%)$	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45	-0,45
$V_3(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	-100	-110	-95	-110	-95	-85	-90	-72	-80
$R_4(\text{мкм})$	17,3	17,9	17,2	18,1	16,9	16,5	16,6	15,6	15,9
$\Delta_4(\%)$	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
$R_5(\text{мкм})$	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5	62,5
$V_{4a}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	12,0	11,6	12,1	22,9	12,3	12,6	12,5	13,1	12,9
$V_{4b}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	72,2	71,7	72,2	143,1	72,4	72,7	72,6	73,3	73,1
Отсечка кабеля (нм)	1206	1234	1245	1255	1226	1253	1246	1252	1250
ДМП на 1310 нм (мкм)	8,84	8,84	8,99	8,99	8,66	8,81	8,51	8,66	8,36
Изгибные потери (дБ/виток диаметром 10 мм) на 1550 нм	0,09	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07	0,04	0,1	0,05

Свойство	Профиль 36	Профиль 37	Профиль 38
$\Delta_1(\%)$	0,38	0,4	0,4
α_1	12	12	12
$R_1(\text{мкм})$	4,2	4	4,2
$\Delta_2(\%)$	0	0	0
$R_2(\text{мкм})$	9,1	8,7	9,1
$W(\text{мкм})$	5,7	6,5	4,8
$R_3(\text{мкм})$	14,9	15,2	13,9
$\Delta_3(\%)$	-0,45	-0,45	-0,45
$V_3(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	-62	-70	-50
$R_4(\text{мкм})$	14,9	15,2	13,9
$\Delta_4(\%)$	0,02	0,02	0,02
$R_5(\text{мкм})$	62,5	62,5	62,5
$V_{4a}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	13,6	13,4	14,1
$V_{4b}(\% \Delta \cdot \text{мкм}^2)$	73,7	73,5	74,2
Отсечка кабеля (нм)	1259	1255	1258
ДМП на 1310 нм (мкм)	8,51	8,23	8,38

Изгибные потери (дБ/виток диаметром 10 мм) на 1550 нм	0,12	0,06	0,17
---	------	------	------

Пример 39

5 Было изготовлено оптическое волокно, которое имеет такой же общий профиль показателя преломления, как показан на фиг.1, то есть волокно, содержащее центральную область 1 сердцевины из оксида кремния, легированного GeO_2 , со ступенчатым показателем преломления, имеющую $+0,36\% \Delta_1$, $R_1=4,5$ мкм, вторую внутреннюю кольцевую область 2, состоящую из нелегированного оксида кремния, имеющую нулевое приращение Δ_2 показателя преломления, $R_2=10$ мкм, область 3 с понижением, $R_3=13$ мкм, содержащую оксид кремния, легированный фтором (0,6 мас. %), с пустотами, образованными газообразным криптоном, начинающуюся от радиуса приблизительно 10 мкм и имеющую радиальную ширину (R_3-R_2), равную 3 мкм. Третья

10 кольцевая область 4 была образована из оксида кремния, легированного хлором (легирование хлором из парообразной фазы осуществлялось во время затвердевания сажи, напыленной посредством OVD), при этом формировалась внешняя область 4 оболочки, легированная повышающей примесью, имеющая $+0,02\% \Delta_4$, $R_4=62,5$ мкм, с объемом V_{4A} повышающей примеси, от внешнего диаметра 13 мкм до радиуса 30 мкм

15 волокна, приблизительно $15\% \Delta$ мкм². В поперечном сечении торцевой поверхности волокна в сканирующем электронном микроскопе (SEM) была видна сердцевина из $\text{GeO}_2\text{-SiO}_2$ радиусом приблизительно 4,5 мкм, окруженная близкой к оболочке областью с внешним радиусом 10 мкм, свободной от пустот, окруженной областью оболочки (кольцом толщиной приблизительно 3 мкм) с внешним радиусом 13 мкм, содержавшей

20 пустоты, которая была окружена внешней оболочкой из чистого оксида кремния, свободной от пустот, имевшей внешний диаметр приблизительно 125 мкм (все радиальные размеры измерялись от центра оптического волокна). В кольцевой области, содержавшей пустоты, приблизительно 6% площади было занято дырками (100% криптона по объему), и на этой площади были дырки со средним диаметром 0,17 мкм, наименьшим диаметром 0,03 мкм и максимальным диаметром 0,45 мкм, что давало в

25 сумме 400 дырок в поперечном сечении волокна. Общая площадь в процентах пустот в волокне (площадь дырок, деленная на общую площадь поперечного сечения оптического волокна, умноженная на 100) была приблизительно 0,1%. Это волокно было вытянуто из предварительно формованной заготовки со скоростью 10 м/с и имело

30 стандартные первичное и вторичное покрытия из уретан акрилата. Свойства этого волокна были следующими: затухание на 1550 нм было 0,204 дБ/км; длина волны отсечки 22-метрового волокна составляла 1250 нм; на 1310 нм диаметр модового поля составлял 8,51 мкм; изгибные потери на 1550 нм в случае шпинделя диаметром 10 мм составляли 0,004 дБ/виток, изгибные потери на 1550 нм в случае шпинделя диаметром

35 15 мм составляли 0,004 дБ/виток; изгибные потери на 1550 нм в случае шпинделя диаметром 20 мм составляли 0,000 дБ/виток; изгибные потери на 1550 нм в случае шпинделя диаметром 30 мм составляли 0,000 дБ/виток; длина волны нулевой дисперсии (нулевой лямбды) была 1317 нм, наклон дисперсии при нулевой лямбде 0,090 пс/нм²/км.

40 Свойства этого волокна свидетельствуют, что оно соответствует G.652 и имеет превосходные изгибные потери.

Пример 40 (сравнительный)

Было изготовлено волокно, аналогичное оптическому волокну из примера 27,

содержащее пустоты, но без внешней оболочки, и оно имело на 1310 нм диаметр модового поля 8,41 мкм, отсечку 1355 нм при длине 22 м, изгибные потери на 1550 нм в случае диаметра шпинделя 10 мм были 0,015 дБ/виток, изгибные потери на 1550 нм в случае шпинделя диаметром 15 мм были 0,009 дБ/виток; изгибные потери на 1550 нм в случае шпинделя диаметром 20 мм были 0,000 дБ/виток; изгибные потери на 1550 нм в случае диаметра шпинделя 30 мм были 0,000 дБ/виток; длина волны нулевой дисперсии (нулевой лямбды) составляла 1317 нм, наклон дисперсии при нулевой лямбде 0,090 пс/нм²/км. Это волокно не соответствовало стандартам G.652 в части отсечки при длине 22 м. Результаты показывают, что волокно с повышающей примесью (из примера 27) имело длину волны отсечки на 105 нм ниже при сохранении аналогичных характеристик диаметра модового поля и изгиба.

Должно быть понятно, что приведенное выше описание является только примером и предназначено для предоставления общего описания, необходимого для понимания основных свойств и характерных особенностей волокон, которые определяются формулой изобретения. Сопровождающий чертеж включен в заявку для обеспечения лучшего понимания предпочтительных вариантов осуществления и составляет ее неотъемлемую часть. Чертеж иллюстрирует различные признаки и варианты осуществления, которые совместно с их описанием служат для пояснения их принципов и работы. Для специалистов в данной области должно быть очевидным, что в предпочтительных вариантах осуществления, описанных в заявке, могут быть сделаны различные модификации без отступления от сущности или объема прилагаемой формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Оптическое волокно, содержащее:

центральную область стеклянной сердцевины, имеющую максимальное приращение Δ_1 показателя преломления в процентах, первую внутреннюю кольцевую область, окружающую упомянутую сердцевину, имеющую приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, кольцевую область с понижением, окружающую упомянутую внутреннюю кольцевую область и имеющую Δ_3 , и третью кольцевую область, окружающую кольцевую область с понижением, имеющую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах; где $\Delta_{1\text{макс}} > \Delta_4 > \Delta_2 > \Delta_3$, при этом разность между Δ_4 и между Δ_2 больше чем или равна 0,01, а объем V_3 профиля равен:

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

при этом $|V_3|$ составляет по меньшей мере 60% Δ мкм² и упомянутое волокно имеет отсечку кабеля ниже 1260 нм.

2. Оптическое волокно по п.1, причем упомянутое волокно имеет изгибные потери ниже чем 0,2 дБ/виток при намотке на шпиндель диаметром 10 мм.

3. Оптическое волокно по п.1, в котором разность между Δ_4 и Δ_2 больше чем 0,05.

4. Оптическое волокно по п.1, в котором объем V_4 третьей кольцевой области 4, при вычислении от внутреннего радиуса кольцевой области 4 до радиального расстояния в 30 мкм от осевой линии волокна, составляет больше чем 5% Δ мкм².

5. Оптическое волокно по п.2, в котором объем V_4 третьей кольцевой области 4, при

вычислении от внутреннего радиуса кольцевой области 4 до радиального расстояния в 30 мкм от осевой линии волокна, составляет больше чем $5\% \Delta$ мкм².

6. Оптическое волокно по п.1, в котором разность между Δ_4 и Δ_2 составляет от приблизительно 0,01 до приблизительно 0,05.

7. Оптическое волокно по п.1, причем упомянутое волокно имеет нулевую дисперсию на длине волны между 1300 и 1324 нм.

8. Оптическое волокно по п.1, причем упомянутое волокно имеет диаметр модового поля на 1310 нм от приблизительно 8,2 до приблизительно 9,5.

9. Оптическое волокно по п.1, причем упомянутое волокно имеет объем $|V_3|$ профиля по меньшей мере $70\% \Delta$ мкм².

10. Оптическое волокно по п.9, причем упомянутое волокно имеет изгибные потери на длине волны 1550 нм ниже чем 0,1 дБ/виток на шпинделе диаметром 10 мм.

11. Оптическое волокно по п.1, причем упомянутое волокно имеет изгибные потери на длине волны 1550 нм ниже чем 0,1 дБ/виток на шпинделе диаметром 10 мм.

12. Оптическое волокно по п.9, причем упомянутое волокно имеет отсечку 22-метрового кабеля ниже чем 1260 нм.

13. Оптическое волокно по п.1, причем упомянутое волокно имеет отсечку 22-метрового кабеля ниже чем 1260 нм.

14. Оптическое волокно по п.1, в котором Δ_4 третьей кольцевой области больше чем 0,01%.

15. Оптическое волокно по п.13, в котором третья кольцевая область содержит Si в количестве, большем чем 2000 промилле.

16. Оптическое волокно по п.1, в котором третья кольцевая область продолжается, по меньшей мере, до точки, где оптическая мощность, которая должна передаваться через оптическое волокно, превышает или равна 90% оптической мощности, передаваемой по волокну.

17. Оптическое волокно, содержащее центральную область стеклянной сердцевины, имеющую максимальное приращение Δ_1 показателя преломления в процентах, первую внутреннюю кольцевую область, окружающую упомянутую сердцевину, имеющую приращение Δ_2 показателя преломления в процентах, кольцевую область с понижением, окружающую упомянутую внутреннюю кольцевую область и имеющую Δ_3 , и третью кольцевую область, окружающую кольцевую область с понижением, имеющую приращение Δ_4 показателя преломления в процентах; при этом упомянутая кольцевая область с понижением имеет объем V_3 профиля, равный:

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

в котором центральная область стеклянной сердцевины имеет максимальное приращение Δ_1 показателя преломления в процентах и радиус r_1 , достаточный, чтобы приводить к диаметру модового поля большему чем 8,2, и в котором величина разности между Δ_4 и Δ_2 и величина $|V_3|$ являются достаточно большими, чтобы приводить к отсечке 22-метрового кабеля ниже чем 1260 нм и изгибным потерям на длине волны 1550 нм ниже чем 0,2 дБ/виток на шпинделе диаметром 10 мм.

18. Оптическое волокно по п.17, дополнительно имеющее изгибные потери ниже, чем 0,1 дБ/виток на шпинделе диаметром 10 мм.

19. Оптическое волокно по п.17, в котором объем V_4 третьей кольцевой области 4, при вычислении от внутреннего радиуса кольцевой области 4 до радиального расстояния в 30 мкм от осевой линии волокна, превышает $5\% \Delta$ мкм².

5 20. Оптическое волокно по п.18, в котором объем V_4 третьей кольцевой области 4, при вычислении от внутреннего радиуса кольцевой области 4 до радиального расстояния в 30 мкм от осевой линии волокна, превышает $5\% \Delta$ мкм².

10

15

20

25

30

35

40

45