



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 152 632** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) МПК⁷ **G 02 B 6/22**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21), (22) Заявка: 95118114/28, 13.10.1995
(24) Дата начала действия патента: 13.10.1995
(30) Приоритет: 17.10.1994 US 08/323,795
(46) Дата публикации: 10.07.2000
(56) Ссылки: US 4715679 A, 29.12.1987. US 4852968 A, 01.08.1989. US 4755022 A, 05.07.1988. SU 556401 A, 13.09.1977. EP 0283719 A1, 28.09.1988.
(98) Адрес для переписки:
193036, Санкт-Петербург, а/я 24, НЕВИНПАТ, Поликарпову А.В.

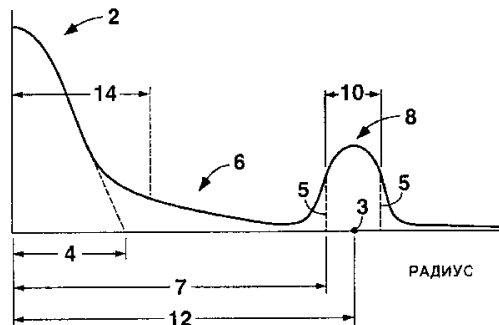
(71) Заявитель:
КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)
(72) Изобретатель: Гэллэхер Дэниэл Эрвин (US), Ноулан Дэниэл Элойзьюс (US), Смит Дэйвид Кинни (US), Уоткинз Грэнт П. (US), Тоулер Джеймс Ричард (US)
(73) Патентообладатель:
КОРНИНГ ИНКОРПОРЕЙТЕД (US)

(54) **ОДНОМОДОВОЕ ОПТИЧЕСКОЕ ВОЛНОВОДНОЕ ВОЛОКНО (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Оптическое волокно используется в системах связи с высокой скоростью передачи данных, одноканальных или с уплотнением по длинам волн, в состав которых могут входить оптические усилители. Сердцевина волокна имеет две или три области, в которых показатель преломления может изменяться. Относительные размеры областей также могут варьироваться. Путем выбора этих переменных были получены заданные диаметр поля моды, длина волны нулевой дисперсии, крутизна дисперсии и длина волны отсечки. Оптические характеристики выбраны так, чтобы ограничить нелинейные явления при низком затухании и приемлемых характеристиках в отношении изгиба. Низкие остаточные напряжения в волноводе без покрытия вместе

с системой двойного покрытия, имеющей подобранные модули упругости и температуры стеклования, приводят к низкой поляризационной модовой дисперсии. 3 с. и 10 з.п.ф.-лы, 7 ил., 2 табл.



Фиг. 1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 152 632** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.⁷ **G 02 B 6/22**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 95118114/28, 13.10.1995
(24) Effective date for property rights: 13.10.1995
(30) Priority: 17.10.1994 US 08/323,795
(46) Date of publication: 10.07.2000
(98) Mail address:
193036, Sankt-Peterburg, a/ja 24, NEVINPAT,
Polikarpovu A.V.

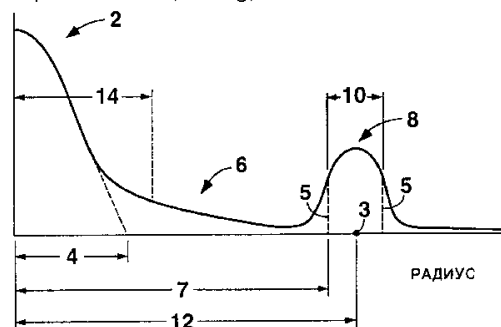
(71) Applicant:
KORNING INKORPOREJTED (US)
(72) Inventor: Gehllekhher Dehniehl Ehrvin (US),
Noulan Dehniehl Ehlojz'jus (US), Smit Dehvid
Kinni (US), Uotkinz Grehnt P. (US), Toular
Dzhejmz Richard (US)
(73) Proprietor:
KORNING INKORPOREJTED (US)

(54) **SINGLE-MODE OPTICAL WAVEGUIDE FIBER**

(57) Abstract:

FIELD: high-speed data transmission communication equipment, which has single channel or uses wavelength compression and may comprise optical amplifiers. SUBSTANCE: fiber core has two or three regions, in which refraction index may change. Relative sizes of regions also may change. Specific choice of these parameters provides given mode field diameter, zero dispersion wavelength, dispersion steepness, and unloaded wavelength. Choice of optical characteristics provides clipping of non-linear distortion at low attenuation and tolerant characteristics with respect to bending. In addition device has low residual tension in waveguide and provides double coating system, which has adjusted

coefficients of elasticity and glass transition. EFFECT: decreased non-linear effects, decreased polarization mode dispersion. 13 cl, 7 dwg, 2 tbl



Фиг. 1

Изобретение относится к световодному волокну, предназначенному для систем дальней связи с высокой скоростью передачи данных. Кроме того, световодное волокно предназначено для систем дальней связи с высокой скоростью передачи, которые используют по меньшей мере один оптический усилитель.

Для систем связи, использующих лазеры с высокой мощностью излучения, передатчики и приемники с высокой скоростью передачи данных и технику уплотнения по длинам волн, требуются световодные волокна, имеющие крайне низкую, но не нулевую полную поляризационную модовую дисперсию. Кроме того, световодное волокно должно обладать характеристиками, существенно устраняющими такие нелинейные явления как фазовая автомодуляция и четырехволновое смешение. Фазовая автомодуляция может быть ограничена путем снижения плотности мощности. Четырехволновое смешение устраняется работой в диапазоне длин волн, где дисперсия не является нулевой.

Еще одним требованием является совместимость оптического волновода с системами дальней связи, в состав которых входят оптические усилители.

Чтобы получить оптический волновод с характеристиками, необходимыми для таких сложных систем, было смоделировано и испытано большое количество профилей распределения показателя преломления. Конструкция с составной сердцевинной, рассмотренная в патенте США N 4715679, предоставляет гибкость, удовлетворяющую требованиям новых систем, и в то же время обеспечивает выполнение таких основных требований как низкое затухание, жесткие допуски на размеры, приемлемая стойкость к изгибам и высокая прочность на растяжение. Кроме того, некоторые конструкции с составной сердцевинной сравнительно просты в изготовлении и благодаря этому обеспечивают улучшенные рабочие характеристики оптических волноводов без чрезмерного увеличения стоимости.

Если перевести эти требования в область параметров оптического волновода, то оптический волновод, пригодный для систем связи с высокой скоростью передачи и уплотнением по длинам волн и совместимый с системами, использующими оптические усилители, характеризуется следующим:

- диаметр поля моды достаточно большой с целью ограничения фазовой автомодуляции,

- низкие остаточные напряжения и строгое соблюдение круглой формы и соосности сердцевинной и оболочки, а также однородности покрытия, что необходимо для ограничения поляризационной модовой дисперсии,

- модуль упругости и температура стеклования покрытия выбраны так, чтобы ограничить двойное лучепреломление, вызываемое внешними напряжениями;

- абсолютное значение полной дисперсии в диапазоне уплотнения по длинам волн достаточно большое с целью предотвращения четырехволнового смешения, но в то же время достаточно низкое для того, чтобы ограничить потери по мощности из-за дисперсии, и

- абсолютное значение полной дисперсии и длина волны нулевой дисперсии совместимы с работой в области длин волн, соответствующей пику усиления оптического усилителя.

Определения

Следующие определения соответствуют обычно используемым в данной области техники.

- Радиусы областей сердцевинной определяются по показателю преломления. Отдельная область начинается в первой точке, в которой показатель преломления принимает значение, соответствующее этой области, и заканчивается в последней точке, где показатель преломления имеет это значение. Радиус соответствует этому определению, если иное не будет оговорено в тексте.

- Параметр Δ представляет собой меру относительной разницы показателей преломления, определяемую уравнением

$$\Delta = 100 \cdot (n_r^2 - n_c^2) / 2n_r^2,$$

где n_r - максимальный показатель преломления в области 1, а n_c - показатель преломления в области оболочки.

- Термин α -профиль относится к профилю распределения показателя преломления, выраженному через $\Delta(r)$, согласно уравнению

$$\Delta(r) = \Delta(r_0) \{1 - [(r - r_0) / (r_1 - r_0)]^\alpha\},$$

где r находится в интервале $r_0 \leq r \leq r_1$, Δ определено выше, а α - показатель степени, который определяет форму профиля.

- Объем профиля определяется как интеграл от $r = r_i$ до $r = r_j$ величины $[(\Delta(r)) (r dr)]$.

Настоящее изобретение удовлетворяет изложенным выше требованиям к оптическому волноводу, предназначенному для использования в системах связи с высокой скоростью передачи данных, которые могут содержать устройства уплотнения по длинам волн и оптические усилители.

Данное изобретение касается особого, имеющего исключительные свойства вида профилей, описанных в патенте США N 4715679, включенном в данное описание в качестве ссылки.

Согласно первому аспекту изобретения предложено одномодовое оптическое (волноводное) волокно, предназначенное для систем с высокой скоростью передачи данных или с уплотнением по длинам волн, в состав которых могут входить оптические усилители. Волновод имеет область сердцевинной и окружающий ее слой оболочки с показателем преломления n_c . Область сердцевинной включает центральную область, имеющую максимальный показатель преломления n_0 , первую кольцевую область, смежную с центральной областью и имеющую максимальный показатель преломления n_1 , и вторую кольцевую область с максимальным показателем преломления n_2 , при этом $n_0 > n_2 > n_1$. Волокно в соответствии с изобретением отличается следующим:

- объемом профиля от центра до переходного радиуса - внутренним объемом профиля,

- объемом профиля от переходного радиуса до конца сердцевинной - внешним объемом профиля, и

- отношением внешнего объема профиля к внутреннему. Внутренний объем профиля, внешний объем профиля и отношение внешнего объема профиля к внутреннему находятся в интервалах приблизительно от 2,70 до 3,95 единиц, от 1,10 до 7,20 единиц и от 0,30 до 2,35 соответственно. Единицами являются $\% \Delta \cdot \text{мкм}^2$. Чтобы сохранить прочность световодного волокна и практически изолировать волновод от внешних способных вызвать двойное лучепреломление сил и тем самым ограничить поляризационную модовую дисперсию, волновод имеет двухслойное покрытие. Двухслойное покрытие содержит внутренний слой, имеющий модуль упругости приблизительно в интервале от 1,0 до 3,0 МПа и температуру стеклования не выше чем примерно -10°C . Известно несколько покрытий, как, например, силикон, которые имеют температуру стеклования не выше -180°C . Известны также акрилатовые покрытия с температурой стеклования в диапазоне от -30 до -40°C . Для внутреннего слоя предпочтительна более низкая температура стеклования.

Внешний слой имеет модуль упругости больше 400 МПа. В общем случае более высокие значения модуля упругости внешнего слоя обеспечивают лучшую защиту от абразивного износа, прободения и изгибов из-за внешних сил. Однако с учетом таких практических соображений, как возможность снятия покрытия, стойкость к трещинам и ударная вязкость, верхний предел предполагаемого модуля упругости принимается равным около 1600 МПа. Температура стеклования внешнего слоя покрытия менее критична, чем внутреннего покрытия. Температура стеклования внешнего слоя покрытия может достигать до 60°C и выше.

Переходный радиус находится из зависимости распределения мощности сигнала при изменении его длины волны. В пространстве внутреннего объема мощность сигнала уменьшается, когда длина волны возрастает. В пространстве внешнего объема мощность сигнала увеличивается, когда длина волны возрастает. Для приводимых здесь профилей переходный радиус составляет около 2,8 мкм.

В варианте выполнения предлагаемого оптического волновода центральная область сердцевины характеризуется α -профилем распределения показателя преломления. В частном случае значение α равно по меньшей мере 1. Для профиля с $\alpha = 1$ предпочтительно ограничить отношения " a_0/a " и " a_1/a ", где " a_0 " - радиус центральной области сердцевины, " a_1 " - внутренний радиус второго кольца и " a " - радиус границы между сердцевиной и оболочкой. Предпочтительные значения для отношения " a_0/a " не превышают 0,4, а для " a_1/a " составляют около 0,9.

Также были подробно исследованы профили, имеющие значения α , равные 2 и бесконечности. Равное бесконечности значение α означает, что профиль распределения показателя преломления является постоянным. Практически профиль является постоянным при α , большем приблизительно четырех.

Согласно второму аспекту изобретения области сердцевины и оболочки определены так же, как указано выше для первого аспекта, центральная область сердцевины имеет α -профиль, а первая кольцевая область имеет постоянный профиль. Как и в первом аспекте изобретения, максимальные показатели преломления в каждой области имеют относительные значения $n_0 > n_2 > n_1$. Внутренний и внешний объем профиля и отношение внешнего объема к внутреннему такие же, как и для первого аспекта изобретения.

В варианте выполнения оптического волновода согласно второму аспекту изобретения центральная область сердцевины имеет $\alpha = 2$, $\% \Delta$ в диапазоне приблизительно от 0,80 до 0,95 и радиус в диапазоне примерно от 2,4 до 2,8 мкм. Первая кольцевая область имеет $\% \Delta$ не более чем примерно 0,1. Вторая кольцевая область имеет $\% \Delta$ в диапазоне примерно от 0,1 до 0,5, радиус, измеренный до середины второй кольцевой области, в диапазоне примерно от 4,25 до 5,75 мкм и ширину, измеренную по уровню 0,5 от $\% \Delta$, примерно от 0,4 до 2 мкм. Соответствующие внутренний объем профиля, внешний объем профиля и отношение внешнего объема профиля к внутреннему находятся в пределах примерно от 2,75 до 3,70, от 1,55 до 6,85 и от 0,55 до 2,00.

В еще одном варианте осуществления изобретения согласно его второму аспекту центральная область сердцевины имеет α , равное бесконечности, то есть в сущности постоянный профиль в этой области, $\% \Delta$ в диапазоне приблизительно от 0,75 до 1,05 и радиус в диапазоне примерно от 1,4 до 2,2 мкм. Первая кольцевая область имеет $\% \Delta$ не более чем примерно 0,2 и радиус в диапазоне примерно от 3,25 до 5,55 мкм. Вторая кольцевая область имеет $\% \Delta$ в диапазоне примерно от 0,1 до 0,5 и ширину, измеренную по уровню 0,5 от $\% \Delta$, примерно от 0,4 до 2 мкм. Соответствующие внутренний объем профиля, внешний объем профиля и отношение внешнего объема профиля к внутреннему находятся в пределах примерно от 1,38 до 1,84, от 0,77 до 3,41 и от 0,56 до 1,99.

Согласно третьему аспекту изобретения предложено одномодовое оптическое волноводное волокно, имеющее центральную область сердцевины, первую и вторую кольцевые области и слой оболочки, как указано в первом аспекте изобретения. Внутренний объем профиля, внешний объем профиля и отношение внешнего объема профиля к внутреннему находятся соответственно в диапазонах примерно от 2,70 до 3,95 единиц, от 1,10 до 7,20 единиц и от 0,30 до 2,35. Оптическое волокно имеет средний диаметр поля моды около 8,4 мкм, длину волны нулевой дисперсии в диапазоне примерно от 1560 до 1575 нм, крутизну дисперсии не более чем приблизительно 0,09 $\text{пс}/\text{нм}^2 \cdot \text{км}$ и поляризационную модовую дисперсию не более чем около 0,15 $\text{пс}/\text{км}^{1/2}$.

Согласно четвертому аспекту изобретения предложено одномодовое оптическое волокно с центральной областью с максимальным показателем преломления n_0 и соседней

кольцевой областью, имеющей внешний радиус в диапазоне приблизительно от 4 до 7 мкм и по существу постоянный показатель Δ , не больший, чем приблизительно 0,16. Световодное волокно имеет средний диаметр модового поля около 8,4 мкм, длину волны нулевой дисперсии в диапазоне примерно от 1560 до 1575 мкм, крутизну дисперсии не более чем приблизительно $0,09 \text{ пс/нм}^2 \cdot \text{км}^{1/2}$ и поляризационную модовую дисперсию не более чем примерно $0,15 \text{ пс/км}^{1/2}$.

В предпочтительном варианте осуществления этого четвертого аспекта изобретения центральная область сердцевины имеет α -профиль, у которого α равно по меньшей мере 1.

Фиг. 1 представляет собой график, поясняющий профиль распределения показателя преломления в соответствии с изобретением, на котором показаны три области составной сердцевины.

Фиг. 2 представляет собой вид с торца предлагаемого световодного волокна, на котором видны центральная область сердцевины, окружающие ее слои стекла и наружные полимерные слои.

Фиг. 3 иллюстрирует вариант осуществления изобретения, в котором центральная область сердцевины имеет α -профиль распределения показателя преломления с $\alpha=1$.

Фиг. 4 иллюстрирует вариант осуществления изобретения, в котором центральная часть сердцевины имеет α -профиль показателя преломления с $\alpha=2$.

Фиг. 5 иллюстрирует вариант осуществления изобретения, в которой центральная область сердцевины имеет α -профиль распределения показателя преломления с α , равным бесконечности, то есть профиль в центральной области по существу постоянный.

На фиг. 6 показан профиль распределения показателя преломления, использованный в модели для расчетов характеристик волновода.

На фиг. 7 показан специальный сложный профиль, у которого $n_1 = n_2$.

Указанные выше характеристики световодного волокна, пригодного для систем связи с высокими рабочими характеристиками, можно резюмировать следующим образом:

- среднее значение диаметра поля моды равно по меньшей мере 8,4 мкм, чтобы ограничить плотность мощности в волноводе и тем самым значительно уменьшить фазовую автомодуляцию;

- длина волны нулевой дисперсии находится в диапазоне приблизительно от 1560 до 1575 нм, что в сочетании с крутизной дисперсии ниже примерно $0,09 \text{ пс/нм} \cdot \text{км}$ позволяет осуществить уплотнение по длинам волн с полной дисперсией, достаточной для предотвращения четырехволнового смешения, однако полная дисперсия в пределах максимума усиления оптического усилителя достаточно мала, чтобы получить практически одинаковое отношение сигнал/шум в усиленных сигналах с уплотнением по длинам волн;

- достаточно жесткие геометрические допуски для ограничения поляризационной модовой дисперсии,

- система покрытия имеет внутренний слой с низким модулем упругости и внешний слой с высоким модулем упругости, чтобы предотвратить возникновение напряжений в волокне под действием внешних сил, результатом чего является асимметричное изменение профиля распределения показателя преломления и повышение поляризационной модовой дисперсии. Рассматриваемые здесь модули упругости измерены на пленочных образцах.

Показанная на фиг.1 конструкция составной сердцевины обладает достаточной гибкостью для того, чтобы удовлетворить этому набору требований. Концепция составной сердцевины подробно описана в патенте США N 4715679, на который выше была сделана ссылка. Изобретение касается определения ряда профилей составной сердцевины, которые удовлетворяют требованиям со стороны систем связи с высокими рабочими характеристиками. Кроме того, эти требования выполняются без увеличения затухания при обеспечении сравнительно низких остаточных внутренних напряжений в волноводе и приемлемых характеристик изгибов.

Три области сердцевины, у которых профиль распределения показателя преломления можно регулировать, обозначены позициями 2, 6 и 8 на фиг. 1. В каждой области форма профиля распределения показателя преломления может принимать общий вид в зависимости от радиального положения. Радиальная длина каждой области также может быть изменена. В качестве примера радиус центральной области сердцевины показан как отрезок 4. В данном случае, а также для всех моделируемых случаев, радиус центральной области сердцевины измеряется от осевой линии до пересечения экстраполированного профиля центральной области с осью x.

Первая кольцевая область 6 ограничена радиусом 4 и радиусом 7, который доходит до вертикальной линии 5, проведенной из точки, соответствующей половине показателя преломления второй кольцевой области. Характеристический радиус второй кольцевой области 8 выбран как отрезок 12, который проходит от центра сердцевины до средней точки 3 основания области 8. Это определение для радиуса второй кольцевой области используется во всех моделируемых случаях. Удобной мерой профиля для симметричных профилей является ширина 10 между вертикальными линиями 5. Положения линий 5 зависят от точек половины максимума Δ показателя преломления. Это определение для ширины второй кольцевой области используется во всех моделируемых случаях.

Переходный радиус показан на фиг. 1 как отрезок 14. Объем профиля в единицах $\Delta \cdot \text{мкм}^2$ внутри переходного радиуса является внутренним объемом профиля. Объем профиля вне переходного радиуса представляет собой внешний объем профиля. Отношение внешнего объема к внутреннему является мерой распределения относительной мощности при данной длине волны и, таким образом, мерой эффекта

данного изменения профиля показателя преломления.

Число профилей, которое может быть практически получено при использовании показанной на фиг. 1 сердцевины с тремя областями, практически равно бесконечности. Таким образом, была разработана модель для определения таких профилей, которые соответствуют указанным выше требованиям. Эта модель использует уравнения и концепции, известные в данной области техники.

Для каждого моделируемого профиля распределения показателя преломления, который описывается функцией $n(r)$, где n - показатель преломления, а r - радиус, были найдены численные решения волнового уравнения. Решения были найдены на нескольких длинах волн. Решения дают постоянные распространения и амплитуды интенсивности поля, из которых оптические характеристики волновода могут быть вычислены по опубликованным формулам. См. например: "Optical Waveguide Theory", A. W. Snyder and J.D. Love, Chapman and Hall, London and New York, 1983, и "Physical Interpretation of Petermann's Strange Spot Size", C. Pask, Electronic Letters, vol. 20, No.3, February, 1984.

В использованной здесь для расчетов модели измеренная длина волны отсечки была определена как 93% рассчитанной длины волны отсечки. Зависимость от длины волны показателя преломления диоксида кремния, легированного германием, была взята из публикации "Refractive Index Dispersion of Doped Fused Silica", S. Kobayshi et al. Conference Publication from IOOC, 1977, paper B8-3.

Исследованные профили были простого вида, с двумя и тремя областями, чтобы удовлетворить дополнительным требованиям простоты изготовления и ограниченных остаточных напряжений в световодном волокне.

Фиг. 2 представляет собой поперечное сечение предлагаемого световодного волокна, на котором показаны центральная область 16 сердцевины, первая кольцевая область 18 сердцевины и вторая кольцевая область 20 сердцевины. Последним стеклянным слоем является слой оболочки 22. Первый и второй полимерные слои обозначены 24 и 25 соответственно. Они выполнены из материала, производимого фирмой DSM Desotech Incorporated, 1122 St. Charles Street, Illinois.

Показанный на фиг. 3 профиль, выполненный в соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, имеет треугольный профиль центральной области 26 (α -профиль с $\alpha=1$) и практически симметричную вторую кольцевую область 27 сердцевины, имеющую профиль в общем трапециевидальной формы. Область 27 альтернативно показана как скругленная, так как процесс изготовления и диффузии легирующей примеси имеет тенденцию к сглаживанию резких переходов в ее концентрации. Первая кольцевая область 29 может иметь плоский профиль, как показано штриховой линией, или профиль, слегка скругленный в середине или по обоим концам. Для задач моделирования профиль в области 29 был принят практически плоским и

имеющим $\% \Delta$ в диапазоне от 0,0 до 0,10.

Согласно другому варианту осуществления изобретения центральная область сердцевины имеет α -профиль 28 с $\alpha=2$, как показано на фиг. 4. Первая и вторая кольцевые области на фиг. 4 в сущности одинаковы с соответствующими областями на фиг. 3.

Фиг. 5 поясняет вариант выполнения предлагаемого профиля, в котором центральная область сердцевины фактически является ступенью 30. Первая и вторая кольцевые области по существу такие же, как показанные на фиг. 3, за исключением того, что пределы $\% \Delta$ в первой кольцевой области находятся в диапазоне от 0,0 до 0,20.

В табл. 1 приведены диапазоны соответствующих переменных профиля, которые дают волноводы, имеющие указанные выше требуемые свойства. Было установлено, что переменные профиля каждого волновода, который имеет требуемые свойства, находятся в диапазонах, приведенных в таблице. Однако было также установлено, что только около 30% профилей, определяемых приведенными в таблице диапазонами, обеспечивают необходимые свойства волноводов.

То есть приведенные в табл. 1 диапазоны являются необходимыми, но не достаточным условием для переменных величин профиля.

Пример 1. Результаты моделирования для центральной области сердцевины с треугольным профилем распределения показателя преломления.

В модель для расчета характеристик волновода были введены следующие параметры профиля:

Максимальный $\% \Delta$ центральной области сердцевины - 0,87%;

Максимальный $\% \Delta$ первой кольцевой области - 0,01%;

Максимальный $\% \Delta$ второй кольцевой области - 0,3%;

Радиус центральной области сердцевины (до пересечения экстраполированного профиля распределения показателя преломления с осью X) - 3 мкм;

Радиус второй кольцевой области (измеренный до центра основания кольцевой области) - 5,5 мкм;

Ширина второй кольцевой области (измеренная по уровню 0,5 от значения профиля распределения показателя преломления) - 0,9 мкм.

Профиль, соответствующий данному примеру, показан на фиг. 6. В соответствии с определениями, данными при рассмотрении фиг. 1, показаны радиус 34 центральной области сердцевины и радиус 40 второй кольцевой области. Первая кольцевая область имеет практически постоянный профиль распределения показателя преломления. Профиль распределения показателя преломления второй кольцевой области имеет трапециевидальную форму. Модель учитывает диффузию легирующей примеси наружу из волновода вдоль осевой линии путем включения области 32 в качестве части центральной области сердцевины.

Вычисленные характеристики волновода:

Длина волны нулевой дисперсии - 1564 нм;

Крутизна дисперсии - 0,080 пс/нм²•км;

Диаметр поля моды - 8,43 мкм;
Длина волны отсечки - 1137 нм.

Вычисленные внутренний объем профиля, внешний объем профиля и отношение внешнего объема профиля к внутреннему равны 1,60 единиц, 1,58 единиц и 0,99 соответственно.

Вычисленные характеристики хорошо соответствовали перечисленным выше требованиям систем с высокими рабочими характеристиками.

В процессе вычислений характеристик волновода по моделям профиля распределения показателя преломления было установлено, что 120 профилей, имеющих центральную область сердцевин с треугольным профилем, 65 профилей, имеющих центральную область сердцевин с $\alpha = 2$, и 23 профиля, имеющих ступенчатую центральную область сердцевин, удовлетворяют техническим требованиям систем с высокими рабочими характеристиками.

Был смоделирован профиль, который имел общую форму, одинаковую с показанной на фиг. 6. Максимальный % Δ сердцевин составлял 0,79%, максимальный % Δ второй кольцевой области - 0,44%, % Δ первой кольцевой области - 0,0%, радиус центральной области сердцевин - 3,44 мкм, радиус второй кольцевой области, измеренный до центра кольцевой области, - 7,5 мкм, и ширина второй кольцевой области - 0,93 мкм. Этот профиль дал следующие характеристики:

Диаметр поля моды - 8,5 мкм;
Длина волны нулевой дисперсии - 1565 нм;

Крутизна дисперсии - 0,065 пс/нм²•км;
Длина волны отсечки - 1525 нм;
Внутренний объем профиля - 1,78 единиц;
Внешний объем профиля - 3,29 единиц и
Отношение внешнего объема к внутреннему - 1,85.

Вычисленные характеристики волновода точно соответствуют заданным.

Пример 2. Результаты изготовления

Было изготовлено много километров световодного волокна фактически в соответствии с фиг. 6. Провал показателя преломления в центре сечения был приблизительно таким же, как на моделированном профиле, а переходные зоны между центральной областью сердцевин и первой кольцевой областью, первой и второй кольцевыми областями, а также второй кольцевой областью и слоем оболочки были скруглены вследствие диффузии легирующей примеси из области с высокой концентрацией в область с низкой концентрацией.

Полученное в результате волокно имело:
средний максимальный % Δ - 0,814;
средний максимальный % Δ для второй кольцевой области - 0,289;
среднее отношение a_0/a - 0,39 и
среднее отношение a_1/a - 0,89.

Центральная область сердцевин имела α -профиль с α около 1, % Δ первой кольцевой области был меньше, чем примерно 0,1.

Были измерены следующие средние характеристики волновода:

Диаметр поля моды - 8,45 мкм;

Длина волны нулевой дисперсии - 1563 нм;

Крутизна дисперсии - 0,076 пс/нм²•км;

Длина волны отсечки - 1200 нм.

Типичное затухание составляло менее 0,21 дБ/км, типичное значение поляризационной модовой дисперсии было меньше, чем 0,15 пс/км^{1/2}. Эти значения с хорошим запасом располагались в пределах заданных диапазонов для характеристик оптических волноводов, предназначенных для систем с высокими рабочими характеристиками.

На фиг. 7 показан профиль, имеющий одну кольцевую область. Центральная область 44 сердцевин может иметь профиль общего характера или α -профиль с α не менее 1. Кольцевая область 46 является по существу плоской и имеет радиус 48 не больше, чем примерно 7 мкм. В табл. 2 приведены диапазоны параметров, исследованные для трех профилей с одной кольцевой областью.

Хотя модель показывает, что приемлемые изделия могут быть получены при использовании обоих профилей, показанных на фиг. 6 или 7, в настоящее время производство сосредоточивает свое внимание на профиле, показанном на фиг. 6. При использовании этого профиля были продемонстрированы превосходная воспроизводимость и легкость производства.

Хотя выше описаны лишь конкретные варианты осуществления изобретения, они не ограничивают его объема, определенного формулой изобретения.

Формула изобретения:

1. Одномодовое оптическое волноводное волокно, содержащее область сердцевин, включающую центральную область, имеющую максимальный показатель преломления n_0 , первую кольцевую область, смежную с центральной областью и имеющую максимальный показатель преломления n_1 , и вторую кольцевую область, смежную с первой кольцевой областью и имеющую максимальный показатель преломления n_2 , причем $n_0 > n_2 > n_1$, и слой оболочки, окружающей область сердцевин и имеющий показатель преломления n_c , причем $n_2 > n_c$, отличающееся тем, что указанная область сердцевин имеет внутренний и внешний объемы профиля, внутренний объем профиля находится в диапазоне от 2,70 до 3,95 единиц, внешний объем профиля - в диапазоне от 1,10 до 7,20 единиц и отношение внешнего объема профиля к внутреннему - в диапазоне от 0,30 до 2,35, причем объем профиля определяется как интеграл от функции $[(\% \Delta(r))(rdr)]$, где r - расстояние по радиусу от оси волокна;

% $\Delta(r)$ - значение функции $100 \cdot (n_r^2 - n_c^2)/2n_r^2$, соответствующее радиусу r , n_r - показатель преломления, соответствующий радиусу r , n_c определенно выше, внутренний объем профиля является объемом профиля внутри переходного радиуса, а внешний объем профиля - объемом профиля вне переходного радиуса, где переходный радиус является радиусом, при котором происходит переход от уменьшения распространяющейся мощности с увеличением длины волны к ее увеличению с увеличением длины волны, а

указанные единицы представляют собой $\% \Delta \cdot \text{мкм}^2$, при этом указанное волноводное волокно имеет средний диаметр поля моды по меньшей мере 8,4 мкм, длину волны нулевой дисперсии в диапазоне от 1560 до 1575 нм, крутизну дисперсии не более чем $0,09 \text{ пс/нм}^2 \cdot \text{км}$ и поляризационную модовую дисперсию не более чем $0,15 \text{ пс/км}^{1/2}$.

2. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.1, отличающееся тем, что оно имеет первый слой полимерного покрытия, смежный со слоем оболочки и имеющий модуль упругости в диапазоне от 1,0 до 3 МПа и температуру стеклования ниже чем -10°C , и второй слой полимерного покрытия, смежный с указанным первым слоем покрытия и имеющий модуль упругости не менее чем 400 МПа.

3. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.2, отличающееся тем, что температура стеклования упомянутого внутреннего слоя покрытия составляет около -35°C .

4. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.3, отличающееся тем, что модуль упругости упомянутого наружного слоя покрытия составляет не более чем 1600 МПа.

5. Одномодовое оптическое волноводное волокно по любому из пп.1 - 4, отличающееся тем, что зависимость между показателем преломления и радиальным положением в центральной области сердцевины представляет собой α -профиль.

6. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.5, отличающееся тем, что α -профиль имеет значение α , равно 1, сердцевина имеет радиус a , центральная область сердцевины имеет радиус a_0 , а вторая кольцевая область имеет внутренний радиус a_1 , причем отношение a_0/a не превышает 0,4 и a_1/a составляет около 0,9.

7. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.5, отличающееся тем, что α -профиль имеет значение α , равное 2.

8. Одномодовое оптическое волноводное волокно по любому из пп.1 - 4, отличающееся тем, что показатель преломления центральной области является, по существу, постоянным.

9. Одномодовое оптическое волноводное волокно, содержащее область сердцевины, включающую центральную область, имеющую максимальный показатель преломления n_0 , первую кольцевую область, смежную с центральной областью и имеющую максимальный показатель преломления n_1 , и вторую кольцевую область, смежную с первой кольцевой областью и имеющую максимальный показатель преломления n_2 , причем $n_0 > n_2 > n_1$, и слой оболочки, окружающий область сердцевины и имеющий показатель преломления n_c , причем $n_2 > n_c$, отличающееся тем, что область сердцевины имеет внутренний и внешний объемы профиля, внутренний объем профиля находится в диапазоне от 2,70 до 3,95 единиц, внешний объем профиля - в диапазоне от 1,10 до 7,20 единиц и отношение внешнего объема профиля к внутреннему - в диапазоне от 0,30 до 2,35, причем объем профиля определяется как интеграл от функции $[(\% \Delta(r))(rdr)]$, где r -

расстояние по радиусу от оси волокна, $\% \Delta(r)$ - значение функции $100 \cdot (n_r^2 - n_c^2)/2n_r^2$, соответствующее радиусу r , n_r - показатель преломления, соответствующий радиусу r , n_c определено выше, внутренний объем профиля является объемом профиля внутри переходного радиуса, а внешний объем профиля - объемом профиля вне переходного радиуса, где переходной радиус является радиусом, при котором происходит переход от уменьшения распространяющейся мощности с увеличением длины волны к ее увеличению с увеличением длины волны, а указанные единицы представляют собой $\% \Delta \cdot \text{мкм}^2$, при этом указанное волноводное волокно имеет средний диаметр поля моды по меньшей мере 8,4 мкм, длину волны нулевой дисперсии в диапазоне от 1560 до 1575 нм, крутизну дисперсии не более чем $0,09 \text{ пс/нм}^2 \cdot \text{км}$ и поляризационную модовую дисперсию не более чем $0,15 \text{ пс/км}^{1/2}$.

10. Одномодовое оптическое волноводное волокно, содержащее область сердцевины, включающую центральную область, имеющую максимальный показатель преломления n_0 , и кольцевую область, смежную с центральной областью, и слой оболочки, окружающий область сердцевины и имеющий показатель преломления n_c , отличающееся тем, что указанная кольцевая область имеет внешний радиус a_1 в диапазоне от 4 до 7 мкм и, по существу, постоянный показатель преломления n_1 при величине $\% \Delta$ не более чем 0,16, причем $n_1 > n_c$, а указанное волноводное волокно имеет средний диаметр поля моды по меньшей мере 8,4 мкм, длину волны нулевой дисперсии в диапазоне от 1560 до 1575 нм, крутизну дисперсии не более чем $0,09 \text{ пс/нм}^2 \cdot \text{км}$ и поляризационную модовую дисперсию не более чем $0,15 \text{ пс/км}^{1/2}$.

11. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.9 или 10, отличающееся тем, что зависимость между показателем преломления и радиальным положением в центральной области сердцевины представляет собой α -профиль, у которого α равно по меньшей мере 1.

12. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.9 или 10, отличающееся тем, что указанная центральная область имеет α -профиль, у которого α больше 1, первая кольцевая область имеет, по существу, постоянный профиль распределения показателя преломления, а указанная область сердцевины имеет внутренний и внешний объемы профиля, причем внутренний объем профиля находится в диапазоне от 2,70 до 3,80 единиц, внешний объем профиля - в диапазоне от 1,10 до 6,90 единиц и отношение внешнего объема профиля к внутреннему - в диапазоне от 0,30 до 2,20.

13. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.12, отличающееся тем, что а) центральная область имеет α около 2, $\% \Delta$ в диапазоне от 0,80 до 0,95 и радиус в диапазоне от 2,4 до 2,8 мкм, первая кольцевая область имеет $\% \Delta$ не более чем 0,1, вторая кольцевая область имеет $\% \Delta$ в диапазоне от 0,1 до 0,5, радиус, измеренный до центра второй кольцевой области, - в

диапазоне от 4,25 до 6,25 мкм и ширину, измеренную на уровне 0,5 от $\% \Delta$, от 0,4 до 2 мкм, а соответствующие внутренний объем профиля, внешний объем профиля и отношение внешнего объема профиля к внутреннему находятся в диапазонах от 2,70 до 3,80, от 1,10 до 6,90 и от 0,30 до 2,20, или б) центральная область сердцевины имеет α , равный бесконечности, $\% \Delta$ в диапазоне от 0,75 до 1,05 и радиус в диапазоне от 1,4 до 2,2 мкм, первая

5
10

кольцевая область имеет $\% \Delta$ не более чем 0,2, вторая кольцевая область имеет $\% \Delta$ в диапазоне от 0,1 до 0,5, радиус, измеренный до центра второй кольцевой области, - в диапазоне от 4,25 до 5,75 мкм и ширину, измеренную на уровне 0,5 от $\% \Delta$, от 0,4 до 2 мкм, а соответствующие внутренний объем профиля, внешний объем профиля и отношение внешнего объема профиля к внутреннему находятся в диапазонах от 2,75 до 3,70, от 1,55 до 6,85 и от 0,55 до 2,00.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

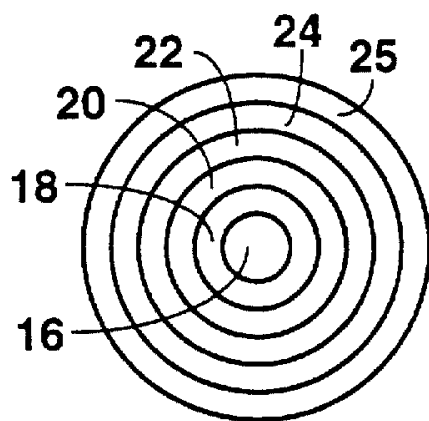
60

Таблица 1

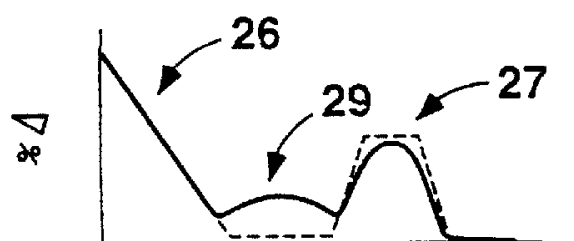
	Профиль для центральной области сердцевины		
	треугольный	$\alpha=2$	ступенчатый
Максимальный % Δ центральной обл. сердцевины	0,77-1,00	0,80-0,95	0,75-1,05
Максимальный % Δ первой кольцевой области	0,00-0,1	0,0-0,1	0,0-0,2
Максимальный % Δ второй кольцевой области	0,1-0,5	0,1-0,5	0,1-0,5
Радиус центральной области сердцевины (мкм)	2,6-3,4	2,4-2,8	1,4-2,2
Радиус второй кольцевой области (мкм)	4,25-7,25	4,25-6,25	4,25-5,75
Ширина второй кольцевой области (мкм)	0,4-2,0	0,4-2,0	0,4-2,0
Внутренний объем профиля	2,76-3,92	2,70-3,80	2,76-3,68
Внешний объем профиля	1,47-7,19	1,10-6,86	1,54-6,82
Отношение внешнего объема к внутреннему	0,51-2,33	0,33-2,17	0,56-1,99

Таблица 2

	Профиль для центральной части сердцевины		
	треугольный	$\alpha = 2$	ступенчатый
% Δ центральной области сердцевины	1,02-1,10	0,90-1,10	0,75
% Δ первой кольцевой области	0,08-0,12	0,08-0,16	0,08-0,12
Радиус центральной области сердцевины (мкм)	2,4-2,6	1,8-2,4	1,8-2,0
Радиус кольцевой области (мкм)	5,0-8,0	4,0-8,0	4,0-8,0
Внутренний объем профиля	2,98-3,38	2,74-3,48	2,84-3,18
Внешний объем профиля	1,34-6,62	0,96-6,62	0,96-4,42
Отношение внешнего объема к внутреннему	0,45-2,19	0,33-2,15	0,34-1,39

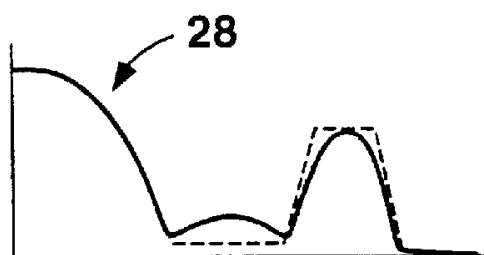


Фиг.2



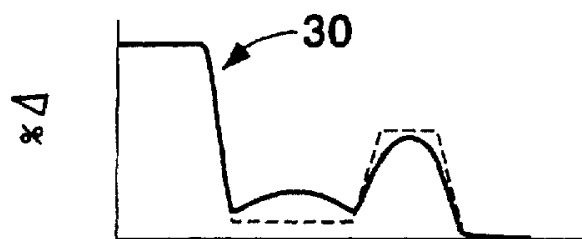
РАДИУС

Фиг.3



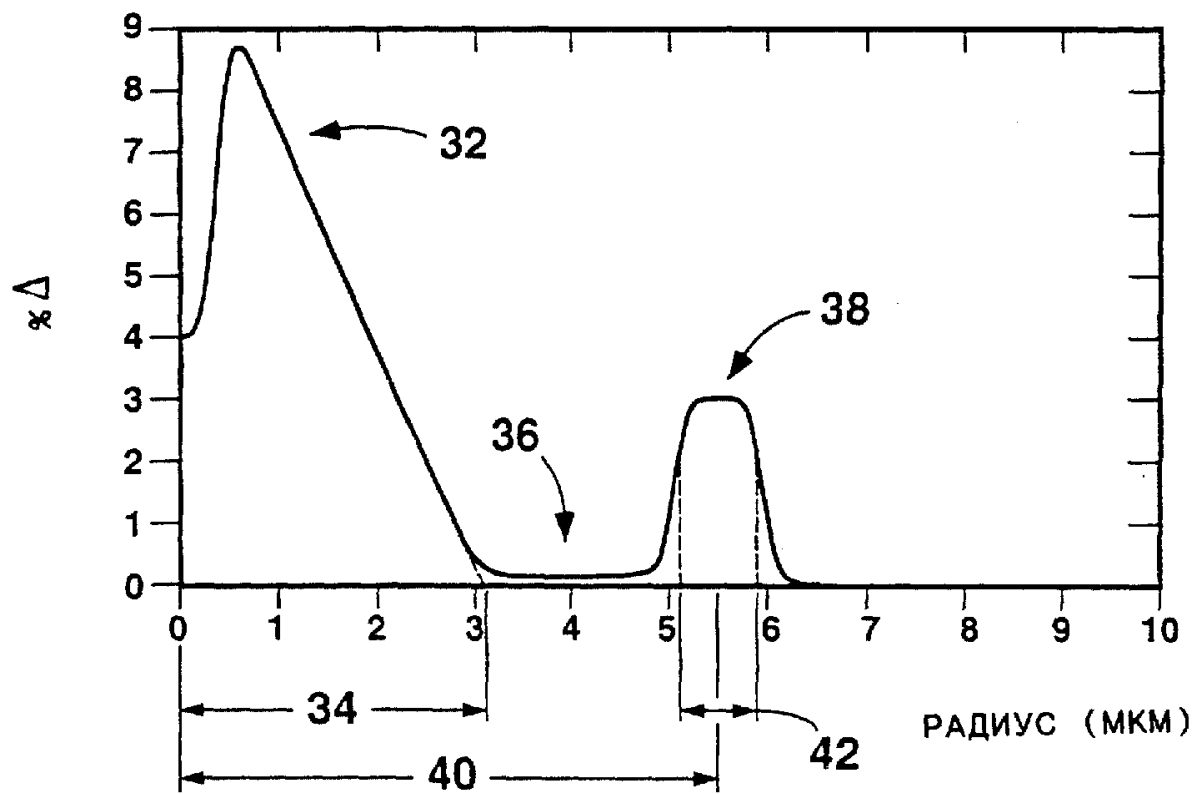
РАДИУС

Фиг.4

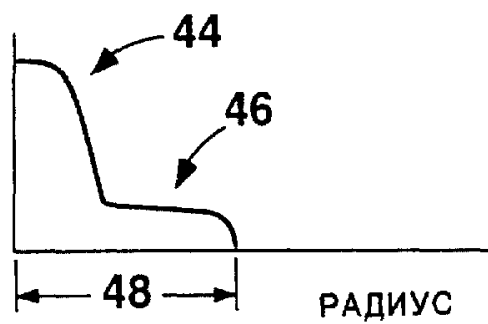


РАДИУС

Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7