



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 166 782** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) МПК⁷ **G 02 B 6/22**

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

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

(21), (22) Заявка: 96123578/28, 14.12.1996

(24) Дата начала действия патента: 14.12.1996

(30) Приоритет: 15.12.1995 US 08/573,472

(43) Дата публикации заявки: 10.02.1999

(46) Дата публикации: 10.05.2001

(56) Ссылки: US 4715679 A, 29.12.1987. US 5191631 A, 02.03.1994. JP 07230015 A, 29.08.1995. SU 556461 A, 13.09.1977.

(98) Адрес для переписки:
193036, Санкт-Петербург, а/я 24, НЕВИНПАТ,
Поликарпову А.В.

(71) Заявитель:
Корнинг Инкорпорейтед (US)

(72) Изобретатель: ЛЬЮ Янминг (US)

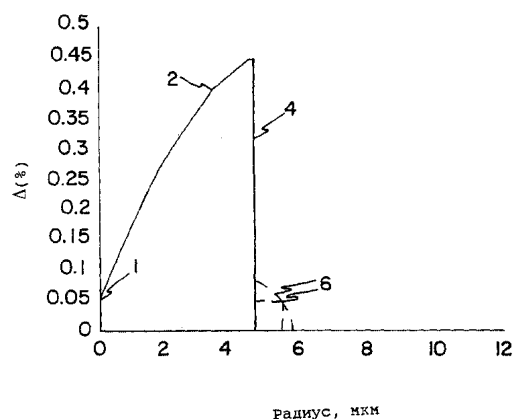
(73) Патентообладатель:
Корнинг Инкорпорейтед (US)

(74) Патентный поверенный:
Поликарпов Александр Викторович

(54) **ОДНОМОДОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ВОЛНОВОД С БОЛЬШОЙ ЭФФЕКТИВНОЙ ПЛОЩАДЬЮ (ВАРИАНТЫ)**

(57)

Одномодовое оптическое волноводное волокно имеет сниженные нелинейные эффекты в рабочем окне на длинах волн 1300 нм и 1550 нм. Примерами профилей показателя преломления области сердцевины, которые обеспечивают требуемые характеристики, являются усовершенствованный профиль со ступенчатым изменением показателя преломления и профили, имеющие максимум $\Delta\%$ на расстоянии от центральной оси волокна. 3 с. и 7 з.п.ф-лы, 4 ил., 2 табл.



Фиг.1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 166 782** ⁽¹³⁾ **C2**
(51) Int. Cl.⁷ **G 02 B 6/22**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

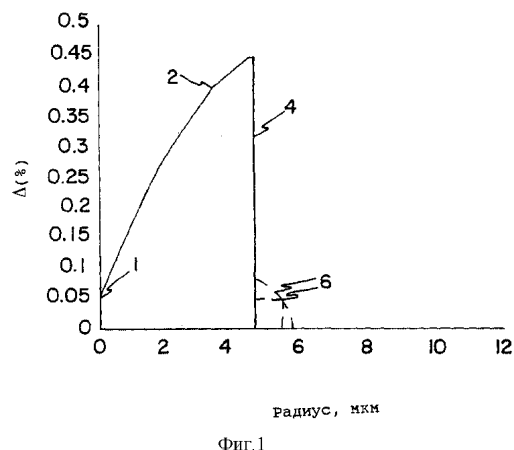
(21), (22) Application: 96123578/28, 14.12.1996
(24) Effective date for property rights: 14.12.1996
(30) Priority: 15.12.1995 US 08/573,472
(43) Application published: 10.02.1999
(46) Date of publication: 10.05.2001
(98) Mail address:
193036, Sankt-Peterburg, a/ja 24, NEVINPAT,
Polikarpov A.V.

(71) Applicant:
Korning Inkorporejtd (US)
(72) Inventor: L'Ju Janming (US)
(73) Proprietor:
Korning Inkorporejtd (US)
(74) Representative:
Polikarpov Aleksandr Viktorovich

(54) SINGLE-MODE OPTICAL WAVEGUIDE WITH LARGE EFFECTIVE AREA (VERSIONS)

(57) Abstract:

FIELD: radio engineering. SUBSTANCE: single-mode optical waveguide with large effective area has decreased nonlinear effects in working window on wave lengths 1300 and 1550 nm. Examples of profiles of refractive index of region of core which ensure required characteristics is improved profile with stepped change of refractive index and profiles having maximum $\Delta\%$ at distance from central axis of fiber. EFFECT: improved functional characteristics of waveguide. 10 cl, 4 dwg, 2 tbl



Изобретение относится к одномодовому оптическому волноводному волокну с большой эффективной площадью $A_{эфф}$ для применения в области связи. В частности, изобретение относится к одномодовому оптическому волноводному волокну с большой эффективной площадью для рабочего окна как на длине волны 1300 нм, так и 1550 нм.

В одномодовом волноводе с большой эффективной площадью меньше проявляются нелинейные оптические эффекты, в том числе фазовая автомодуляция, четырехволновое смешение, перекрестная фазовая модуляция и процессы нелинейного рассеяния. В случае четырехволнового смешения важным является также положение длины волны нулевой дисперсии. Каждый из этих эффектов вызывает искажение сигнала в системах большой мощности.

Процессы рассеяния, которые искажают сигнал, в общем виде описываются уравнением, содержащим член $\exp(sP/A_{эфф})$, где s - постоянная, P - мощность сигнала. Другие нелинейные эффекты описываются уравнениями, которые включают отношение $P/A_{эфф}$ в качестве множителя. Таким образом, увеличение $A_{эфф}$ вызывает уменьшение вклада нелинейных эффектов в искажение светового сигнала.

Требование индустрии связи по увеличению объема информации, передаваемого на большие расстояния без использования регенераторов, привело к переоценке подхода к разработке профилей показателя преломления одномодовых волокон. Сущность этой переоценки заключается в том, чтобы создать оптические волноводы, которые:

- уменьшают нелинейные эффекты, указанные выше,
- совместимы с оптическими усилителями и

- сохраняют требуемые характеристики оптических волноводов, в частности, малое затухание, высокую прочность, усталостную прочность и устойчивость к изгибу. Эта разработка предназначалась для диапазонов длин волн, которые включают рабочее окно на длине волны 1550 нм. Однако, так как многие надежные приборы, включая лазеры, оптические усилители, приемники, передатчики и регенераторы, разработаны для использования на длине волны около 1300 нм, то необходимо уменьшить нелинейные эффекты и на этой более короткой рабочей длине волны.

Таким образом, для рабочих окон на длинах волн около 1300 нм и 1550 нм имеется потребность в одномодовом оптическом волноводном волокне с большой эффективной площадью.

Предшествующие разработки, такие как описанные в заявке на патент США N 08/378780, включают некоторые основные концепции конструкции сердцевин, состоящей из нескольких участков, впервые описанной в патенте США N 4715679. Для класса конструкций сердцевин, описанного в вышеуказанной заявке США N 08/378780, были созданы волноводы с большей эффективной площадью. В этой заявке была описана конкретная конструкция, включающая по меньшей мере одну область сердцевин, имеющую минимальный показатель

преломления, меньший показателя преломления оболочки.

Кроме того, в заявке на патент США N 08/287262 описаны конкретные признаки семейства профилей показателя преломления, у которых максимальный показатель преломления расположен на расстоянии от центральной оси волноводного волокна.

Новые описанные здесь профили показателя преломления являются, однако, другими вариантами профилей из патента США N 4715679. Основополагающая концепция сердцевин, состоящей из нескольких участков, достаточно универсальна для создания новых конструкций сердцевин согласно данному изобретению, которые разработаны с целью ограничения нелинейных эффектов для рабочего окна как на длине волны 1300 нм, так и 1550 нм.

Определения

Эффективная площадь равна

$$A_{эфф} = 2\pi \left(\int_0^{\infty} E^2 r dr \right)^2 / \left(\int_0^{\infty} E^4 r dr \right),$$

где пределы интегрирования от 0 до ∞ и E - напряженность электрического поля световой волны.

Эффективный диаметр $D_{эфф}$ может быть определен, как

$$D_{эфф} = 2(A_{эфф} / \pi)^{1/2}.$$

- Площадь поля моды $A_{mf} = \pi (D_{mf}/2)^2$, где D_{mf} - диаметр поля моды, измеренный по II методу Петермана, где $2w = D_{mf}$ и

$$w^2 = \left(2 \int_0^{\infty} E^2 r dr / \int_0^{\infty} [dE/dr]^2 r dr \right),$$

пределы интегрирования от 0 до ∞ .

- Ширина участка профиля показателя преломления равна расстоянию между двумя вертикальными линиями, проведенными от начальной и конечной точек профиля показателя преломления до горизонтальной оси графика зависимости показателя преломления от радиуса.

- Коэффициент $\Delta\%$ (относительный показатель преломления) равен $\Delta\% = [(n_1^2 - n_c^2) / 2n_1^2] \cdot 100$, где n_1 - показатель преломления сердцевин и n_c - показатель преломления оболочки. Если не указано иное, то n_1 равен максимальному показателю преломления области сердцевин, характеризуемой параметром $\Delta\%$.

- Профиль показателя преломления обычно имеет соответствующий эффективный профиль показателя преломления, который имеет другую форму. Эффективный профиль показателя преломления может быть использован вместо соответствующего ему профиля показателя преломления без изменения режима работы волновода, см. работу "Single Mode Fiber Optics, Marcel Dekker Inc., Luc B. Jeunhomme, 1990, p. 32, section 1.3.2".

- Работоспособность при изгибе определяется по стандартному тесту, в котором измеряют затухание, вызванное намоткой волноводного волокна на катушку. В стандартом тесте определяются параметры волноводного волокна, имеющего один виток вокруг катушки диаметром 32 мм и сто витков вокруг катушки диаметром 75 мм.

Максимально допустимое затухание, вызванное изгибом, обычно определяется для рабочего окна на длине волны около 1300 нм и около 1550 нм.

- Альтернативным тестом на изгиб является тест на изгиб с помощью расположенных в ряд стержней, который используется для определения относительной устойчивости волноводного волокна к изгибу. Чтобы выполнить этот тест, измеряют затухание в волноводном волокне по существу без изгибов. Затем волноводное волокно вставляется в ряд стержней и снова измеряется затухание. Потери, вызванные изгибами, равны разнице между двумя измеренными значениями затухания. Ряд стержней является набором из 10 цилиндрических стержней, расположенных в один ряд и закрепленных в вертикальном положении на плоской поверхности. Расстояние между стержнями равно 5 мм, от центра до центра. Диаметр стержня равен 0,67 мм. Во время испытания прикладывается достаточное усилие, чтобы заставить волноводное волокно повторить форму части поверхности стержней.

- Термин "острый минимум" относится к части профиля показателя преломления, который имеет V-образную или узкую U-образную форму. Острый минимум равен наименьшей величине показателя преломления части профиля показателя преломления.

- Термин "широкий минимум" относится к части профиля показателя преломления, который имеет широкую U-образную или L-образную форму. Широкий минимум является линией, проходящей через наименьшие значения части профиля показателя преломления.

Первым объектом изобретения является одномодовое оптическое волноводное волокно, имеющее профиль показателя преломления сердцевин, максимальный показатель преломления у которого расположен на расстоянии от продольной центральной оси волновода. Профиль показателя преломления имеет острый минимум около центральной оси волновода и симметричен относительно центральной оси. Слой оболочки окружает сердцевину и завершает волноводную структуру. По меньшей мере одна часть профиля показателя преломления сердцевин имеет значения показателя преломления больше максимального показателя преломления оболочки, чтобы обеспечить распространение светового сигнала.

В варианте выполнения этого первого объекта изобретения часть профиля показателя преломления между острым минимумом и максимумом показателя преломления является непрерывной кривой. В предпочтительном варианте непрерывная кривая является монотонной. Способы компенсации диффузии легирующей примеси из центра заготовки, такие как регулирование уровня легирования на стадии осаждения или контроль среды, окружающей заготовку из сажи, на стадии отверждения, известны из литературы.

Параметры семейства волноводных профилей для первого объекта изобретения следующие:

- радиус сердцевин в диапазоне

примерно от 4-7 мкм,

- максимум $\Delta\%$ в диапазоне примерно 0,35-0,55%,

- острый минимум $\Delta\%$ менее примерно 0,20%.

5 Это семейство волноводов имеет следующие характеристики:

- длина волны нулевой дисперсии λ_0 около 1300 нм,

10 - $D_{эфф}$ более диаметра поля моды в диапазоне λ примерно 1530 - 1565 нм.

Другим объектом изобретения является одномодовое оптическое волноводное волокно, в котором первый и второй участок расположены симметрично относительно центральной оси волновода. Протяженность каждого участка определяется радиусом, проведенным от центральной оси до крайней точки участка. Каждому участку соответствует $\Delta\%$. Слой оболочки окружает сердцевину и имеет максимальный показатель преломления n_c . По меньшей мере одна часть профиля показателя преломления одного из участков имеет показатель преломления больше n_c . По меньшей мере один участок имеет широкий минимум. Это семейство новых профилей показателя преломления дает возможность получить волноводное волокно, имеющее $A_{эфф}$ на длине волны 1300 нм более 90 мкм² и на длине волны 1550 нм более 110 мкм². λ_0 равно примерно 1300 нм.

30 В предпочтительном варианте выполнения этого второго объекта изобретения первый участок сердцевин по существу имеет постоянное значение показателя преломления, равное n_1 . Второй участок имеет максимальный показатель преломления n_2 , причем $n_2 > n_1$.

В наиболее предпочтительном варианте выполнения второго объекта изобретения второй участок профиля показателя преломления имеет трапецеидальную форму. Внешний радиус первого участка, имеющего по существу постоянный показатель преломления, находится в диапазоне примерно 1,5 - 1,9 мкм, а n_1 по существу равен n_c . Внешний радиус второго участка сердцевин находится в диапазоне 3,8 - 5 мкм. Этот второй участок имеет относительный показатель преломления $\Delta_2\%$ в диапазоне примерно 0,25% - 0,45%.

Третьим объектом изобретения является одномодовое оптическое волноводное волокно, имеющее ступенчатый профиль показателя преломления с показателем преломления n_0 , относительный показатель преломления $\Delta_1\%$ и радиус r_1 . Максимальный показатель преломления окружающего слоя оболочки равен n_c , причем $n_0 > n_c$. Относительный показатель преломления $\Delta_1\%$ находится в диапазоне около 0,25-0,30%, а радиус r_1 - примерно от 5,5 - 6 мкм. $A_{эфф}$ на длине волны 1300 нм и 1550 нм равна 90 мкм² и 110 мкм² соответственно. λ_0 равна примерно 1300 нм.

На фиг.1 изображен график, показывающий профиль показателя преломления, имеющий острый минимум.

На фиг. 2 изображен график, показывающий альтернативные профили показателя преломления, имеющие острый

минимум.

На фиг. 3 изображен график, показывающий профиль показателя преломления в виде трапецеидального кольца, расположенного на расстоянии от оси волновода, и альтернативные варианты.

На фиг. 4 изображен вариант выполнения нового профиля показателя преломления ступенчатого типа.

Преимуществами двух рабочих окон, то есть двух диапазонов длин волн сигнала, отличающихся на несколько сотен нанометров, являются следующие:

- система может работать в одном окне до тех пор, пока требуемая скорость передачи информации не будет оправдывать использования второго рабочего окна,

- второе окно может работать как резервное для линий связи, требующих по существу безаварийной работы, и

- второе окно может использоваться в случае переполнения первого окна в системах с большой разностью между пиковой и средней потребностью в скорости передачи данных.

Настоящее изобретение предлагает волноводное волокно с двойным окном, дополнительным свойством которого является то, что для него минимальны нелинейные эффекты, которые могут возникнуть в системах большой мощности, системах с уплотнением по длинам волн или в системах, включающих оптические усилители. Новые волноводные волокна согласно данной заявке имеют большую эффективную площадь в окнах как на 1300 нм, так и на 1550 нм. Первый вариант выполнения нового профиля сердцевинного волновода изображен на фиг. 1. Относительный показатель преломления 1 около центральной оси мал, обычно меньше 0,20%. Уровень легирования увеличивается с радиусом, как показывает кривая 2, до достижения максимального значения Δ %. Конечная часть 4 профиля показателя преломления представляет резкий спад Δ % до нуля. Есть несколько эквивалентных профилей показателя преломления, в которых кривая 4 может быть изменена без значительного воздействия на свойства волноводного волокна. Например, кривая 4 может быть наклонена наружу, чтобы увеличить радиус примерно на микрон, или соединение кривых 4 и 2 может быть закругленным. Кроме того, могут быть выполнены небольшие дополнения к профилю показателя преломления, как показывают кривые 6, без значительного изменения свойств волноводного волокна. Таким образом, на фиг. 1 и фиг. 2 представлено семейство профилей показателя преломления, которые обеспечивают большую эффективную площадь на длине волны 1300 нм. Кривые 8 на фиг. 2 показывают несколько разновидностей нового семейства профилей показателя преломления. Кривые 10 изображают разные виды отклонений от предлагаемого профиля показателя преломления, все еще обеспечивающие требуемые свойства волноводного волокна.

Дополнительным преимуществом профилей показателя преломления на фиг. 1 и 2 является то, что интегральный уровень легирования у них ниже по сравнению со стандартным профилем со ступенчатым

изменением показателя преломления. Следовательно, затухание, которое зависит от количества легирующей примеси, в новом волноводном волокне будет меньше.

Пример. Свойства волновода с профилем, имеющим острый минимум

Для профилей показателя преломления, показанных непрерывной линией на фиг. 1, вычислены по компьютерной модели следующие характеристики: $\lambda_0 = 1298$ нм;

диаметр поля моды равен 10,91 мкм; $D_{эфф} = 11,22$ мкм; $A_{эфф} = 98,9$ мкм²; критическая длина волны равна 1480 нм и интегральный уровень GeO_2 равен 2,58.

Отметим, что $D_{эфф}$ больше диаметра поля моды и $A_{эфф}$ почти на 25% больше, чем у стандартного волокна со ступенчатым изменением показателя преломления.

Для сравнения, волокно со ступенчатым изменением показателя преломления, имеющее радиус как на фиг. 1 и $\Delta = 0,36\%$, имеет следующие характеристики: $\lambda_0 = 1309$ нм, диаметр поля моды равен 10,1 мкм; $D_{эфф} = 9,97$ мкм; $A_{эфф} = 78$ мкм², критическая длина волны равна 1324 нм и интегральный уровень GeO_2 равен 2,8. Эффективная площадь намного меньше и длина волны нулевой дисперсии λ_0 находится

в рабочем окне, что нежелательно для систем с уплотнением по длинам волн. Увеличение интегрального уровня GeO_2 у стандартного ступенчатого профиля показателя преломления на 9% приведет к увеличению затухания в волноводе вследствие рэлеевского рассеяния. Как большая эффективная площадь, так и меньшее затухание у новых профилей показателя преломления волноводного волокна уменьшают нежелательные нелинейные эффекты.

Стандартный ступенчатый профиль показателя преломления можно легко изменить для получения большой эффективной площади. Профиль характеризуется Δ ступеньки (18 на фиг. 4) и радиусом 20. В табл. 1 показано влияние изменения $\Delta\%$ и изменения радиуса на эффективную площадь и устойчивость к изгибу на ряде стержней.

Существование компромиса при выборе между устойчивостью к изгибу и большей эффективной площадью очевидно. Уменьшение $\Delta\%$ и увеличение радиуса обеспечивают требуемую большую эффективную площадь. Ступенчатая конструкция при $\Delta\%$ около 0,3% и радиусе около 5,6 мкм обеспечивает приемлемую устойчивость к изгибу при значительном увеличении $A_{эфф}$.

Трапецеидальный профиль показателя преломления на расстоянии от центральной оси волновода обеспечивает дополнительную гибкость конструкции профиля показателя преломления для получения приемлемой устойчивости к изгибу в сочетании с большой эффективной площадью в окнах на обеих длинах волн.

Основная форма этого варианта выполнения нового волноводного волокна изображена на фиг. 3. Трапецеидальная фигура 12 расположена на расстоянии от центральной оси волновода. Внутренний и

внешний радиусы трапецидального участка профиля показателя преломления сердцевины обозначены 24 и 22, соответственно. Профиль показателя преломления участка сердцевины рядом с центральной осью волновода может быть по существу плоским или иметь криволинейную форму, как изображено кривыми 14. Требуемые характеристики нового волновода могут быть получены путем незначительных изменений формы трапеции, как показывает кривая 16, или подбором эквивалентных профилей показателя преломления.

В табл. 2 приведены моделированные параметры трапецидального варианта выполнения нового волноводного волокна. В колонке "Радиус" первая величина равна внутреннему радиусу трапеции, а вторая величина равна ее внешнему радиусу.

Отличные характеристики показывают профили из первой и четвертой строк. Эти варианты выполнения отвечают требованиям к оптическим волноводным волокнам, которые ограничивают нелинейные эффекты и сохраняют при этом необходимую устойчивость к изгибу.

Таблицы 1 и 2 показывают, что компьютерная модель необходима для эффективного определения профилей показателя преломления, которые отвечают заданному ряду требований. Сравнение профилей коэффициента преломления, приведенных в строках таблиц, показывает, что незначительные изменения параметров профиля могут оказывать значительное влияние на характеристики волновода. Таким образом, число комбинаций и перестановок, которые должны быть проверены, требует, чтобы компьютерное моделирование предшествовало изготовлению волноводного волокна.

Хотя приведены и описаны конкретные варианты выполнения изобретения, изобретение ограничено только формулой изобретения.

Формула изобретения:

1. Одномодовое оптическое волноводное волокно, содержащее область сердцевины, имеющую центральную ось, проходящую вдоль продольной оси волноводного волокна, и радиус, а также профиль показателя преломления, максимальный показатель преломления и минимальный показатель преломления, и слой оболочки, окружающий упомянутую область сердцевины и имеющий профиль показателя преломления и максимальный показатель преломления n_c , причем по меньшей мере часть профиля показателя преломления области сердцевины имеет показатель преломления больше n_c , а упомянутая область сердцевины отличается тем, что максимальный показатель преломления имеет место на расстоянии от центральной оси, минимум упомянутого профиля показателя преломления находится около центральной оси, а центральная ось является осью симметрии профиля показателя преломления.

2. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.1, отличающееся тем, что часть профиля показателя преломления упомянутой области сердцевины вдоль радиуса от минимума показателя преломления около центральной оси до точки максимального показателя преломления профиля показателя

преломления области сердцевины является непрерывной.

3. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.2, отличающееся тем, что упомянутая часть профиля показателя преломления является монотонной.

4. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.1, отличающееся тем, что радиус упомянутой области сердцевины находится в диапазоне 4 - 7 мкм, максимальный относительный показатель преломления $\Delta\%$ упомянутой области сердцевины находится в диапазоне 0,35 - 0,55%, а относительный показатель преломления $\Delta\%$ в минимуме около центральной оси составляет менее 0,20%.

5. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.1, отличающееся тем, что длина волны нулевой дисперсии λ_0 составляет около 1300 нм, эффективная площадь $A_{эфф} \geq 90 \text{ мкм}^2$ на длине волны 1300 нм и эффективный диаметр $D_{эфф}$ больше или равен площади поля моды в диапазоне длин волн 1530 - 1565 нм.

6. Одномодовое оптическое волноводное волокно, содержащее область сердцевины, имеющую центральную ось и включающую первый и второй участки, каждый из которых имеет профиль показателя преломления, внешний радиус и относительный показатель преломления $\Delta\%$, при этом первый участок включает центральную ось, а второй участок окружает первый участок, причем центральная ось является осью симметрии первого и второго участков, и слой оболочки, окружающий упомянутую область сердцевины и имеющий профиль показателя преломления и максимальный показатель преломления n_c , причем по меньшей мере часть профиля показателя преломления по меньшей мере одного из упомянутых участков имеет показатель преломления больше n_c , а упомянутая область сердцевины отличается тем, что по меньшей мере часть профиля показателя преломления одного из указанных первого и второго участков имеет L-образную форму или широкую U-образную форму, при этом упомянутое оптическое волноводное волокно имеет эффективную площадь $A_{эфф} > 90 \text{ мкм}^2$ на длине волны 1300 нм и $A_{эфф} > 110 \text{ мкм}^2$ на длине волны 1550 нм.

7. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.6, отличающееся тем, что первый участок области сердцевины имеет, по существу, постоянный показатель преломления n_1 , а второй участок имеет максимальный показатель преломления n_2 , причем $n_2 > n_1$.

8. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.7, отличающееся тем, что профиль показателя преломления второго участка является трапецидальным.

9. Одномодовое оптическое волноводное волокно по п.8, отличающееся тем, что внешний радиус первого участка области сердцевины находится в диапазоне 1,5 - 1,9 мкм, n_1 , по существу, равен n_c , внешний радиус второго участка области сердцевины находится в диапазоне 3,8 - 5 мкм, а относительный показатель преломления $\Delta\%$ второго участка находится в диапазоне 0,25 - 0,45%.

10. Одномодовое оптическое волноводное

волокно, содержащее область сердцевины, имеющую ступенчатый профиль показателя преломления n_0 , относительный показатель преломления $\Delta_1\%$ и радиус r_1 , и слой оболочки, окружающий сердцевину и имеющий максимальный показатель преломления n_c ,

где $n_0 > n_c$, причем относительный показатель преломления $\Delta_1\%$ находится в диапазоне 0,25 - 0,30%, r_1 - в диапазоне 5,5 - 6 мкм, эффективная площадь $A_{эфф}$ на длине волны 1300 нм больше 90 мкм² и $A_{эфф}$ на длине волны 1550 нм больше 110 мкм².

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

RU 2 1 6 6 7 8 2 C 2

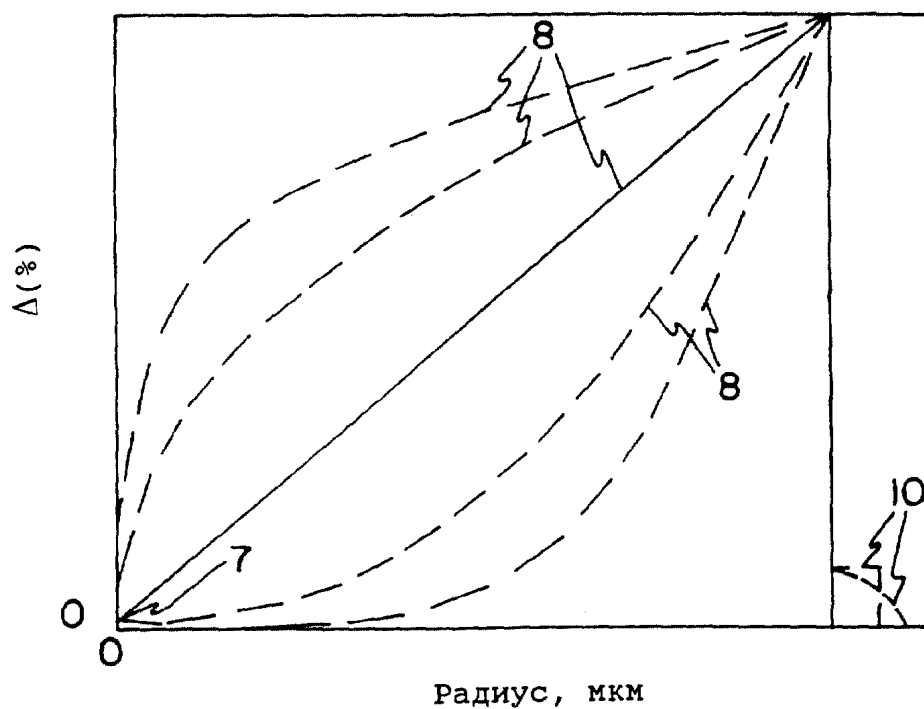
RU 2 1 6 6 7 8 2 C 2

Таблица 1

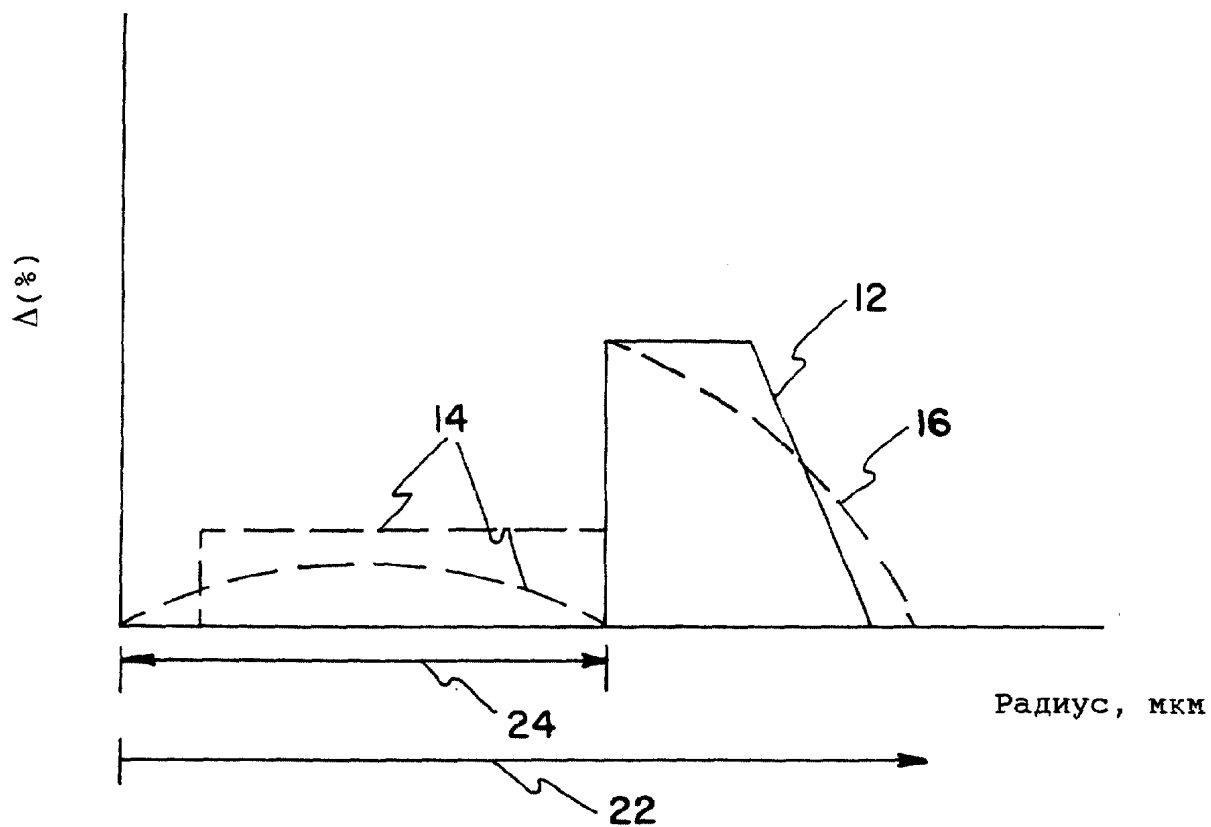
$\Delta\%$	Радиус, мкм	$A_{эфф}, \text{мкм}^2$, на 1300 нм	$A_{эфф}, \text{мкм}^2$, на 1550 нм	Затухание при изгибе, дБ, на 1550 нм
0,36	4,5	67	83	6,9
0,315	5,0	77	96	12,2
0,293	5,63	90	110	9,8
0,278	5,88	96	117	12,2

Таблица 2

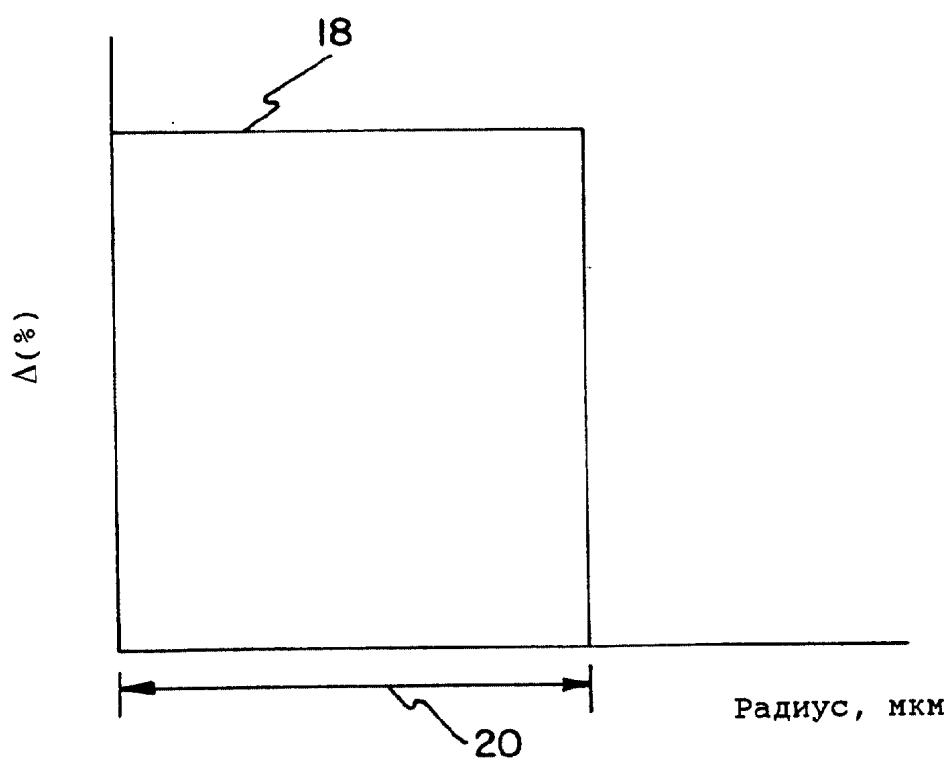
$\Delta\%$	Радиус, мкм	$A_{эфф}, \text{мкм}^2$, на 1300 нм	$A_{эфф}, \text{мкм}^2$, на 1550 нм	Затухание при изгибе, дБ, на 1550 нм
0,367	1,7 - 4,5	94	110	9,8
0,337	1,78 - 4,98	104	120	14,4
0,320	1,85 - 5,23	112	130	14,2
0,344	1,7 - 3,91	104	120	9,5



Фиг.2



Фиг.3



Фиг.4