

УДК 535.55

МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ ЗАВИСИМОСТИ
 h -ПАРАМЕТРА АНИЗОТРОПНОГО СВЕТОВОДА ОТ РАДИУСА ИЗГИБА¹О.А. Шрамко^а, А.В. Рупасов^а, Р.Л. Новиков^а, С.М. Аксарин^а^а Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, shramko_oa@mail.ru

Рассмотрены известные методы измерения h -параметра волокна, разработан новый интерферометрический метод. На его основе предложен метод исследования зависимости h -параметра анизотропного оптического волокна от радиуса изгиба. Микроизгибы волокна, являющиеся дефектами намотки чувствительного элемента волоконно-оптического гироскопа, приводят к ухудшению ряда его оптических характеристик, в частности, коэффициента экстинкции и коэффициента перекрестной связи мод, что ухудшает точностные параметры волоконно-оптического гироскопа. Предложен способ повышения точности измерения и адаптации процесса измерения h -параметра к существующей технологии производства волоконно-оптических гироскопов. Механизм влияния поляризационных свойств на точностные параметры волоконно-оптического гироскопа описывается через анализ вторичных волн, индуцируемых преобразованием поляризации в волоконном контуре. Дана оценка влияния измеряемого параметра на точностные характеристики волоконно-оптического гироскопа. Для гироскопа с коэффициентом экстинкции поляризатора 27 дБ, h -параметром волокна $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$, длиной волоконного контура 1500 м и длиной деполаризации волокна 4 мм амплитудная фазовая ошибка не превысит $3,2 \cdot 10^{-5}$ рад, а фазовая ошибка интенсивности составит $2 \cdot 10^{-10}$ рад.

Ключевые слова: оптическое волокно, коэффициент экстинкции, h -параметр.ANALYSIS METHOD OF ANISOTROPIC LIGHTGUIDE h -PARAMETER
DEPENDENCE ON ITS BENDING RADIUS²O. Shramko^b, A. Rupasov^b, R. Novikov^b, S. Aksarin^b^b Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, shramko_oa@mail.ru

The paper deals with the known methods for h -parameter measuring of the fiber and the new developed interferometry method. Analysis method of the anisotropic lightguide h -parameter dependence on its bending radius for the optical fiber is proposed. Micro bends of a fiber, being the defects of a sensitive element winding in a fiber-optic gyroscope (FOG), lead to the deterioration of a number of optical characteristics, in particular, the extinction coefficient and the cross-coupling coefficient. As a result, it worsens the FOG accuracy. The way of increasing the measurement accuracy and adaptation of the h -parameter measuring process to the existing technology of fiber-optic gyroscopes production is proposed. The mechanism of the polarization properties influence on the FOG accuracy is described through the analysis of secondary waves induced by the polarization transformation in the optical circuit. The influence estimation of the measured parameter on the FOG accuracy characteristics is given. For the gyro with the polarizer extinction coefficient equal to 27 dB, h -parameter $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$, the length of the fiber loop 1500 m and the length of depolarization 4 mm the amplitude phase error does not exceed $3.2 \cdot 10^{-5}$ rad and the intensity phase error is $2 \cdot 10^{-10}$ rad.

Keywords: optical fiber, interference, extinction coefficient, h -parameter, lightguide.

Введение

Одной из основных задач, стоящих перед разработчиками волоконно-оптического гироскопа (ВОГ), является изготовление чувствительного элемента. Его основная часть – волоконный контур, представляющий собой многослойную и многovitковую катушку оптического волокна, создаваемую путем квадрупольной намотки световода на каркас. При этом радиус изгиба волокна равен [1]

$$r_N = \frac{D_K}{2} + \frac{D_B}{2} + (N-1) \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot D_B. \quad (1)$$

В выражении (1) r_N – радиус изгиба волокна; N – номер слоя контура; D_K – диаметр каркаса; D_B – диаметр волокна.

Традиционно в ВОГ высокой точности используется анизотропное оптическое волокно [2], в котором благодаря наличию напрягающей эллиптической оболочки существуют две ортогональные оптические оси с различными друг от друга показателями преломления, их называют быстрой осью и медленной осью. Структура волокна приведена на рис. 1. При вводе линейно-поляризованного излучения в оптиче-

¹ Работа выполнена в НИУ ИТМО и ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 02.G25.31.0044).

² The work was done in NRU ITMO and «Concern «CSRI «Elektroprigor» PLC with financial support from the Ministry of education and science of the Russian Federation (project № 02.G25.31.0044).

скую ось такое волокно способно сохранять состояние поляризации света. В том случае, когда линейно-поляризованное излучение вводится в световод под углом к оптическим осям, возбуждаются две ортогональные моды.

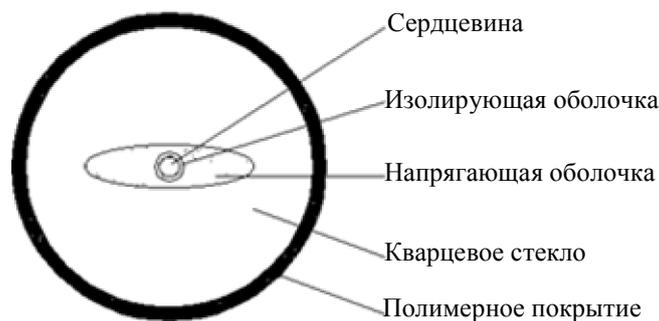


Рис. 1. Структура волоконного световода, сохраняющего поляризацию излучения

Изгиб волокна приводит к ухудшению ряда его оптических характеристик, в частности, коэффициента экстинкции и коэффициента перекрестной связи мод, используемых для оценки степени сохранения поляризации распространяющегося в световоде излучения. Другими словами, по значениям этих параметров можно судить о том, какая часть оптической мощности перетекает из основной моды в паразитную ортогональную. Подробнее этот процесс описан ниже.

Механизм случайной связи поляризационных мод в анизотропном оптическом волокне может быть представлен с помощью простой модели. Перекачка оптической мощности из одной ортогональной моды в другую происходит в дискретных точках M_i , расположенных в пределах одной длины деполаризации L_d на протяжении всего волновода. При длине волокна L количество таких точек будет равно L/L_d . Каждая пара точек преобразования, расположенных симметрично относительно середины волокна, возбуждает две пары вторичных волн (в каждом направлении), которые вносят одинаковую фазовую ошибку $\Delta\varphi_{ei}$. Среднее значение фазовой ошибки близко к нулю, а ее среднее квадратичное отклонение зависит от ширины спектра источника света, коэффициента экстинкции поляризатора и h -параметра волокна. Шум, создаваемый фазовой ошибкой, приводит к нестабильности смещения и увеличению минимальной измеряемой угловой скорости [3, 4].

В настоящее время для измерения h -параметра используется несколько способов [5, 6], каждый из которых имеет свои существенные недостатки, такие как невозможность использовать световоды малой длины, жесткие требования к характеристикам поляризаторов и источников излучения, сложности, связанные с внедрением в налаженный и отработанный технологический процесс производства волоконно-оптических гироскопов, и др. Описанный в работе метод лишен ряда этих недостатков.

В рамках настоящей работы был проведен анализ литературы, в ходе которого было рассмотрено несколько методов измерения степени сохранения поляризации. Для измерения степени сохранения поляризации обычно используется методика скрещенных поляризаторов: с помощью входного поляризатора обеспечивается возбуждение в световоде только одной поляризационной моды, а путем вращения выходного поляризатора измеряется соотношение мощностей на выходе световода. В работе [5] описан другой метод, основанный на применении когерентного источника и измерении интерференционных колебаний, вызванных дополнительной фазовой модуляцией на входе световода.

Указанные методы либо не применимы к коротким длинам волокон, либо требуют дополнительного оборудования, т.е. трудно встраиваются в отработанный технологический процесс производства ВОГ. Суть предложенного метода изложена ниже.

Представленный метод исследования

Исследуемое волокно наматывается на катушки различных диаметров с постоянным натяжением в один слой. Линейно-поляризованный свет вводится строго в оптическую ось исследуемого волокна. После прохождения всей длины световода излучение попадает в поляризационный интерферометр Майкельсона. Зная параметры получившейся интерференционной картины, а именно – наибольшее и наименьшее значение оптической мощности, можно вычислить отношение интенсивностей паразитной моды и изначально возбужденной моды.

На рис. 2 представлена разработанная схема установки для измерения h -параметра.

При распространении одной поляризационной моды в волокне происходит перекачка мощности в ортогональную моду, а также возникает набег разности фаз между ними. С помощью микропозиционера с закрепленным на нем зеркалом в одно из плеч интерферометра вносится соответствующая фазовая задержка, что позволяет наблюдать интерференционную картину ортогональных поляризационных мод (рис. 3).

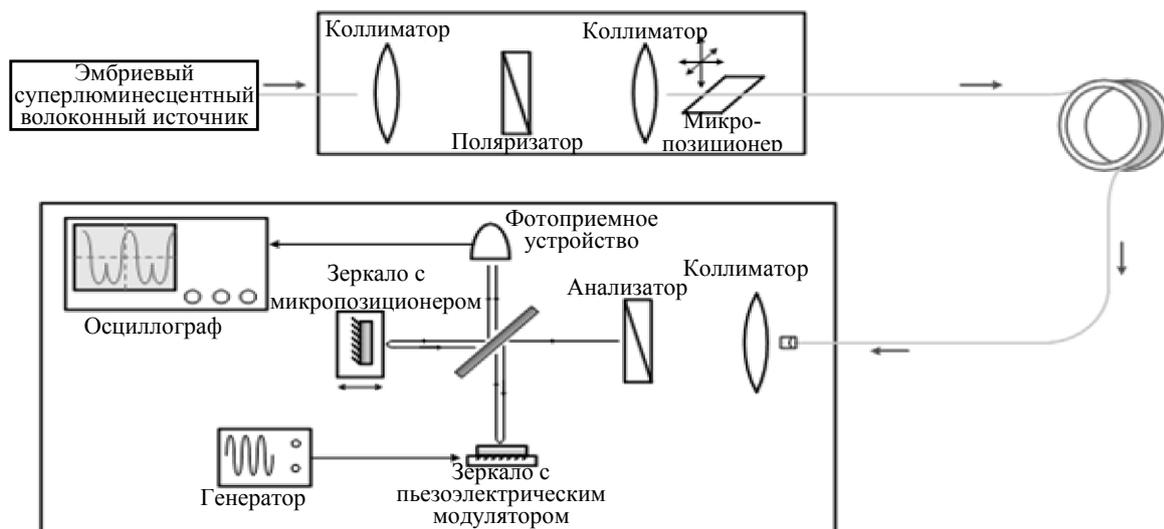


Рис. 2. Схема установки для измерения h -параметра

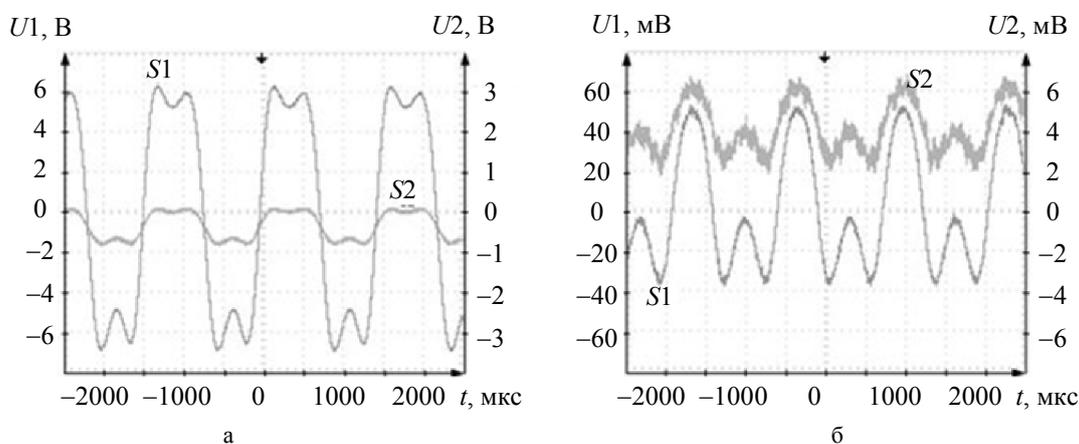


Рис. 3. Осциллограммы интерференционного сигнала: при вводе линейно-поляризованного излучения в световод под углом 45° к оптическим осям (а); при вводе линейно-поляризованного излучения строго в оптическую ось (S1 – интерференционный сигнал в режиме переменного тока, S2 – интерференционный сигнал в режиме постоянного тока) (б)

Параметры полученной интерференционной картины зависят от интенсивностей мод на выходе исследуемого волокна следующим образом:

$$I_{\min} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 - 2\sqrt{\frac{I_1}{4} \times \frac{I_2}{4}}, \quad (2)$$

$$I_{\max} = \frac{1}{2}I_1 + \frac{1}{2}I_2 + 2\sqrt{\frac{I_1}{4} \times \frac{I_2}{4}}, \quad (3)$$

где I_{\min} , I_{\max} – интенсивность интерференционного сигнала при деструктивной и конструктивной интерференции соответственно; I_1 – интенсивность первоначально возбужденной моды; I_2 – интенсивность паразитной моды.

Из формул (2) и (3) получаем выражение для искомого отношения:

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{(I_{\max} + I_{\min}) - 2\sqrt{I_{\max} \times I_{\min} - \frac{3}{4}(I_{\max} - I_{\min})^2}}{(I_{\max} + I_{\min}) + 2\sqrt{I_{\max} \times I_{\min} - \frac{3}{4}(I_{\max} - I_{\min})^2}}. \quad (4)$$

Таким образом, зная I_{\min} и I_{\max} и используя выражение (4), можно определить h -параметр световода.

Для проведения исследования зависимости степени сохранения поляризации от радиуса контура предлагается наматывать оптическое волокно на каркасы различных диаметров и проводить измерения согласно описанному выше методу.

Оценка влияния h -параметра на точностные характеристики ВОГ

Механизм влияния поляризационных свойств на точностные параметры ВОГ описывается через анализ вторичных волн, индуцируемых преобразованием поляризации в волоконном контуре. Традиционно искажения оптического сигнала в волоконной катушке, вызванные поляризационной невязанностью, разделяют на амплитудные ошибки и ошибки интенсивности [7]. Амплитудная ошибка возникает, когда свет, поляризованный ортогонально оси пропускания поляризатора при распространении по волоконному контуру, переходит в основную поляризационную моду на выходе контура. Амплитудная фазовая ошибка характеризуется следующим выражением:

$$|\Delta\varphi_e| < 2\varepsilon \times \sqrt{\rho_{in} \times \rho_{cr}}. \quad (5)$$

В выражении (5) $\rho_{in} = \frac{|A_2|^2}{|A_1|^2}$, $\rho_{cr} = \frac{|A_{12}|^2}{|A_{11}|^2}$, A_1 и A_2 – амплитуда оптического сигнала, поляризованного вдоль и поперек оси пропускания поляризатора, при входе в контур соответственно, A_{11} и A_{12} – амплитуда оптического сигнала, поляризованного вдоль и поперек оси пропускания поляризатора, при выходе из контура соответственно. Для оценки примем, что в волокно вводится оптическая мощность P , тогда отношение мощности оптических сигналов $|A_1|^2$ и $|A_2|^2$ соответствует (6), а отношение мощности оптических сигналов $|A_{11}|^2$ и $|A_{12}|^2$ рассчитывается как результат преобразования основной поляризационной моды в неосновную в соответствии со значением h -параметра волокна. Таким образом,

$$\frac{|A_2|^2}{|A_1|^2} = \frac{P \cdot \varepsilon}{P \cdot (1 - \varepsilon)} = \frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon)}, \quad (6)$$

$$\frac{|A_{12}|^2}{|A_{11}|^2} = \frac{A_2^2 \cdot (1 - h \cdot L) + A_1^2 \cdot h \cdot L}{A_1^2 \cdot (1 - h \cdot L) + A_2^2 \cdot h \cdot L} = \frac{\varepsilon + h \cdot L - 2 \cdot \varepsilon \cdot h \cdot L}{1 - \varepsilon - h \cdot L + 2 \cdot \varepsilon \cdot h \cdot L}, \quad (7)$$

где h – h -параметр оптического анизотропного волокна чувствительного элемента; ε – коэффициент экстинкции поляризатора; L – длина волоконного контура. Предположим, что коэффициент экстинкции поляризатора составляет 27 дБ ($\varepsilon = 0,002$), h -параметр волокна – $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$, длина волоконного контура – $L = 1500$, тогда с учетом (5)–(7) получим, что максимальная амплитудная фазовая ошибка составляет

$$|\Delta\varphi_e|_{\max} = 2\varepsilon \cdot \sqrt{\frac{\varepsilon}{(1 - \varepsilon)} \cdot \frac{\varepsilon + h \cdot L - 2 \cdot \varepsilon \cdot h \cdot L}{1 - \varepsilon - h \cdot L + 2 \cdot \varepsilon \cdot h \cdot L}} \approx 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ рад}.$$

Для контура диаметром 200 мм и длины волны 1550 нм указанное значение соответствует погрешности по скорости вращения, приблизительно равной $8 \cdot 10^{-6} \text{ рад/с}$.

Ошибка интенсивности возникает, когда свет, поляризованный вдоль оси пропускания поляризатора на входе в контур, при распространении по волоконному контуру переходит в неосновную поляризационную моду на выходе контура. Среднее квадратичное отклонение ошибки интенсивности характеризуется следующим выражением:

$$\sigma_{\Delta\varphi_e} = \varepsilon^2 \cdot h \cdot L_d \cdot \sqrt{N} = \frac{\varepsilon^2 \cdot h \cdot L}{\sqrt{N}}. \quad (8)$$

В выражении (8) L_d – длина деполяризации анизотропного волокна, N – отношение длины волоконного контура к длине деполяризации. Для $\varepsilon = 0,002$, $h = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$, $L = 1500 \text{ м}$, $L_d = 4 \text{ мм}$ получим

$$\sigma_{\Delta\varphi_e} = \frac{\varepsilon^2 \cdot h \cdot L}{\sqrt{N}} = \frac{\varepsilon^2 \cdot h \cdot L}{\sqrt{L/L_d}} \approx 2 \cdot 10^{-10} \text{ рад}.$$

Для контура диаметром 200 мм и длины волны 1550 нм указанное значение соответствует погрешности по скорости вращения, приблизительно равной $5 \cdot 10^{-11} \text{ рад/с}$.

Также выделяют ошибки первого рода как разновидность амплитудной ошибки, зависящие от коэффициента экстинкции поляризатора по амплитуде ε , и ошибки второго рода как разновидность ошибки интенсивности, зависящие от коэффициента экстинкции поляризатора по интенсивности ε^2 [8].

Во время распространения в чувствительной катушке ортогональные компоненты A и B производят множество вторичных волн из-за перехлестов волокна в чувствительной катушке, при этом накапливается ошибка, являющаяся результатом интерференции между волнами нулевого, второго, четвертого порядка (вторичными волнами компоненты A) и волнами первого, третьего, пятого порядка (вторичными волнами компоненты B). Наибольшее влияние на выходной сигнал ВОГ оказывает интерференция между волной нулевого порядка компоненты A и волной первого порядка компоненты B . Эта ошибка может быть компенсирована при помощи методов [9, 10], однако существуют более сложные комбинации вторичных волн, обусловленные преобразованием поляризации в чувствительной катушке, которые также

вызывают смещение рабочей точки гироскопа. Ошибкой первого рода называется результат интерференции между вторичной волной второго порядка компоненты A и вторичной волной первого порядка компоненты B . Влияние интерференции остальных комбинаций волн принимается пренебрежимо малым и не учитывается. Ошибка второго порядка является результатом интерференции между вторичными волнами первого, третьего и пятого порядков компонент A и B .

Согласно работе [8], моделирование для рассмотренных эффектов показывает, что ошибка второго рода имеет меньшее значение по сравнению с ошибкой первого рода, обе ошибки снижаются с улучшением поляризационных свойств контура и могут быть полностью нивелированы, если коэффициент преобразования поляризации достаточно мал.

Заключение

На основе обзора методов измерения степени сохранения поляризации [5, 6] разработан интерференционный метод измерения h -параметра. На его основе предложен метод исследования зависимости h -параметра анизотропного оптического волокна от радиуса изгиба. Представленный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с уже существующими: позволяет снизить требования к разрешающей способности фотодетектора, работоспособен при низком коэффициенте экстинкции анализатора, адаптирован к существующей технологии производства интерферометров волоконно-оптического гироскопа. Оценка влияния измеряемого параметра на точностные характеристики ВОГ с коэффициентом экстинкции поляризатора 27 дБ, h -параметром волокна $2 \cdot 10^{-5} \text{ м}^{-1}$, длиной волоконного контура 1500 м и длиной деполяризации волокна 4 мм показала, что амплитудная фазовая ошибка не превысит $3,2 \cdot 10^{-5}$ рад, а фазовая ошибка интенсивности составит $2 \cdot 10^{-10}$ рад.

Литература

1. Мешковский И.К., Киселев С.С., Куликов А.В., Новиков Р.Л. Дефекты намотки оптического волокна при изготовлении чувствительного элемента волоконно-оптического интерферометра // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 2. С. 47–51.
2. Li Y., Chen X. Effect of highly birefringence fibers on fiber optic gyroscope // Proc. of SPIE. 2007. V. 6423. 64233S-1–64233S-6.
3. Gu H., Yang G., Yang Y., Weng H., Zhao Q. Analysis and simulation of optical polarization fluctuation of interferometric fiber optic gyroscope // Proc. of SPIE. 2007. V. 6595. 65953N-1–65953N-6.
4. Wang X., He Z., Hotate K. Reduction of polarization-fluctuation induced drift in resonator fiber optic gyro by a resonator with twin 90° polarization-axis rotated splices // Optics Express. 2010. V. 18. N 2. P. 1677–1683.
5. Котов О.И., Ликумович Л.Б., Медведев А.В. Интерференционный метод измерения коэффициента экстинкции двулучепреломляющих волоконных световодов // ЖТФ. 2007. Т. 77. № 9. С. 102–107.
6. Азам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. М.: Мир, 1981. 584 с.
7. Lefevre H. The Fiber Optic Gyroscope. Boston–London: Artech House, 1993. 313 p.
8. Xu X., Pan X., Song J. Analysis of sensing coil polarization properties' effect on performance of fiber optical gyroscope // Applied Optics. 2012. V. 51. N 5. P. 621–625.
9. Cordova A., Patterson R.A., Goldner E.L., Rozelle D.M. Interferometric fiber optic gyroscope with inertial navigation performance over extended dynamic environments // Proc. of SPIE. 1994. V. 2070. P. 164–180.
10. Малькин Г.Б. Модуляционный метод устранения вызванного поляризационной невязимостью сдвига нуля волоконного кольцевого интерферометра // Письма в ЖТФ. 1999. Т. 25. № 16. С. 78–82.

Шрамко Олег Анатольевич	– инженер-исследователь, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, shramko_oa@mail.ru
Рупасов Андрей Викторович	– аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, sadbender@yandex.ru
Новиков Роман Леонидович	– аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, novikov_r_l@mail.ru
Аксарин Станислав Михайлович	– аспирант, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, oskar2002@list.ru
Oleg Shramko	– research engineer, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, shramko_oa@mail.ru
Andrei Rupasov	– postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, sadbender@yandex.ru

Roman Novikov

– postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, novikov_r_l@mail.ru

Stanislav Aksarin

– postgraduate, Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, oskar2002@list.ru

УДК 681.7

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ СНИЖЕНИЯ УРОВНЯ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ

А.Г. Коробейников^а, Ю.А. Гатчин^б, К.В. Дукельский^б, Е.В. Тер-Нерсесянц^б

^а Санкт-Петербургский филиал учреждения Российской академии наук «Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН», Санкт-Петербург, Россия, Korobeynikov_A_G@mail.ru

^б Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия, KDukel@GOI.ru

Представлены результаты разработки технологии получения микроструктурированных волоконных световодов. В ходе проводимых работ были созданы световоды с одним или двумя циклами отверстий, получаемые по двухстадийной технологии. Использование двух циклов позволяют снизить на длине волны накачки затухание до 0,1 дБ/м. В ходе экспериментов было установлено, что эффективность вытекания коррелирует с толщиной депрессированной оболочки – чем больше толщина оболочки, тем потери меньше. В ходе работ была разработана базовая технология получения дырчатых волоконных световодов из кварцевого стекла с четырьмя циклами отверстий, базирующаяся на двухстадийном процессе. В отличие от дырчатых световодов с одноэлементной сердцевинной, в разработанных системах при равных диаметрах сердцевинной шаг структур меньше в два и три раза. Это позволило получить большую устойчивость излучения к возмущениям световодного тракта. При постановке задачи получения микроструктурированного волокна с малым значением отношения диаметра отверстия конструкционной оболочки к шагу структуры и (или) с относительно малым шагом структуры возможен одностадийный процесс, так как в этом случае в исходной сборке можно использовать капилляры с небольшим по величине внутренним диаметром. Были проведены исследования по поиску технологических условий, выполнение которых делает затухание излучения определенного типа в микроструктурированных световодах минимальным. Основным способом, позволившим выявлять влияние технологической схемы на затухание излучения, являлось сравнение одно- и двухстадийных методов создания микроструктурированных световодов. Была определена зависимость потерь излучения в световодах от температуры вытяжки капилляров. Проведено сравнение методов очистки капилляров в дырчатых световодах. Предложены методы снижения затухания излучения.

Ключевые слова: оптическое волокно, микроструктурированные волоконные световоды, затухание излучения.

PROCESS METHODS WITH LOW LEVEL OF OPTICAL LOSSES FOR THE MICROSTRUCTURED FIBER LIGHT GUIDES

A. Korobeynikov^a, Yu. Gatchin^b, K. Dukel'skiy^b, E. Ter-Nersesyantz^b

^a Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation of the Russian Academy of Sciences St. Petersburg Branch (SPbF IZMIRAN), Saint Petersburg, Russia, Korobeynikov_A_G@mail.ru

^b Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics, Saint Petersburg, Russia, KDukel@GOI.ru

The paper deals with results of the technology process development for the microstructured fiber light guides. Light guides with one or two cycles of the openings, processed by two-phase technology were created during carried out research. The use of two cycles makes it possible to decrease attenuation to 0.5 dB/m on excitation wavelength. The experiments show that effluence efficiency correlates with thickness of depressed cover – the more is thickness of a cover, the less are losses. The basic technology of perforated fiber light guides creation from quartz glass with four cycles of the openings, based on two-phase process was developed. Unlike perforated light guides with a single-element core in the developed systems with equal diameters of a core the step of structures is two and three times less. It gives the possibility to receive big resistance of radiation to indignations of a light-guide path. At a problem definition of receiving the microstructured fiber with small value of the relation of an opening diameter of a constructional cover to a step of structure and/or with rather small step of structure single-stage process as in this case in initial assembly it is possible to use capillaries with small size internal diameter. Researches were conducted to search technological conditions for minimum attenuation of a certain type radiation in the microstructured light guides. The main way to receive answers about influence of the technological scheme on radiation attenuation is comparison of one - and two-phase methods of microstructured light guides creation. Dependence of radiation losses in light guides from temperature of capillaries extract was defined. Comparison of capillaries cleaning methods in perforated light guides is carried out. Methods of radiation attenuation decrease are offered.

Keyword: optical fiber, microstructured fiber light guides, radiation attenuation.

Введение

Большим достижением последних лет в оптических технологиях является создание фотонно-кристаллических (микроструктурированных, «дырчатых») волоконных световодов. Фотонно-кристал-