

УДК 681.7.063

ЗАВИСИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОИМПУЛЬСНОЙ ЗАПИСИ ВОЛОКОННЫХ БРЭГГОВСКИХ РЕШЕТОК В ДВУЛУЧЕПРЕЛОМЛЯЮЩИХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ ОТ ОРИЕНТАЦИИ НАПРЯГАЮЩЕЙ ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

С.В. Архипов^а, В.Е. Стригалева^а, С.В. Варжель^а, Н.Е. Кикилич^а

^а Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация
Адрес для переписки: thinkingcreature@yandex.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию 27.06.17, принята к печати 31.07.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-761-766

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Архипов С.В., Стригалева В.Е., Варжель С.В., Кикилич Н.Е. Зависимость результатов многоимпульсной записи волоконных брэгговских решеток в двулучепреломляющих оптических волокнах от ориентации напрягающей эллиптической оболочки // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 5. С. 761–766. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-761-766

Аннотация

Предмет исследования. В работе представлены сравнительные результаты многоимпульсной записи волоконных брэгговских решеток типа I в двулучепреломляющем оптическом волокне с эллиптической напрягающей оболочкой с повышенной концентрацией диоксида германия при различных ориентациях осей двулучепреломления. **Метод.** Запись решеток производилась методом фазовой маски. В качестве источника излучения использовался эксимерный лазер Coherent COMPexPro 102F, работающий на газовой смеси KrF (248 нм). Использовалась фазовая маска Ibsen Photonics с периодом 1065,3 нм. **Основные результаты.** Результаты показали, что многоимпульсная запись эффективнее и обладает лучшей динамикой при позиционировании плоскости, содержащей ось оптического волокна и его медленную ось двулучепреломления, параллельно плоскости падения записываемого излучения, содержащей ось оптического волокна. **Практическая значимость.** Результаты данной работы позволяют выработать рекомендации для более эффективной многоимпульсной записи решеток Брэгга в специальных двулучепреломляющих волокнах. Также предварительная ориентация оси двулучепреломления анизотропных световодов позволяет снизить поляризационные преобразования на решетках, которые являются источником шумов в фазовых интерферометрических датчиках.

Ключевые слова

волоконная брэгговская решетка, интерференционная картина рассеивания вперед, двулучепреломление, эксимерный лазер, многоимпульсная запись

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект № 03.G25.31.0245).

BRAGG GRATINGS MULTIPULSE INSCRIPTION EFFICIENCY DEPENDENCE ON ANGULAR POSITION OF ELLIPTICAL STRESS CLADDING IN BIREFRINGENT OPTICAL FIBERS

S.V. Arkhipov^а, V.E. Strigalev^а, S.V. Varzhel^а, N.E. Kikilich^а

^а ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation
Corresponding author: thinkingcreature@yandex.ru

Article info

Received 27.06.17, accepted 31.07.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-761-766

Article in Russian

For citation: Arkhipov S.V., Strigalev V.E., Varzhel S.V., Kikilich N.E. Bragg gratings multipulse inscription efficiency dependence on angular position of elliptical stress cladding in birefringent optical fibers. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 5, pp. 761–766 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-5-761-766

Abstract

Subject of Research. The paper deals with multipulse inscription comparative results of the type I Bragg gratings in the birefringent optical fiber with elliptical stress cladding and increased GeO₂ concentration at different birefringence axes

positions. **Method.** The gratings were inscribed by the phase mask method. The excimer laser Coherent COMPexPro 102F, working with the gas mixture KrF (248 nm), was used as the radiation source. The phase mask Ibsen Photonics with a period of 1065.3 nm was used. **Main Results.** The results have shown that the multipulse inscription is more effective and has better dynamics when the plane containing the fiber axis and its slow birefringence axis is parallel to the writing radiation incidence plane containing the fiber axis. **Practical Relevance.** The research results give the possibility to make recommendations for the multipulse Bragg gratings inscription efficiency enhancement in the specialty birefringent fibers. The pre-inscription positioning of birefringence axes also makes it possible to reduce the polarization fading that is the noise source in phase interferometric sensors.

Keywords

fiber Bragg grating, interference scattering pattern, birefringence, excimer laser, multipulse inscription

Acknowledgements

This research has been carried out at ITMO University and supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation (project No. 03.G25.31.0245).

Введение

Одним из способов получения оптических волокон (ОВ) с сохранением поляризации является использование эффекта фотоупругости. Это означает следующее: для достижения требуемой оптической анизотропии в схему оптических волокон включают напрягающие элементы. Например, в волокнах типа PANDA используются напрягающие стержни, которые благодаря наличию в них оксида фосфора имеют отличающийся от других составляющих волокно частей коэффициент термического расширения, вследствие чего в процессе изготовления внутри волокна наводятся механические напряжения и, как следствие, требующаяся анизотропия оптических параметров световедущей области. Таким образом, оптическое волокно состоит из элементов, изготовленных из материала с различными оптическими свойствами, такими как показатель преломления, его дисперсионная зависимость и коэффициент поглощения оптического излучения. Ось такого двулучепреломляющего оптического волокна является осью симметрии второго порядка относительно конструкции ОВ и распределения механических напряжений. Двулучепреломляющие оптические волокна имеют две плоскости симметрии. Его оси двулучепреломления перпендикулярны оси оптического волокна и лежат в плоскостях симметрии. Одной из основных областей применения волокон с сохранением поляризации является изготовление чувствительных элементов для датчиков и элементов телекоммуникационного назначения. Оно включает в себя, в частности, и запись волоконных решеток Брэгга (ВБР) в оптические волокна с сохранением поляризации [1]. Сердцевина оптического волокна, благодаря легированию ее диоксидом германия (GeO_2), обладает повышенной фоторефрактивностью, что позволяет при облучении ее излучением в определенном диапазоне изменять оптический показатель преломления, а это, в свою очередь, позволяет индуцировать в волокне периодические структуры – решетки Брэгга. ВБР используются в различных системах, измеряющих такие величины, как температура, влажность, давление, деформация, концентрация химических веществ [2].

Параметры ВБР зависят от величины модуляции показателя преломления в световедущей области [3], которая определяется плотностью энергии излучения в ней. Она, в свою очередь, зависит от поглощения и показателя преломления среды.

Между двумя модами, плоскости поляризации которых параллельны осям двулучепреломления оптического волокна с сохранением поляризации, происходит взаимная перекачка энергии в том случае, если нарушена симметрия его световедущей области. Одним из параметров двулучепреломляющих оптических элементов, в том числе и решеток Брэгга, записанных в волокна с сохранением поляризации, является коэффициент экстинкции, характеризующий перекачку энергии, упомянутую выше [4].

Таким образом, параметры волоконных решеток Брэгга, записываемых в анизотропных одномодовых волоконных световодах, зависят от предварительной ориентации этих ОВ относительно первоначального направления распространения записываемого излучения. Часто для распределенных измерительных систем требуется запись массивов ВБР в одном волокне с заданными параметрами. Это означает, что в подобных случаях крайне важна стабильность записи решеток Брэгга. Для ее достижения необходимо соблюдать ряд условий, в том числе ориентацию элементов оптического волокна, т.е. ориентацию плоскости, содержащей ось оптического волокна и его медленную ось двулучепреломления, относительно плоскости падения записываемого излучения, содержащей ось оптического волокна.

В настоящее время существуют несколько способов определения ориентации элементов ОВ и, как следствие, осей двулучепреломления (ОД). Это можно осуществить с помощью осмотра сколотого или отполированного торца ОВ в микроскопе с большим увеличением, что, однако, тяжело реализовать в месте создания ВБР, кроме того, этот способ является разрушающим. Также существуют и другие методы нахождения ориентации осей, в том числе:

- приложение растягивающего напряжения на участок волокна и последующее изучение изменения картины на выходе световода [5];

– освещение источником белого света боковой поверхности ОВ и обработка полученного с камеры изображения торца [6].

Используемый в данной работе метод заключается в наблюдении за интерференционной картиной рассеивания вперед при освещении боковой поверхности волокна излучением когерентного источника [7–9].

Экспериментальная установка и процесс записи ВБР

В настоящей работе для проведения исследования использовались две оптические схемы: установка для предварительного тестирования используемого образца ОВ (рис. 1) и установка для записи ВБР (рис. 3).

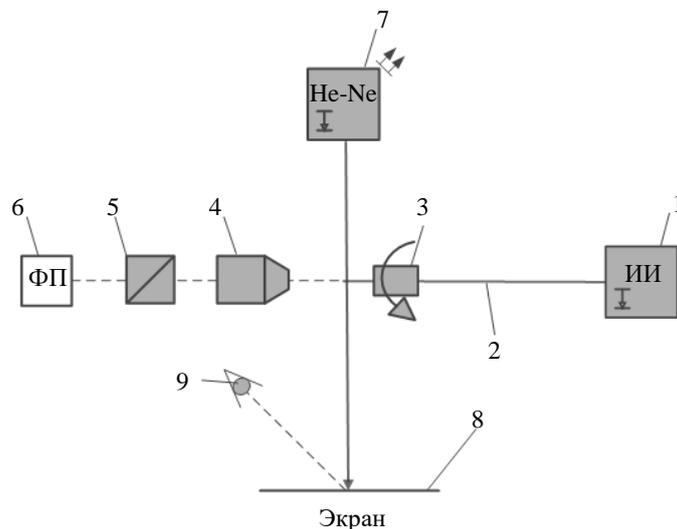


Рис. 1. Схема наблюдения интерференционной картины рассеивания вперед:

- 1 – линейно поляризованный источник излучения (ИИ) с FC-разъемом, ключ которого ориентирован вдоль медленной оси двулучепреломляющего; 2 – исследуемый образец оптического волокна; 3 – угловой микропозиционер; 4 – микрообъектив; 5 – поляризатор; 6 – фотоприемник (ФП); 7 – когерентный источник излучения (He-Ne-лазер); 8 – экран; 9 – средство регистрации интерференционной картины рассеивания

При предварительном тестировании перед процессом записи изучили зависимость интерференционной картины рассеивания излучения когерентного источника (лазера) от положения ОД исследуемых образцов оптического волокна относительно направления распространения излучения He-Ne-лазера, падающего на боковую поверхность волокна. В качестве исследуемых образцов применялись двулучепреломляющие ОВ с эллиптической напрягающей оболочкой с 12 мол.% и 18 мол.% содержанием GeO_2 в сердцевине (ESC-12, ESC-18 соответственно) производства НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И. Вавилова», выполненные по технологии, представленной в работах [10, 11]. После ввода излучения из линейно-поляризованного источника S5FC1005P-A2 производства фирмы Thorlabs в исследуемое ОВ ESC-12 с ориентацией плоскости поляризации параллельно медленной ОД излучение, выходящее из сколотого торца волокна, коллимировали микроскопическим объективом 4 ($30\times 0,90$, производства фирмы ЛОМО), а затем по положению объемного поляризатора и показаниям фотоприемника S144C производства фирмы Thorlabs определили первоначальное положение осей двулучепреломляющего. Затем на экране регистрировались интерференционные картины рассеивания пучка He-Ne-лазера ЛГН-5 на ОВ при различных угловых положениях медленной ОД путем вращения углового микропозиционера производства фирмы Thorlabs с ОВ. В качестве средства для регистрации интерференционных картин использовали фотокамеру Canon 5D markIII с логарифмическими профилями от Cinelogdpc.com с дальнейшей обработкой для получения линейного отклика и максимального динамического диапазона. Экран находился на расстоянии 140 см от исследуемого образца ОВ.

На рис. 2, а, представлено схематичное положение используемого в качестве примера ОВ относительно направления распространения пучка He-Ne-лазера. На рис. 2, б, приведен коллаж из 19 интерференционных картин рассеивания вперед на волокне ESC-12, зарегистрированных с шагом в 5° , каждая из которых является вертикально ориентированным набором минимумов и максимумов. Для его лучшей визуализации картинка была приведена с большей контрастностью.

В схеме записи ВБР (рис. 3) для предварительного позиционирования ОД исследуемого световода поворотное зеркало переводилось в положение, позволяющее облучать ОВ излучением He-Ne-лазера. Затем ОВ освещали пучком He-Ne-лазера, направленным перпендикулярно оси ОВ. Освещение пучком

He-Ne-лазера проводили через фазовую маску 7 производства фирмы Ibsen Photonics с периодом 1065,3 нм, оптимизированную на длину волны 248 нм, пучок в нулевом порядке дифракции имел достаточную интенсивность для регистрации интерференционной картины на экране. При анализе интерференционной картины рассеивания и сопоставлении ее с заранее полученной зависимостью ее параметров от угла между направлением распространения He-Ne-лазера и медленной осью двулучепреломления определяли положение ОД волокна.

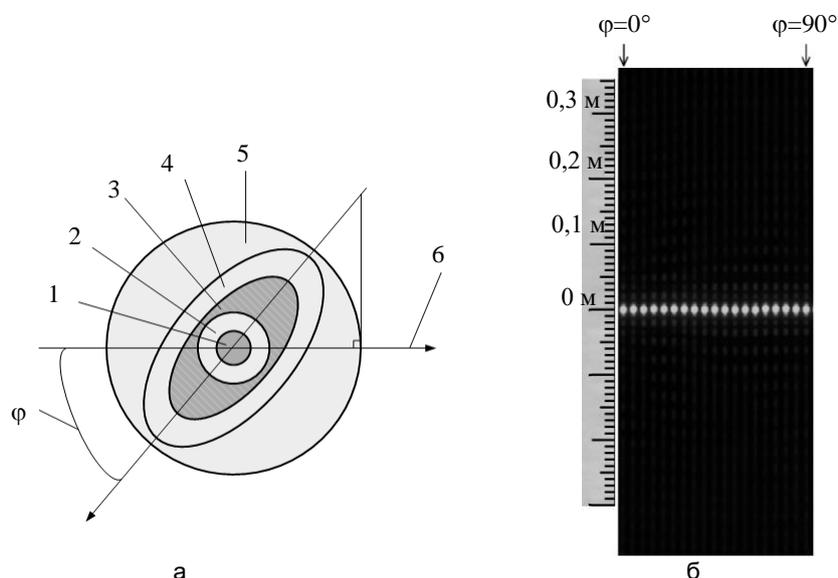


Рис. 2. Схематичное изображение поперечного сечения оптического волокна ESC-12: 1 – сердцевина; 2 – изолирующая оболочка; 3 – напрягающая оболочка; 4 – буферная оболочка; 5 – конструктивная оболочка; 6 – направление распространения излучения He-Ne-лазера; φ – угол между направлением распространения излучения He-Ne-лазера и медленной осью оптического волокна (а); коллаж картин рассеивания вперед, φ – соответствует положению оптического волокна на рис. 2, а (б)

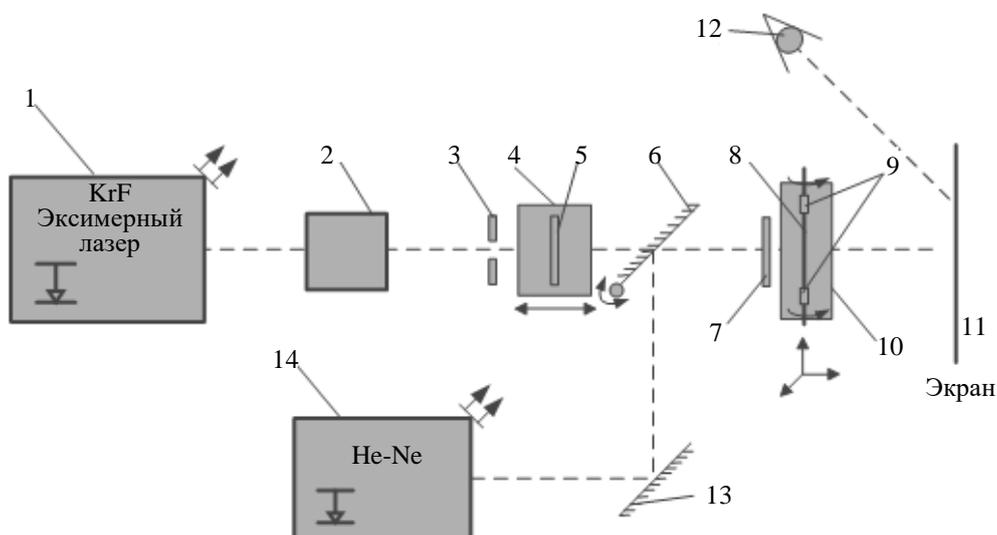


Рис. 3. Установка для записи волоконных решеток Брэгга: 1 – генерирующий записывающее излучение лазер; 2 – аттенюатор; 3 – цель; 4 – линейный микропозиционер; 5 – цилиндрическая линза; 6 – поворотное зеркало; 7 – фазовая маска; 8 – оптическое волокно; 9 – угловые микропозиционеры с магнитными держателями; 10 – трехкоординатный микропозиционер; 11 – экран; 12 – средство регистрации интерференционной картины; 13 – зеркало; 14 – He-Ne-лазер

При анализе интерференционной картины учитывали положение и интенсивность максимумов в наблюдаемой области. После этого плоскость, содержащую ось оптического волокна и его медленную ось двулучепреломления, ориентировали относительно плоскости падения записывающего излучения, содержащей ось оптического волокна.

Для генерации записывающего излучения использовался эксимерный лазер COMPEXPro 102F производства фирмы Coherent с газовой смесью KrF, генерировавший импульсы длительностью 20 нс на

длине волны 248 нм. Для получения желаемой плотности энергии в импульсе перед поверхностью фазовой маски настраивали аттенуатор, выбирали щель и положение цилиндрической линзы CYLX-40×40U-500, производства фирмы Lambda Research Optics с фокусным расстоянием 500 мм линейным микропозиционером. Затем в ОВ проводили запись решетки Брэгга импульсами излучения эксимерного лазера. Для этого поворотное зеркало переводилось в положение, позволяющее записать ВБР, а ОВ с помощью микропозиционера располагалось на расстоянии нескольких микрометров от поверхности фазовой маски.

Параметры и результаты многоимпульсной записи решеток Брэгга

Плотность энергии в импульсе записывающего излучения перед поверхностью ОВ составляла около 85 мДж/см². Длина записываемых решеток – 14 мм. Частота импульсов записывающего излучения – 10 Гц. По аналогии с работой [12] запись осуществлялась при двух положениях ОВ: ориентации плоскости, содержащей ось оптического волокна и его медленную ось двулучепреломления, параллельно и перпендикулярно относительно плоскости падения записывающего излучения, содержащей ось оптического волокна. Коэффициенты отражения ВБР измерялись с помощью спектроанализатора, персонального компьютера и специального программного обеспечения в режиме реального времени. Результаты записи приведены на рис. 4, а, б.

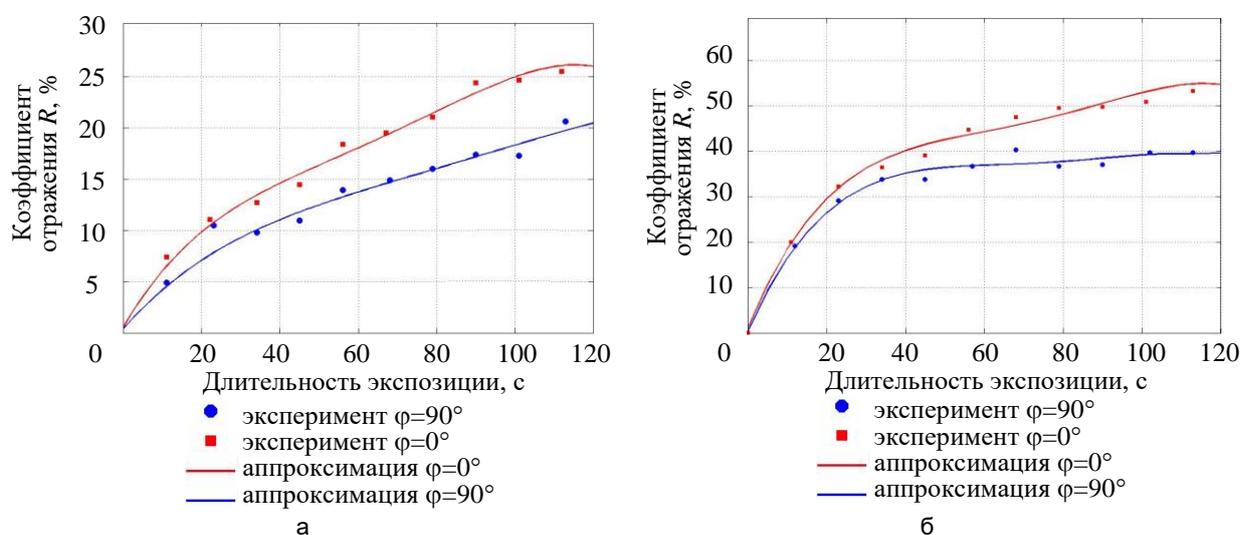


Рис. 4. Результаты многоимпульсной записи волоконных решеток Брэгга: в оптическое волокно ESC-12 (а); в оптическое волокно ESC-18 (б)

Как и в работах [12, 13], более эффективно решетки были записаны при предварительной ориентации плоскости, содержащей ось ОВ и его медленную ОД, параллельно плоскости падения записывающего излучения, содержащей ось ОВ. При этом же положении исследуемого ОВ рост коэффициента отражения значительно замедляется после большого количества импульсов записывающего излучения в сравнении с записью при предварительной ориентации плоскости, содержащей ось ОВ и его медленную ОД, перпендикулярно плоскости падения записывающего излучения, содержащей ось ОВ.

Заключение

В работе использована схема записи ВБР с возможностью предварительной ориентации осей двулучепреломления оптического волокна. Представлены результаты многоимпульсной записи решеток Брэгга типа I в анизотропных оптических волокнах импульсами KrF эксимерного лазера методом фазовой маски. Более эффективно решетки были записаны при предварительной ориентации плоскости, содержащей ось оптического волокна и его медленную ось двулучепреломления, параллельно плоскости падения записывающего излучения, содержащей ось оптического волокна. Также было определено, что в этом же положении исследуемых оптических волокон рост коэффициента отражения значительно замедляется после большого количества импульсов записывающего излучения в сравнении с записью при предварительной ориентации плоскости, содержащей ось оптического волокна и его медленную ось двулучепреломления, перпендикулярно плоскости падения записывающего излучения, содержащей ось оптического волокна. Это позволяет выработать рекомендации для более эффективной многоимпульсной записи волоконных решеток Брэгга в волокнах, изготовленных по технологии [10, 11]. Также предварительная ориентация оси двулучепреломления позволяет снизить поляризационные

преобразования на решетках, которые являются источником шумов в фазовых интерферометрических датчиках [4].

Литература

- Griboev A.I., Pavlishin I.V., Stam A.M., Idrisov R.F., Varzhel S.V., Konnov K.A. Laboratory setup for fiber Bragg gratings inscription based on Talbot interferometer // *Optical and Quantum Electronics*. 2016. V. 48. N 12. Art. 540.
- Кукушкин С.А., Осипов А.В., Шлягин М.Г. Образование микропор в оптическом волокне под воздействием импульсного УФ света высокой интенсивности // *ЖТФ*. 2006. Т. 76. № 8. С. 73–84.
- Kashyap R. *Fiber Bragg Gratings*. San Diego: Academic Press, 1999. 478 p.
- Zhao Y., Sun B., Liu Y., Ren J., Zhang J., Yang J., Canning J., Peng G.D., Yuan L. Polarization mode coupling and related effects in fiber Bragg grating inscribed in polarization maintaining fiber // *Optics Express*. 2016. V. 24. N 1. P. 611–619. doi: 10.1364/oe.24.000611
- Carrara S.L.A., Kim B.Y., Shaw H.J. Elasto optic alignment of birefringent axes in polarization holding optical fiber // *Optics Letters*. 1986. V. 11. N 7. P. 470–472. doi: 10.1364/ol.11.000470
- Fujikura Ltd. Product Bulletin #88112000 on the FSM-20 PM. Fujikura, 1990. 2 p.
- Aniano J.B. System for Determining Birefringent Axes in Polarization-Maintaining Optical Fiber, Patent US 5317575. 1994.
- Watkins L.S. Scattering from side-illuminated clad glass fibers for determination of fiber parameters // *Journal of the Optical Society of America*. 1974. V. 64. N 6. P. 767–772. doi: 10.1364/josa.64.000767
- Smithgall D.H., Watkins L.S., Frazee R.E. Jr. High-speed noncontact fiber-diameter measurement using forward light scattering // *Applied Optics*. 1977. V. 16. N 9. P. 2395–2402. doi: 10.1364/ao.16.002395
- Ероньян М.А. Способ изготовления волоконных световодов, сохраняющих поляризацию излучения. Патент РФ № 2155359. 2000.
- Буреєв С.В., Дукельский К.В., Ероньян М.А., Злобин П.А., Комаров А.В., Левит Л.Г., Страхов В.И., Хохлов А.В. Технология крупногабаритных заготовок анизотропных одномодовых световодов с эллиптической оболочкой // *Оптический журнал*. 2007. Т. 74. № 4. С. 85–87.
- Архипов С.В., Стригалёв В.Е., Солдатова Н.С., Варжель С.В., Мунко А.С., Смирнова Ю.Д. Зависимость эффективности записи брэгговских решеток в двулучепреломляющих оптических волокнах от ориентации напрягающей эллиптической оболочки // *Оптический журнал*. 2016. Т. 83. № 11. С. 79–82.
- Arkhipov S.V., Strigalev V.E., Varzhel S.V., Smirnova Y.D., Soldatova N.S., Palanjyan D.A., Munko A.S., Petrov A.A. Birefringent optical fibers axial positioning technique for fiber Bragg gratings writing // *Optical and Quantum Electronics*. 2016. V. 48. N 12. Art. 541. doi: 10.1007/s11082-016-0815-4

Авторы

Архипов Сергей Владимирович – инженер-исследователь, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, thinkingcreature@yandex.ru

Стригалев Владимир Евгеньевич – кандидат физико-математических наук, доцент, профессор, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, vstrglv@mail.ru

Варжель Сергей Владимирович – кандидат физико-математических наук, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, Vsv187@gmail.ru

Кикилич Никита Евгеньевич – инженер-исследователь, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, kikiilich@mail.ru

References

- Griboev A.I., Pavlishin I.V., Stam A.M., Idrisov R.F., Varzhel S.V., Konnov K.A. Laboratory setup for fiber Bragg gratings inscription based on Talbot interferometer. *Optical and Quantum Electronics*, 2016, vol. 48, no. 12, art. 540.
- Kukushkin S.A., Osipov A.V., Shlyagin M.G. Formation of pores in the optical fiber exposed to intense pulsed UV radiation. *Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics*, 2006, vol. 51, no. 8, pp. 1035–1045. doi: 10.1134/S1063784206080135
- Kashyap R. *Fiber Bragg Gratings*. San Diego, Academic Press, 1999, 478 p.
- Zhao Y., Sun B., Liu Y., Ren J., Zhang J., Yang J., Canning J., Peng G.D., Yuan L. Polarization mode coupling and related effects in fiber Bragg grating inscribed in polarization maintaining fiber. *Optics Express*, 2016, vol. 24, no. 1, pp. 611–619. doi: 10.1364/oe.24.000611
- Carrara S.L.A., Kim B.Y., Shaw H.J. Elasto optic alignment of birefringent axes in polarization holding optical fiber. *Optics Letters*, 1986, vol. 11, no. 7, pp. 470–472. doi: 10.1364/ol.11.000470
- Fujikura Ltd. *Product Bulletin #88112000 on the FSM-20 PM*. Fujikura, 1990, 2 p.
- Aniano J.B. *System for Determining Birefringent Axes in Polarization-Maintaining Optical Fiber*, Patent US 5317575. 1994.
- Watkins L.S. Scattering from side-illuminated clad glass fibers for determination of fiber parameters. *Journal of the Optical Society of America*, 1974, vol. 64, no. 6, pp. 767–772. doi: 10.1364/josa.64.000767
- Smithgall D.H., Watkins L.S., Frazee R.E. Jr. High-speed noncontact fiber-diameter measurement using forward light scattering. *Applied Optics*, 1977, vol. 16, no. 9, pp. 2395–2402. doi: 10.1364/ao.16.002395
- Eron'yan M.A. *Sposob Izgotovleniya Volokonnykh Svetovodov, Sokhranyayushchikh Polyarizatsiyu Izlucheniya*. Patent RU 2155359, 2000.
- Bureev S.V., Dukel'skii K.V., Eron'yan M.A., Komarov A.V., Levit L.G., Khokhlov A.V., Zlobin P.A., Strakhov V.I. Processing large blanks of anisotropic single-mode lightguides with elliptical cladding. *Journal of Optical Technology*, 2007, vol. 74, no. 4, pp. 297–298.
- Arkhipov S.V., Strigalev V.E., Soldatova N.S., Varzhel S.V., Munko A.S., Smirnova Y.D. How the efficiency with which Bragg gratings are recorded in birefringent optical fibers depends on the orientation of elliptical stress cladding. *Journal of Optical Technology*, 2016, vol. 83, no. 11, pp. 708–710. doi: 10.1364/JOT.83.000708
- Arkhipov S.V., Strigalev V.E., Varzhel S.V., Smirnova Y.D., Soldatova N.S., Palanjyan D.A., Munko A.S., Petrov A.A. Birefringent optical fibers axial positioning technique for fiber Bragg gratings writing. *Optical and Quantum Electronics*, 2016, vol. 48, no. 12, art. 541. doi: 10.1007/s11082-016-0815-4

Authors

Sergey V. Arkhipov – research engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, thinkingcreature@yandex.ru

Vladimir E. Strigalev – PhD, Associate Professor, Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, vstrglv@mail.ru

Sergey V. Varzhel – PhD, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, Vsv187@gmail.ru

Nikita E. Kikiilich – research engineer, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, kikiilich@mail.ru