УДК 666.189.21-022.532

Shapovalova T. C., Dmitruk A.V., Kolobkova E.V

THE FIBER-OPTICAL ELEMENTS FOR IMAGE TRANSMISSION ON THE BASIS OF DISORDERED NANOSTRUCTURED GLASS-LIKE COMPOSITE MATERIALS

St. Petersburg State Institute of Technology (Technical University) Moskovsky Pr. 26, St Petersburg, 190013, Russia
JSC “NITIOM VSC” Vavilov State Optical Institute. SIVavilova, Kadetskaya liniya V.O., 5, h. 2, St Petersburg, 199053, Russia
e-mail: kolobok106@rambler.ru

We investigated the peculiarities of the formation and optical properties of fiber-optical elements on the basis of disordered nanostructured glass-like composite materials. Based on the analysis of the electron microscopy data it was revealed that the size of the structural light-carrier are 100-200 nm. New technology for the manufacture of fiber-optical elements on the basis of disordered nanostructured glass-like composite materials is developed. The sizes of a single structural element are less than the wavelength (100-200 nm). Obtained by this technology composite transmitters demonstrate the imagination like fiber optic plate or rigid fiber-optic bundle. The samples do not give a distorted image of a straight line and have a resolution more than 50 lines/mm.

Key words: light guide, fiber optic elements, gradient lenses, nanostructured glass-like composite materials

Т.С. Шаповалова[1], А.В. Дмитрюк[2], Е.В. Колобкова[3]

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Московский пр., д. 26, Санкт-Петербург, 190013, Россия
ОАО «НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И.Вавилова» Кадетская линия В.О., 5, корп. 2, Санкт-Петербург, 199053, Россия
e-mail: kolobok106@rambler.ru

В работе исследовались особенности формирования и оптических свойств волоконно-оптических элементов на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов. На основании анализа структуры с привлечением данных электронной микроскопии обнаружено, что размеры структурного светонесущего составляют 100-200 нм. Разработана новая технология изготовления волоконно-оптических элементов на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов, с размером единичного структурного элемента меньше длины волны (100-200 нм). Полученный по данной технологии композит передает изображение подобно волоконно-оптической пластине или жесткому волоконно-оптическому жгуту. Образцы не дают искажения изображения прямой линии и имеют разрешающую способность более 50 линий/мм.

Ключевые слова: световод, волоконно-оптические элементы, градиентные микролинзы, наноструктурированные стеклообразные композиционные материалы

DOI: 10.15217/issn1998984-9.2014.27.18

Введение

Основным элементом классической волоконной оптики (или волоконной оптики первого поколения) является одножильный световод – световедущая жила с высоким показателем преломления, окруженная светоизолирующей оболочкой с низким показателем преломления, причем диаметр световедущей жилы в несколько раз превышает длину волны проходящего света. Его используют при изготовлении гибких и жестких одномодовых и многомодовых световодов и преобразователей, спеченных волоконно-оптических пластин (ВОП), волоконно-оптических инверторов (поворотников), фоконов.

До последнего времени изготовление жестких волоконных структур основывалась на регулярных структурах: путем вытяжки световодов по технологии штабик-трубка. Несмотря на огромное количество разработок по технологии изготовления волоконно-оптических элементов (ВОЭ), постоянно ведутся работы по упрощению процесса производства.[1-4]

Последнее десятилетие разрабатывается новый подход к созданию оптических элементов, который основан на методе многократных перетяжек неупорядоченных структур до размеров единичного элемента структуры существенно меньше длины волны (100-200 нм). По новой технологии получены наноструктурированные градиентные микролинзы и линзы большого диаметра,

[1] Шаповалова Татьяна Сергеевна, аспирант каф. химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов, e-mail: kolobok106@rambler.ru
Shapovalova Tatiana S., Ph.D.student, Department of Chemical technology of refractory non-metal and silicate materials, e-mail: kolobok106@rambler.ru
[2] Дмитрюк Александр Васильевич., канд. физ.-мат. наук, начальник НПК «СТЕКЛО», ОАО «НИТИОМ ВНЦ «ГОИ им. С.И.Вавилова»
Dmitryk Aleksandr V., PhD (Phys.-Math.), Head of SPC «GLASS», JSC «NITIOM VSC» Vavilov State Optical Institute. SIVavilova «
[3] Колобкова Елена.Вячеславовна., д-р хим. наук, профессор, каф. химической технологии тугоплавких неметаллических и силикатных материалов СПбГТИ(ТУ), e-mail: kolobok106@rambler.ru
Kolobkova Elena V., Dr Sci (Chem.), Professor, Department of Chemical technology of refractory non-metal and silicate materials, e-mail: kolobok106@rambler.ru

Дата поступления – 5 ноября 2014 года
Received November, 5, 2014

представлены основные характеристики микролинз.[5-9]

Однако в этих работах не приводится данных по оптическим свойствам материалов в отдельных слоях градиентного композита.

Целью нашей работы является исследование оптических свойств волоконно-оптических элементов на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов.

Методика эксперимента

Вытяжка производилась на установке для вытяжки – К5481СБ,

Электронно-микроскопические снимки были получены на растровом электронном микроскопе EVO-40 фирмы Цейс, Визуализация качества заготовки оценивалась с помощью микроскопа МСП-2, Качество передачи изображения оценивалось с помощью миры штриховой оптической № 3, Для получения образцов использовался стандартный набор оборудования для обработки плоских оптических деталей.

Результаты и их обсуждение

Были проведены исследования по получению волоконно-оптических элементов, используя технологию многократных перетяжек неупорядоченных структур до размеров единичного элемента структуры существенно меньше длины волны (100-200 нм).

Всю технологию получения можно разделить на несколько шагов:

Первый шаг технологии – изготовление дротов[4] диаметром 0,8-1 мм из двух видов стекол с разными значениями показателя преломления n_1=1.821 и n_2=1.500.

Была выбрана пара термически согласованных стекол, т.е. оба стекла имели примерно одинаковую вязкость (около 10^7пуаз) при температуре вытяжки и разница эффективных температурных коэффициентов линейного расширения (ТКЛР), определенных спеканием двух стекол, составляла $4{,}7\times10^{-7}$ $К^{-1}$.

2) На следующем этапе из стеклянных дротов собирают пакет-заготовку, используя метод механического хаотического смешения. Заготовка в нормальном сечении имела форму правильного шестиугольника. Фотография нормального сечения пакета, собранного из стекол в соотношении 1:1, представлен на рисунке 1. Пакет содержал около 4000 дротов.

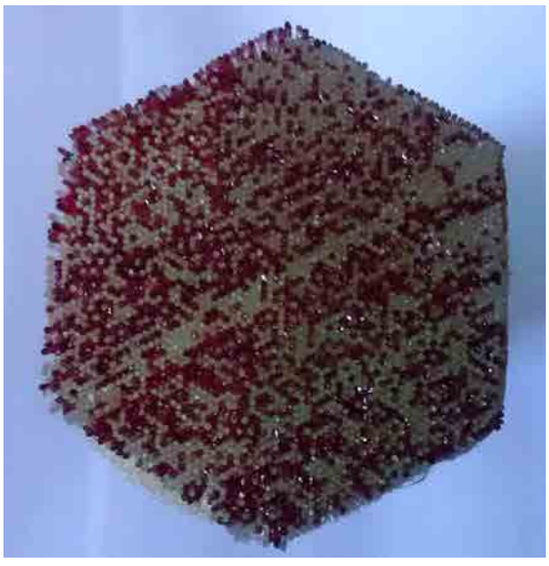


Рисунок 1. Фотография собранного пакета.

В зависимости от соотношения двух стекол в преформе эффективный показатель преломления гетероструктуры может меняться от максимального значения показателя преломления (n_1) до минимального (n_2).

3) Собранный пакет с двойной апофемой[5] сечения около 40 мм перетягивали с сохранением подобия сечения примерно в 50 раз в многожильный световод (МЖС).

4) Полученные на предыдущем этапе МЖС укладывали в пакет-заготовку и снова вытягивали в сверх многожильный световод (СМЖС).

5) СМЖС собирали в новый пакет и перетягиваются в сверхсверхмногожильный световод (ССМЖС) до размеров около 7 мм, размеры единичного элемента структуры при этом достигают величины существенно меньше длины волны (100 – 200 нм).

На рисунках 2, 3 представлены электронно-микроскопические снимки структуры исследуемого образца (2) и волоконно-оптического элемента, изготовленного традиционным методом (3).

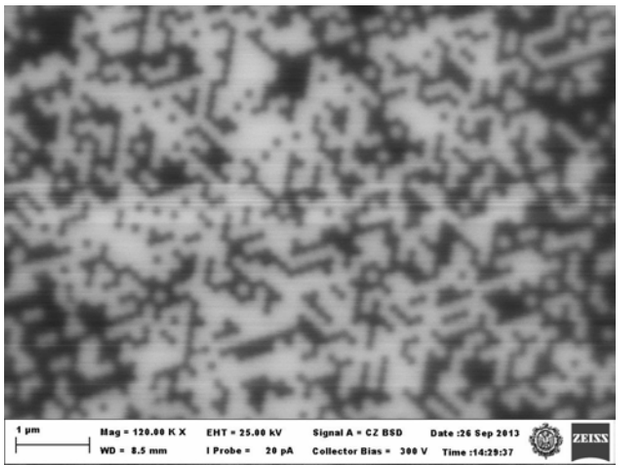


Рисунок 2. Электронная микроскопия структуры волоконно-оптического элемента на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов.

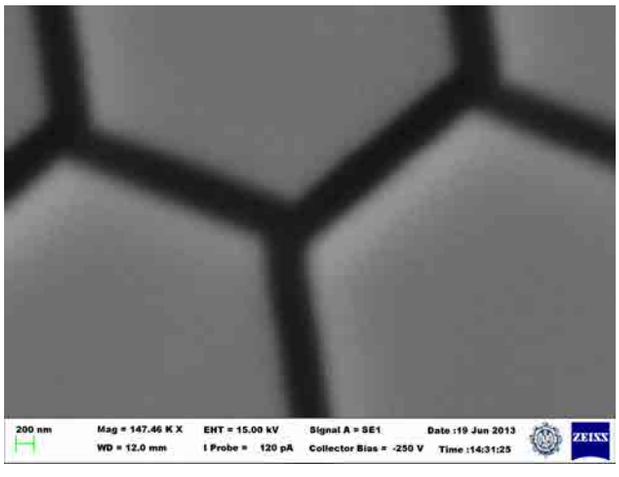


Рисунок 3. Электронная микроскопия структуры волоконно-оптического элемента, изготовленного традиционным методом.

Электронно-микроскопические снимки сделаны практически в одном масштабе, и из них видно, что структуры волоконно-оптических элементов существенно отличаются. В случае наноструктурированных волокон-

[4] Дрот – цилиндрическая заготовка из стекла длиной от 50 см и выше,
[5] Апофема (мат) – линия из центра правильного многоугольника под прямым углом в любой ее стороне

но-оптических элементов размер единичного световода достигает порядка 100-200 нм, неупорядоченное распределение единичных световодов из двух видов стекол наглядно видно на рисунке 2 в виде светлых и темных областей. В то время как на рисунке 3 можно наблюдать упорядоченную структуру, имеющую световоды с сердцевиной из высокопреломляющего стекла около 4-5 мкм, окруженной тонкой оболочкой из стекла с низким показателем преломления.

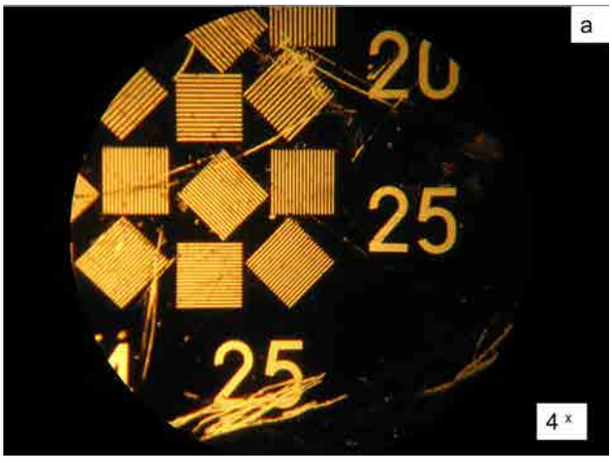
Внешний вид волоконно-оптических элементов на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов представлен на рисунке 4.

Рисунок 4. Внешний вид волоконно-оптических элементов на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов

Полученный наноструктурированный композит ведет себя подобно волоконно-оптической пластине или жесткому волоконно-оптическому жгуту и передает изображение с одного торца композита на другой.

Эффект прохождения света в неупорядоченной структуре с размером единичного световода меньше длины волны получен впервые и не имеет теоретического объяснения.

Разрешающая способность образцов в виде пластин толщиной 5 мм, измеренная с помощью штриховой миры, более 50 линий/мм. Результаты оценки представлены на рисунках 5.



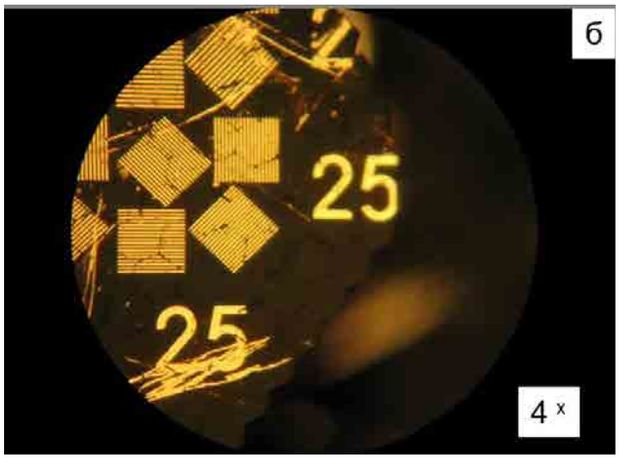
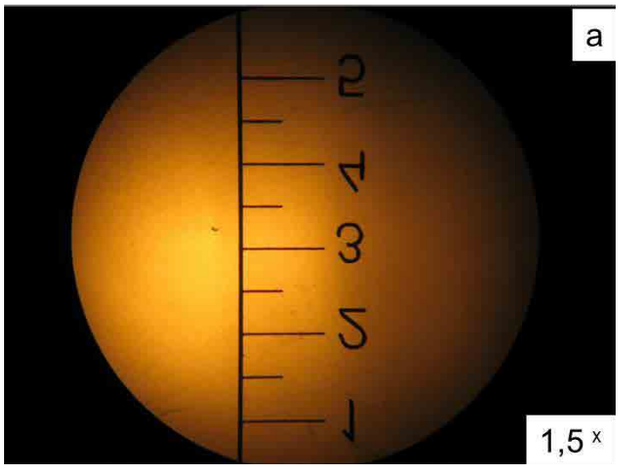


Рисунок 5. а - 25 квадрат штриховой миры без образца; б - разрешающая способность образца на 25-м квадрате штриховой миры.

Как видно на снимках, образцы обладают высоким разрешением, но более низким контрастом.

Установлено, что при передаче изображения волоконно-оптическим элементом на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов искажение прямой линии не происходит. Данные представлены на рисунке 6.



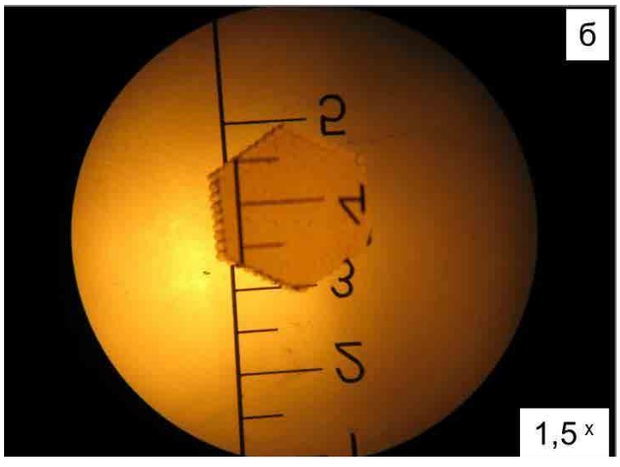


Рисунок 6. а - изображение прямой линии при 1,5-кратном увеличении; б - определение искажения прямой линии через образец.

Выводы

Разработана новая технология изготовления волоконно-оптических элементов на основе неупорядоченных наноструктурированных стеклообразных композиционных материалов, с размером единичного структурного элемента меньше длины волны (100-200 нм).

Полученный по данной технологии композит передает изображение подобно волоконно-оптической пластине или жесткому волоконно-оптическому жгуту.

Образцы не дают искажения изображения прямой линии и имеют разрешающую способность более 50 линий/мм.

Литература

1 *Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К.,* Оптика световодов., изд-во «Машиностроение», Ленинград, 1969. с.

2. *Саттаров Д.К.,* Волоконная оптика. Л.: «Машиностроение», 1973. с.

3. *Полухин В.Н., Ефремов С.К., Иванов В.Н.* Способ изготовления волоконно-оптических элементов и микроканальных структур:пат. 2235072 Рос Федерация. 2001124456/03, заявл. 03.09.2001; опубл. 27.07.2003

4. *S. Heyvaert, H. Ottevaere, I. Kujawa, R. Buczynski, and H. Thienpont* Stack-and-draw technique creates ultrasmall-diameter endoscopes // Optical fiber manufacturing, 2013. V. 29. P. 33

5. *Y. Huang and S.-T. Ho*, Superhigh numerical aperture (NA > 1.5) micro gradient-index lens based on a dualmaterial approach // Opt. Lett. 2005. V. 30(11), P. 1291-1293

6. *F. Hudelist, R. Buczynski, A. J. Waddie, and M. R. Taghizadeh*, Design and fabrication of nano-structured gradient index microlenses // Opt. Express 2009. V. 17(5). P. 3255-3263.

7. *F. Hudelist, J. M. Nowosielski, R. Buczynski, A. J. Waddie, and M. R. Taghizadeh,* Nanostructured elliptical gradient-index microlenses // Opt. Lett. 2010. V. 35(2). P. 130-132.

8. *J. M. Nowosielski, R. Buczynski, F. Hudelist, A. J. Waddie, and M. R. Taghizadeh,* Nanostructured GRIN microlenses for Gaussian beam focusing // Opt. Commun. 2010. V. 283(9). P. 1938-1944

9. *J. Nowosielski, R. Buczynski, A. J. Waddie, A. Filipkowski, D. Pysz, A. McCarthy, R. Stepien, and M. R. Taghizadeh,* Large diameter nanostructured gradient index lens // Opt. Express. 2012. V. 20(11). P. 11767-11777.

10. ГОСТ 15114-78 Системы телескопические для оптических приборов.