

МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ВОЛОКОН С ПОЛОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ ДЛЯ ЛАЗЕРНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

✉ Р. Р. Кашина¹, В. В. Демидов², Н. В. Никоноров¹

¹ Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

² Научно-производственное объединение «Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова», Санкт-Петербург, Россия

✉ ranoxan13@gmail.com

Микроструктурированные (МС) оптические волокна представляют собой специально разработанные направляющие среды, внутренняя структура которых способствует управлению распространением света вдоль волокна. Они обладают определенной геометрией, включающей периодические изменения показателя преломления или размеров / формы элементов сердцевин и оболочки.

Благодаря своим свойствам МС-волокна заняли важное место в приложениях для волоконных лазеров. В случае работы на одной частоте лазерные МС-волокна более эффективны, чем традиционные волокна со ступенчатым профилем показателем преломления (при условии реализации воздушной оболочки). Для лазера на основе МС-волокна длина световода может быть ограничена несколькими метрами или десятками сантиметров [1], в то время как лазерное волокно со ступенчатым профилем показателем преломления обычно имеет длину в десятки метров, чтобы обеспечить аналогичную работу с высокой оптической мощностью [2, 3]. Кроме того, из-за простоты масштабирования МС-волокон возможно производство волоконных лазеров с существенно большей, чем в случае традиционных волокон, площадью поля моды [4].

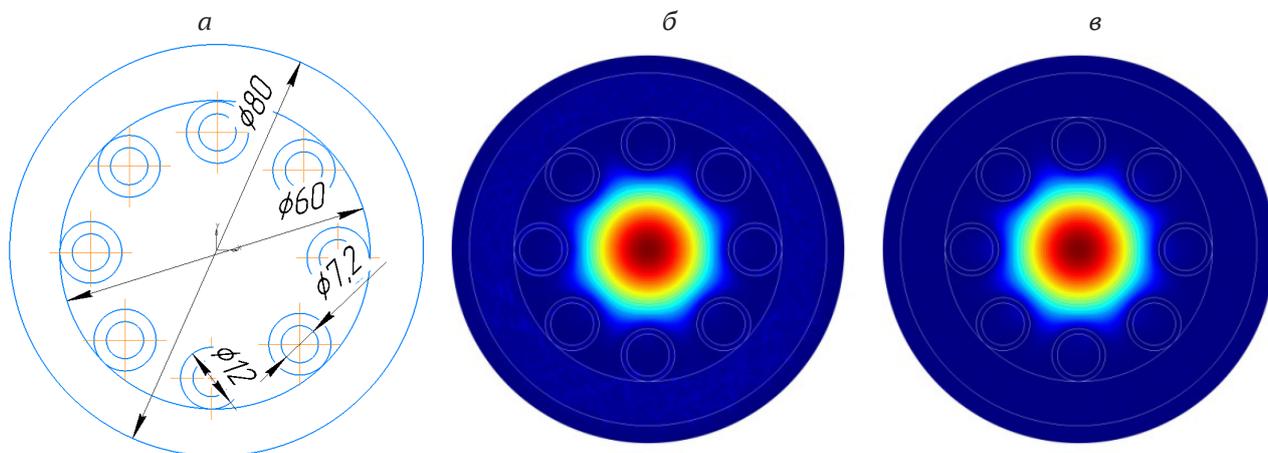
Принцип локализации электромагнитного излучения в полых МС-волокнах базируется на эффектах, связанных с наличием и отсутствием резонансных явлений в оболочке из капилляров. Это обусловлено рядом преимуществ таких световодов относительно аналогов, сердцевина которых выполнена из стекла, а именно возможностью направленной передачи световых потоков с высокой мощностью от лазеров ультракоротких импульсов, управления дисперсионными характеристиками и коэффициентом нелинейности, функционирования в спектральных областях фундаментального поглощения материала, из которого изготовлен световод [5]. Для распространения излучения в полых сердцевинах необходимо, чтобы выполнялось условие антирезонанса, в этом случае мы получаем длину волны антирезонанса λ_{am} , которую возможно рассчитать по формуле:

$$\lambda_{am} = \frac{4d}{(2m+1)} \sqrt{n_2^2 n_1^2},$$

где d — толщина стенки капилляра; m — порядковый номер, начиная с 1, определяющий количество областей пропускания сигнала, $n_1 = 1$ (воздух) и $n_2 = 1,45$ (кварцевое стекло) [6].

Одним из нетипичных преимуществ использования полых МС-волокон является возможность заполнения пустот и, в частности, световедущей сердцевин разными растворами и примесями для обеспечения специальной среды и возбуждения активных ионов. В данной

работе проводится расчет МС-волокна для возможности заполнения поллой сердцевины нанокомпозитами, которые, в свою очередь, легированы ионами $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$. Для этого построена численная модель и выполнен расчет геометрии МС-волокна для получения антирезонансной длины волны в области накачки ионов иттербия $\lambda = 970\text{--}980$ нм и в области люминесценции ионов эрбия $\lambda = 1530\text{--}1560$ нм. На рисунке представлена конструкция такого МС-волокна.



Геометрия МС волокна в масштабе 1:10 (а); расчетное распределение интенсивности фундаментальной моды на $\lambda = 975$ нм (б); расчетное распределение интенсивности фундаментальной моды на $\lambda = 1550$ нм (в)

В данной работе обнаружено вблизи заданных диапазонов с помощью численного моделирования в программном пакете COMSOL Multiphysics, что наиболее благоприятным вариантом является значение толщины стенки 2,4 мкм. Для попадания в пределы диапазонов длин волн накачки и эмиссии люминесценции двух активных ионов было достаточно сложно рассчитать идеальную толщину стенки капилляров на границе раздела сердцевина / оболочка. Данные расчеты позволяют изготовить специальное МС-волокно с рассчитанной структурой. После этого волокно будет заполнено нанокомпозитами с добавлением комбинации ионов $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$ с последующим исследованием его спектрально-люминесцентных характеристик.

Список литературы

1. Limpert J., Schmidt O., Rothhardt J. et al. Extended single-mode photonic crystal fiber lasers // Opt. Express. 2006. Vol. 14. P. 2715–2720.
2. Yeong Y., Sahu J. K., Payne D. N., Nilsson J. Ytterbium-doped large core fiber laser with 1.36 kW continuous-wave output power // Opt. Express. 2004. Vol. 12. P. 6088–6092.
3. Liempert A., Deguil-Robin N., Manek-Hönninger I. et al. High-power rod-type photonic crystal fiber laser // Opt. Express. 2005. Vol. 13. P. 1055–1058.
4. Knight J. C., Birks T. A., Cregan R. F. et al. Large mode area photonic crystal fibre // Electron. Lett. 1998. Vol. 34. P. 1347–1348.
5. Ананьев В. А., Демидов В. В., Леонов С. О., Никоноров Н. В. Полые антирезонансные световоды с большой эффективной площадью модового поля для работы в ближней и средней ИК-областях спектра // Тр. учеб. заведений связи. 2019. Т. 5. № 1. С. 6–14.
6. Litchinitser N. M., Abeeluck A. K., Headley C., Eggleton B. J. Antiresonant reflecting photonic crystal optical waveguides // Optics Letters. 2002. Vol. 27(18). P. 1592–1594.