

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СВЕТОВОДОВ ДЛЯ СРЕДНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА ОТ 2,0 ДО 50,0 МКМ

Лашова А.А.

Уральский федеральный университет г. Екатеринбург, Россия

anastasija.lashova@vandex.ru

Аннотация. В работе выполнено компьютерное моделирование фотонно-кристаллических световодов различной структуры. По результатам моделирования определены зависимости модовой дисперсии от разности показателей преломления элементов структуры световода, размеров включений, межвставочного расстояния. По полученным зависимостям определены геометрические и оптические параметры для создания одномодового фотонно-кристаллического световода с увеличенным полем моды.

Проведено исследование нелинейных свойств фотонно-кристаллических световодов. Выполнен анализ результатов моделирования по степени заполнения волокна, а именно по количеству колец вставок и величине пропускаемой энергии. Проведены эксперименты по практическому применению однослойных световодов для инфракрасной термографии. Разработан инфракрасный волоконно-оптический датчик на основе ИК-спектроскопии для определения количества влаги в трансформаторном масле. Получены фотонно-кристаллические световоды для космических исследований, ядерной энергетики и медицинских лазеров.

Ключевые слова: фотонно-кристаллический световод, моделирование, средний ИК-диапазон, галогениды серебра, галогениды таллия.

MANUFACTURING AND STRUCTURE'S SIMULATION OF PCF FOR THE MID- INFRARED RANGE FROM 2.0 TO 50.0 MKM

Lashova A.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. In this paper, computer simulations of photonic crystal fibers (PCF) of various structures are performed. Based on the simulation results, the dependence of the mode dispersion on the difference in the refractive indices of the optical fiber

structure's elements, the size of the inclusions, the inter-insertion distance is determined. Based on the dependences obtained, geometric and optical parameters are determined for creating a single-mode PCF with an increased mode field.

An analysis of the results of modeling on the degree of fiber filling, namely, the number of inserted rings and the amount of transmitted energy is performed. Experiments have been carried out on the practical application of single-layer light guides for infrared thermography. An infrared fiber-optic sensor based on IR spectroscopy was developed to determine the amount of moisture in the transformer oil. Photonic crystal fibers for space research, nuclear power engineering and medical lasers have been obtained.

Key words: PCF, photonic-crystal fiber, mid-infrared, silver halide, thallium halide

Фотонно-кристаллические световоды (ФКС) представляют собой новый класс компонентов нелинейной оптики, позволяющих передавать излучение с диаметром поля фундаментальной моды до 200 мкм, в одномодовом режиме, обладающих высокими селективными свойствами и прочностными характеристиками, пропускающих энергию высокой мощности [1]. Перечисленные свойства ФКС достигаются наличием фотонных запрещенных зон, расположенных вокруг сердцевины волокна в виде колец вставок с меньшим показателем преломления, чем основной материал световода. Изготовление фотонно-кристаллических световодов является сложным, ресурсоемким процессом, в связи с чем включение в технологический процесс этапа компьютерного моделирования структуры волокна и его свойств необходимо для оптимизации процесса изготовления и существенного снижения временных и материальных затрат [1].

Создание ФКС для среднего инфракрасного диапазона является актуальной задачей фотоники, так как существующие кварцевые волокна прозрачны только от 0,2 до 2,0 мкм, соответственно для длин волн от 2,0 до 50,0 мкм не применимы, а одно- и двухслойные ИК-световоды не могут обеспечить одномодовый режим работы при больших диаметрах волокна [1].

Целью работы является упрощение технологии производства фотонно-кристаллических световодов для спектрального диапазона от 2,0 до 50,0 мкм за счет моделирования их структуры и оценки оптических свойств волокон перед изготовлением.

Для моделирования была выбрана методика SMT, реализуемая в программном пакете SMTP (source-model technique psckage), интегрированном в Matlab. Ее преимуществом является удобство в эксплуатации, возможность

загрузки любой геометрии поперечного сечения, высокая скорость вычисления модовых параметров, высокая точность моделирования, применимость как к кварцевым, так и к галогенидосеребряным световодам. В данной работе рассматриваются ФКС на основе модифицированных галогенидов серебра с центральной вставкой из оптически более плотного материала, чем материал матрицы, таким образом, при моделировании необходимо учитывать два механизма распространения излучения полное внутреннее отражение (ПВО) и фотонные запрещенные зоны (ФЗЗ) [3]. Программа SMTP позволяет учитывать совокупность этих двух механизмов при минимальном наборе входных данных: диэлектрические и магнитные проницаемости среды, показатели преломления, длина волны, свойства симметрии структуры.

На первом этапе моделирования была исследована модовая дисперсия в зависимости от разности показателей. Для исследования были выбраны 50 составов световодов, для которых были построены двумерные модели и определено количество мод и их структура. Отдельно были рассчитаны разности квадратов показателей преломления матрицы и вставок.

На основании полученных данных был построен график зависимости количества мод от разности показателей преломления с выделением одномодовых режимов с модой низшего порядка (рис. 1). По графику на рисунке 1 можно сделать вывод о пропуске фундаментальной моды при разности показателей преломления менее $\Delta n=0,04$, что возможно при близких химических составах элементов световода. Однако малая разница показателей преломления не гарантирует наличия увеличенного диаметра поля моды, что подтверждается моделированием при $\Delta n < 0,04$. Таким образом, для получения требуются дополнительные условия для получения необходимой структуры моды.

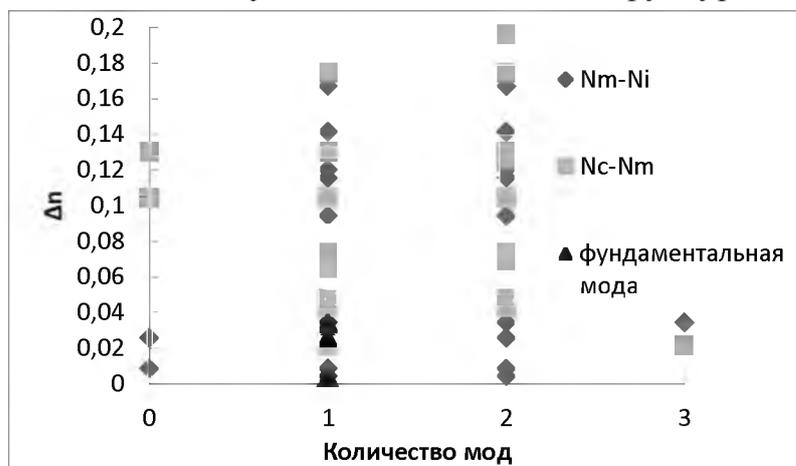


Рисунок 1- График зависимости количества мод от разности показателей преломления

Далее были исследованы структуры поля моды в зависимости от размера вставок и межвставочного расстояния. Для моделирования были выбраны волокна с гексагональным и октагональным расположением ФЗЗ-вставок.

Предварительно для ИК-световодов была построена фазовая диаграмма, которая позволяет оценить отношение d/Λ , при которых происходит переход от многомодового режима к одномодовому (рис. 2). Все точки, расположенные левее линии отсечки соответствуют одномодовым световодам, в то время как точки справа от границы раздела – многомодовым. Для дальнейших исследований отношения d/Λ выбирались в соответствие с фазовой диаграммой.

Зависимость модовой дисперсии от диаметра вставок рассматривалась для ФКС гексагональной структуры. В программе SMTP симулировались волокна при 7 диаметрах включений с составом: матрицы 2 мол.% AgCl в AgBr при $n_m=2,161$, кольцевых вставок 7 мол.% AgCl в AgBr при $n_i=2,149$, центрального дефекта 0,5 мол.% ПИ в AgBr при $n_{ci}=2,167$, обеспечивающим малую разность показателей преломления.

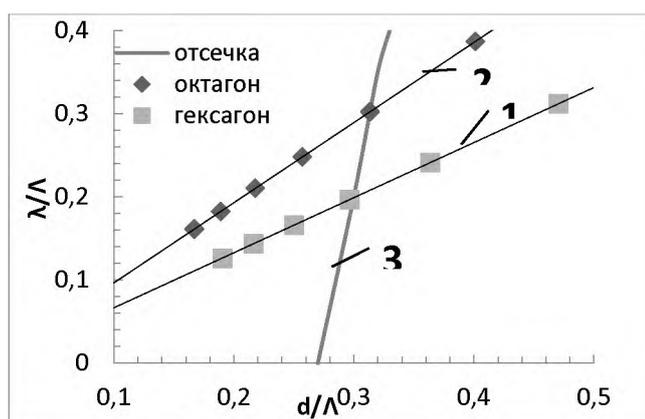


Рисунок 2 - Модели проходящего ЭМ-поля в поперечном сечении ФКС при различных Δn

Моделирование показало увеличение количества мод проходящего излучения при увеличении размера вставок, что связано с удержанием большей энергии в центральном дефекте большого диаметра. Среди полученных моделей, наиболее эффективной оказалась структура световода с вставками 37,5 мкм, который передает 2 моды излучения с гауссовским распределением пучка (при суперпозиции мод) (рис. 3).

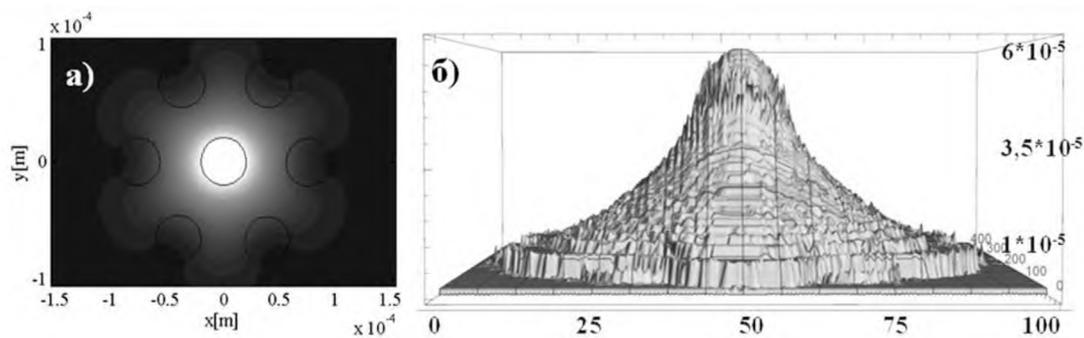


Рисунок 3 - Двумерная (а) и трехмерная (б) картины распределения излучения в поперечном сечении ФКС с вставками 37,5 мкм

Инфракрасные волокна могут быть применены во многих областях науки и техники. Однослойные ИК- световоды могут быть применены в ИК-пирометрии и термографии, а также в качестве зонда в инфракрасном волоконно-оптическом датчике для определения влаги в трансформаторном масле. Предлагаемый датчик позволит передавать по волоконным каналам доставки излучение от источника к исследуемой среде и после прохождения оптического сигнала через чувствительный элемент, от среды к приемникам излучения. Применение ИК-световодов на основе галогенидов серебра позволит получить гибкий, прочный, не подверженный ЭМ-помехам зонд, позволяющий исследовать влагосодержание методами ИК-спектроскопии для трансформаторов любой мощности.

Применение ФКС связано в первую очередь с высокими селективными свойствами волокон [4]. Так фотонно-кристаллические световоды могут быть применены в медицине для удаления бляшек из кровеносных сосудов человека, в космических исследованиях для поиска землеподобных планет, в атомной энергетике в качестве сцинтилляционных детекторов. В каждом из приведенных приложений ФКС пропускают излучение узкого диапазона длин волн, т.е. выступают в качестве частотного фильтра, что обусловлено высокими требованиями к точности и, в некоторых случаях, к безопасности волоконных устройств.

Таким образом, компьютерное моделирование позволило определить оптимальные параметры для изготовления ФКС для среднего диапазона ИК-излучения, с расширенным полем моды и высокими селективными свойствами. В результате исследования были изготовлены однослойные и фотонно-кристаллические световоды для различных применений в науке и технике.

Список литературы

1. Корсаков, А. С. Структура фотонно–кристаллических световодов на базе модифицированных галогенидсеребряных кристаллов и исследование их функциональных свойств. — Екатеринбург. — 2018. — С. 446
2. Multipole method for microstructured optical fibers. I. Formulation / T. P. White [et al.] // J. Opt. Soc. Am. B. — 2002. — Vol. 19. — P. 2322-2330.
3. Photonic crystal fibers: a new class of optical waveguide / D. Broeng // Opt. Fiber Technol. — 1999. — Vol. 5. — P. 305-330.
4. Richardson, D. J. High power fiber lasers: current status and future perspectives / D. J. Richardson, J. Nilsson, W. A. Clarkson // J. Opt. Soc. Am. B. — 2010. — Vol. 27, № 11. — P. B63-B92.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЧЕНИЙ ЛОПАТКИ НА ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ЛОПАТОЧНОГО АППАРАТА ОК ГТК 10-4

Марченко Ю.Г., Седунин В.А.

Уральский федеральный университет г. Екатеринбург, Россия

jurijmarchenko@rambler.ru

Аннотация. В данной работе представлена методика расчета частот собственных колебаний лопаток осевого компрессора. Приведены результаты расчетов частот низших форм колебаний компрессорных лопаток в зависимости от изменения геометрических характеристик пера лопатки. Проведен сравнительный анализ полученных результатов.

Ключевые слова: лопатки компрессоров; геометрические характеристики; частоты собственных колебаний.

RESEARCHING OF THE INFLUENCE BASIC GEOMETRIC CHARACTERISTICS OF THE BLADES SECTIONS ON NATURAL FREQUENCIES AN AXIAL COMPRESSOR GTK 10-4

Marchenko Yu., Sedunin V.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia