

Сорокин Юрий Владимирович

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНО ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Адрес статьи: [www.gramota.net/materials/1/2011/6/31.html](http://www.gramota.net/materials/1/2011/6/31.html)

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

**Альманах современной науки и образования**

Тамбов: Грамота, 2011. № 6 (49). С. 91-95. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: [www.gramota.net/editions/1.html](http://www.gramota.net/editions/1.html)

Содержание данного номера журнала: [www.gramota.net/materials/1/2011/6/](http://www.gramota.net/materials/1/2011/6/)

**© Издательство "Грамота"**

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: [www.gramota.net](http://www.gramota.net)

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: [almanac@gramota.net](mailto:almanac@gramota.net)

эффект может быть использован для технологических целей при полевых работах МЧС и ремонтах на нефтегазопроводах. Расчет показал, что такие работы можно вести на локальных участках с длиной не более 100 см для нашего случая, тогда не происходит критического воспламенения вещества внутри полости. Для более крупных систем длина безопасного участка пропорционально увеличивается и может достигать размера более 10 м.

#### Список литературы

1. **Валуев В. В., Жиган И. П., Игнатьков С. Н., Сорокин Ю. В., Григорьев Г. С.** Процессы лазерной резки и сварки слоистых разнородных материалов // Материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения». М.: Энергоатомиздат, 2010. Ч. 2. С. 323-326.
2. **Григорьянц А. Г., Шиганов И. Н.** Лазерная техника и технология // Лазерная сварка металлов. М.: Высшая школа, 1988. Т. 5.
3. **Жиган И. П.** Лазер против мин и снарядов // Оборонный заказ. 2010. № 4. С. 33-36.
4. **Томи С., Кон Г., Фоллертсен Ф.** Применение высокоомощных волоконных лазеров в процессах сварки // <http://library.bmstu.ru/BooksSearcher.aspx?author=%d2%ee%ec%e8+%d1>. Автоматическая сварка. 2006. № 7. С. 37-39.
5. **Шкадов В. Я.** Некоторые методы и задачи теории гидродинамической устойчивости // Труды НИИ механики. М.: Изд-во МГУ, 1973. Вып. 25.
6. **Энциклопедия низкотемпературной плазмы** / под ред. акад. В. Е. Фортова. М.: Наука, 2000. Т. 1. С. 130-133; Т. 2. С. 145-147.

УДК 621.373.826

*Юрий Владимирович Сорокин*  
ФГУП «НПО Астрофизика»

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПТИЧЕСКИЕ ВОЛОКНО ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ МОЩНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ<sup>©</sup>

*Работа выполнена по гранту № 3945 Министерства науки и просвещения для МИРЭА (ТУ).*

Передача мощного лазерного излучения для технологических целей при помощи волоконных световодов является актуальной задачей современной оптоэлектроники. Препятствием в реализации волоконно-оптических систем передачи мощного лазерного излучения является появление нежелательных нелинейных эффектов: вынужденного рассеяния ВРМБ и ВКР и четырехфотонного смешения. Решение данной проблемы приводит к разработке волоконных световодов с увеличенным сечением поля основной моды.

Фотонный кристалл, в частности одномерный (Рис. 1), - это периодическая диэлектрическая структура, период которой состоит, как минимум, из двух слоев. Рассмотрим простейший пример одномерной бесконечной периодической структуры. Показатель преломления такой структуры (Рис. 1) определяется с помощью периодической функции:

$$n(x) = n_1, \quad 0 < x < h_1 \quad (1)$$

$$n(x) = n_2 \quad h_1 < x < \Lambda \quad (2)$$

где  $\Lambda = h_1 + h_2$  - период решетки.

Электрическая и магнитная проницаемости зависят от показателя преломления традиционным образом:

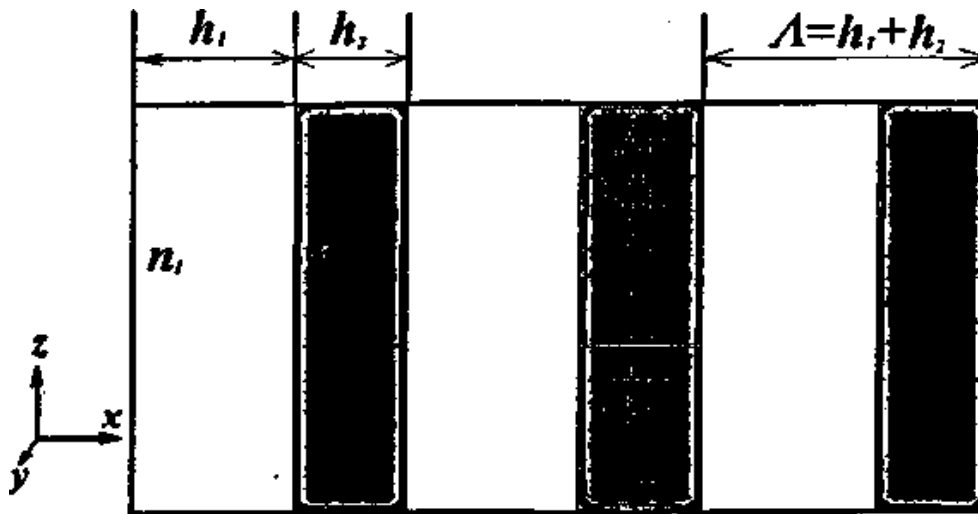
$$n_m = (\epsilon_m \mu_m)^{0.5}, \quad m=1, 2 \quad (3)$$

Таким образом, одномерный фотонный кристалл есть ничто иное как, зеркало Брэгга, состоящее из альтернативных слоев с низким и высоким показателем преломления. Такая структура препятствует распространению света в определенном диапазоне длин волн, зависящем от угла падения плоской волны на структуру. Другими словами для фотонно-кристаллических структур существует область частот, где распространение света внутри материала частично или полностью запрещено. Эта область называется запрещенной зоной, по аналогии с твердым телом (кристаллом), где области возможной энергии электронов «отсортированы» запрещенными зонами.

Эффект непроникновения (отражения) света в такой структуре используется в многослойных диэлектрических зеркалах. При этом оптическая толщина слоев должна быть сравнима с длиной волны, а также при изменении угла падения область запрещенных длин частот смещается.

С другой стороны, излучение может распространяться параллельно слоям, и такая структура представляет собой многоканальный планарный волновод, в котором становится существенной связь каналов. Эта связь ведет к «размазыванию» дисперсионных кривых отдельно взятого планарного волновода и образованию зоны, подобной зонам твердого тела (зоны пропускания). Аналогичные ситуации происходят и в двумерных фотонных кристаллах (ФК), Брэгговских оптических волокнах, состоящих, например, из регулярно

расположенных параллельных диэлектрических цилиндров. Распространение света перпендикулярно осям цилиндров также не всегда возможно, в то время как вдоль цилиндров могут распространяться направляемые волны при любой частоте. Таким образом, при наклонном падении возможно возбуждение и направляемых мод многоканальных волноводов и частичное пропускание/непропускание.



**Рис. 1.** Произвольный сегмент одномерного фотонного кристалла:  $n_1$  - показатель преломления и  $h$  - толщины соответствующих слоев,  $\Lambda = h_1 + h_2$  - период структуры [1]

Для качественного анализа свойств собственных мод фотонно-кристаллического волокна может быть использована модель коаксиального волновода. Физический механизм волноводного распространения электромагнитного излучения в волноводах данного типа аналогичен механизму волноводного распространения в полых ФК-волокнах и связан с наличием фотонных запрещенных зон в спектре пропускания оболочки волновода. Двумерная периодическая структура оболочки ФК-волокна заменяется в рамках этой модели системой коаксиальных стеклянных цилиндров (Рис. 2) толщиной  $b$  с внутренним радиусом  $N$ -го волновода

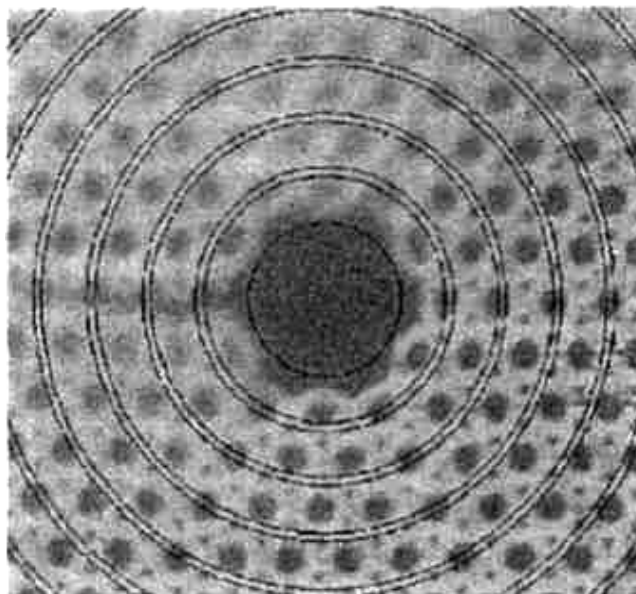
$$r_N = r_0 + N(b+c), \quad (4)$$

где  $r_0$  - радиус полый сердцевин;  $c$  - толщина зазора между стенками цилиндров.

Геометрические размеры слоев, образующих коаксиальный волновод, выбираются с учетом коэффициента заполнения воздухом ФК-оболочки микроструктурированного волокна. Коэффициент заполнения оболочки волокна воздухом находится по формуле:

$$\eta = \pi a^2 / 4\Lambda \quad (5)$$

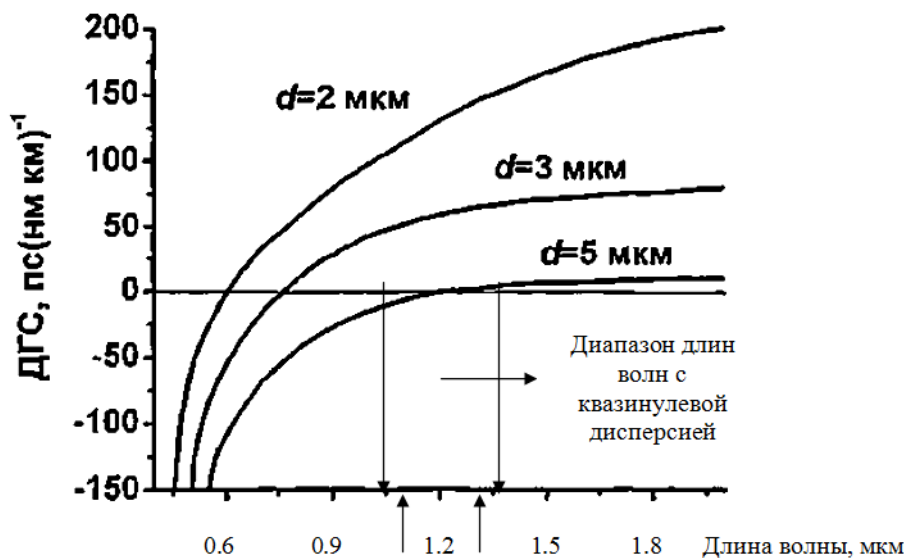
С учетом этого коэффициента выбираются параметры коаксиального волновода  $b$  и  $c$  (Рис. 2).



**Рис. 2.** Возможная схема выбора параметров коаксиального волновода для моделирования спектра пропускания ФК-волокна. Черными кругами изображены границы периодических слоев с различными показателями преломления [5]

Подобная модель позволяет использовать наглядные физические представления для оценки дисперсионных свойств и получения качественной картины распределения интенсивности электромагнитного излучения в волноводных модах, локализованных в полой сердцевине волокна. Важной характеристикой волноводных мод МС-волокон является степень локализации светового поля в сердцевине волокна. Для повышения эффективности нелинейно-оптических взаимодействий в центральной жиле волокна требуется достичь, возможно, более высокой локализации поля путем уменьшения эффективной площади моды. Эта задача может быть решена при соответствующем выборе отношения размера сердцевины волокна к длине волны излучения и использовании волокна с большей разностью показателя преломления оболочки и сердцевины.

На Рис. 3 представлен график дисперсии групповых скоростей (ДГС). МС-волокна с двумя циклами воздушных отверстий вокруг центрального волноводного канала с диаметром около 3 мкм обеспечивают аномальный режим дисперсии для излучения с длиной волны меньше 900 нм. Диапазон длин волн (от 1,05 до 1,35 мкм) с квазиулевой дисперсией включает несколько длин волн стандартного излучения 1,06 мкм и 1,3 мкм. Близость длины волны лазерного излучения к длине волны, соответствующей нулевому значению дисперсии групповой скорости, позволяет свести к минимуму влияние эффектов дисперсионного расплывания при распространении фемтосекундных импульсов в волокне и обеспечить выполнение условий фазового согласования для параметрических процессов четырехволнового взаимодействия.



**Рис. 3.** Дисперсия групповой скорости основной моды МС-волокна с двумя циклами кольцевых структур вокруг центральной волноводной жилы ( $d$  - диаметр сердцевины)

Подобным требованиям эффективно соответствует коаксиальная структура оптического волокна с условием синхронизации мод [2; 4]. Согласно решению характеристического уравнения условие самосогласованности светового поля дает решение для распространения волноводных мод. Распространение световодных мод происходит при строго определенном соотношении размеров слоя. В разработанном металлизированном оптическом волокне канализируется световодная мода за счет распространения между слоями с коэффициентом преломления  $n_c$  и расстоянием от источника излучения -  $a$ , определяемом из соотношения:

$$n_c = (n_N^2 - r_N^2 / (a^2 + r_N^2))^{0,5} \quad (6)$$

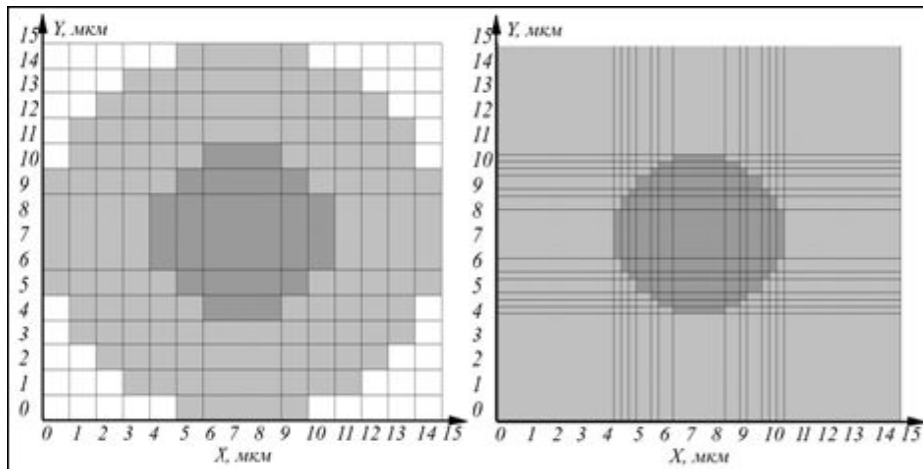
При таком соотношении происходит поверхностное волноводное распространение излучения. Для нормализации распределения излучения и исключения нелинейных локальных эффектов используется принцип равенства площадей между световодными зонами, причем площадь соответствует теоретически определенному значению:

$$S_N = 0,5 * 3,14 * \lambda * (0,5 M)^{0,5} * (r_{N1} + r_{N2}), \quad (7)$$

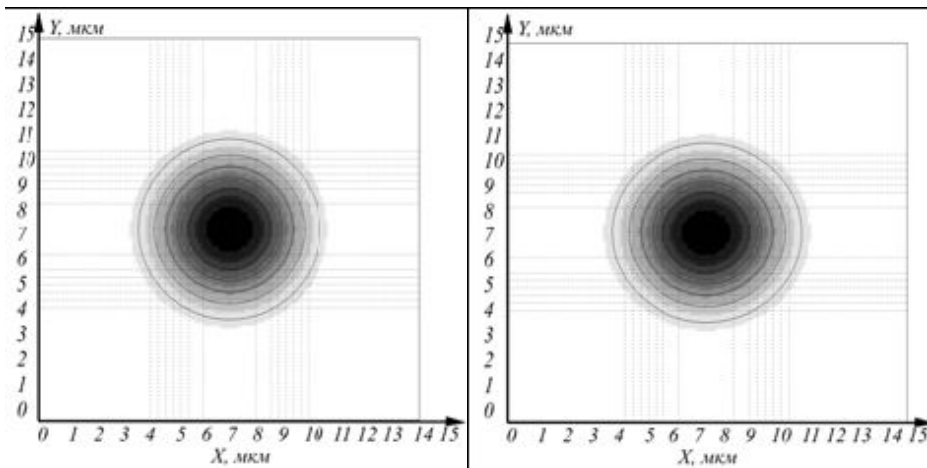
где  $\lambda$  - длина волны излучения  $N$ -й кольцевой зоны,  $M$  - число мод излучения,  $r_{N1}$ ,  $r_{N2}$  - внешний и внутренний радиус  $N$ -й кольцевой зоны. Слой между зонами выполнен из условия соотношения для полного внутреннего отражения с коэффициентом преломления  $n_c$ . При форме распределения показателя преломления соответствующей закону Гаусса, возникает согласование между интенсивностью падающего излучения и показателем преломления и направленность мод повышается. Как ранее было показано, такая структура представляет собой многоканальный планарный волновод, в котором становится существенной связь каналов, при которой происходит «размазывание» дисперсионных кривых отдельно взятого планарного волновода в виде кольцевой зоны и образованию зоны, подобной зонам твердого тела (зоны пропускания).

Благодаря полному заполнению световодными кольцевыми зонами всего поперечного сечения оптического волокна происходит резкое увеличение пропускаемой мощности до более чем в 100 раз.

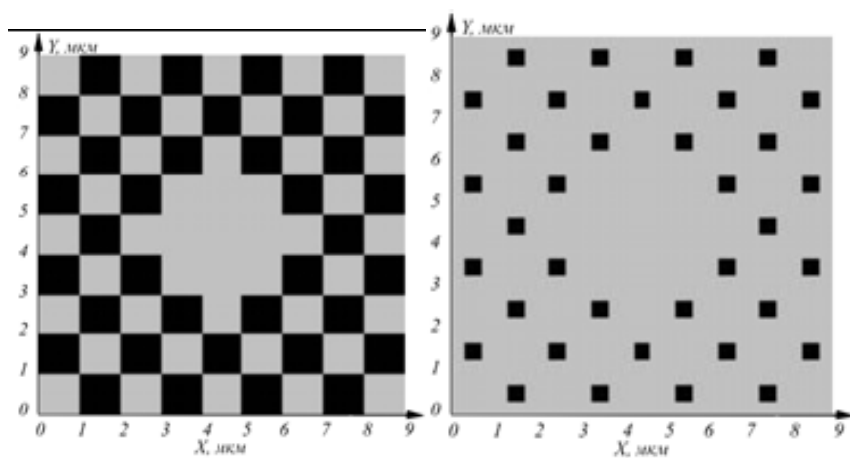
Моделирование структуры оптического поля проведенное по методу согласованных синусоидальных волн показало различную конфигурацию распределения поля для стандартного и коаксиального оптического волокна.



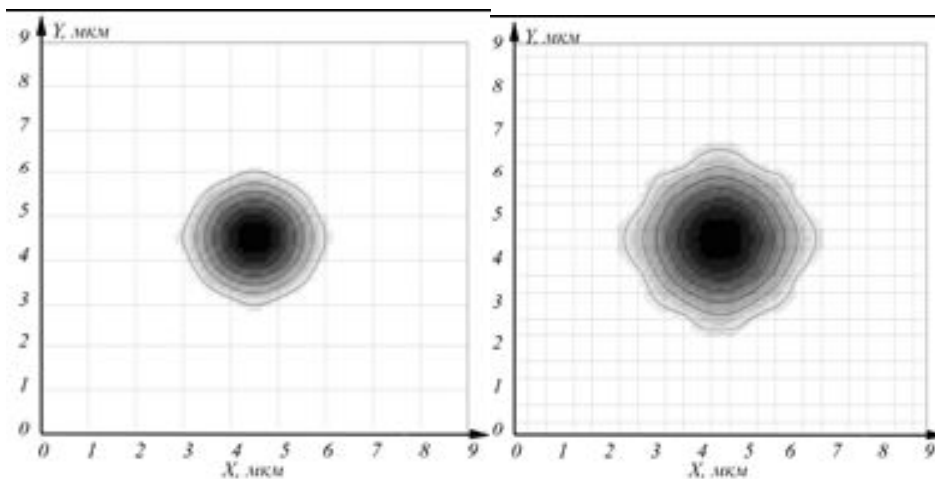
Модель стандартного волокна со ступенчатым профилем показателя преломления



Распределение оптического поля на выходе стандартного волокна



Модель коаксиального волокна, диаметр элемента -1 мкм и диаметр элемента 0,4 мкм, размер сечения 9 мкм\*9 мкм



Распределение оптического поля в соответствующих моделях

Моделирование показало уменьшение диаметра выходного поля для коаксиальной структуры, что соответствует выделению направленных мод с высокой когерентностью.

Оптическое металлизированное волокно, выполненное по коаксиальной структуре, обладает минимальной дисперсией, минимальными нелинейными эффектами и выдерживает повышенные тепловые нагрузки сопровождающие распространение мощного оптического излучения. Позволяет увеличивать числовую апертуру и передавать повышенную мощность излучения. Последние исследования показывают удобный рекурсивный подход в анализе распространения излучения в фотонном кристалле [1; 5]. Развитие этого направления позволяет использовать новые эксплуатационные характеристики таких моделей по типу Канторовского фрактала.

#### Список литературы

1. **Miyamoto Y. et al.** Smart Processing Development of Photonic Crystals and Fractals // Int. J. Applied Ceramic Technology. 2004. № 1. P. 40-48.
2. **Sorokin Y. V.** Metalized Optical Fiber: patent of Russia № 2178192 (2002.01.10).
3. **Sorokin Y. V.** Optical Fiber with Plating of Surface // Optical Fiber Technics: works collection. 1998. P. 29-33.
4. **Sorokin Y. V., Sorokin V. V.** Optical Fiber: patent of Russia № 2060520 (01.04.1994).
5. **Takeda W., Kirihara S., Miyamoto Y., Sakoda K., Honda K.** Localization of Electromagnetic Waves in Three-Dimensional Fractal Cavities // Phys. Rev. Lett. 2004. 5 March.

УДК 66.061

*Оксана Олеговна Ульева, Юрий Викторович Родионов  
Тамбовский государственный технический университет*

#### РАЗРАБОТКА ЭКСТРАКЦИОННОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ<sup>©</sup>

*Экстрагированием* называется извлечение из сложного по составу твердого или жидкого вещества одного или нескольких его компонентов с помощью растворителя, обладающего избирательной растворимостью.

В ряде пищевых производств экстрагирование является одним из основных процессов. Это извлечение сахара из свеклы в свеклосахарном производстве, извлечение масел из масличных семян в производстве растительных масел, получение эфирных масел в эфирномасличном производстве [4].

В наиболее общем виде *процесс экстрагирования состоит из четырех стадий:*

- проникновения растворителя в поры частиц растительного сырья;
- растворения целевого компонента;
- переноса экстрагируемого вещества внутри частицы растительного сырья к поверхности раздела фаз;
- переноса экстрагируемого вещества в жидкой фазе от поверхности раздела и распределения по массе экстрагента.

*Экстракция жидкостная* - способ разделения и извлечения компонентов смеси путем их перевода из одной жидкой фазы в другую (обычно органическую), содержащую экстрагент.