

машинные команды, а выходные данные – результаты их выполнения.

Компоновка материала, включающего встроенные ВМ, предполагает поэкранную организацию, где каждый экран соответствует определенной графической ОС или ее значительной в историческом плане версии. Компоновка экрана представлена на рис. 2.

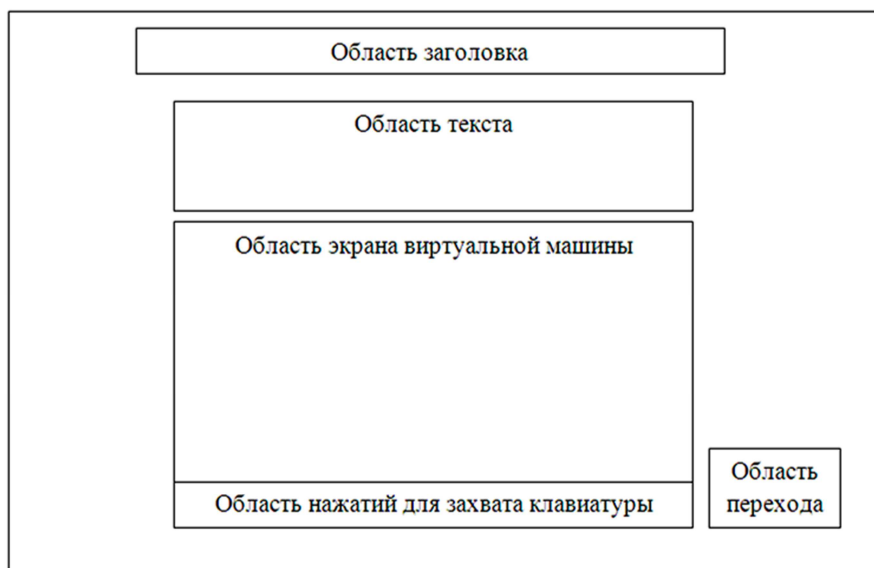


Рисунок 2 – Компоновка материала

Помимо области экрана ВМ, обновляемой поVNP, предусмотрен заголовок, показывающий год и название ОС, область текста с краткой исторической справкой, и служебные элементы навигации: область перехода с экранными кнопками для навигации по последовательности экранов и область захвата клавиатуры, переключающая на ВМ фокус клавиатурного ввода.

Список цитированных источников

1. Костюк, Д.А. Особенности использования виртуализованных окружений, внедренных в презентационные материалы // Восьмая конференция «Свободное программное обеспечение высшей школе»: тез. докл. / Переславль, 26-27 января 2013 года. – М.: Альт Линукс, 2013. – Р. 83-86.

2. Костюк, Д.А. Применение виртуальных машин в составе иллюстрированных обзоров истории программного обеспечения / Д.А. Костюк, П.Н. Луцюк // Девятая конференция «Свободное программное обеспечение в высшей школе»: тезисы докладов / Переславль, 25-26 января 2014 года. – М.: Альт Линукс, 2014. – С. 19-23.

УДК 539.23; 539.216.1

Войтович А.Г., Балабанович А.Н.

Научный руководитель: ст. преподаватель Чугунов С.В.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МИКРОСТРУКТУРАХ

Данная работа направлена на исследование распределения электромагнитного поля, как за пределами диэлектрических микроструктур, так и внутри них, применяя различные методики моделирования.

Целью данной работы является моделирование узконаправленного фотонного пучка в диэлектрических оптически прозрачных микроструктурах цилиндрической и сферической форм для оптимизации конфигурации пучка при выполнении потенциальных задач

по его применению. Моделирование мод шепчущей галереи в диэлектрических микрорезонаторах такой же геометрии и разработка методик управления оптическим сигналом систем.

Объект исследования – моды шепчущей галереи внутри прозрачных микрорезонаторов сферической и цилиндрической форм и узконаправленное электромагнитное поле распространяющиеся за их пределами в ближней области.

Оптические сферические или цилиндрические диэлектрические резонаторы размера порядка длины волны, в которых возникают моды шепчущей галереи (МШГ), вызывают большой интерес из-за их микроскопического размера, высокой добротности и возможности достижения низкого порога лазерной генерации [1-2].

Резонансное возрастание оптического отклика и совместимость по материалам с телекоммуникационным оптоволокном делают эти высокодобротные резонаторы привлекательными в качестве новых стандартных блоков для фотонных устройств. Однако короткая область спада интенсивности электромагнитного поля в этих микрорезонаторах и ограниченная фотостабильность молекул красителей, их покрывающих, являются сдерживающими факторами для потенциальных применений. В малоразмерном режиме (диаметр < 10 мкм) микродиски полупроводника конечной высоты или микрокапилляры широко использовались как инструмент для управления спонтанной эмиссией и ограничения фотонов в трех измерениях. Область спада поля в этих фотонных структурах, составляющая несколько микрометров в окружающей среде, обеспечивает возможность для эффективной оптической связи с внешними фотонными устройствами или создание на их основе новых устройств оптического переключения [3-5].

По указанным причинам исследование параметров распространения излучения и распределения электромагнитной энергии в микрорезонаторах и системах микрорезонаторов является весьма актуальной задачей, имеющей большое практическое значение для разработки элементов новых оптических и фотонных устройств. Кроме того, необходимо проведение исследований по поиску различных методов управления и преобразования оптического сигнала в таких системах.

Численное моделирование электромагнитного поля в резонаторе является достаточно часто встречающейся задачей. При выборе численного метода и его программной реализации имеет смысл руководствоваться следующими критериями: 1)·высокой достоверностью анализа электромагнитного поля диэлектрического резонатора; 2) возможностью быстрого расчета собственных частот электродинамической системы; 3)·возможностью оценки добротности системы; 4) возможностью управления точностью/трудоемкостью решения; 5) возможностью автоматизации многократного анализа.

Для решения подобных задач имеется множество современных программ, реализующих различные численные методы. Наиболее популярны программные продукты, основанные на методе моментов (Method of Moments, MoM) и методе конечных разностей во временной области (Finite Difference Time Domain Method, FDTD).

Более универсальными являются конечно-элементные пакеты (Finite Elements Method, FEM), для которых требуются значительно большие вычислительные мощности (COMSOL, MathLab). Они обладают широкими возможностями, поэтому далее все вычисления будут проводиться с использованием указанных пакетов. Решение нестандартных задач наиболее логично проводить в пакете MathLab, который имеет широкие возможности для программирования.

В первую очередь методом конечных элементов было проведено численное моделирование рассеяния электрического поля малой сферической частицей, результаты которого представлены на рисунке 1.

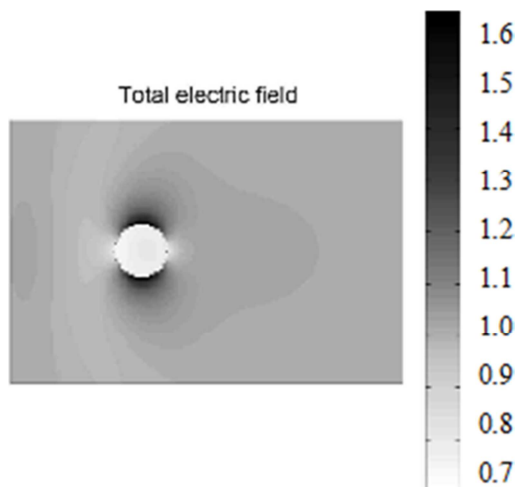


Рисунок 1 – Амплитуда электрического поля около микросферы размером $0,1 \lambda$ ($n = 1,6$)

Численный расчет интенсивности электрического поля в области малой частицы (рассеяние Рэлея) проводился при падении слева плоской электромагнитной волны, интенсивность которой принимается за единицу. Из расчета следует, что такого рода явления не могут значительно повысить интенсивность рассеянного света, поскольку интенсивность его возросла только в полтора раза.

Анализ полученных результатов привел к выводу о необходимости перехода к размерам сферы в несколько длин волн для повышения интенсивности света около микросферы. При этом получается фотонный пучок, результаты расчетов длины которого в области наименьшей его ширины представлены на рисунке 2.

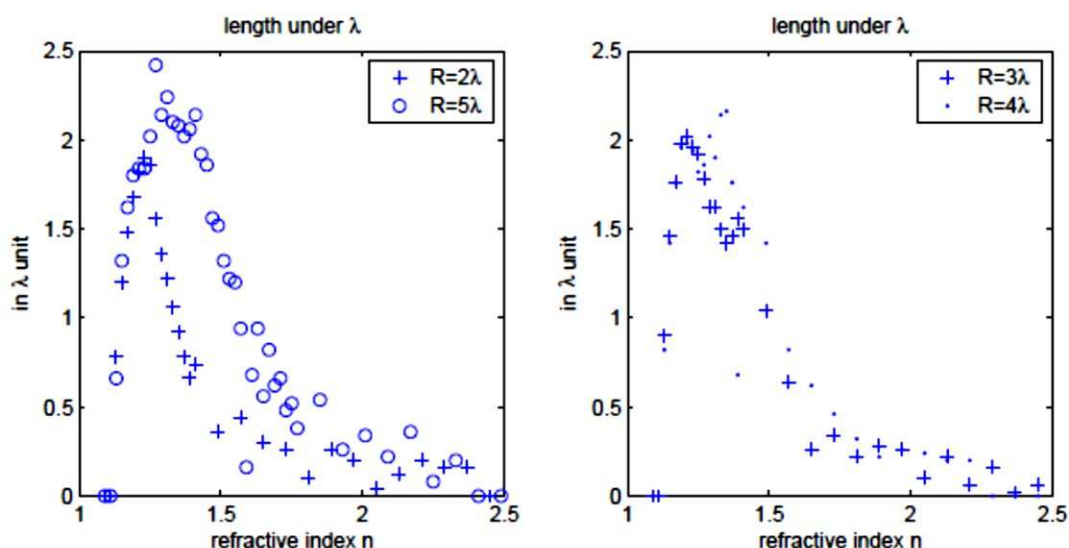


Рисунок 2 – Расстояние вдоль оси фотонного пучка до точки, в которой его интенсивность в два раза меньше максимальной, рассчитанное для микросфер разных радиусов

Из результатов, представленных на рисунке 2, следует, что наибольшая интенсивность пучка наблюдается вблизи поверхности микросферы. Данные результаты получены для идеальной сферы, но реальные тела сферической формы всегда имеют некото-

рую эллиптичность формы, которую можно учесть при задании геометрии численного моделирования.

В результате исследований были установлены основные свойствами фотонных нанопучков. Во-первых, пучок распространяется практически без затухания на расстояние порядка диаметра микролинзы, а поперечная ширина пучка не может превышать более чем $\sim 2\lambda$ вне диэлектрического цилиндра или сферы. Во-вторых, минимальная поперечная ширина пучка может быть меньше классического дифракционного предела (на уровне $\sim \lambda/3$ для микросфер). В-третьих, фотонный нанопучок – нерезонансное явление, которое может наблюдаться для широкого диапазона диаметров d микролинз (от $\sim 2\lambda$ до более чем 40λ), при условии, что относительный показатель преломления микролинзы и окружающей среды менее 2,0. В-четвертых, фотонный нанопучок имеет высокую интенсивность, которая может на порядки превышать интенсивность световой волны, падающей на микролинзу [5,6].

На рисунке 3 показано распределение интенсивности фотонного нанореактивного пучка бесконечным цилиндром, рассчитанное методом конечных элементов с использованием специально подобранной сетки для уменьшения области моделирования. Падающая слева плоская волна является линейно поляризованной в плоскости падения. В результате численного моделирования наблюдается образование системы дифракционных максимумов на теневой стороне цилиндра за счет интерференции падающей волны и поля, рассеянного цилиндром. Угловой спектральный анализ фотонных нанореактивных пучков выявил, что боковые компоненты пространственного распределения света сильнее рассеиваются, чем те, которые вносят основной вклад в конфигурацию фотонных нанопучков [7].

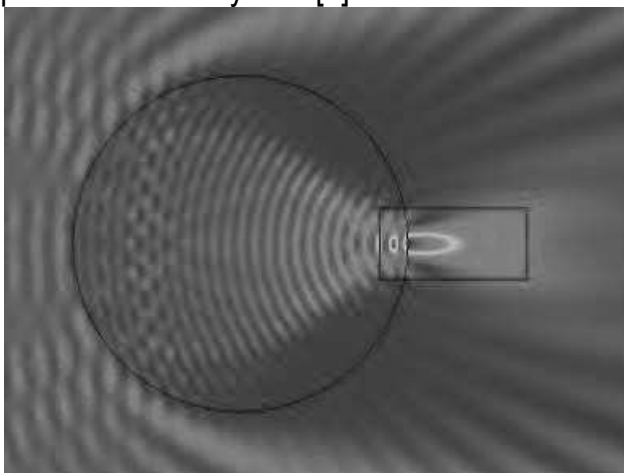


Рисунок 3 – Графическое представление результатов расчета методом конечных элементов для распределения интенсивности плоской волны длиной 400 нм, сфокусированной бесконечно длинным цилиндром (диаметр 5,75 мкм). Интенсивность падающей волны составляет 1, максимальная интенсивность фотонного пучка равна 15,157 (выделен справа)

На рисунке 3 отчетливо виден основной главный максимум (фотонный нанореактивный пучок), причем его интенсивность на порядок выше интенсивности соседних максимумов. Кроме того, из рисунка 3 следует, что фотонный пучок практически без затухания распространяется на длину порядка 1 мкм, что невозможно без вклада максимумов высших порядков.

Теоретически показано, что компоненты затухания вносят незначительный вклад в величину интенсивности центрального пика, между тем распределение угловой интенсивности определяется сферической или цилиндрической конфигурацией фокусирующей системы. Распределение интенсивности в фотонном пучке может быть полностью рассчитано с помощью аналитического метода Ми, поскольку фотонный нанореактив-

ный пучок является одним из явлений, вызванный интерференцией рассеянного вперед излучения Ми частицами среды.

Для численного моделирования методом конечных элементов поставленной задачи нами использовалась программа Comsol Multiphysics. Применение данного пакета обусловлено тем, что выбор вычислительной сетки может быть задан программой автоматически, что значительно упрощает процедуру метода конечных элементов. Кроме того, для одной геометрии системы можно одновременно рассчитывать не только оптическую модель, но и другие, например тепловую, и связывать их между собой.

Мы исследовали зависимость свойств нанопучка такой системы, принимая во внимание, что в случае сферы, как и следовало ожидать, интенсивность значительно увеличивается. Исходя из этого, мы оптимизировали размеры сфер, длины волн и показатели преломления, чтобы минимизировать полуширину фотонного нанопучка и одновременно повысить его мощность. Далее проводилось сравнение численных результатов с экспериментальными изображениями распределения интенсивности нанореактивного пучка при помощи недавно предложенной техники сканирующей конфокальной микроскопии [8].

Уникальное сочетание вышеперечисленных свойств позволяет говорить о возможных применениях фотонных пучков для обнаружения и оптического манипулирования наноразмерными объектами; для нанолитографии субдифракционного разрешения; в качестве волноводных структур с малыми потерями и для сверхплотной оптической записи в устройствах для хранения информации. Последнее применение представляется наиболее актуальным и перспективным в коммерческом отношении.

Список цитированных источников

1. Моделирование фотонного пучка в сферическом микрорезонаторе / Ю.П. Ракович [и др.] // Вестник Брестского государственного технического университета – 2010. – № 5: Физика, математика, информатика. – С. 82-85.
2. Русаков, К.И. Фотонные пучки в сферических микрорезонаторах / К.И. Русаков [и др.] // Труды III Международной научно-практической конференции «Оптика неоднородных структур – 2011», Могилев, 2011. – С. 71-73.
3. Rusakov, K.I. Simulation of photonic jets in the microcylinders / K.I. Rusakov [et al.] // Актуальные научные проблемы теоретической и экспериментальной физики, астрономии и космонавтики: сборник материалов межвузовской научной конференции, посвященной 50-летию первого полета человека в космос. – Брест, 2011. – С. 56-60.
4. Русаков, К.И. Экспрессный метод определения функции передачи модуляции оптических систем / К.И. Русаков, М. Пфедфер // Научные проблемы современной физики: сборник материалов Республиканской научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения академика Н.А. Борисевича. – Брест, 2013. – С. 164-166.
5. Rusakov, K.I. Microresonators with whispering gallery modes / K.I. Rusakov [et al.] // Квантовая электроника: материалы IX Международной научно-технической конференции. – Минск, 2013. – С. 5.
6. Savateeva, D. Optical properties of Whispering Gallery Modes spherical microcavities with J-nanoaggregates and plasmonic hot spots / D. Savateeva [et al.] // In: Physics, Chemistry and Application of Nanostructures. (Nanomeeting 2013). – Eds. V.E. Borisenko, S.V. Gaponenko, V.S. Gurin, C.H. Kam (World Scientific, Singapore, 2013). – P. 70-73.
7. Melnikau, D. Optical resonators with whispering gallery modes and J-aggregates / D. Melnikau, D. Savateeva, K. I. Rusakov, Y. P. Rakovich // Proc. 15th International Conference on Transparent Optical Networks IEEE -2013. (in print). – P. 1-4.
8. Ferrand, P. Direct imaging of photonic nanojets / P. Ferrand [et al.] // Opt. Express. – 2008. – Vol.16, no.10. – P. 6930-6940.