

**УДК 537.876**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННО – КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ**

Ле Динь Хыонг,

*Студент 3 курса, бакалавриат*

*кафедра «Электронные технологии в машиностроении»*

*Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана*

*Научный руководитель: Панфилова Екатерина Вадимовна,*

*кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Фотонные кристаллы – структуры, которые имеют периодическое изменение показателя преломления в различных направлениях и для различных длин волн. Фотонные кристаллы характеризуются наличием фотонной запрещенной зоны (ФЗЗ). Свет, имеющий длину волны, равную ФЗЗ для данного материала, практически полностью отражается от его поверхности. Поэтому такие материалы перспективны для использования в качестве оболочек волноводов.

Благодаря такой структуре эти волноводы, наследуя свойства фотонных кристаллов, позволяют управляемо формировать ФЗЗ, что открывает огромные, недоступные ранее, возможности в управлении свойствами оптического волокна: волноводной дисперсией, сдвигая длину волны нулевой дисперсии в область видимого спектра; эффективным показателем преломления оболочки, формируя "бесконечно" одномодовые волокна, в том числе и волокна с большой эффективной площадью сердцевины, необходимые для пропуска все возрастающей мощности светового потока. Технологически возможно формировать воздушные каналы не только в оболочке (что делает волокно все более легким), но и в сердцевине, открывая фантастические возможности дальнейшего уменьшения затухания в волокне за пределами уже достигнутого. Самое важное, что эти волокна уже производятся и используются на практике в ряде приложений [1].

Фотонно кристаллические волноводы могут быть использованы в качестве биологических сенсоров, в биомедицинских исследованиях, в оптических волоконных световодах и тд.

Экспериментальные исследования фотонно кристаллических (ФК) волноводов и процессов их изготовления сложны для реализации. Для расчета режимов технологических процессов, параметров структуры оболочки и оценки добротности волновода прибегают к методам моделирования. Наиболее часто используется метод конечных элементов, реализуемый в програмных продуктах COMSOL, ANSYS, COSMOS, STARK.

Метод конечных элементов (МКЭ) – численный метод решения дифференциальных уравнений, широко используемый в различных областях техники. Основная идея МКЭ состоит в том, что любую непрерывную в некоторой области величину можно аппроксимировать дискретной моделью, которая создается из множества кусочно-непрерывных функций, определенных в конечном числе подобластей (элементов). Обычно такими функциями являются полиномы – линейные, квадратичные, кубичные и т.д. Кусочно-непрерывные функции строятся с помощью значений непрерывной величины в точках соединения элементов (в узлах). Таким образом, чтобы определить неизвестную непрерывную величину, нужно определить ее значения в узлах. [2]

В данной работе рассматривался простой волновод, оболочкой которого служила ФК микросферная структура. С помощью программы COMSOL Multiphysics 5.4, мы описывали распространение волны в фотонном кристалле, который состоит из столбиков GaAs, расположенных на равном расстоянии друг от друга. Соответствующее длине волны оптического диапазона излучения расстояние между столбиками предотвращает распространение света с определенной длиной волны в кристаллическую структуру. В зависимости от расстояния между столбиками, волны в определенном диапазоне частот отражаются, а не распространяются через кристалл. Этот частотный диапазон и является ФЗЗ. Удалив некоторые из столбиков GaAs в кристаллической структуре, мы создали геометрию для распространения света в ФК (рис. 1).

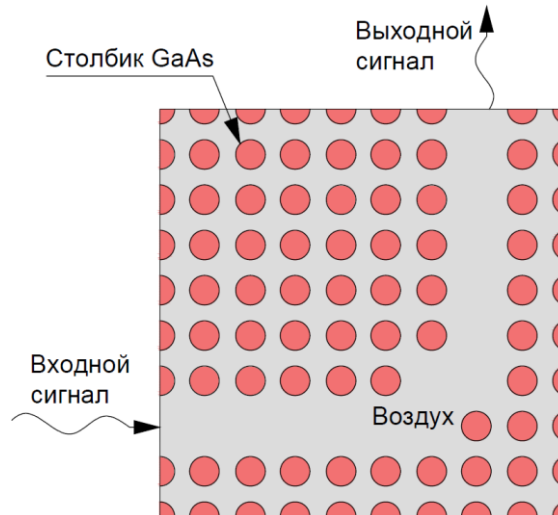


Рис. 1. Структура простого волновода с изгибом  $90^\circ$

Чтобы смоделировать распространение электромагнитных волн, проходящих через кристалл, использовалось скалярное уравнение для поперечной компоненты электрического поля  $E_z$ :  $-\nabla \cdot \nabla E_z - n^2 k_0^2 E_z = 0$ , где  $n$  - показатель преломления, а  $k_0$  - волновое число в свободном пространстве.

Результат моделирования представлен на рисунке 2. Он содержит график  $z$ -компоненты электрического поля и показывает распространение волны через ФК.

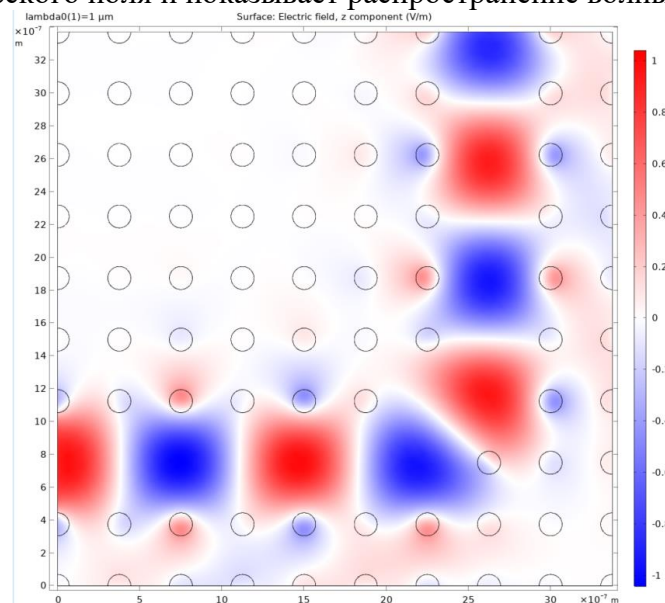


Рис. 2. Компонент  $z$  электрического поля, показывающий, как волна распространяется вдоль пути, определяемого геометрией ФК

Если угловая частота входящей волны меньше частоты отсечки волновода, волна не распространяется по указанной геометрии. На рисунке 3 показан результат моделирования волновода в случае, когда длина волны была увеличена в 1,3 раза.

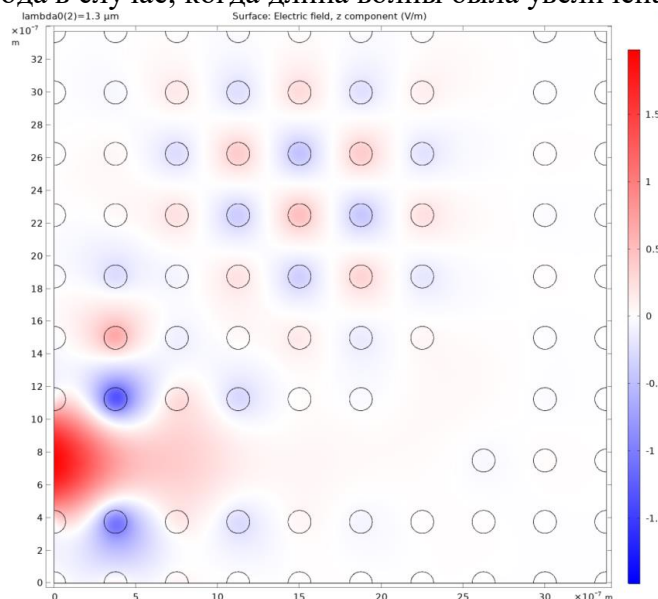


Рис. 3. Затухание волны в волноводе

Результаты моделирования будут использованы при разработке структуры ФК элементов в лаборатории микро- и наноструктур кафедры "Электронные технологии в машиностроении".

## Литература

1. *Н.Слепов.* Фотонно-кристаллическое волокно – уже реальность. Новые типы оптических волокон и их применение. // Журнал: ЭЛЕКТРОНИКА: НАУКА, ТЕХНОЛОГИЯ, БИЗНЕС. – М.: Рекламно-издательский центр "ТЕХНОСФЕРА" (Москва), 2004. – С. 80-85.
2. *Л. Е. Кондратьева.* Основы метода конечных элементов: Введение. Расчет стержневых систем: Конспект лекций. . – М.: Владим. гос. ун-та, 2007. – 36 с.