

Численное моделирование двумерных фотонных кристаллов

Дементьева Юлия Сергеевна

студентка

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: julia-dementieva@rambler.ru

Введение

В данной работе строится численный алгоритм для исследования двумерных фотонных кристаллов и основанных на них устройств, а также исследуются спектральные свойства этих устройств. Фотонные кристаллы это оптические материалы, для которых характерны следующие два свойства: диэлектрическая проницаемость меняется периодически с периодом, сравнимым с длиной волны света, и наличие связанной с периодичностью кристалла полной запрещённой зоны в спектре собственных электромагнитных состояний кристалла. Второе свойство отличает фотонный кристалл от обычной дифракционной решетки. Оно означает, что в определенном спектральном диапазоне свет любой поляризации не может распространяться в ФК ни в каком направлении в одном, двух или трех измерениях. Это и есть уникальное свойство фотонного кристалла, с которым принято связывать возможные революционные события в технике оптической связи, физике лазеров и оптической компьютерной технологии [2]. Фотонные кристаллы предоставляют новые возможности управления световыми потоками благодаря наличию полной запрещенной зоны в плотности электромагнитных состояний в заданной области частот. Внесение искажений в структуру кристалла позволяет создавать различные устройства, например волноводы, резонаторы, фильтры, разветвители, и др.

Методы

Для исследования фотонных кристаллов и устройств, основанных на них, строится численный алгоритм, позволяющий вычислять распространение электромагнитного импульса через такую структуру. Вычислив спектр падающего поля и спектр прошедшего поля, удастся сразу определить спектральные свойства волноведущей системы в определенном диапазоне частот, что является преимуществом перед рассмотрением данной задачи в частотной области. Для построения этого алгоритма используется метод конечных разностей во временной области (FDTD), метод TS/SF и метод идеального согласованного слоя (PML).

FDTD-метод впервые был предложен К.С.Е в 1966 году [3]. В данный момент существует большое число модификаций данного метода. В работе используется вариант, основанный на явной разностной схеме. Этот метод позволяет явно выразить значения компонент электромагнитного поля на следующем временном слое через значения на текущем слое. Недостатком метода является ограничение шага по времени и требование больших вычислительных ресурсов.

Для возбуждения волноведущей системы используется метод total-field/scattered-field (TF/SF). Данный метод состоит в разделении расчетной области на две подобласти: область общего поля и область рассеянного поля. Так как уравнения Максвелла линейные, то электромагнитное поле можно представить в виде суммы падающего и рассеянного полей. Область общего поля выбирается так, чтобы в ней полностью находился рассеивающий объект (существуют варианты TF/SF метода, в которых преодолено это ограничение), вся оставшаяся часть – это область рассеянного поля. В области рассеянного поля рассматривается только рассеянное поле, а в области общего – рассеянное и падающее. На границе между этими областями ставятся специальные граничные условия. Задавая падающее поле специальным образом, можно рассматривать рассеяние электромагнитных волн на объекте, расположенном в области общего поля. Падающее поле можно получить, например, решая вспомогательную одномерную задачу, возбуждение которой осуществляется током.

Одной из важных проблем численного моделирования волноведущих систем, особенно открытых, является проблема ограничения области, в которой строится

решение. При решении нестационарных задач для ограничения области обычно используются поглощающие граничные условия. В данной работе для постановки поглощающих граничных условий используется PML-метод (Perfectly Matched Layer) [5]. В соответствии с данным методом каждая компонента электромагнитного поля разделяется на две части, которые удовлетворяют изменённым уравнениям Максвелла. Чтобы получить значения исходных компонент поля, нужно сложить значения соответствующих подкомпонент.

Результаты

Эти методы были применены для моделирования прохождения электромагнитного импульса через двумерный фотонный кристалл. После прохождения импульса через кристалл, в спектре появляются запрещённые зоны — области, в которых коэффициент пропускания близок к нулю. Запрещённые зоны существуют для различных поляризаций. Электромагнитные импульсы, имеющие различные поляризации, после прохождения через фотонный кристалл имеют спектры, в которых есть общие запрещённые зоны. Построенный численный алгоритм позволяет рассчитывать различные волноведущие системы, основанные на фотонных кристаллах – волноводы, волноводные изгибы, системы связанных резонаторов (CCW). Проведен анализ эффективности поглощающих граничных условий PML. Применение комбинации PML и TF/SF методов даёт возможность существенно сократить вычислительные затраты за счёт уменьшения расчётной области. Полученные численные результаты для волноводного изгиба показывают, что фотонные кристаллы являются очень удобными объектами для управления распространением света. Фотонные кристаллы позволяют существенно уменьшить размеры устройств, управляющих распространением электромагнитных волн, и являются перспективными объектами для применения в интегрально оптических устройствах.

Литература

- 1) А.Н.Боголюбов, И.А.Буткарёв, Ю.С.Дементьева, «Численное моделирование двумерных фотонных кристаллов», Журнал Радиоэлектроники (электронный журнал <http://jre.cplire.ru>), №11, 2006
- 2) О.Е.Наний, Е.Г.Павлова, «Фотонно-кристаллические волокна», LIGHTWAVE Russian edition, 2004, №3, 47-53.
- 3) K. S. Yee, «Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media», IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-14, pp. 302–307, May 1966.
- 4) А.А.Самарский. Теория разностных схем.— М.:Наука, 1983.
- 5) J.-P.Berenger, «Three-Dimensional Perfectly Matched Layer for the Absorption of Electromagnetic Waves» Journal of Computational Physics 127, 363-379, 1996. Article No.0181.