

## ОПТИКА

Котелевская М.В., Одаренко Е.Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

### МИКРОПОЛОСКОВЫЙ АНАЛОГ ДВУХМЕРНОГО ФОТОННОГО КРИСТАЛЛА

Вопросы теоретического и экспериментального изучения периодических структур оптического и квазиоптического диапазона в настоящее время являются важными в связи с интенсивными исследованиями фотонных кристаллов [1]. Эти структуры фактически представляют собой искусственные среды с многомерной периодичностью физических и геометрических параметров.

Фотонные кристаллы исследуются преимущественно численными методами, которые приводят к громоздким вычислениям, требующим большого количества времени и вычислительных ресурсов. Это обусловлено в первую очередь многомерностью периодических структур и необходимостью задания довольно мелкой расчетной сетки. Экспериментальные исследования фотонных кристаллов являются дорогостоящими как в плане изготовления образцов, так и необходимого измерительного оборудования.

В связи с этим ведутся интенсивные поиски сравнительно простых методов анализа физических свойств фотонных кристаллов. Одним из направлений развития таких методов является создание так называемых низкочастотных моделей структур оптического диапазона.

В зависимости от конкретных свойств фотонного кристалла (материала элементов, их размера и пространственного периода) в его спектре могут образовываться как полностью запрещенные по частоте зоны, для которых распространение излучения невозможно независимо от его поляризации и направления, так и частично запрещенные, в которых распространение возможно лишь в выделенных направлениях.

Зонные свойства фотонных кристаллов определяются дисперсионной характеристикой (рис. 1).

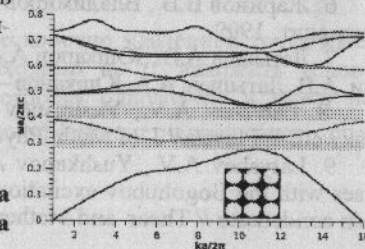


Рис. 1. Дисперсионная характеристика двухмерного фотонного кристалла

Подобно концепции запрещенной энергетической зоны в физике твердого тела, материалы с фотонной запрещенной зоной дают возможность управлять распространением электромагнитных волн в оптическом и СВЧ диапазонах. В СВЧ диапазоне такие структуры могут быть получены, в частности, с использованием микрополосковых антенн [2].

В данной работе рассматривается вариант микрополосковой антенны с фотонно-кристаллической структурой в виде перфорированного полоскового резонатора (рис. 2). Спектральные свойства этого устройства зависят от параметров перфорации – периода и размера элементов. Аналогичные зависимости наблюдаются в двухмерных фотонных кристаллах оптического диапазона при соответствующем изменении их геометрических параметров.

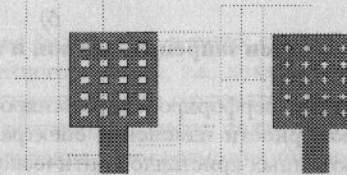


Рис. 2. Схемы перфорации микрополосковой антенны.

На рис. 3 представлены спектральные характеристики перфорированной микрополосковой антенны для различных значений размеров отверстий и периода их следования. Очевидно, что изменение параметров перфорации сопровождается смещением резонанса вдоль частотной оси. Аналогичное явление наблюдается в двухмерных фотонных кристаллах – изменение их геометрических параметров приводит к смещению запрещенных зон по частотному диапазону.

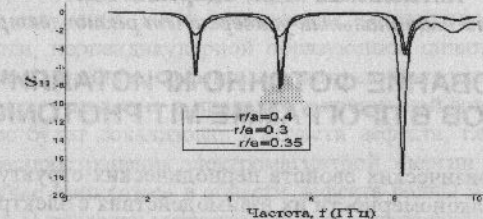


Рис. 3. Спектральные характеристики перфорированной антенны

На рис. 4а это явление иллюстрируется так называемой картой запрещенных зон фотонного кристалла. По оси абсцисс отложен радиус отверстий, нормированный на период их следования.

Как показали расчеты, выбранной схеме микрополосковой антенны соответствует фотонный кристалл, сформированный диэлектрическими цилиндра-

ми. На рис. 46 представлены результаты расчетов смещения резонансов антенны и запрещенной зоны фотонного кристалла как функций нормированного радиуса элементов периодической структуры.

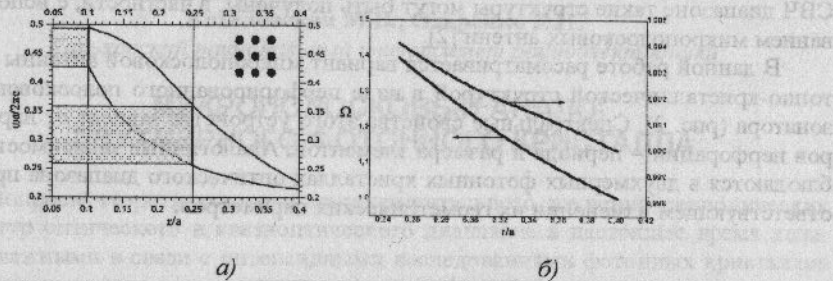


Рис. 4. Результаты расчетов запрещенных зон и их смещения

Таким образом, с помощью перфорированной микрополосковой антенны можно анализировать закономерности изменения спектральных свойств соответствующих двумерных фотонных кристаллов оптического диапазона.

#### Литература:

1. Photonic crystals, John D. Joannopoulos, Steven G. Johnson, Joshua N. Winn, Robert D. Meade, 2008.
2. M. Rahman, M.A. Stuchly. Circularly polarized patch antenna with periodic structure, IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., Vol. 149, No. 3, June 2002.

Котелевская М.В., Одаренко Е.Н.

Харьковский национальный университет радиоэлектроники

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ В ПРОГРАММЕ MIT PHOTONIC BANDS

Исследование физических свойств периодических структур позволяет определить основные закономерности их взаимодействия с электромагнитным излучением. Наличие спектральных областей пропускания и запирания обуславливает возможность использования таких структур в качестве полосовых фильтров, а также других функциональных элементов в различных частотных диапазонах. В оптике наиболее наглядным примером применения периодических структур являются Брэгговские зеркала – многослойные системы с периодическим изменением показателя преломления. В этом случае обычно говорят об одномерном фотонном кристалле. Если периодический закон изменения фи-

зических и геометрических свойств структуры реализуется в двух перпендикулярных направлениях, то формируется двумерный фотонный кристалл [1].

Одной из ключевых задач при анализе фотонных кристаллов является определение их дисперсионных характеристик. В данной работе для этого используется свободно распространяемая программа MIT Photonic Bands (MPB), разработанная С. Джонсоном на основе метода, изложенного в работе [2]. Данное программное обеспечение позволяет получать дисперсионные диаграммы для фотонных кристаллов различной размерности. Поскольку при формировании волноведущих трактов часто достаточно ограничиться двумерной моделью, то в дальнейшем все расчеты проводятся для фотонных кристаллов, состоящих из бесконечных цилиндрических элементов. Рассматриваются два базовых варианта – диэлектрические цилиндры в вакууме и вакуумные цилиндры в диэлектрике.

Для формирования волноводов в таких структурах обычно применяется методика создания линейного дефекта, т.е. локального нарушения периодичности. Вместе с тем периодичность должна сохраняться по направлению вдоль волновода. Поскольку здесь волновод является фактически открытым, то локализация электромагнитного излучения в нем возможна только в диапазоне частот, соответствующем запрещенной зоне бесконечной периодической структуры.

На рис. 1а представлены дисперсионные характеристики фотонного кристалла, состоящего из диэлектрических цилиндров, расположенных по тетрагональной схеме в вакууме с пространственным периодом  $a$ . Волноводный канал образован путем удаления одного ряда цилиндров вдоль выбранного направления (схема на врезке к рис. 1а). Затемненные области на диаграмме обозначают запрещенные зоны. Наклонная прямая показывает место точек на диаграмме, в которых фазовая скорость равна скорости света.

Данная конфигурация фотонного кристалла имеет запрещенные зоны для ТМ-поляризации излучения, когда компоненты напряженности магнитного поля лежат в плоскости, перпендикулярной образующим цилиндров. На диаграмме видно, что наличие линейного дефекта в кристалле приводит к появлению решения дисперсионного уравнения в пределах запрещенной зоны. Это означает, что волновой процесс будет локализован в области дефекта, т.е. реализуется волноводный режим распространения электромагнитной энергии в фотонном кристалле. В данном случае «запертые» в области дефекта волны можно идентифицировать как Н-волны. В пределах запрещенной зоны дисперсионная кривая формирует однозначную зависимость между волновым числом и частотой излучения.

На рис. 1б представлены результаты расчета дисперсионной диаграммы для волновода большей ширины (удалено три ряда диэлектрических цилиндров). В пределах запрещенной зоны находится уже несколько дисперсионных кривых, т.е. в данном случае реализуется многомодовый режим волновода.

Следует отметить, что при увеличении ширины волновода значительно увеличивается время расчета, необходимое для получения дисперсионной диа-