

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧЕРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра физики твердого тела

**Особенности амплитудно-частотных характеристик СВЧ коаксиальных
фотонных кристаллов**

Автореферат

Студента 4 курса 411 группы

направления (специальности) 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Факультета нано- и биомедицинских технологий

Зейкан Анастасии Юрьевны

Научный руководитель:

профессор, д.ф. – м.н. _____

должность, уч.степень, звание

инициалы, фамилия

А. В. Скрипаль

подпись, дата

доцент, к.ф. – м.н. _____

должность, уч.степень, звание

инициалы, фамилия

А. П. Фролов

подпись, дата

Зав. кафедрой

профессор, д.ф. – м.н. _____

должность, уч.степень, звание

инициалы, фамилия

А. В. Скрипаль

подпись, дата

Саратов 2020

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день одной из наиболее интенсивно развивающихся областей науки является направление по созданию и исследованию свойств метаматериалов, представляющих собой искусственно созданные гетерогенные среды, в которых геометрические размеры и электрофизические параметры специально подобранных составляющих элементов периодически изменяются вдоль одного или нескольких пространственных направлений.

Метаматериалы включают класс фотонных кристаллов - искусственных периодических структур с периодом, сопоставимым с длиной волны распространяющегося в них электромагнитного излучения. По аналогии с реальными кристаллами в фотонных кристаллах существуют частотные области, которые разрешены и запрещены для распространения электромагнитного излучения. Уникальные свойства фотонных кристаллов, благодаря резонансному взаимодействию электромагнитной волны с периодической структурой, позволяют создавать новые типы структур и устройств с контролируемыми параметрами на их основе, а также внедрять новые высокочувствительные методы измерения параметров материалов.

Коаксиальные брэгговские структуры (КБС), выполненные на основе коаксиальных элементов, являющихся одним из наиболее распространенных типов элементов СВЧ-волноведущих систем, характеризуются широким рабочим диапазоном частот и отсутствием потерь на излучение.

Целью работы являлось исследование особенностей амплитудно-частотных характеристик СВЧ коаксиальных фотонных кристаллов различных конфигураций.

Для расчета коэффициентов отражения R и прохождения D электромагнитной волны в КБС использовалась матрица передачи T

$$T = \begin{pmatrix} T[1,1] & T[1,2] \\ T[2,1] & T[2,2] \end{pmatrix} = T'_N \times \prod_{i=1}^{N-1} (T''_{i,i+1} \times T'_i), \quad (1)$$

Волновое сопротивление i -того отрезка коаксиальной линии передачи с диэлектрической проницаемостью заполнения ε , рассчитывалось по формуле

$$\rho = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \log_{10} \left(\frac{d_{\text{внеш}}}{d_{\text{внутр}}} \right)$$

Коэффициенты прохождения и отражения СВЧ мощности определяются через элементы матрицы передачи T по известным соотношениям:

$$D = \frac{1}{|T[1,1]|^2}$$

Компьютерное моделирование посвящено исследованию одномерных двухкомпонентных КБС (см. рис. 1), составленных из 15 или 17 слоёв, в диапазоне частот 0.1–26 ГГц.

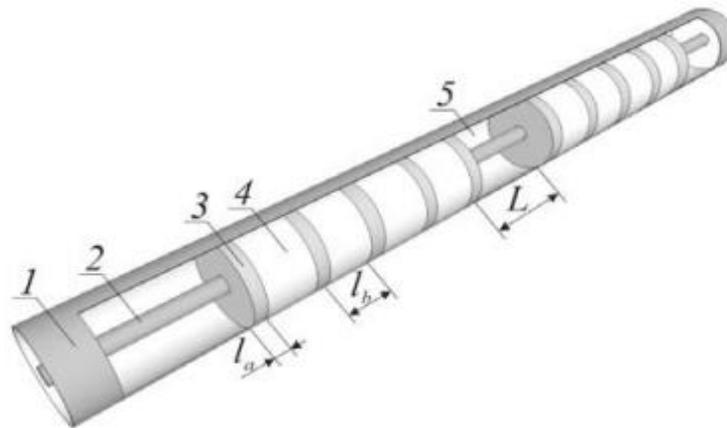


Рис. 1. Конструкция одномерной СВЧ КБС с нарушением периодичности: 1 и 2 – внешний и внутренний проводники, 3 и 4 – элементы, образующие периодическую структуру, 5 – нарушение периодичности

Слои КБС представляли собой отрезки с диэлектрическим заполнением из ФЛАНА (листовой наполненный арилокс) ($\varepsilon_a = 8.8$), и с диэлектрическим заполнением из фторопласта ($\varepsilon_b = 2.0$). Внутренний диаметр внешнего

проводника $d_{\text{внеш}}$ составлял 7 мм, внешний диаметр внутреннего проводника $d_{\text{внутр}} = 3$ мм.

Элементарная ячейка моделируемой КБС состоит из двух расположенных друг за другом отрезков КБС с заполнением из ФЛАНА длиной 4.0 мм и из фторопласта длиной 8.4 мм.

В ходе выполнения данной квалификационной работы были рассмотрены симметричные и несимметричные относительно центрального слоя одномерные двухкомпонентные КБС.

Одномерные двухкомпонентные симметричные относительно центрального слоя КБС представляют собой последовательно чередующиеся слои 1 и 2 типа. В случае 15ти слойной структуры чередование начинается со слоя 1 типа, в случае 17ти слойной структуры – со слоя 2 типа.

Одномерные двухкомпонентные несимметричные относительно центрального слоя КБС представляют собой последовательно чередующиеся слои 1 и 2 типов. Чередование начинается со слоя 2 типа.

В случае 16-ти слойной структуры чередование начинается со слоя второго типа.

Компьютерное моделирование одномерных двухкомпонентных КБС без нарушения периодичности

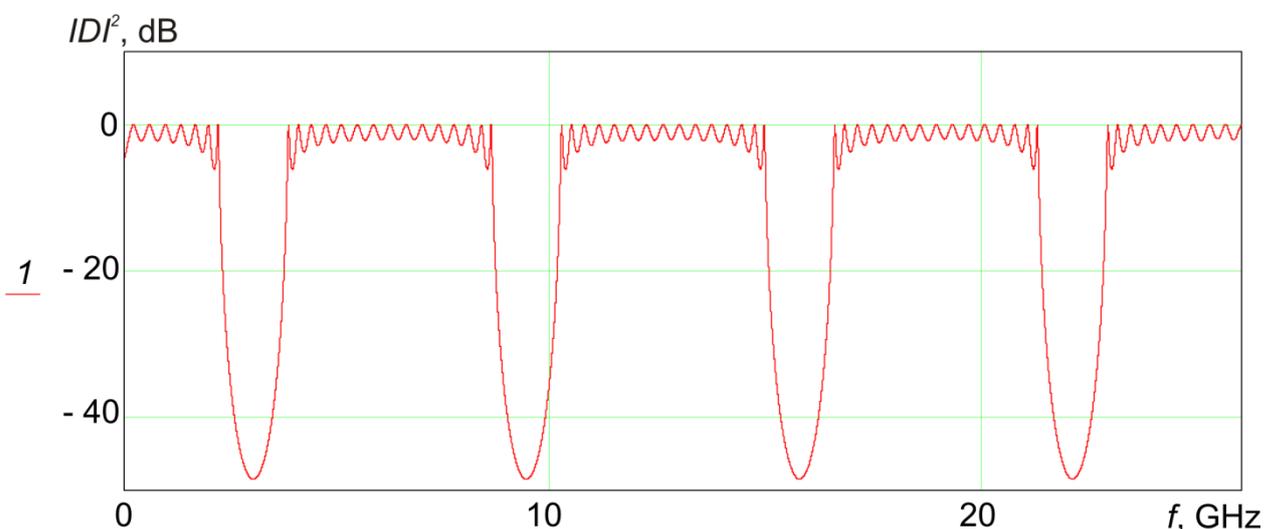


Рис.2. Рассчитанные амплитудно-частотные характеристики коэффициента прохождения для симметричной относительно центрального слоя 15-слойной структуры КБС без нарушения периодичности: $d_1 = 8$ мм, $d_2 = 16,8$ мм

На основе полученных амплитудно-частотных характеристик можно сделать следующие выводы:

- 1) пропорциональное увеличение толщины слоев «первого» и «второго» типа соответственно приводит к сужению разрешенных и запрещенных зон, а также, к их сдвигу в сторону меньших частот;
- 2) при чередовании слоев одномерных двухкомпонентных КБС начиная со слоя с меньшим значением диэлектрической проницаемости (как в симметричном, так и в несимметричном случае) происходит улучшенное согласование исследуемой системы, и как следствие, наблюдаются менее выраженные запрещенные зоны (минимальное значение коэффициента пропускания в запрещенной зоне 15ти слойной структуры $|D|^2 = -48,475$ dB, 17ти слойной структуры $|D|^2 = -42,452$ dB).

Компьютерное моделирование одномерных двухкомпонентных КБС с нарушением периодичности структуры

В ходе выполнения данной работы исследовались следующие структуры КБС:

- симметричная относительно центрального слоя одномерная двухкомпонентная 15 слойная структура с чередованием слоев начиная со слоя «первого» типа;
- несимметричная относительно центрального слоя одномерная двухкомпонентная 16 слойная структура с чередованием слоев начиная со слоя «второго» типа.

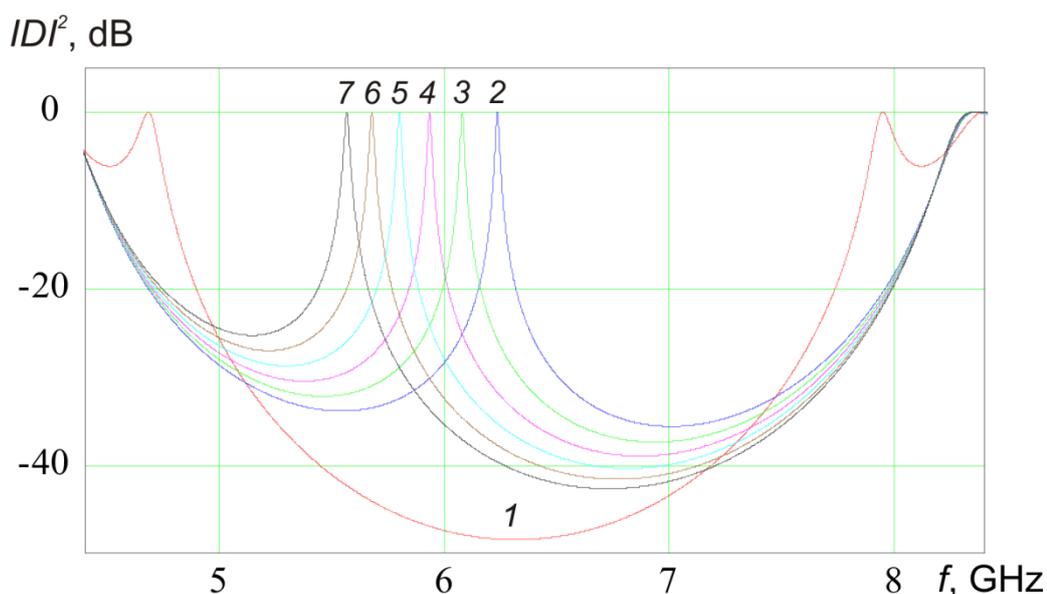


Рис.3. Амплитудно-частотные характеристики коэффициента пропускания одномерной двухкомпонентной 15 слойной КБС с нарушением

периодичности в центральном слое (толщина нарушения варьировалась в диапазоне от 0.2 мм до 2.2 мм) полоса частот от 4.4 ГГц до 8.8 ГГц.

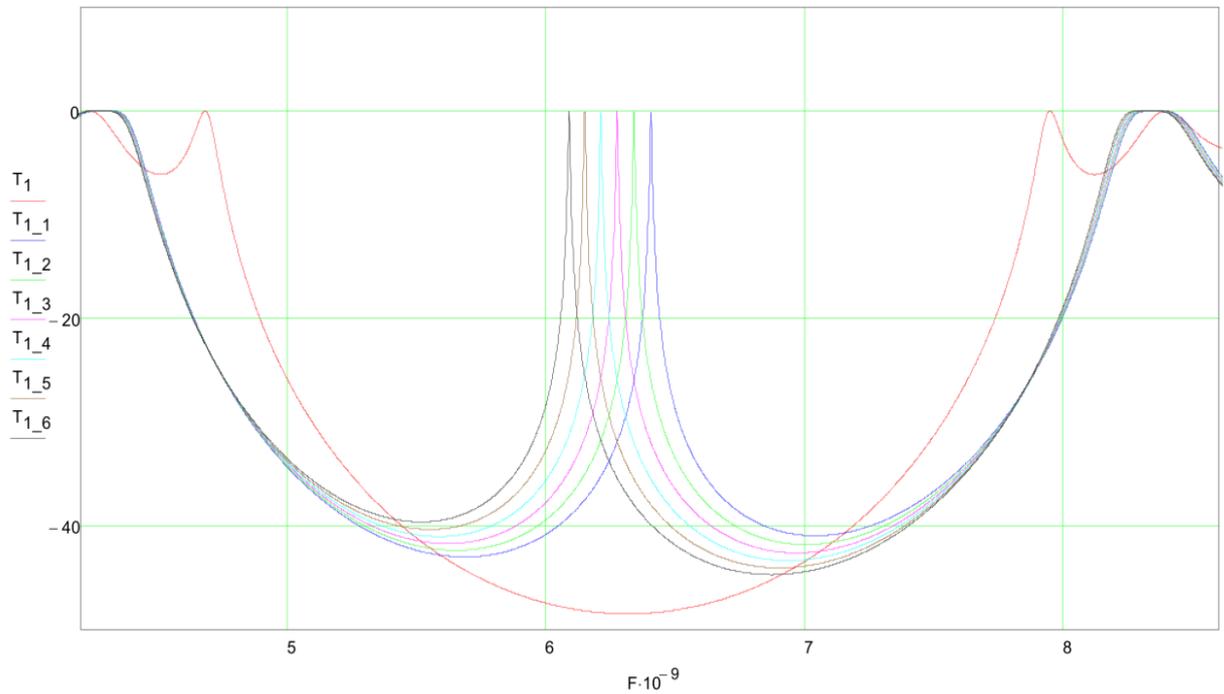


Рис.4. Амплитудно-частотные характеристики коэффициента пропускания одномерной двухкомпонентной 15 слойной КБС с нарушением периодичности в центральном слое (толщина нарушения варьировалась в диапазоне от 22.2 мм до 25.2 мм) полоса частот от 4.4 ГГц до 8.8 ГГц.

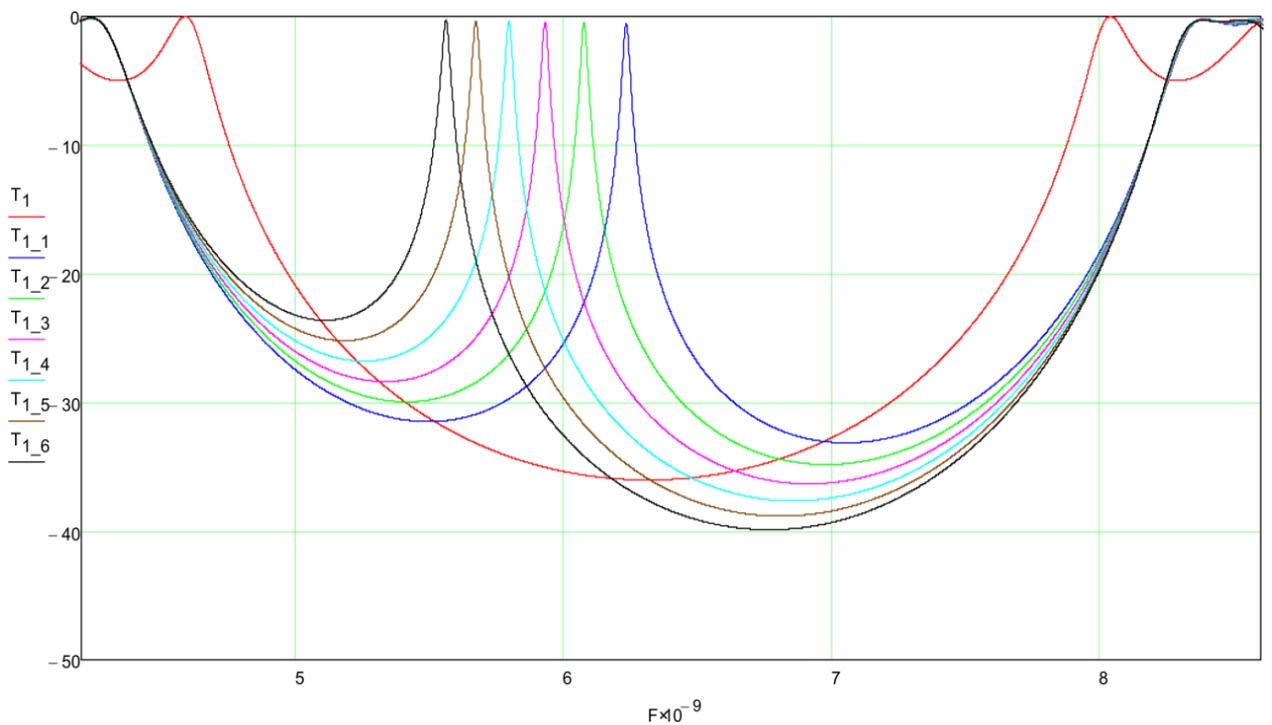


Рис.5. Амплитудно-частотные характеристики коэффициента пропускания одномерной двухкомпонентной 16 слойной КБС с нарушением периодичности в 9 слое (толщина нарушения варьировалась в диапазоне от 0.2 мм до 2.2 мм) полоса частот от 4.4 ГГц до 8.8ГГц.

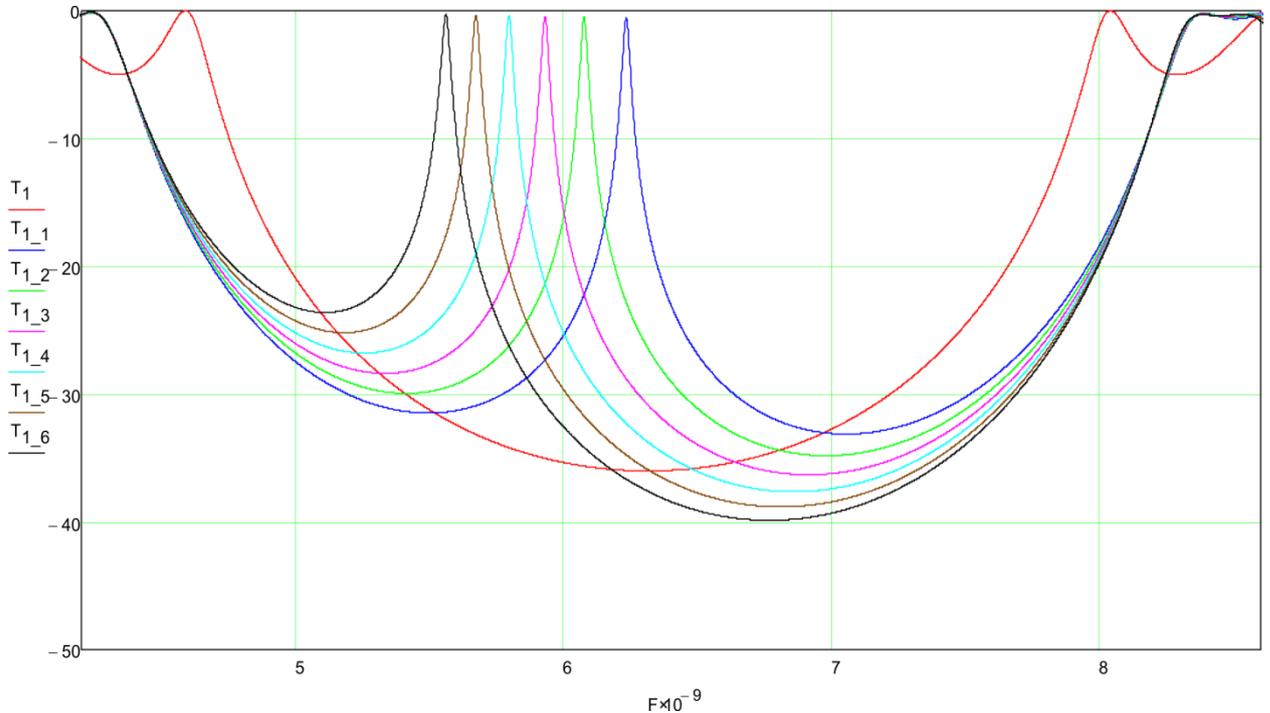
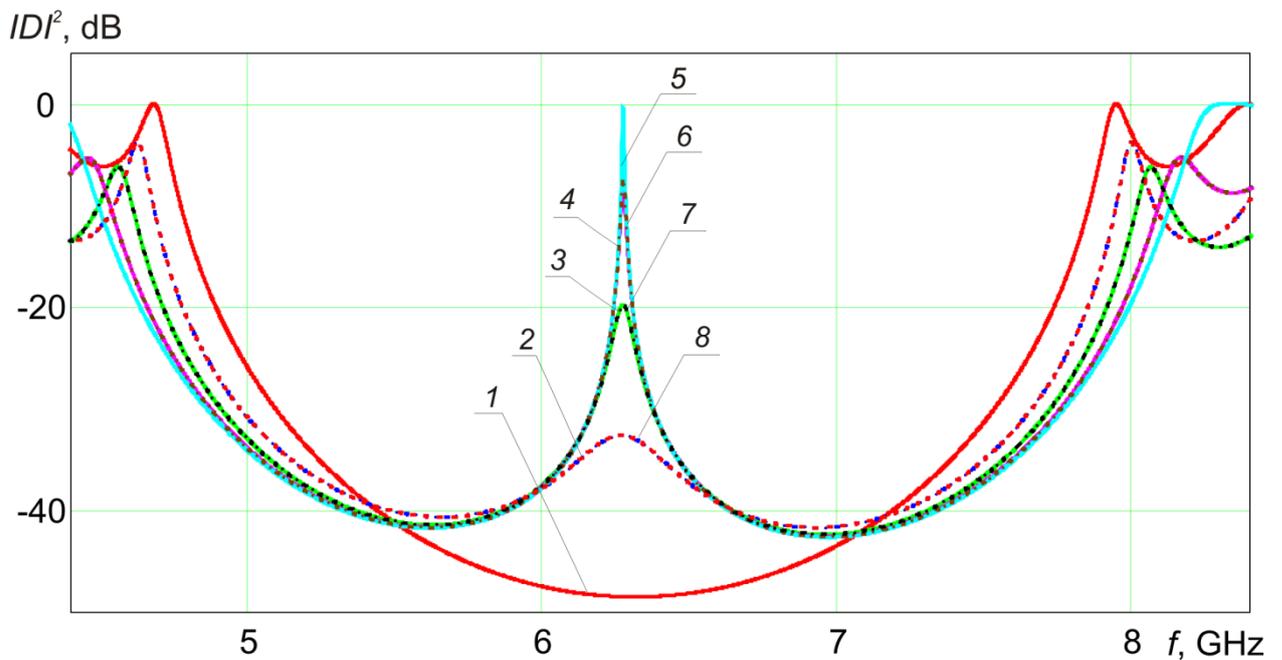


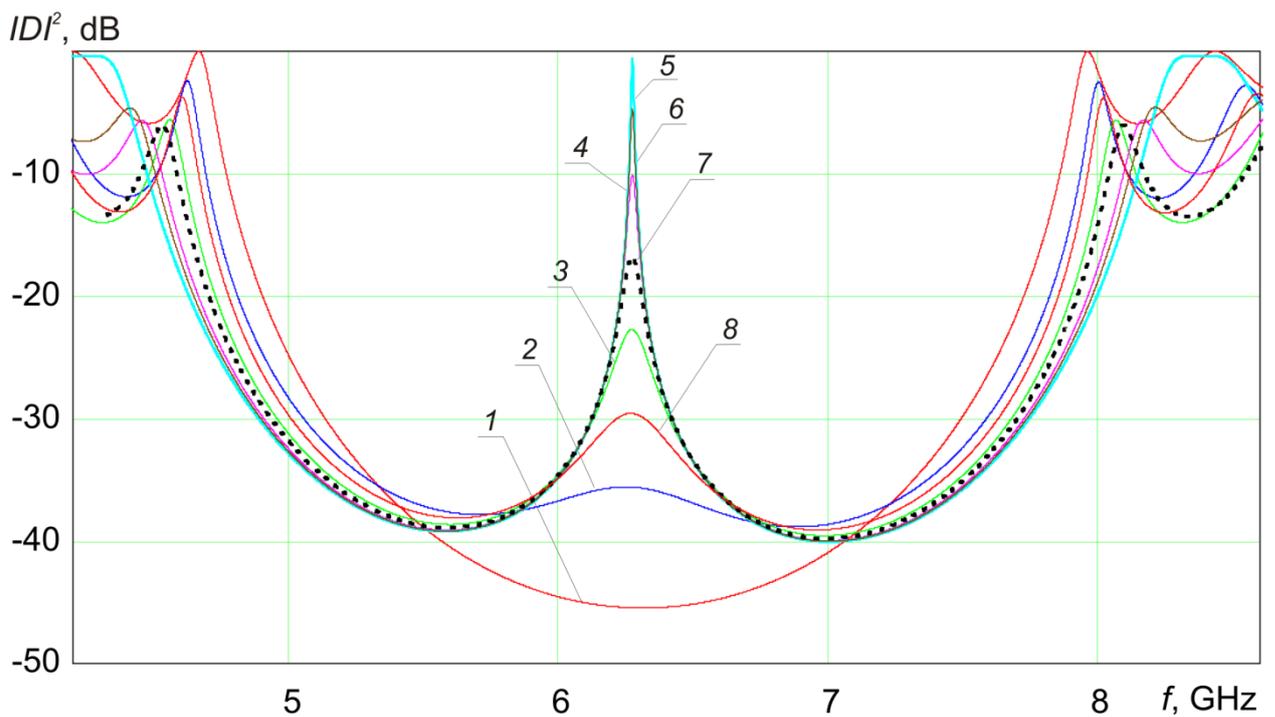
Рис.6. Амплитудно-частотные характеристики коэффициента пропускания одномерной двухкомпонентной 16 слойной КБС с нарушением периодичности в 9 слое (толщина нарушения варьировалась в диапазоне от 22.2 мм до 25.2 мм) полоса частот от 4.4 ГГц до 8.8ГГц.

Полученные характеристики позволяют сделать вывод о том, что путем подбора толщины неоднородности, возможно реализовать структуру, обладающую резонансными свойствами на «выбранной» частоте.

Рассмотрены случаи последовательного расположения нарушения периодичности для 15 слойной КБС во 2, 4, 6, 10, 12 слоях



Рассмотрены случаи последовательного расположения нарушения периодичности для 16 слойной КБС в 3, 5, 7, 11, 13, 15 слоях



Полученные амплитудно-частотные характеристики позволяют сделать вывод о том, что максимальное значение коэффициента пропускания в окне прозрачности достигается при расположении неоднородности в центральном слое (для 15 слойной структуры) или в 9 слое (в случае несимметричной 16 слойной КБС).

Проведен анализ современного состояния исследований коаксиальных фотонных кристаллов

Выполнено компьютерное моделирование одномерных двухкомпонентных симметричных и несимметричных относительно центрального слоя КБС без нарушения периодичности

Исследованы АЧХ одномерных двухкомпонентных симметричных и несимметричных относительно центрального слоя КБС без нарушения периодичности в зависимости от чередования слоев начиная со слоя с меньшим значением диэлектрической проницаемости.

Исследованы АЧХ одномерных двухкомпонентных симметричных и несимметричных относительно центрального слоя КБС с нарушенным центральным слоем

Исследованы АЧХ одномерных двухкомпонентных симметричных и несимметричных относительно центрального слоя КБС с поочередным расположением нарушения во 2, 4, 6, 10, 12, 14 слоях (симметричный случай) и 3, 5, 7, 11, 13, 15 слоях (несимметричный случай)

Установлены следующие закономерности

- пропорциональное увеличение толщины слоев «первого» и «второго» типа соответственно (в 1.5, 2, 3.5, 6 раз) как для симметричных, так и для несимметричных КБС приводит к сужению разрешенных и запрещенных зон, а также, к их сдвигу в сторону меньших частот;
- при чередовании слоев одномерных двухкомпонентных КБС первым слоем которых является слой с меньшим значением диэлектрической проницаемости (как в симметричном, так и в несимметричном случае) происходит улучшенное согласование исследуемой системы, и как следствие, наблюдаются менее выраженные запрещенные.

Список использованных источников

1. Усанов Д.А., Никитов С.А., Скрипаль А.В., Пономарев Д.В. Одномерные СВЧ фотонные кристаллы. Новые области применения. М.: Физматлит, 2018.
2. Авдюшин А.С., Власов М.Ю., Пастернак Ю.Г. Применение метаматериалов в антенной технике // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2013. №3-1. Т.9. С. 132-135.
3. Нефедов Е.И. Устройства СВЧ и антенны: учеб. пособие для студ. высш. Учеб. заведений / Е.И. Нефедов. – М. : Издательский центр «Академия», 2009. – 384 с.
4. Пименов Ю.В. Техническая электродинамика / Ю.В. Пименов, В.И. Вольман, А.Д. Муравцов. Под ред. Ю.В. Пименова: Учеб. Пособие для вузов. М.: Радио и связь, 2000. – 536 с.
5. Пономарев Д.В. Особенности взаимодействия СВЧ-излучения с фотонными кристаллами, содержащими в качестве неоднородностей диэлектрические, полупроводниковые и металлические включения: автореферат на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук / Д.В. Пономарев - Саратов, 2012. – 19 с.
6. Волошин А.С. Исследование микрополосковых моделей полосно-пропускающих фильтров на одномерных фотонных кристаллах: автореферат на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук / А.С. Волошин – Красноярск, 2006. – 21 с.
7. Севастьянов, А.А. Волоконно-оптические технологии в испытательной лаборатории и на полигоне / А.А. Севастьянов, Е.А. Воронков, С.М. Царев / Авиация, наземный транспорт и энергетика. 6-ая Междунар. науч.- техн. конф.: Тез. докл. - Казань. – 2011