

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

Кафедра физики твёрдого тела

**ВОЛНОВОДНЫЕ ФОТОННЫЕ СТРУКТУРЫ НА РЕЗОНАНСНЫХ
ДИАФРАГМАХ С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ, УПРАВЛЯЕМЫМИ
*P-I-N-ДИОДАМИ***

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 411 группы
направления (специальности) 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»
код и наименование направления (специальности)
факультета нано- и биомедицинских технологий

Петрова Даниила Павловича

Научные руководители:
профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

А.В. Скрипаль

инициалы, фамилия

аспирант

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

С. Г. Евтеев

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
профессор, д.ф.-м.н.

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.А. Усанов

инициалы, фамилия

Саратов 2016

Введение

Среди новых типов твердотельных структур, применяемых в технике СВЧ, можно выделить периодические структуры, получившие название фотонных кристаллов. Эти структуры состоят из периодически расположенных составляющих, размеры которых сравнимы с длиной волны распространяющегося в них электромагнитного излучения. В спектре такой структуры имеется частотная область, запрещенная для распространения электромагнитной волны – аналог запрещенной зоны в кристаллах. При наличии нарушений в периодичности слоистой структуры в запрещенной зоне фотонного кристалла могут возникать резонансные частотные особенности – узкие «окна» прозрачности.

На основе СВЧ-фотонных кристаллов разрабатываются полосовые фильтры, перестраиваемые резонаторы, миниатюрные антенны.

Целью работы являлось создание и исследование волноводной фотонной структуры на резонансных диафрагмах с характеристиками, управляемыми $n-i-p-i-n$ -диодом.

На основе численного моделирования с использованием метода конечных элементов в САПР HFSS Ansoft исследовалось взаимодействие электромагнитного поля с фотонной структурой.

Проводилось компьютерное моделирование одномерного фотонного кристалла из диафрагм. Нарушение периодичности создается отличием формы средней диафрагмы от остальных диафрагм. $n-i-p-i-n$ -диод расположен у края щели, перекрывая 1мм щели (рис. 3.1).

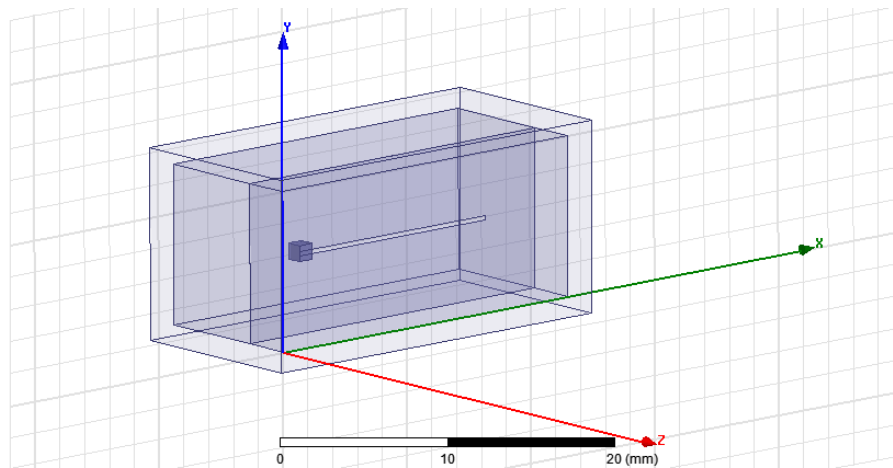


Рис.1. Расположение диода внутри диафрагмы

В результате этого при включении $n-i-p-i-n$ -структуры в прямом направлении, вследствие инжекции свободных носителей заряда в i -область, происходит уменьшение ширины щели диафрагмы в области расположения $n-i-p-i-n$ -структуры.

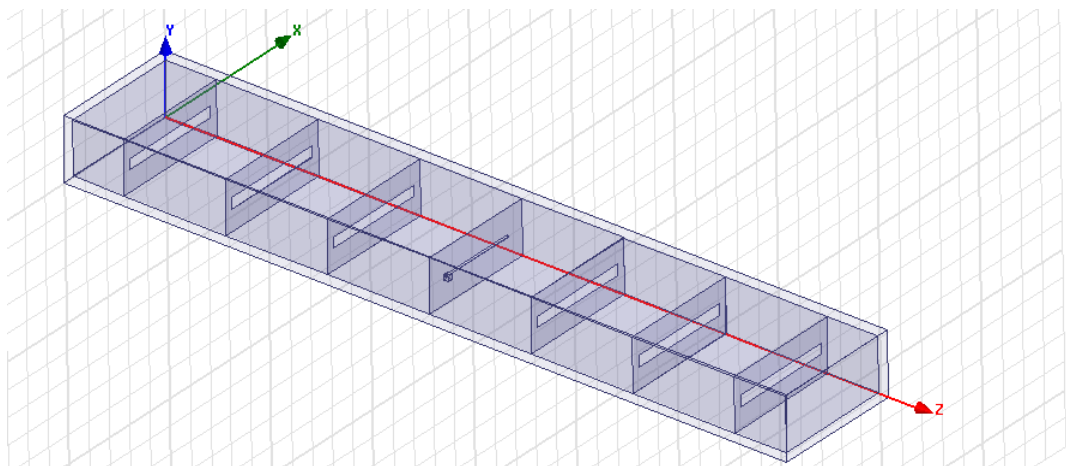


Рис. 2. Фотонная структура из семи диафрагм с диодом у края щели.

С использованием программы трехмерного электродинамического моделирования HFSS была создана модель фотонного кристалла, состоящего из семи диафрагм.

В качестве нарушения периодичности фотонного кристалла было использовано уменьшение ширины щели центральной диафрагмы.

Высота щели в центральной диафрагме была уменьшена до размеров i -области $n-i-p-i-n$ -структуры.

При пропускании тока через $n-i-p-i-n$ -структуру в прямом направлении происходит заполнение i -области инжектированными носителями. Это приводит к резкому увеличению отражения электромагнитной волны, распространяющейся в фотонном кристалле.

В ходе компьютерного моделирования был проведен расчет частотных зависимостей коэффициентов отражения и прохождения СВЧ-излучения при различных значениях проводимости $n-i-p-i-n$ -диода для фотонных кристаллов состоящих из 7-ми и 9-ти диафрагм.

На рис. 3.3 и 3.4 представлены частотных зависимостей коэффициентов отражения и прохождения СВЧ-излучения при различных значениях проводимости $n-i-p-i-n$ -диода для фотонного кристалла, состоящего из 7-ми диафрагм.

При увеличении проводимости $n-i-p-i-n$ -диода сначала наблюдается сильное поглощение СВЧ мощности. Так как для малой проводимости характерна существенная глубина проникновения СВЧ волны, вследствие чего наблюдается высокое поглощение и незначительное смещение по частоте резонансного пика. Затем при приближении проводимости $n-i-p-i-n$ -диода к проводимости металла поглощение почти исчезает, и пик пропускания смещается на величину, соответствующую уменьшению длины щели диафрагмы на ширину $n-i-p-i-n$ -диода (1мм)[10]. Это видно на рисунках 3 и 4.

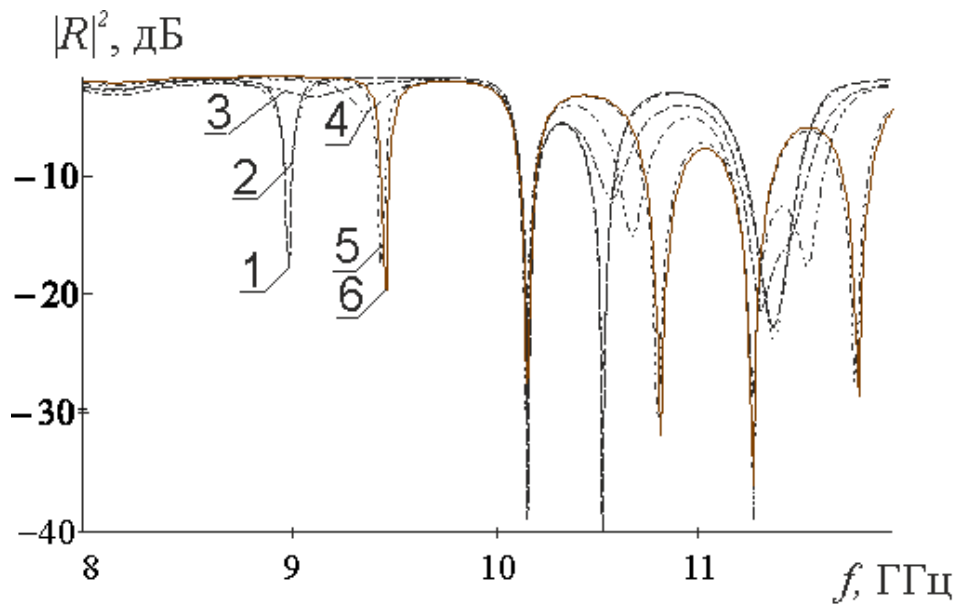


Рис. 3. Частотная зависимость коэффициента отражения фотонной структуры из семи диафрагм, $a' = 16 \text{ мм}$, $n-i-p-i-n$ -диод находится у края щели средней диафрагмы. Проводимость $n-i-p-i-n$ -диода составляла: 1 - 0 См, 2 - 5 См, 3 - 50 См, 4 - 500 См, 5 - 50000 См, 6 - 50000000 См

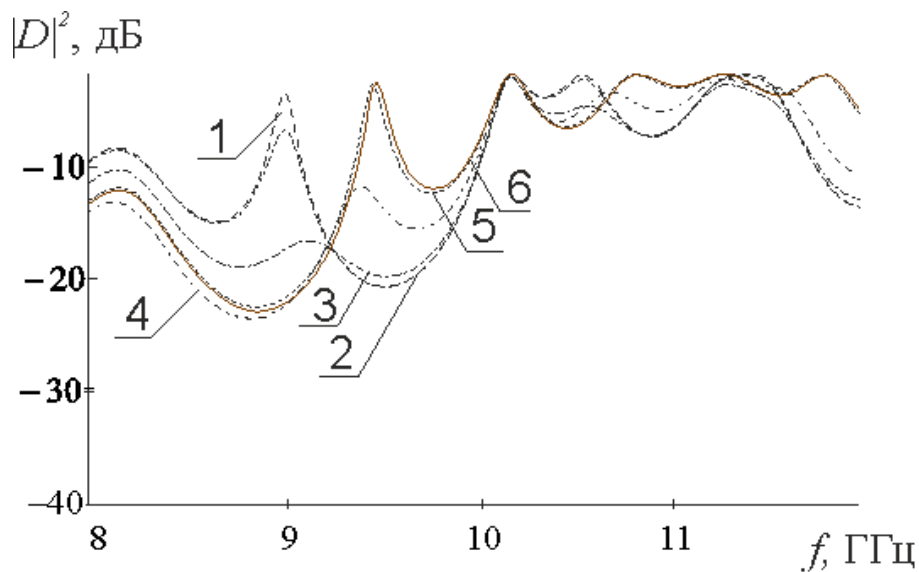


Рис.4. Частотная зависимость коэффициента прохождения фотонной структуры из семи диафрагм, $a' = 16 \text{ мм}$, $n-i-p-i-n$ -диод находится у края щели средней диафрагмы. Проводимость $n-i-p-i-n$ -диода составляла: 1 - 0 См, 2 - 5 См, 3 - 50 См, 4 - 500 См, 5 - 50000 См, 6 - 50000000 См

На рис. 6 и 7 представлены частотных зависимостей коэффициентов прохождения СВЧ-излучения при различных значениях проводимости $n-i-p-i-n$ -диода для фотонного кристалла, состоящего из 9-ми диафрагм.

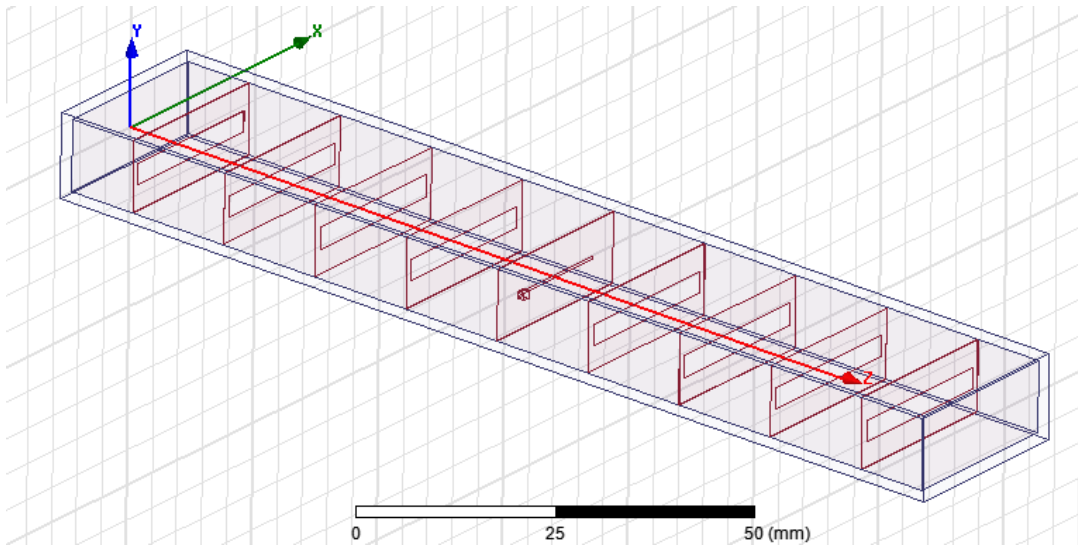


Рис. 5. Структура фотонного кристалла из девяти диафрагм, $n-i-p-i-n$ -диод расположен у края щели в средней диафрагме.

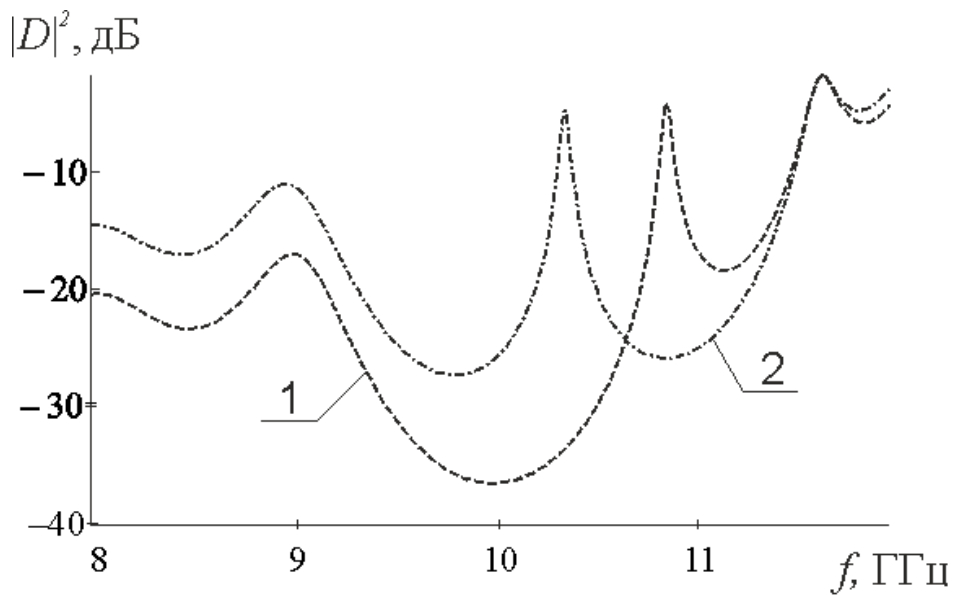


Рис. 6. Частотная зависимость коэффициента прохождения $a^2=13,5\text{mm}$: 1 – выключенный диод, 0 мА, 2 – включенный диод 550 мА.

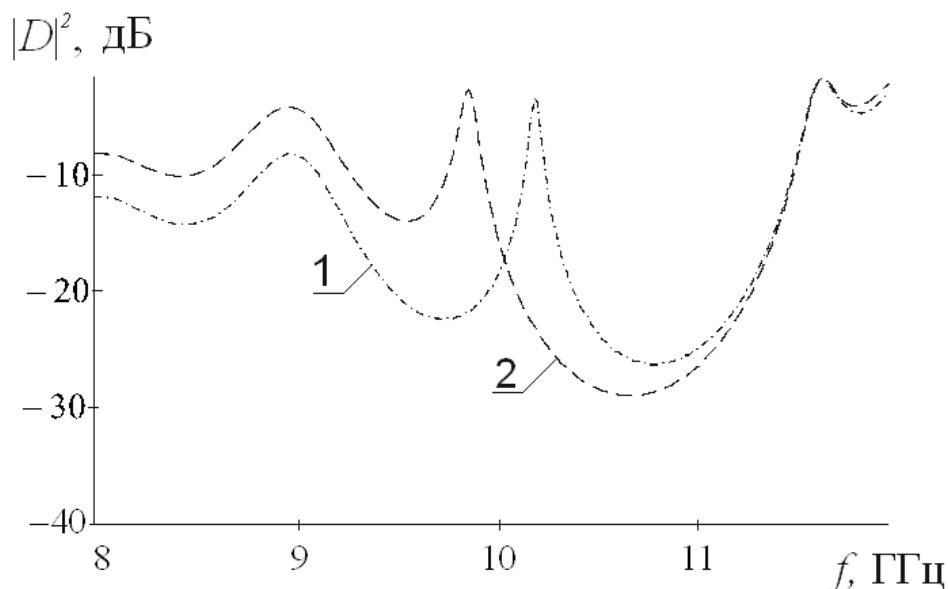


Рис. 7. Частотная зависимость коэффициента прохождения $a'=15\text{mm}$: 1 – выключенный диод, 0 мА, 2 – включенный диод 550 мА.

Как следует из результатов расчета, при переключении $n-i-p-i-n$ -диода из высокоомного состояния в проводящее, происходит смещение пика пропускания в запрещенной зоне фотонного кристалла в высокочастотную область. Величина этого смещения составляет 500 МГц при длине щели 13.5 мм и 330 МГц при ширине щели 15 мм

Для увеличения эффекта перестройки резонансной особенности в запрещенной зоне была предложена структура фотонного кристалла, включающая центральную диафрагму с двумя $n-i-p-i-n$ -диода, расположенными на противоположных краях этой диафрагмы.

Результаты расчета частотных зависимостей коэффициентов прохождения СВЧ-излучения при различных значениях проводимости $n-i-p-i-n$ -диода для фотонного кристалла, состоящего из 9-ми диафрагм, представлены на рис. 9.

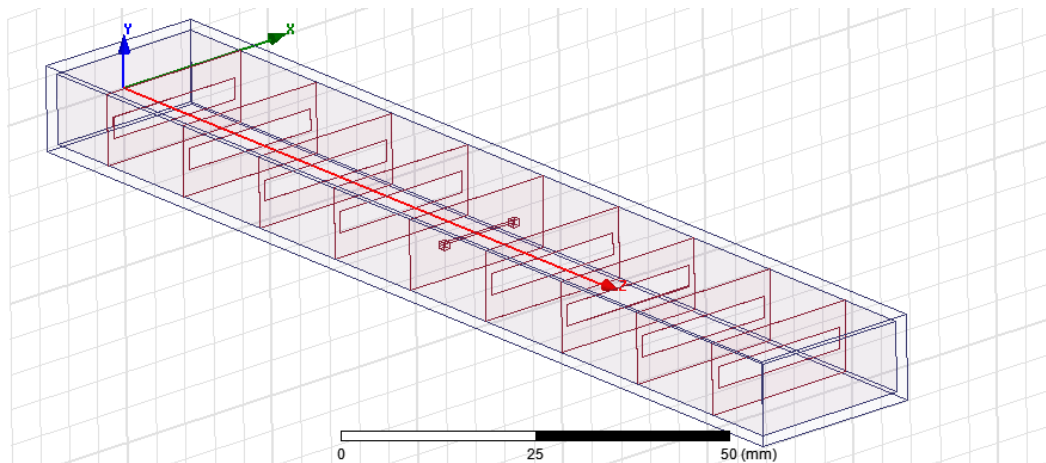


Рис. 8. Фотонная структура из девяти диафрагм с двумя $n-i-p-i-n$ -диодами по краям средней диафрагмы.

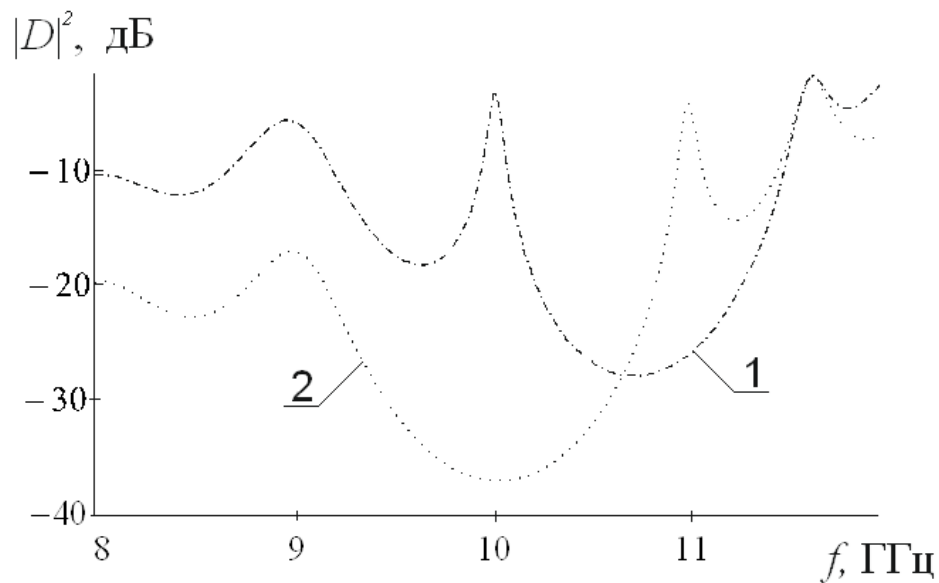


Рис. 9. Частотная зависимость коэффициента прохождения $a'=13\text{mm}$: 1 – выключенные диоды, 0 mA, 2 – включенные диоды 550 mA

Экспериментальное исследование фотонной структуры на резонансных диафрагмах

Измерение частотных зависимости коэффициентов отражения и прохождения фотонной структуры проводилось с использованием векторного анализатора цепей *N5230A Agilent PNA-L Network Analyzer*.

Диафрагмы изготавливались с помощью нанесения алюминиевой фольги на пенопластовую подложку, диэлектрическая проницаемость которой близка к единице[3]. Толщиной пенопласта задавалось расстояние между диафрагмами, образующими фотонный кристалл.

В наклеенной фольге вырезалась щель нужного размера. $n-i-p-i-n$ -диод размещался у края щели, закрывая 1мм от края щели. В результате этого после включения $n-i-p-i-n$ -структуры в прямом направлении достигается уменьшением длины щели диафрагмы.

Изменение электрических размеров щели при включении $n-i-p-i-n$ -структуры в прямом направлении, это было предсказано в результате численного моделирования, наблюдалось смещение резонансной частоты в запрещенной зоне фотонного кристалла в высокочастотную область.

На рис. 10 и 11 представлены частотные зависимости коэффициентов отражения и прохождения СВЧ-излучения при различных значениях проводимости $n-i-p-i-n$ -диода для фотонного кристалла, состоящего из 7-ми диафрагм.

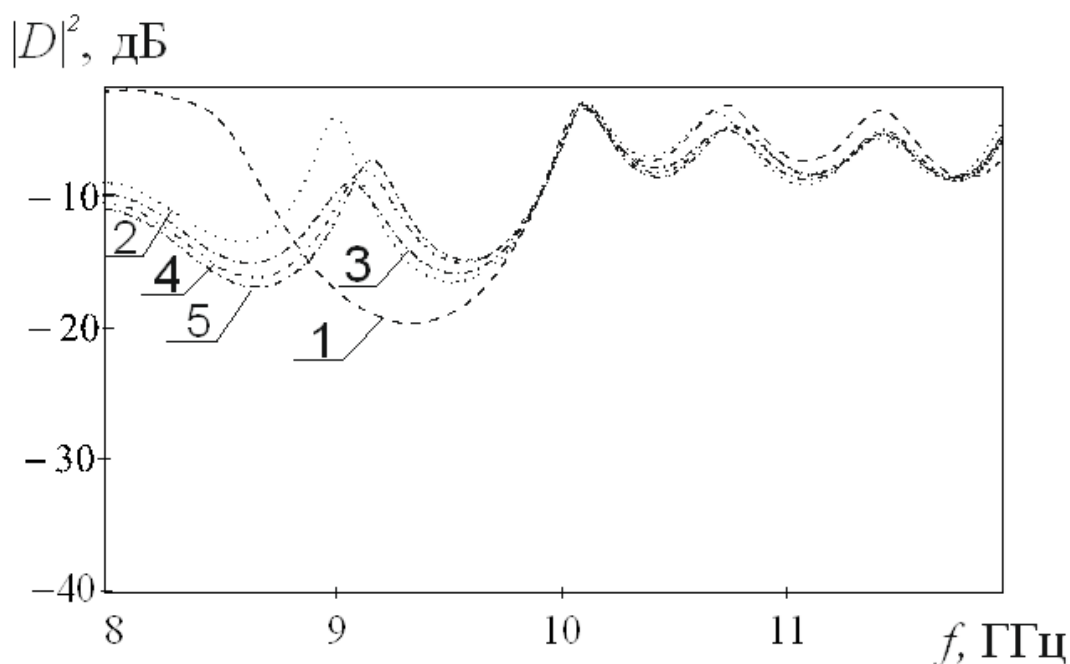


Рис. 10. Частотная зависимость коэффициента отражения фотонной структуры из семи диафрагм, $a'=16\text{мм}$, $n-i-p-i-n$ -диод находится у края щели средней диафрагмы. 1 – фотонный кристалл без нарушения. Ток пропускаемый через $n-i-p-i-n$ -диод составлял: 2 – 0мА, 3 – 4 мА, 4 - 20мА, 5 – 550мА.

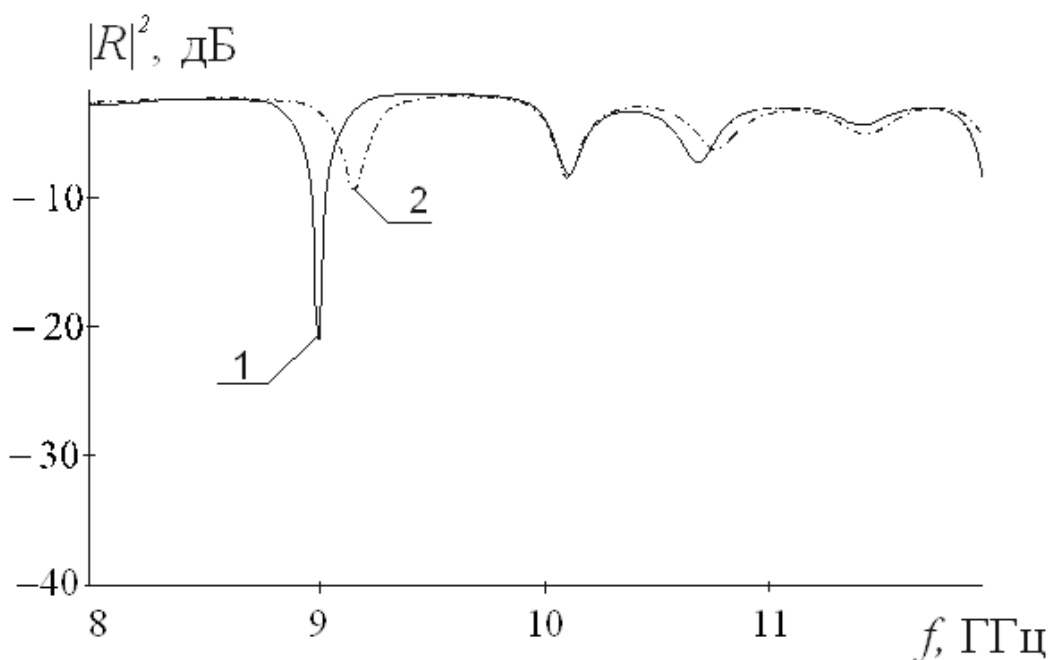


Рис. 11. Частотная зависимость коэффициента отражения фотонной структуры из семи диафрагм $a'=16\text{мм}$, $n-i-p-i-n$ -диод находится у края щели средней диафрагмы. Ток пропускаемый через $n-i-p-i-n$ -диод составлял: 1 – 0 мА, 2 – 550мА.

Как следует из результатов эксперимента, сдвиг частоты резонансной особенности составлял 200 МГц.

На фиксированной частоте при переключении $n-i-p-i-n$ -диода из высокоомного состояния в проводящее происходит изменение величины коэффициентов отражения и прохождения СВЧ-излучения.

На частоте 9.0 ГГц изменение величины коэффициентов отражения достигает 18 дБ. Фотонный кристалл в исследуемом режиме работы может быть использован в качестве ключевого элемента в схеме на отражение.

На рис. 12 и 13 представлены частотных зависимостей коэффициентов отражения и прохождения СВЧ-излучения при различных значениях проводимости $n-i-p-i-n$ -диода для фотонного кристалла, состоящего из 9-ми диафрагм с центральной диафрагмой различной длины.

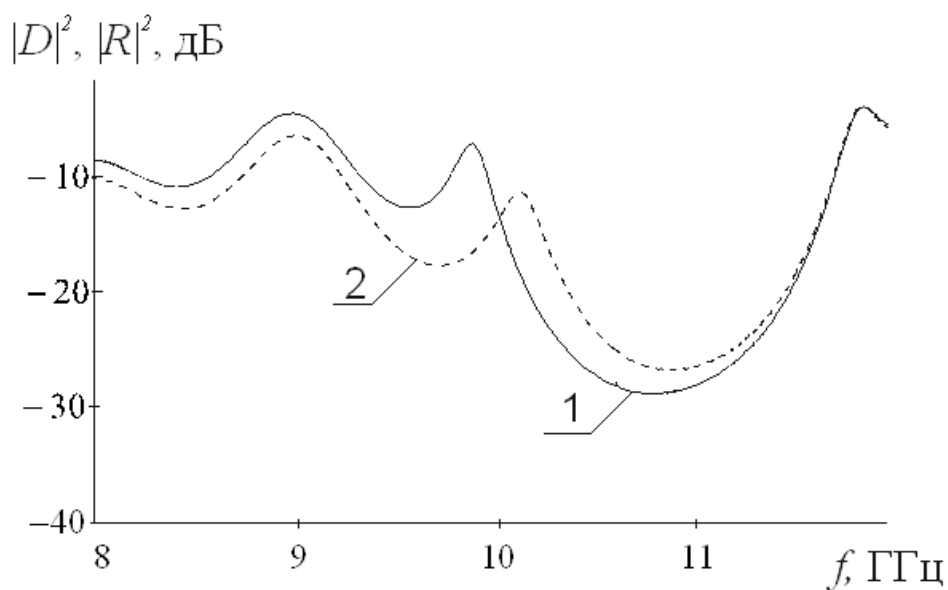


Рис. 12. Частотная зависимость коэффициента прохождения фотонной структуры из семи диафрагм $a'=16$ мм, $n-i-p-i-n$ -диод находится у края щели средней диафрагмы.

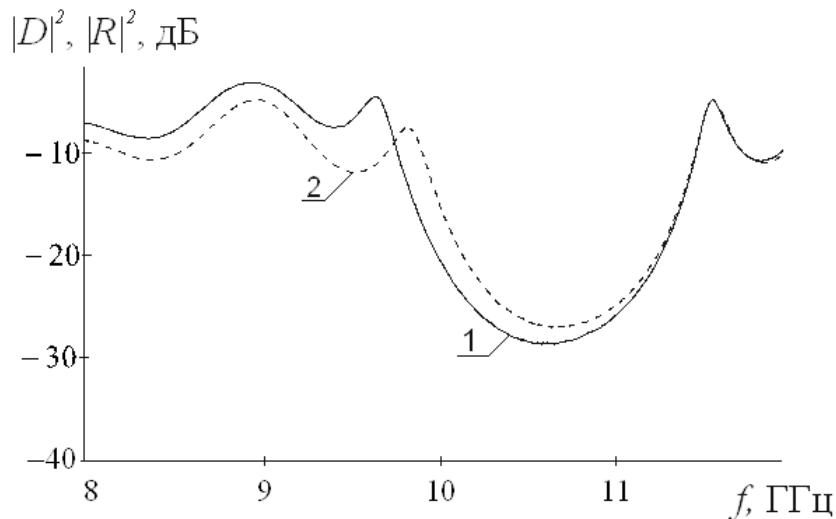


Рис. 14 Частотная зависимость коэффициента прохождения $a'=15$ mm: 1 – выключенные диоды, 0 mA, 2 – включенные диоды 550 mA.

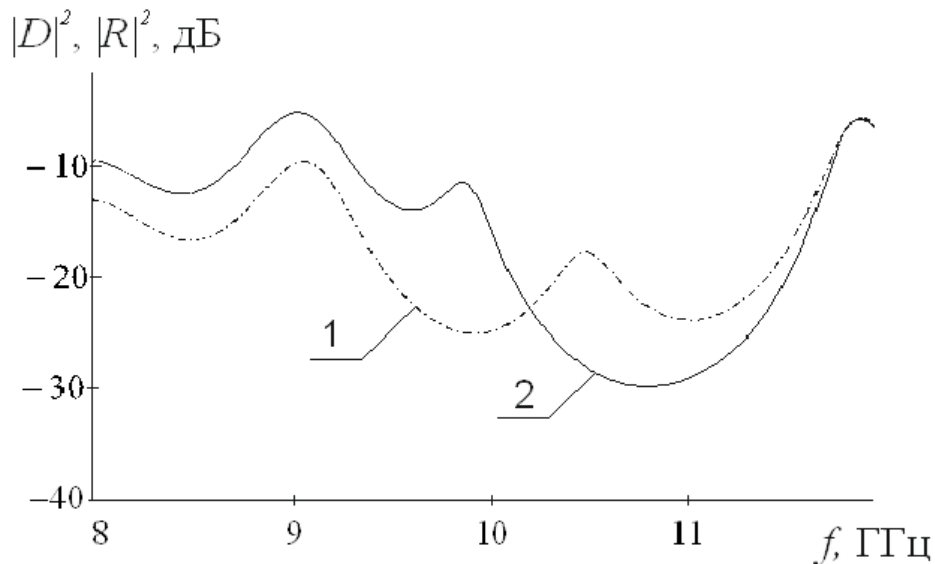


Рис. 15. Частотная зависимость коэффициента прохождения $a'=13$ mm, два диода расположены по краям щели: 1 – выключенные диоды, 0 mA, 2 – включенные диоды 550 mA.

Как следует из результатов эксперимента, при переключении $n-i-p-i$ - n -диода из высокоомного состояния в проводящее, происходит смещение пика пропускания в запрещенной зоне фотонного кристалла в высокочастотную область. Также при увеличении длины щели с 13.5 до 15 мм резонансная частота сместилась на 240 МГц.

Заключение

В ходе выполнения бакалаврской работы были получены следующие результаты:

Проведен анализ электродинамических характеристик волноводно-щелевых линий передачи, применяемых в СВЧ-диапазоне.

В среде HFSS проведено компьютерное моделирование частотных зависимостей коэффициентов прохождения и отражения фотонного кристалла на основе резонансных диафрагм в диапазоне от 8 ГГц до 12 ГГц без нарушений и с нарушением в виде уменьшенной длины щели.

Проведен расчет амплитудно-частотных характеристик фотонного кристалла, состоящего из 7 и 9 диафрагм, при размещении на краю центральной диафрагмы уменьшенной длины $n-i-p-i-n$ -диода.

Исследованы амплитудно-частотные характеристики фотонного кристалла, состоящего из 7 и 9 диафрагм, при изменении тока инжекции в $n-i-p-i-n$ -диоде при различных длинах щели центральной диафрагмы.

Установлено, что при переключении $n-i-p-i-n$ -диода из высокоомного состояния в проводящее, происходит смещение пика пропускания в запрещенной зоне фотонного кристалла в высокочастотную область. При увеличении длины щели с 13.5 мм до 15 мм наблюдается смещение резонансной частоты на 240 МГц .

Для увеличения эффекта перестройки резонансной особенности в запрещенной зоне была предложена структура фотонного кристалла, включающая центральную диафрагму с двумя $n-i-p-i-n$ -диодами, расположенными на противоположных краях этой диафрагмы.