

УДК 621.396.67

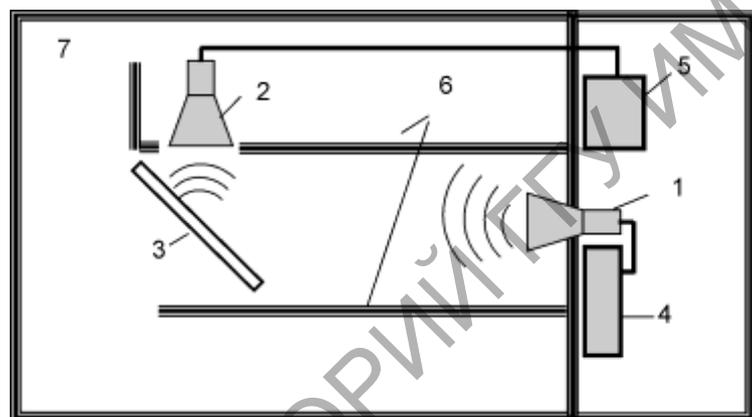
Использование спиральных излучателей для преобразования поляризации электромагнитных волн

А. Л. САМОФАЛОВ

В работе проведено экспериментальное исследование взаимодействия электромагнитного излучения СВЧ диапазона с двумя типами искусственной анизотропной двумерной решетки, состоящей из одновитковых металлических спиральных элементов. Параметры спиралей рассчитаны в работах [1-2] для получения максимального поворота плоскости поляризации падающей линейно поляризованной электромагнитной волны при взаимодействии с двумерной решеткой.

Целью работы является демонстрация того, что искусственные двумерные структуры, состоящие из металлических спиральных элементов, поворачивают плоскость поляризации падающей линейно поляризованной электромагнитной волны.

С целью уменьшения отражения от стен и создания условий, приближающихся к условиям “свободного пространства”, экспериментальное исследование взаимодействия электромагнитного излучения с образцами двумерных решеток проводилось в безэховой камере. Схема проведения эксперимента показана на рисунке 1.



- 1,2 – измерительные антенны;
- 3 – исследуемый образец;
- 4 – генератор;
- 5 – приемник измерительный;
- 6 – стена из радиопоглощающего материала;
- 7 – безэховая камера.

Рисунок 1 – Схема проведения эксперимента

Генератор (4) настраивается на заданную частоту, сигнал подается на рупорную антенну (1), которая излучает линейно поляризованную электромагнитную волну. Рассеянное образцом (прошедшее через образец) (3) излучение регистрируется приемной антенной (2). Уровень сигнала снимается со стрелочного индикатора измерительного приемника (5).

Стена из радиопоглощающего материала (6) защищает приемную антенну от прямого попадания сигнала из передающей антенны, а также обеспечивает защиту экспериментатора от излучения электромагнитных волн СВЧ диапазона. Измерения выполняются в частотном интервале 2,6 ГГц – 4,0 ГГц.

Для проведения сравнительного анализа, измерения выполнены с образцами содержащими левосторонние одновитковые оптимальные спирали с углом подъема 35° и 53° . Количество спиралей в образцах, толщина и длина проволоки, из которой изготовлены спирали, в обоих случаях одинаковы.

Для получения более точного соответствия спиралей рассчитанным параметрам они изготовлены по следующей технологии: медная проволока наматывается на заранее изготовленный шаблон (рисунок 2), это обеспечивает взаимную идентичность спиральных элемен-

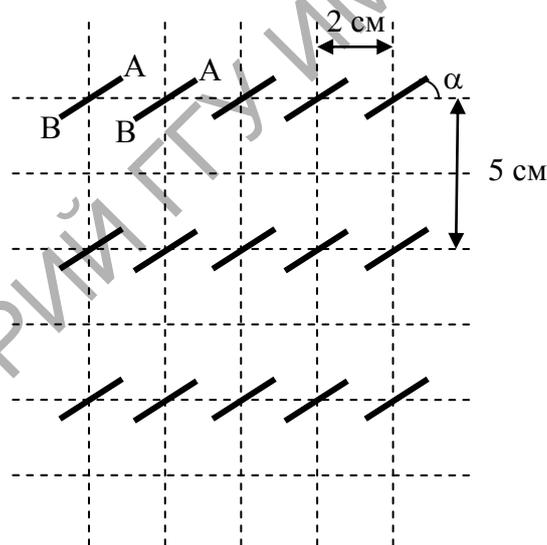
тов и точное соблюдение заданных размеров. Полученная таким образом спираль обладает упругими свойствами, что приводит к небольшому изменению параметров при снятии ее с шаблона. Для устранения этого недостатка, медная проволока, намотанная на шаблон, помещается в муфельную печь на 10 минут при температуре 300°C , данная температура соответствует температуре рекристаллизации меди ($180\text{-}300^{\circ}\text{C}$)[3, стр. 416]. По истечении времени отжига шаблон вынимается из печи и охлаждается, что приводит к закалке проволоки и уменьшению ее упругих свойств. Вдоль продольной бороздки, нанесенной на шаблоне, на проволоке ставятся метки, соответствующие полному витку спирали. Затем проволока скручивается с шаблона, и по меткам нарезаются спиральные элементы, полностью соответствующие расчетным параметрам.



Рисунок 2 – Фотография шаблона для изготовления спиральных элементов

Для изготовления образца двумерной решетки за основу было решено взять пенопласт, так как он обладает всеми необходимыми требованиями, в первую очередь радиопрозрачностью, легкостью, доступностью. Лист пенопласта, размером 0.5×0.5 м. и толщиной 0.02 м., расчерчен бороздками АВ, в которые вставляются спирали (рисунок 3). Бороздки проведены относительно горизонтального края пенопласта под углом α , равным углу подъема спиральных элементов. Таким образом, достигнуто надежное и варьлируемое закрепление спирали в двумерной решетке без приклеивания.

Рисунок 3 – Схема расстановки спиралей в образце



Фотографии изготовленных экспериментальных образцов двумерных решеток приведены на рисунках 4-5.

Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, отраженной от двумерных решеток, состоящих из одновитковых спиральных элементов с углами намотки 35° и 53° , при различной ориентации вектора \vec{E} падающей волны, показаны на рисунках 6 – 8. Знак угла поворота плоскости поляризации следует интерпретировать следующим образом: если волна распространяется к наблюдателю и поворот плоскости поляризации электромагнитного излучения осуществляется по часовой стрелке, угол поворота считается положительным; если поворот плоскости поляризации электромагнитного излучения осуществляется против часовой стрелки, угол поворота считается отрицательным.



Рисунок 4 – Искусственный образец, содержащий левосторонние одновитковые спирали с углом подъема 35°

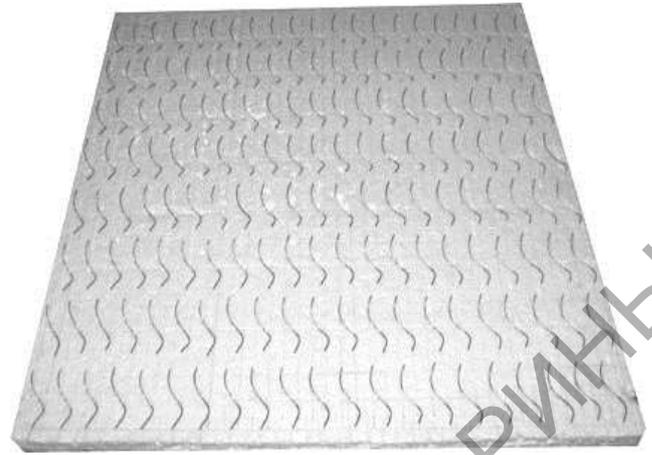


Рисунок 5 – Искусственный образец, содержащий правосторонние одновитковые спирали с углом подъема 53°

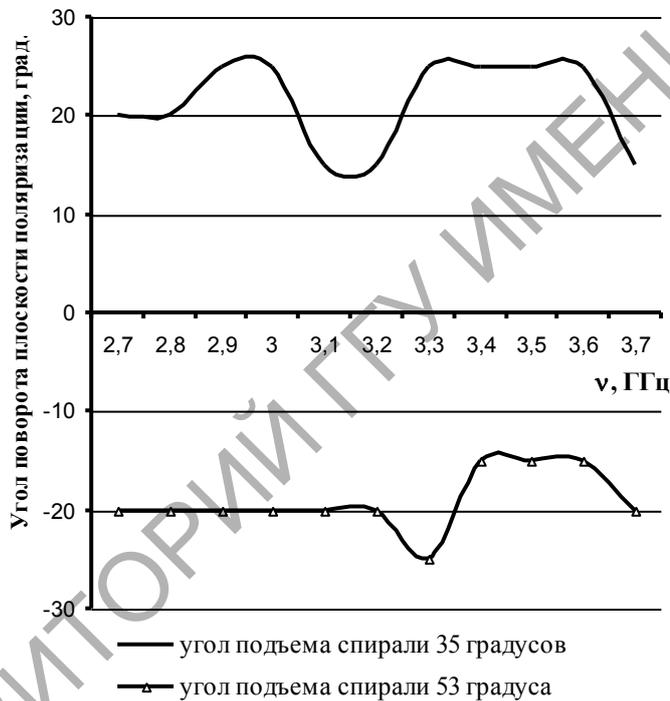


Рисунок 6 – Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, отраженной от двумерных решеток, состоящих из одновитковых спиральных элементов (ориентация вектора \vec{E} падающей волны показана на рисунке)

Из графика на рисунке 6 видно, что образец с углом подъема спиралей 53° дает более стабильный поворот плоскости поляризации электромагнитной волны в диапазоне частот 2,7-3,2 ГГц на угол 20° , образец с углом подъема спиралей 35° дает поворот плоскости поляризации на максимальный угол 25° на резонансной частоте 3 ГГц, однако выше и ниже резонансной частоты угол поворота плоскости поляризации уменьшается.

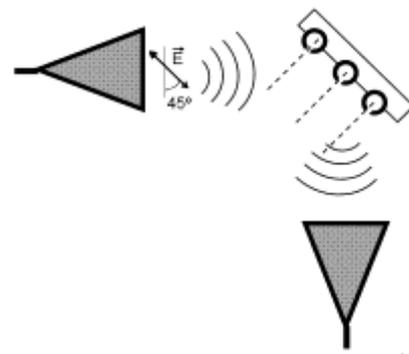
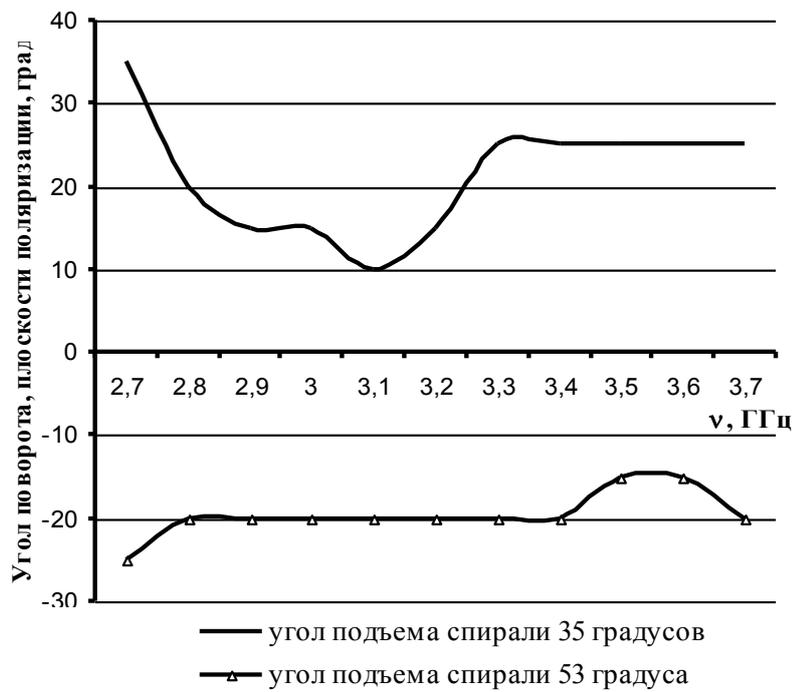


Рисунок 7 – Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, отраженной от двумерных решеток, состоящих из одновитковых спиральных элементов (ориентация вектора \vec{E} падающей волны показана на рисунке)

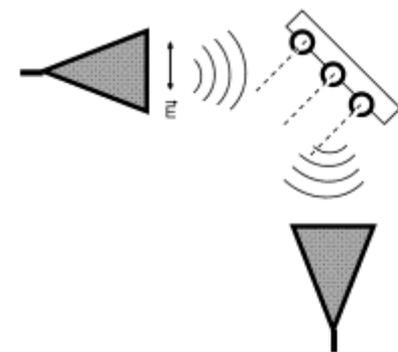
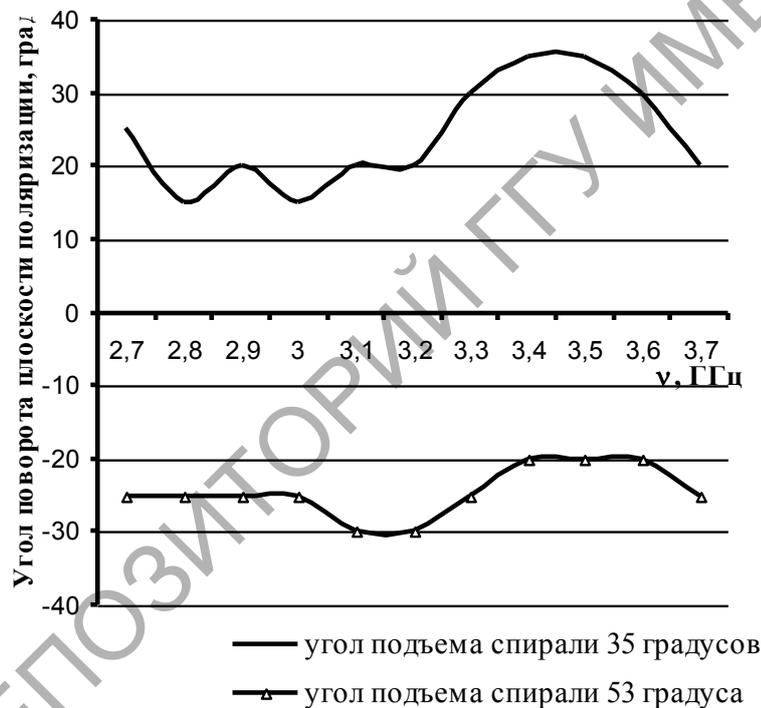


Рисунок 8 – Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, отраженной от двумерных решеток, состоящих из одновитковых спиральных элементов (ориентация вектора \vec{E} падающей волны показана на рисунке – плоскость колебания вектора \vec{E} , составляет угол 45° с осями спиралей)

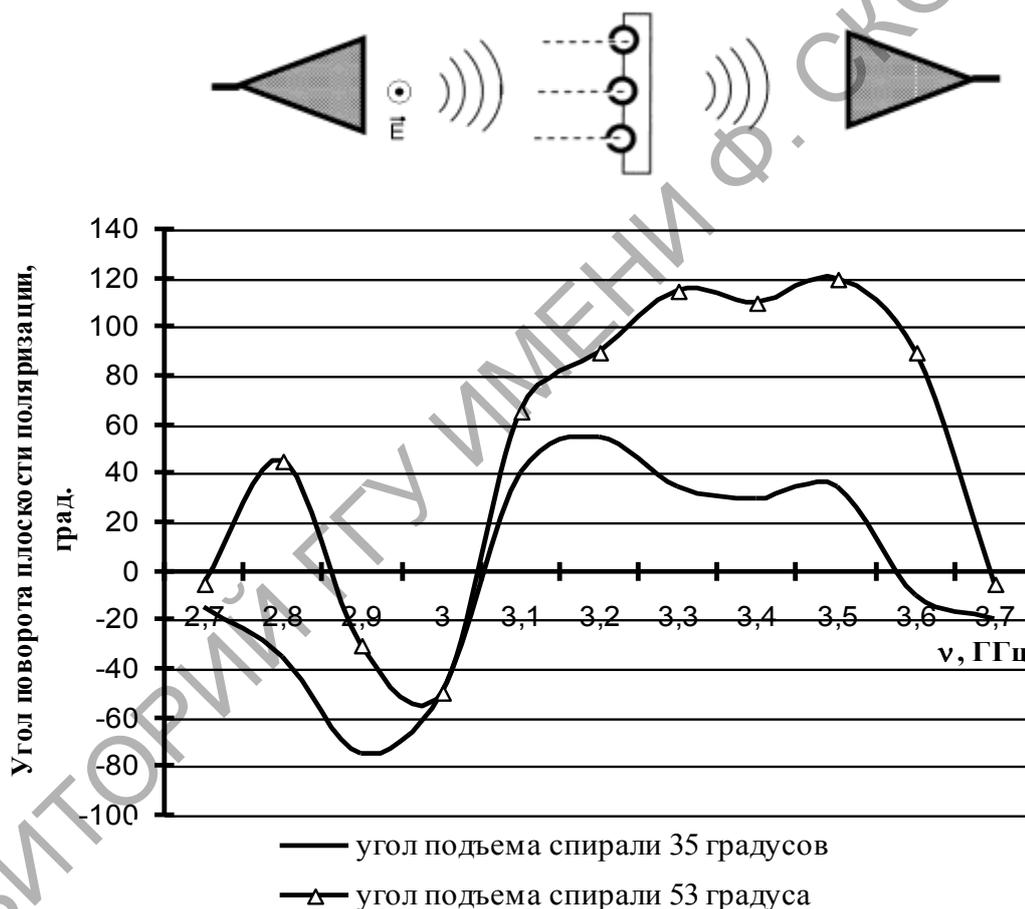
На рисунке 7 видно, что при колебании вектора \vec{E} падающей волны перпендикулярно к осям спиралей, угол поворота плоскости поляризации отраженной волны для образца с уг-

лом подъема спиралей 53° изменяется от 20° до 30° . В образце с углом подъема спиралей 35° угол поворота не стабильный и достигает максимального значения 35° на частоте 3,5 ГГц.

Из графика на рисунке 8 видно, что образец с углом подъема спиралей 53° при колебании вектора \vec{E} под углом 45° к осям спиралей дает стабильный угол поворота плоскости поляризации 20° в диапазоне частот 2,8-3,4 ГГц. Образец с углом подъема спиралей 35° дает ярко выраженный минимум угла поворота плоскости поляризации (10°) при частоте 3,1 ГГц (вблизи резонансной частоты).

Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, прошедшей через двумерные решетки, состоящие из одновитковых спиральных элементов с углами намотки 35° и 53° , при различной ориентации вектора \vec{E} падающей волны показаны на рисунках 9 – 11.

Рисунок 9 – Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, прошедшей через образец двумерной решетки, состоящей из одновитко-



вых спиральных элементов (ориентация вектора \vec{E} показана на рисунке)

Из графика (рисунок 9) видно, что при ориентации вектора \vec{E} параллельно осям спиралей, поворот плоскости поляризации прошедшей волны является значительным и имеет сильную частотную дисперсию. При частотах, близких к 3 ГГц, происходит изменение направления вращения плоскости поляризации. Поворот плоскости поляризации на образце с углом подъема спиралей 53° в диапазоне частот 3,3- 3,5 ГГц достигает значения $110^\circ - 120^\circ$.

Из графика на рисунке 10 видно, что при колебании вектора \vec{E} перпендикулярно осям спиралей наблюдается нестабильный поворот плоскости поляризации электромагнитной волны при взаимодействии с обоими образцами.

При падении вектора \vec{E} под углом 45° к осям спиралей (рисунок 11) для образца с углом подъема 35° вблизи резонансной частоты (3 ГГц) наблюдается значительный поворот

плоскости поляризации прошедшей электромагнитной волны с изменением направления вращения. Образец же с углом подъема спиралей 53^0 дает небольшое и относительно стабильное значение поворота плоскости поляризации.

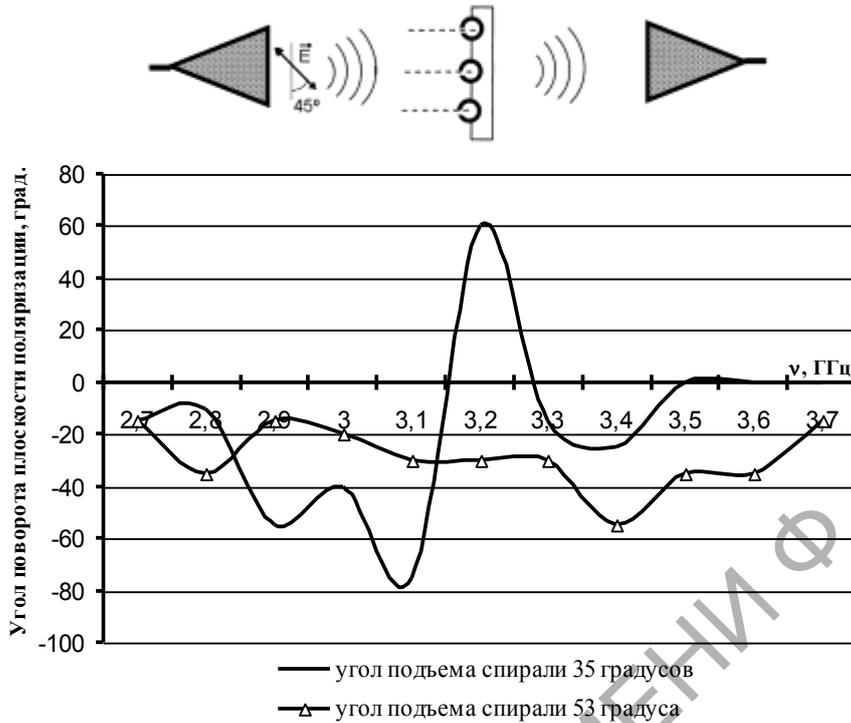


Рисунок 10 – Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, прошедшей через образец двумерной решетки, состоящей из одновитковых спиральных элементов (ориентация вектора \vec{E} показана на рисунке)

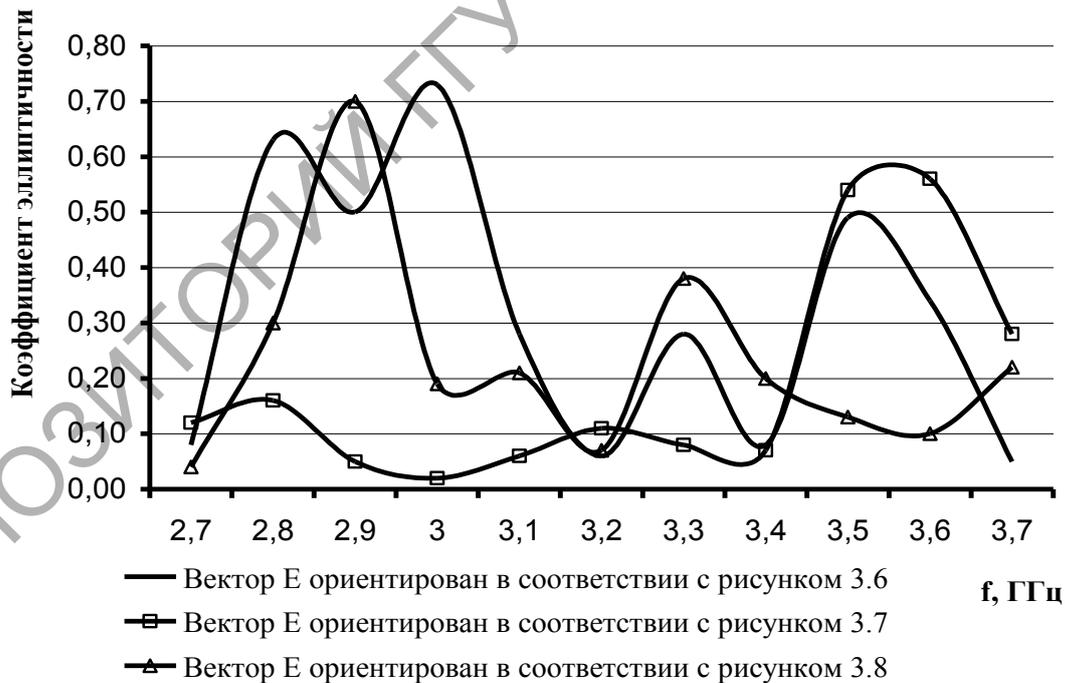


Рисунок 11 – Графики частотной зависимости угла поворота плоскости поляризации электромагнитной волны, прошедшей через образец двумерной решетки, состоящей из одновитковых спиральных элементов (ориентация вектора \vec{E} показана на рисунке)

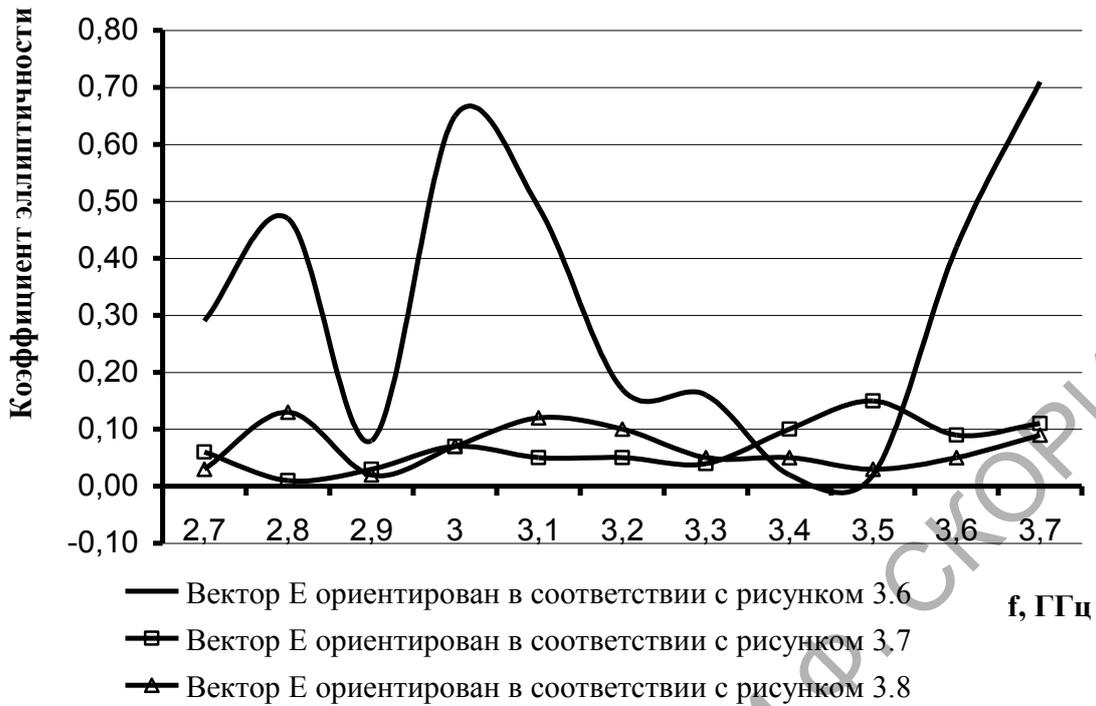


Рисунок 12 – График частотной зависимости коэффициента эллиптичности электромагнитного излучения, прошедшего через образец двумерной решетки, состоящей из одновитковых спиральных элементов с углом подъема 35 градусов

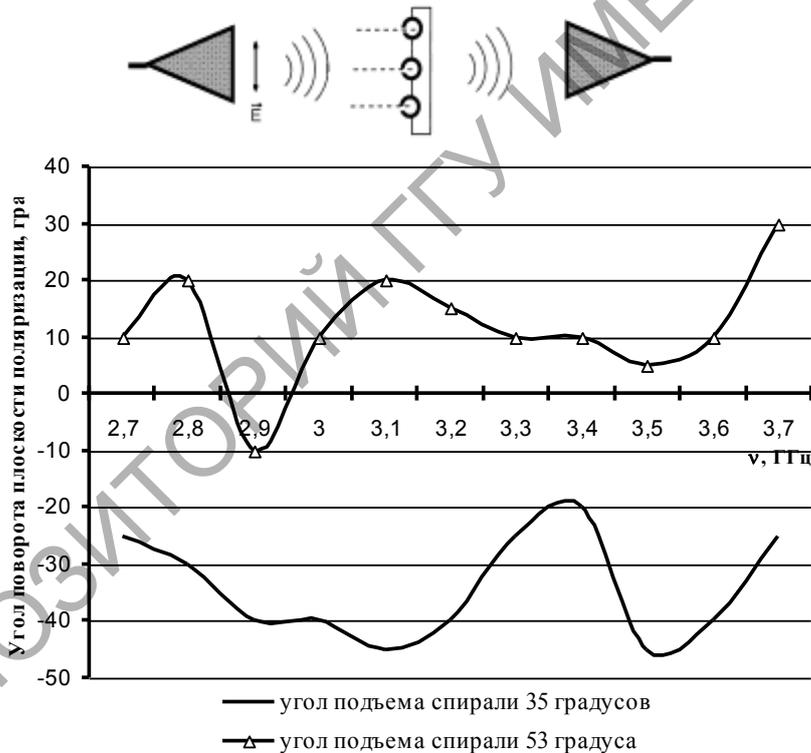


Рисунок 13 – График частотной зависимости коэффициента эллиптичности электромагнитного излучения, прошедшего через образец двумерной решетки, состоящей из одновитковых спиральных элементов с углом подъема 53 градуса

Следует отметить, что при наклонном падении (рисунки 6-8) отраженная волна оставалась линейно поляризованной, при этом образец, состоящий из левосторонних спиралей, вращает плоскость поляризации отраженной электромагнитной волны по часовой стрелке, а образец, содержащий правосторонние спирали, – против, если смотреть на встречу отражен-

ной волне. При нормальном падении (рисунки 9-11) наблюдалось преобразование падающей линейно поляризованной волны в эллиптически поляризованную волну (рисунки 12-13).

Из графиков видно, что после прохождения через образец линейно поляризованное излучение приобретает эллиптическую поляризацию, максимум коэффициента эллиптичности при этом лежит в области резонансной частоты – 3 ГГц.

Эксперимент показал, что самое сильное преобразование поляризации прошедшей волны и резонансное возрастание интенсивности отраженной волны имеет место при колебании вектора \vec{E} падающей линейно поляризованной волны параллельно осям спиральных элементов, следовательно, эти явления взаимосвязаны.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о возможном использовании двумерных решеток, состоящих из спиральных элементов, в качестве преобразователей поляризации электромагнитных волн.

Abstract. The experimental investigation of interaction of electromagnetic radiation of a microwave region with two types of artificial two-dimensional lattice consisting of single-turn metal spiral elements is presented in the paper. The comparative analysis of the obtained results is carried out. The paper shows that such structures can have many ways of potential applications, in particular, they can be used for transforming polarization of electromagnetic waves of a microwave region.

Литература

1. Исследование поляризации электромагнитного излучения, рассеянного на металлической спирали / И. В. Семченко [и др.] // Лазерная и оптико-электронная техника. – 2002. – Вып. 7. – С. 84-91.
2. Polarization Plane Rotation of Electromagnetic Waves by the Artificial Periodic Structure with One-Turn Helical Elements/ I.V. Semchenko [et al.] // Electromagnetics.- 2006.- Vol. 26, № 3-4.- P. 219-233.
3. Справочник металлиста. В 5-и т. Т.2. Под ред. А.Г. Рахштадта и В.А. Брострема. М., «Машиностроение», 1976.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 15.10.08