

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

**Исследование особенностей прохождения спин-волновых сигналов
через 2D метаповерхности на основе пленок YIG/Pu**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

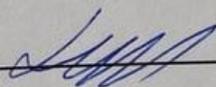
Студенки 4 курса 4011 группы

направления 03.03.01 Прикладные математика и физика

института физики

Кузиной Кристины Александровны

Научный руководитель
Ассистент



Д.В. Романенко

Зав. кафедрой нелинейной физики
к.ф.-м.н., доцент

Е.Н. Бегинин

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

**Исследование особенностей прохождения спин-волновых сигналов
через 2D метаповерхности на основе пленок YIG/Pu**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

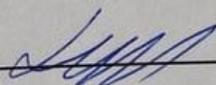
Студенки 4 курса 4011 группы

направления 03.03.01 Прикладные математика и физика

института физики

Кузиной Кристины Александровны

Научный руководитель
Ассистент



Д.В. Романенко

Зав. кафедрой нелинейной физики
к.ф.-м.н., доцент



Е.Н. Бегинин

«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра нелинейной физики

**Исследование особенностей прохождения спин-волновых сигналов
через 2D метаповерхности на основе пленок YIG/Pu**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студенки 4 курса 4011 группы

направления 03.03.01 Прикладные математика и физика

института физики

Кузиной Кристины Александровны

Научный руководитель

Ассистент

Д.В. Романенко

Зав. кафедрой нелинейной физики

к.ф.-м.н., доцент

Е.Н. Бегинин

Саратов 2021

Содержание

Введение	3
Эксперимент	4
Численное моделирование	7
Заключение	11
Список литературы	12

Введение

Метаматериалы- искусственно сформированные и особым образом структурированные среды, обладающие электромагнитными или акустическими свойствами, сложно достижимыми технологически, либо не встречающимися в природе. Т.е искусственно созданные композитные материалы, свойства которых обусловлены не только индивидуальными физическими свойствами их компонентов, но и микроструктурой. Термин «метаматериалы», происходящий от греческого слова (μετα), означающего «вне, выше, за пределами».

Суть метаматериалов заключается в необычных свойствах при взаимодействии с электромагнитными волнами. Электромагнитные волны существуют в огромном диапазоне частот. Радиоволны, СВЧ, инфракрасное свет. Видимый свет и т.д. Метаматериалы создаются для взаимодействия с электромагнитными волнами.

Исследования в этой области довольно популярны. Метаматериалы привлекли к себе особое внимание на стыке тысячелетий, когда был проведен первый эксперимент, подтверждающий возможность отрицательного преломления т.е это один их таких частных случаев. Метаматериалы раздвинули границы «привычного» электромагнетизма – и именно в этом их огромная научная значимость. Другой случай- создание магнитных метаповерхностей. Они состоят из металлических резонансных элементов – метаатомов, реагирующих на магнитную составляющую электромагнитной волны. Они обладают необычными свойствами и интересными характеристиками, практическая реализация таких сред значительно проще.

Цель данной работы - экспериментально исследовать особенность прохождения спин-волновых сигналов в структуре на основе пленок ЖИГ.

Эксперимент

Проходящая через ЛЮБОЙ материал электромагнитная волна заставляет двигаться электроны атомов или молекул. На это расходуется часть энергии волны, что влияет на ее свойства и характер распространения. Электромагнитный отклик материала можно «конструировать», создавая крошечные макроскопические структуры. Дело в том, что обычно длина электромагнитной волны на несколько порядков больше размеров атомов или молекул. Волна «видит» не отдельную молекулу или атом, а коллективную реакцию миллионов частиц.

В то время как для метаматериалов характерно, что размер металлических резонансных элементов (метаатомов), из которых они состоят, много меньше длины волны падающего электромагнитного (ЭМ) излучения. При этом необычные свойства метаматериалов, определяются не только свойствами метаатомов, но и способом их расположения и взаимодействием между ними. Это взаимодействие, в общем случае, может быть как магнитным, так и электрическим, в зависимости от диапазона частот, в котором метаматериал реагирует на электромагнитное излучение, оно зависит и от формы элементов и расстояния между ними. Таким образом, изменяя параметры резонансных элементов и их взаимное расположение, можно управлять электромагнитными свойствами метаматериалов.

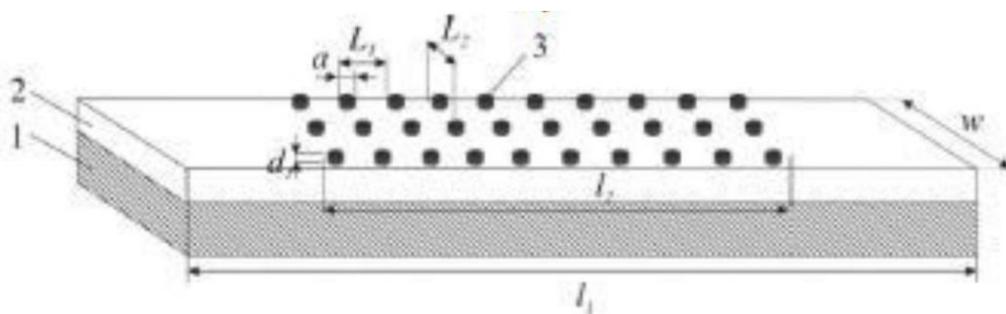


Рис.1. Схематическое изображение пермаллоевой структуры, сформированной на подложке ЖИГ

Для экспериментального исследования отклика метаповерхности на воздействие электромагнитного излучения использовался векторный анализатор цепей. Этот прибор позволяет генерировать широкополосный сигнал, излучаемый в заданном частотном диапазоне, который возбуждает исследуемую метаповерхность. Обработка сигнала позволяет получить амплитудно-частотную характеристику и с помощью написанного

программного обеспечения сравнить с результатами численного моделирования.

Были построены АЧХ, которые показывают зависимость коэффициента прохождения от частоты.

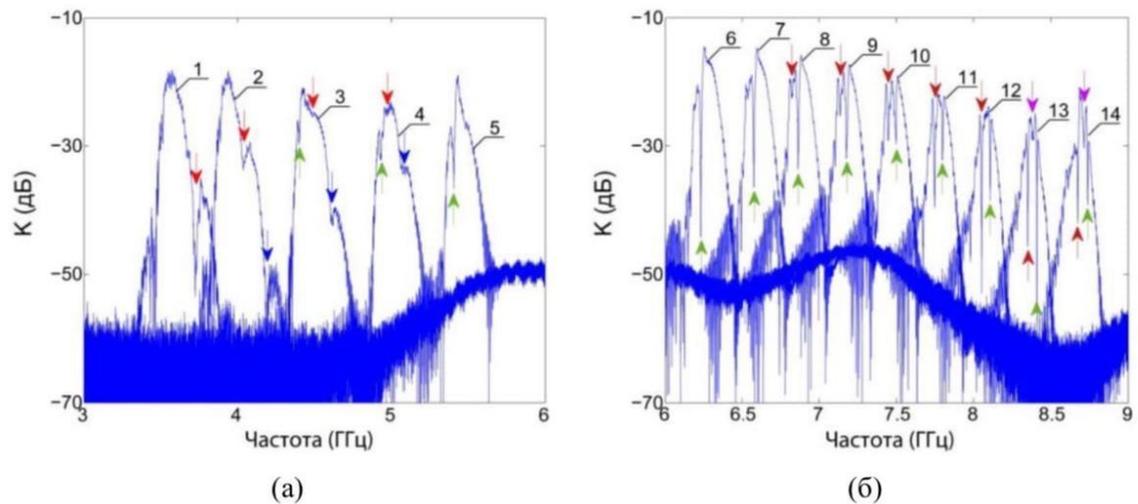


Рис.2. АЧХ спин-волновой линии передачи на основе метаповерхности в виде решетки из пермалловых дисков с периодом 100 мкм

Они демонстрируют появление/исчезновение двух высокочастотных (а) и трех низкочастотных (б) полос непропускания при изменении величины внешнего постоянного МП.

На рисунке 5 (а) представлены АЧХ для спин-волновой линии передачи на основе метаповерхности в виде 2D решетки из пермалловых дисков при пяти различных полях: 1- 590 Э, 2-695 Э, 3-855 Э, 4-1010 Э и 5-1170 Э

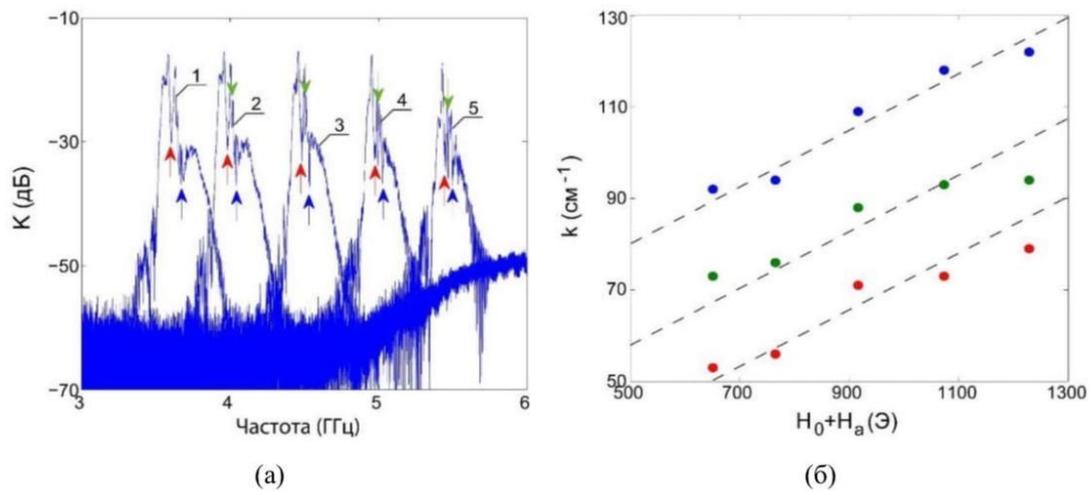


Рис.3. (а) АЧХ спин-волновой линии передачи на основе метаповерхности в виде 2D решетки из пермалловых дисков с периодом $T=10$ мкм, (б) зависимости волновых чисел

На рисунке 4 представлены АЧХ спин-волновой линии передачи на основе метаповерхности в виде 2D решетки из пермалловых дисков.

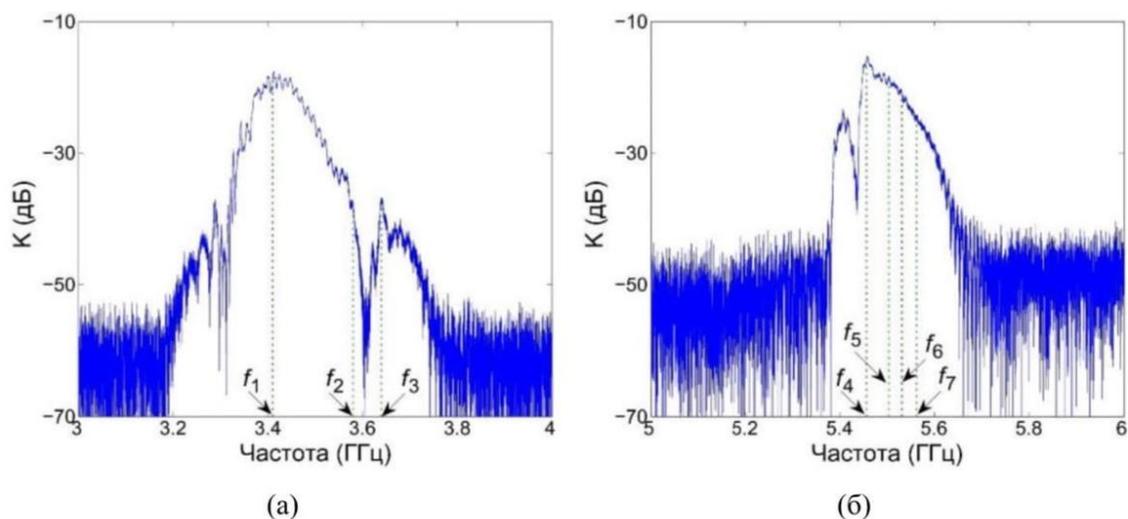


Рис.4. АЧХ спин-волновой линии передачи на основе метаповерхности в виде 2D решетки из пермалловых дисков с периодом $T=100$ мкм

На АЧХ виден провал-это запрещенная зона. Провалы обусловлены возбуждением одной из резонансных мод. Видно, что с изменением магнитного поля провалы смещаются.

Численное моделирование

Микромагнитное моделирование проводилось на базе пакета Mumax3. Данный пакет производит микромагнитное моделирование на основе метода конечных разностей.

На рисунке 5 представлено схематичное изображение структуры на основе пленке ЖИГ с пермалловым диском.

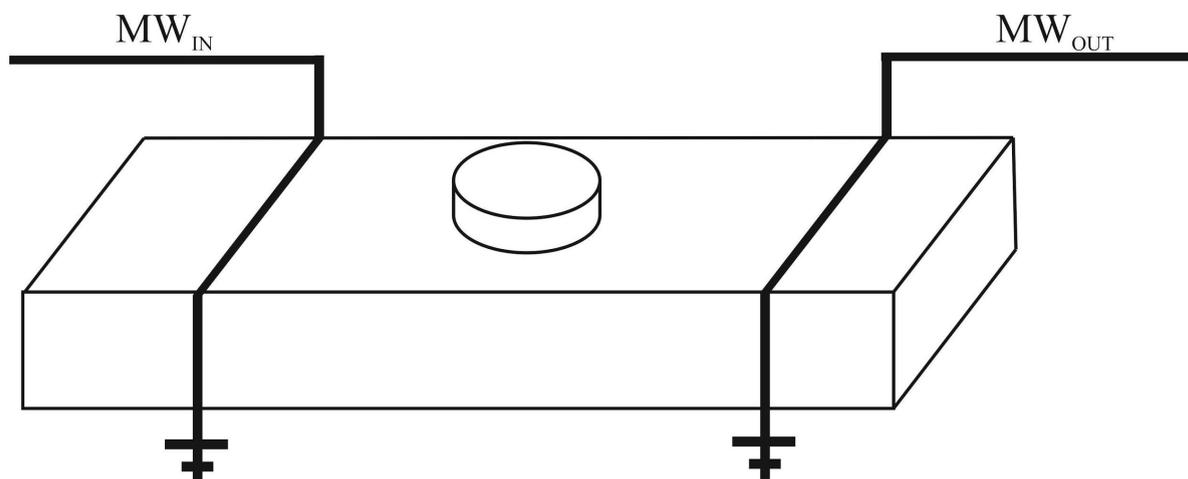


Рис.5. Схематичное изображение исследуемой структуры

Были построены АЧХ для значений электромагнитного поля 600 Э, 800 Э, 1000 Э, 1200 Э. На АЧХ видны провалы. При изменении внешнего постоянного магнитного поля наблюдается смещение полос пропускания, наблюдается провал в центре, спектр которого тоже смещается.

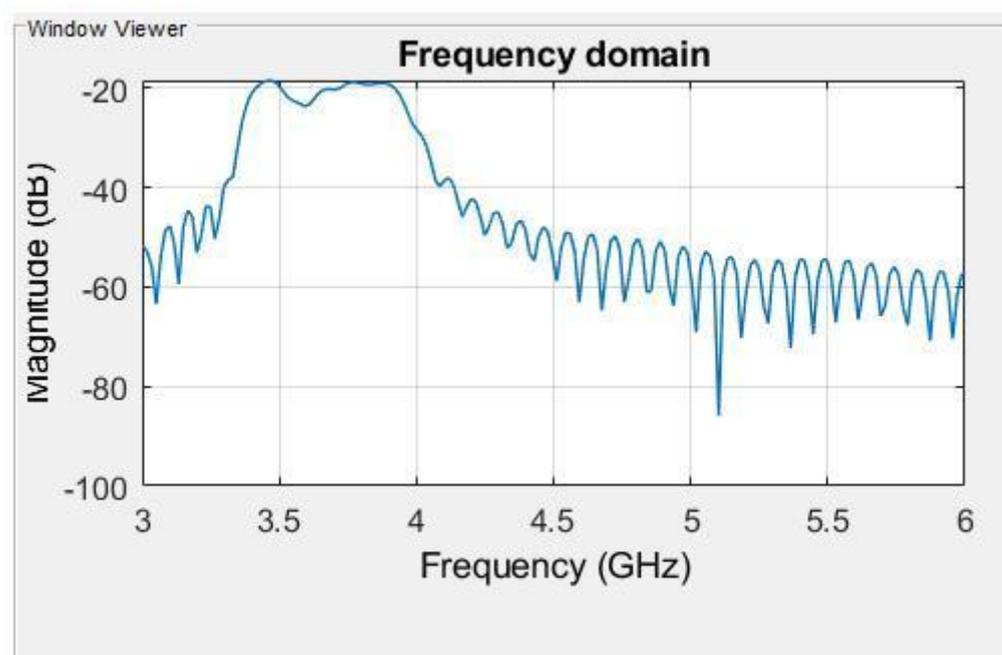


Рис.6. АЧХ метаповерхности при значении электромагнитного поля 600 Э

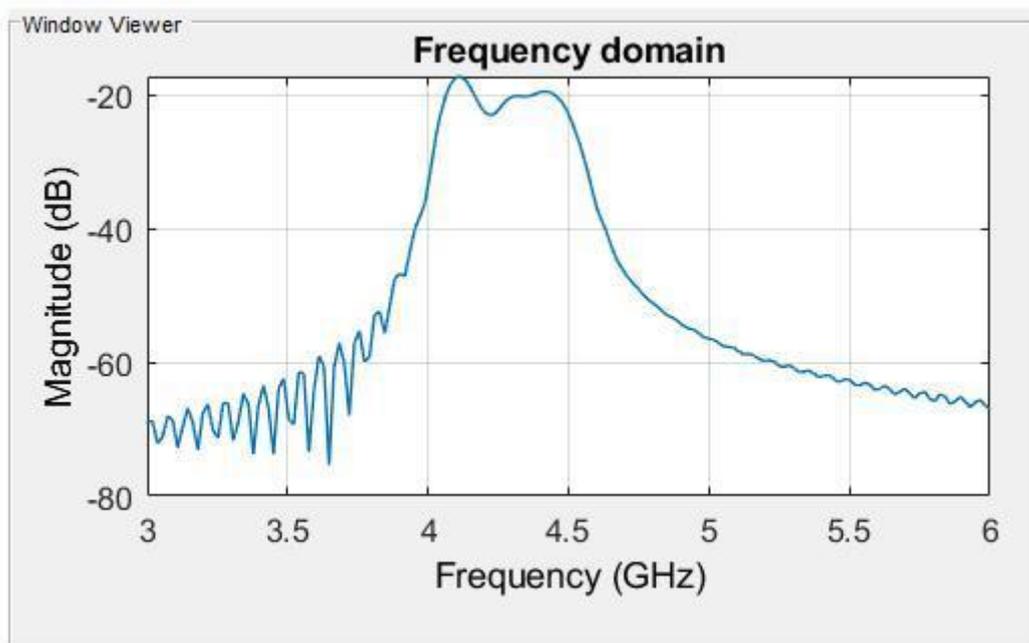


Рис.7. АЧХ метаповерхности при значении электромагнитного поля 800 Э

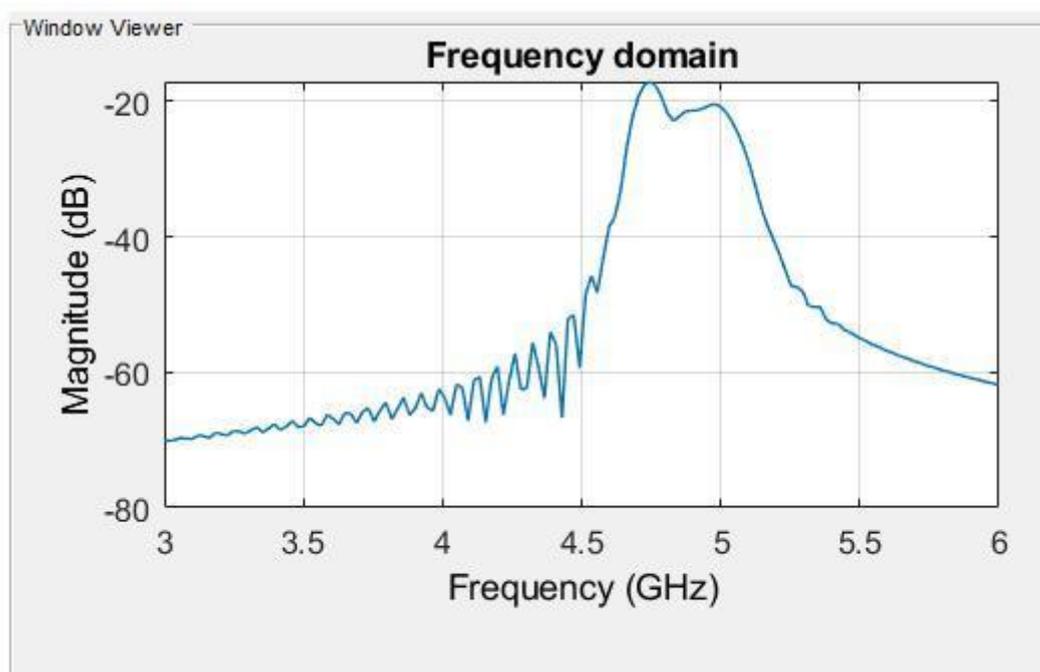


Рис8. АЧХ метаповерхности при значении электромагнитного поля 1000 Э

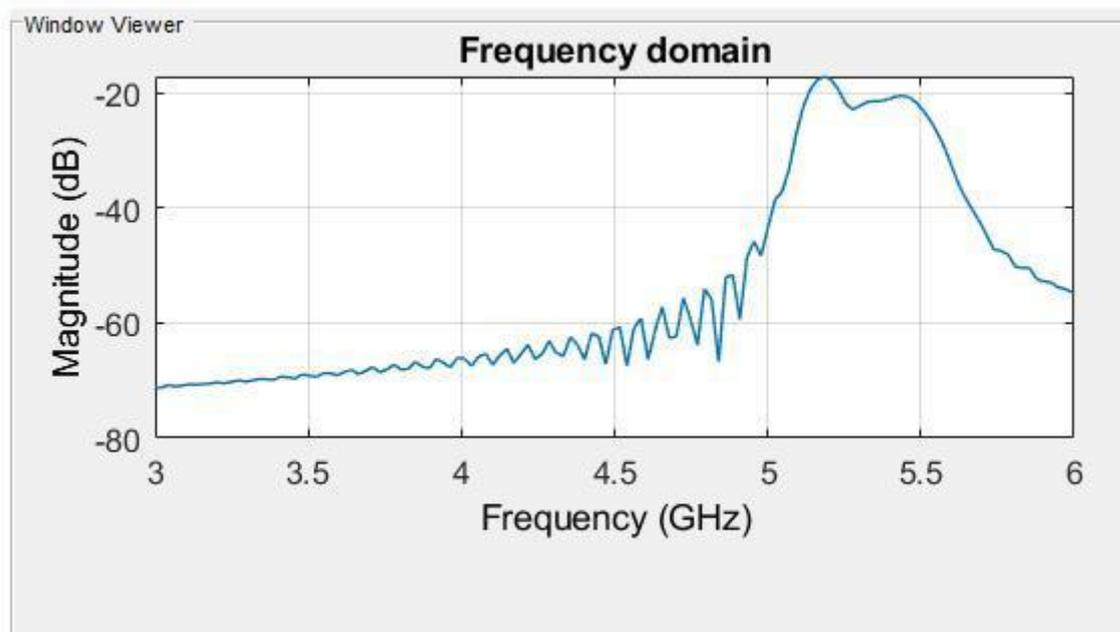


Рис.9. АЧХ метаповерхности при значении электромагнитного поля 1200 Э

На АЧХ максимумы достигаются при фиксированной частоте 4.1 ГГц и 4.4 ГГц, минимум – 4.22. Рассмотрим намагниченность в слоях структуры на максимуме и минимуме графика. Справа на рисунках находится шкала интенсивности: минимум интенсивности -темно синий цвет, максимум-ярко-красный .

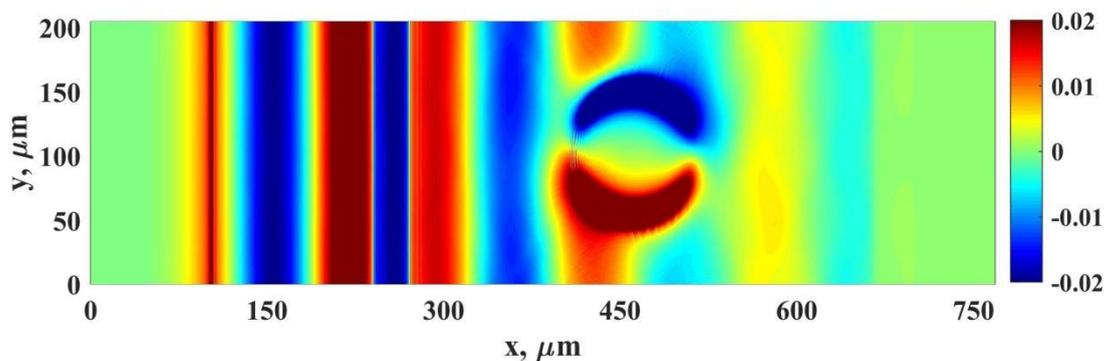


Рис.18(a).Намагниченность первого слоя структуры на частоте 4.44 ГГц

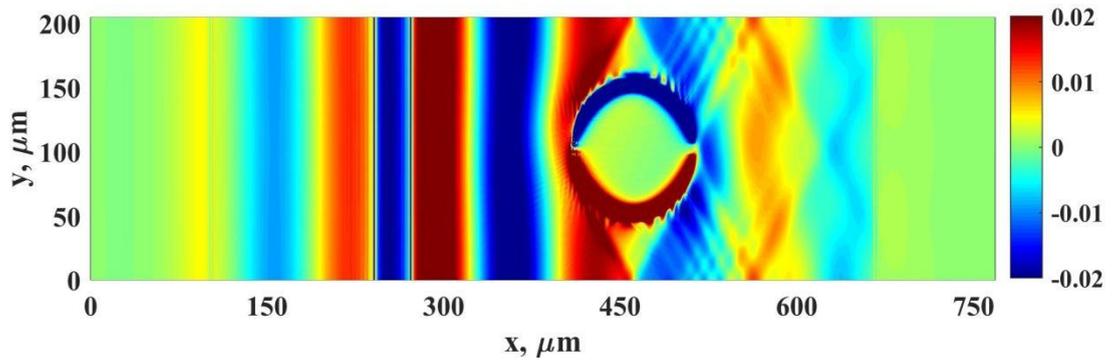


Рис.18(б). Намагниченность девятого слоя структуры на частоте 4.44 ГГц

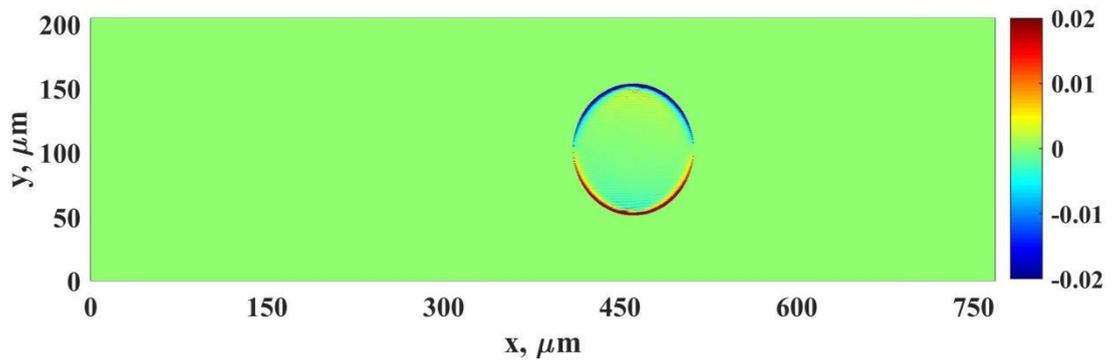


Рис.18(в). Намагниченность одиннадцатого слоя структуры на частоте 4.44 ГГц

Из рисунков видно, как меняется намагниченность внутри этой структуры: на нижнем слое и в середине структуры область намагниченность плавно распределена, на верхнем слое намагниченность поля равна 0 кроме кружочка-области диска из пермаллоя. На верхнем слое область намагниченности есть только возле диска –это объясняет провал на АЧХ. В этом провале больше намагниченность и там больше энергии, т.е. диск отбирает часть энергии от волны.

Заключение

При подготовке бакалаврской работы была определена цель - исследовать особенность прохождения спин-волновых сигналов в структуре на основе пленок ЖИГ. Реализации цели дипломного исследования способствовало решение следующих задач: была подготовлена метаповерхность, был проведен эксперимент, в ходе которого были построены АЧХ, с помощью численного моделирования сравнили полученные результаты. На экспериментальных АЧХ и АЧХ численного моделирования видны провалы, обусловленные возбуждением одной из резонансных мод.

Список литературы

1. *А.В. Ваишковский, В.С. Стальмахов, Ю.П. Шараевский.* Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов, 1993
2. *В.С. Стальмахов, А.А. Игнатьев* Лекции по спиновым волнам. Саратов, 1983.
3. *Л. Д.Ландау, Е.М. Лифшиц* Электродинамика сплошных сред. М., 1973.
4. *В.К.Аркадьев* Электромагнитные процессы в металлах. М.,1935. Ч.1; 1936. Ч.2.