

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

Кафедра радиофизики и нелинейной динамики

Элементы межсоединений для устройств магнонной логики

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 2 курса 241 группы

направления 03.04.03 «Радиофизика»

физического факультета

Губанова Владислава Андреевича

Научный руководитель

к.ф.-м.н., доцент

А.В. Садовников

Заведующий кафедрой

д.ф.-м.н., профессор

В.С. Анищенко

Саратов 2018 год

Введение. В настоящее время нерегулярные планарные ферритовые волноведущие структуры представляют большой интерес. Такие структуры могут использоваться как базовые элементы для создания элементов магнонных сетей. Вследствие анизотропии тонкопленочных ферритовых структур становится возможным управлять направлением распространения магнитостатических волн (МСВ) путем структурирования магнитного материала на подложке.

Недавние достижения в области микро- и нанообработки позволили разработать микромасштабную магноновую логику и устройства памяти. Типичная плоская топология магнонных сетей сфабрикована с помощью структурированных магнитных материалов.

Одним из наиболее заметных магнонных элементов является крестообразный магнитный волновод, который широко используется в качестве магнонного интерферометрического переключателя для многозначных логических схем, в магнонных голографических устройствах.

Целью работы настоящей магистерской работы является численное и экспериментальное исследование динамики распространения и возможность управления спектром спиновых волн, распространяющихся в нерегулярных волноведущих магнитных микроструктурах на основе плёнок железо-иттриевого граната, таких как крестообразный волновод, подковообразный волновод и магнонный кристалл.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Проведено экспериментальное и численное исследование режимов распространения спиновых волн в X-образном волноводе при постоянном направлении внешнего магнитного поля, так и при помощи изменения направления внешнего магнитного. Рассмотрено управление при помощи внешнего магнитного поля.

2. Произведено экспериментальное и численное моделирование распространения спиновых волн в U-образном волноводе. Использовано управление при помощи локального нагрева лазером области микроволновода.
3. Произведено исследование передачи энергии спиновой волны в неидентичном магнетонном кристалле. Использовано управление в данной системе при помощи смещения запрещенной зоны Брэгга в одном из магнетонных кристаллов при помощи величины внешнего магнитного поля.

Научная новизна работы заключается в том, что впервые показано управление спектром спиновых волн при помощи нагрева лазером области микроволновода.

Научная значимость работы обусловлена тем, что использование таких структур открывает возможность для создания перестраиваемых магнитным полем и нагревом лазера фазовращателей, работающих в сверхвысокочастотном (СВЧ) диапазоне, фильтров, демультиплексоров и мультиплексоров, вентилях на спиновых волнах, а также элементов межсоединений магнетонных устройств.

Будут представлены результаты исследования особенностей распространения магнитоэлектрических волн в крестообразной магнетонно-кристаллической структуре на основе плёнки железо-иттриевого граната. Методом конечных элементов проведено численное моделирование и выполнен расчет дисперсионных характеристик и пространственного распределения полей собственных мод поверхностных магнитоэлектрических волн, распространяющихся в рассматриваемой структуре. Методом Мандельштам - Бриллюэновского рассеяния света проведено экспериментальное исследование характеристик волн в магнетонно-кристаллической структуре и показана возможность управления сигналом при изменении направления внешнего магнитного поля.

Глава 1. В первой главе будет рассмотрена структура с нарушенной трансляционной симметрией такая как крестообразный волновод (X-образный волновод). Огромным интересом для исследования данного устройства является возможность управления спиновой волной в данной структуре посредством изменения направления внешнего магнитного поля $H_0 = 1200$ Э. Этому и будет посвящена глава. На рисунке 1 представлено схематичное изображение экспериментальной установки. Волновод из железо-иттриевого граната шириной $w_w = 500$ мкм и толщиной $w_t = 10$ мкм эпитаксиально сформирован на подложке из галлия-гадолиниевого граната так же шириной 500 мкм и толщиной 500 мкм.

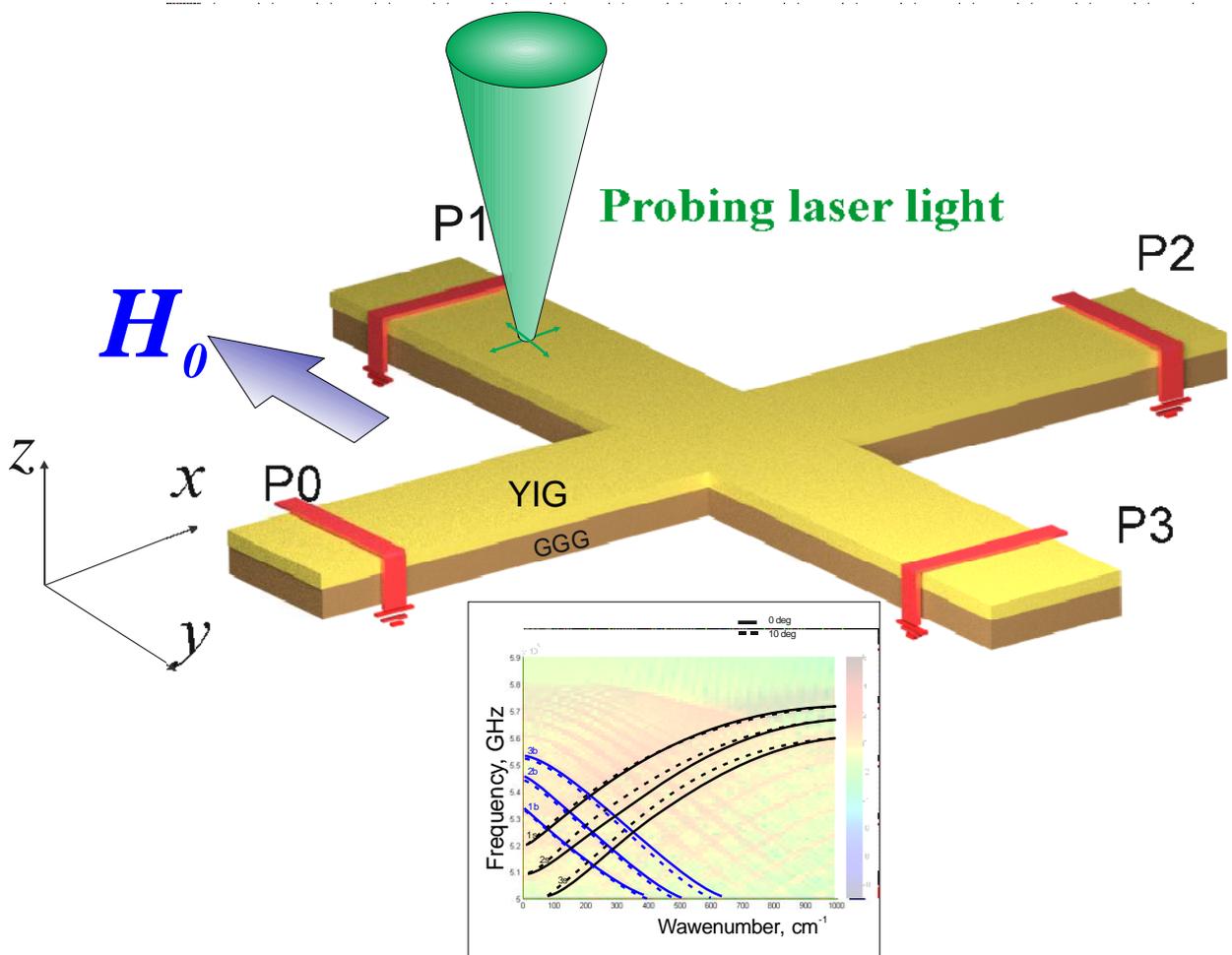


Рис.1. Схематичное изображение экспериментальной установки. (Вставка) Дисперсионные характеристики, снятые при установке источника в области перекрестия волноводов.

Длина всей структуры по оси x и y полагается 5000 мкм. Микроволновой преобразователь с шириной в 30 мкм и длиной в 500 мкм был использован для возбуждения спиновой волны и на рисунке отмечен как P0. Входной передатчик был расположен на поверхности плёнки ЖИГ на расстоянии 700 мкм от края системы. Порты P1, P2 и P3 используются как выходные порты для снятия прошедшего сигнала. Статическое магнитное поле прилагается к волноводу и направляется вдоль оси y для более эффективного возбуждения поверхностных магнитостатических волн.

Были проведены экспериментальные исследования данной структуры методом Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии магнитных материалов исходя из результатов численного моделирования. Были рассмотрены варианты с различными углами подмагничивания образца, а также сравнены с результатами численного моделирования (см.рис1).

Была показана возможность управления в данной структуре при помощи изменения направления внешнего магнитного поля. Это можно было пронаблюдать на дисперсионных характеристиках, а также на картинах интенсивности распространяющейся спиновой волны. Также было показано совпадение численных результатов с экспериментальными данными Бриллюэновской спектроскопии.

Глава 2. В главе второй будет рассматриваться структура с нарушенной трансляционной симметрией такая как подковообразный волновод (U-образный волновод). Из-за того, что в последнее время проводятся попытки миниатюризации элементов и объединения устройств с периферией на одной подложке (пример – SOC (System on Chip)). Данная структура предлагается для рассмотрения из-за изменения направления распространения сигнала, а также в данной главе рассмотрен способ управления распространения спиновой волны – локальный нагрев области микроволновода лазерным излучением. На рис.2 представлено схематическое изображение

рассматриваемой структуры с наложенной картиной квадрата интенсивности mz компоненты BLS сигнала.

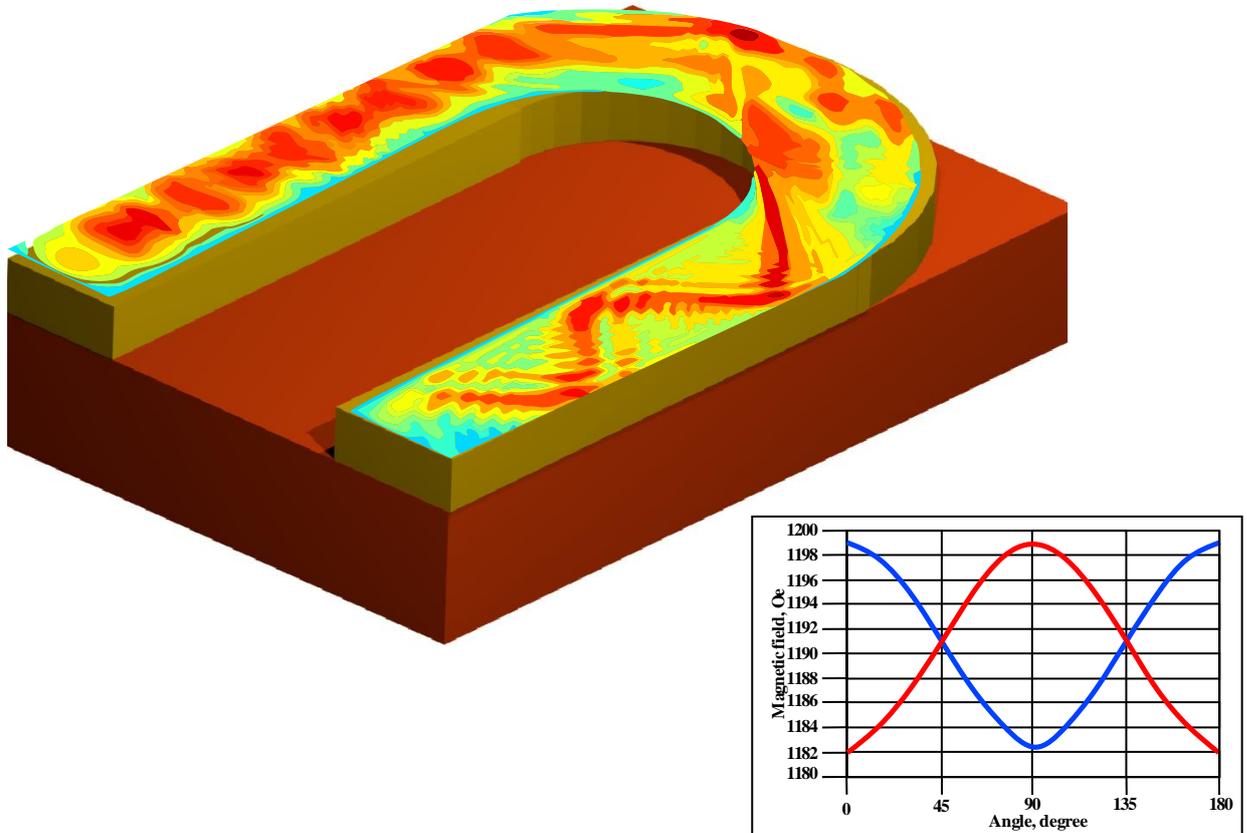


Рис.2. Схематическое изображение рассматриваемой структуры. (Вставка) Зависимость намагниченности от угла. Красная линия – поле вдоль оси x . Синяя линия – поле вдоль оси y .

Для численного моделирования было предложено несколько структур с разными радиусами закругления. Были построены зависимости намагниченности для каждой из структур от угла поворота волновода. Получено, что разница между ними небольшая и для эксперимента использована структура с радиусом закругления $r=1w$.

Было показано, что для распространения поверхностной и обратной объемной магнитостатической волны образуются различные друг для друга профили намагниченности (см.рис.2). При изменении ориентации магнитного поля возможно управление распространения спиновой волны, но не так

хорошо заметно, как в главе 1. А так же при нагреве области скругления волновода лазером улучшаем прохождение спиновой волны (поверхностная магнитостатическая волна) – происходит выравнивание профиля намагниченности вдоль задаваемой линии по всей длине волновода или полностью отключаем распространение спиновой волны (обратная объемная магнитостатическая волна).

Глава 3. В данной главе будут приведены результаты экспериментального рассмотрения спинволновой связи в асимметричном связанном магнетонном кристалле, основанный на волноводах из ЖИГ. Покажем, что комбинация характеристик частотной и пространственной фильтрации МК и спинволновая связь в соседнем магнетонном волноводе приводит к реализации понижающего магнетонного фильтра. Мы также определили механизм передачи мощности между магнетонными кристаллами. Как основной результат, мы продемонстрировали с помощью метода Бриллюэновской спектроскопии (BLS), что неидентичный МК в непосредственной близости демонстрирует эффективную связь на частоте запрещенной зоны одного из МК. Таким образом МК может использоваться не только в качестве фильтра, а также обеспечить фазовое состояние с эффективной передачей мощности спиновой волны с входы на выход магнетонного ответвителя.

Схема экспериментальной модели представлена на рисунке 3. Связанные микроволноводы шириной $w_1 = 500$ мкм и $w_2 = 200$ мкм (МК1 и МК2), зазором $d = 30$ мкм между волноводами созданы из 10 мкм монокристаллической ферромагнитной пленки ЖИГ с намагниченностью насыщения $M_0 = 139$ Гс, расположенных на пленке галлия-гадоллиниевого граната (ГГГ) с использованием метода лазерной абляции.

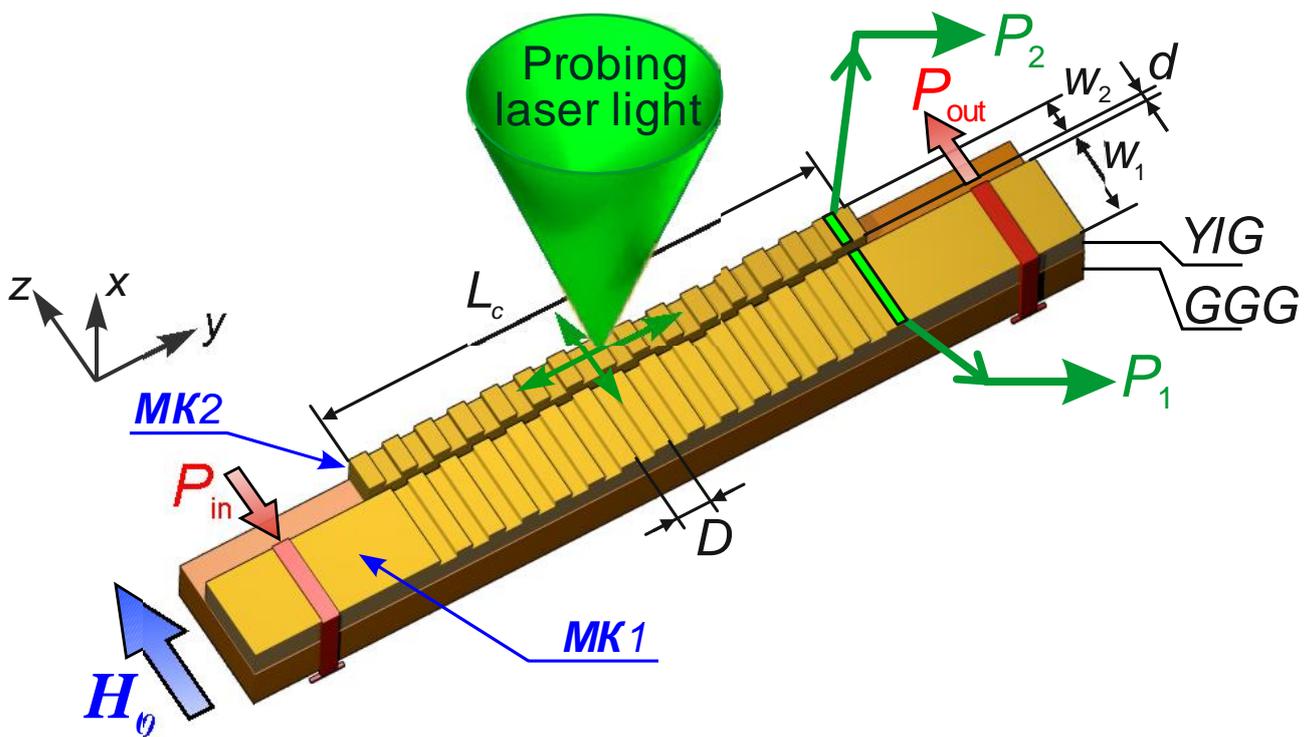


Рис.3. Схематическое изображение экспериментальной установки: неидентичный латерально связанный магنونный кристалл с периодом D .

Была систематически исследована связь спиновой волны в неидентичном (ассиметричном) латерально связанном магنونном кристалле. Было показано, что эффективность перекачки спиновой волны в волноведущей неидентичной периодической структуре в непосредственной близости может быть значительно увеличена в частотном диапазоне магنونной запрещенной зоны. Несмотря на отсутствие полной передачи энергии между неидентичными магنونными кристаллами, предложенная структура демонстрирует узкий частотный диапазон режима перекачки спиновой волны между магنونными кристаллами. Также показано, что межмодовая связь и частота сдвига запрещенной зоны в латерально связанных структурах ведет за собой наблюдаемый узкий частотный диапазон передачи мощности спиновой волны между магنونными кристаллами. Использование ассиметричных латерально связанных магنونных кристаллов дает

возможность создать ответвитель, который является основой для множества соединительных и передающих магنونных устройств.

Заключение. Таким образом, в первой главе выпускной квалификационной работы магистра, на основе численного моделирования в программе MuMax3 и экспериментального исследования методом Мандельштам-Бриллюеновской спектроскопии выявлены режимы работы крестообразного волновода. Исследован механизм управления распространения спиновой волны в данной структуре. Показано, что при изменении направления внешнего магнитного поля можно выбрать такой порт, в который пойдет спиновая волна. Так же показано, что при изменении направления внешнего магнитного поля дисперсионные характеристики изменяются, что приводит к изменению модового состава на одинаковых частотах. Это позволяет рассматривать предложенную структуру в качестве управляемого магнитным полем делителя мощности, а так же как элемент магنونной логики.

Во второй главе при помощи численного моделирования и эксперимента подковообразного волновода показано, что при изменении ориентации внешнего магнитного поля мы можем управлять распространением спиновой волны, но не так эффективно, как нагревом лазером области микроволновода. При конфигурации ПМСВ возможно улучшение прохождения спиновой волны, а при конфигурации ООМСВ – спиновая волна не распространяется. Это позволяет рассматривать предложенную структуру как вентиль на спиновых волнах.

В третьей главе численно и экспериментально исследована связь спиновой волны в асимметричном латерально связанном магنونном кристалле. Из-за того, что волноводы неидентичны, частоты запрещенных зон Брэгга различны у этих волноводов. Благодаря этому свойству возможна полная перекачка мощности из одного магنونного кристалла в другой на частоте запрещенной зоны. Так же было выявлено, что можно смещать запрещенную зону при помощи величины внешнего магнитного поля в достаточно большой полосе

частот : от 5.4 ГГц до 6 ГГц. Данные результаты позволяют рассматривать предложенную структуру как ответитель магнитостатических волн, логический элемент магنونной логики, а также при подаче спиновых волн на 2 магнонных кристалла как сумматор/вычитатель спиновых волн.