

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Кафедра физики открытых систем

Исследование распространения спиновых волн в ферритовом волноводе с учетом
асимметричного обменного взаимодействия Дзялошинского — Мория

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления

03.03.03 Радиофизика

факультета нелинейных процессов

Соболева Руслана Геннадьевича

Научный руководитель

доцент, к. ф. - м. н.

А. В. Садовников

Зав. кафедрой физики открытых систем

профессор, д. ф. - м. н.

А. А. Короновский

Саратов 2016

Содержание	2
Введение	3
Основное содержание работы	4
Заключение	7
Список литературы.	8

Введение

Несмотря на то, что такое явление, как магнетизм известно людям уже очень давно, оно по-прежнему остается довольно актуальным в наше время и играет важную роль в современной жизни. Область применения магнитных материалов и их магнитных свойств достаточно велика. Одно из первых применений было использование магнита для ориентирования путем указания на полюса Земли и сторон света. В настоящее время бурно развивается изучение нанoeлектроники и спинтроники.

В настоящей работе будет рассматриваться ферритовая среда, в которой распространяются спиновые волны, а так же будут рассмотрены методы исследования волновых процессов в магнитных структурах. Численное моделирование волновода на основе железо-иттриевого граната конечной ширины для случая касательного намагничивания. Получение дисперсионной характеристики, расчет групповой скорости и дисперсии с учетом асимметричного обменного взаимодействия Дзялошинского-Мория.

Работа состоит из двух глав и в первой главе рассматривается классификация магнетиков и возмущения, распространяющиеся в этих средах. Дано определение спиновым волнам и разобрано уравнение, описывающее движение намагниченности в веществе. Разобран эффект Дзялошинского - Мория и с учетом этого эффекта построена дисперсионная характеристика для слоистой структуры $Pt/Co/Ni$. Так же присутствует краткий обзор методов исследования волновых процессов в магнитных структурах.

Во второй главе описывается численное моделирование исследуемой структуры и представляются полученные расчеты дисперсионной характеристики, групповой скорости и коэффициента затухания.

Основное содержание работы

Для описания движения прецессии вектора намагниченности вокруг вектора приложенного магнитного поля воспользовались уравнением Ландау-Лифшица и дополненной его формой с релаксационным членом, которую предложил Гилберт:

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -\gamma[\vec{M} \times \vec{H}], \quad (1)$$

$$\frac{d\vec{M}}{dt} = -\gamma[\vec{M} \times \vec{H}_{eff}] + \alpha \frac{\vec{M}}{M_s} \times \frac{d\vec{M}}{dt}. \quad (2)$$

Далее для различных типов магнитостатических волн, распространяющихся в ферромагнитной пленке, построены семейства кривых дисперсионных характеристик для различной толщины d пленки. Были выбраны следующие значения $d_1 = 10$ мкм, $d_2 = 20$ мкм, $d_3 = 30$ мкм, на графике кривые 1, 2, 3, соответственно. Результат представлен на рисунке 1.

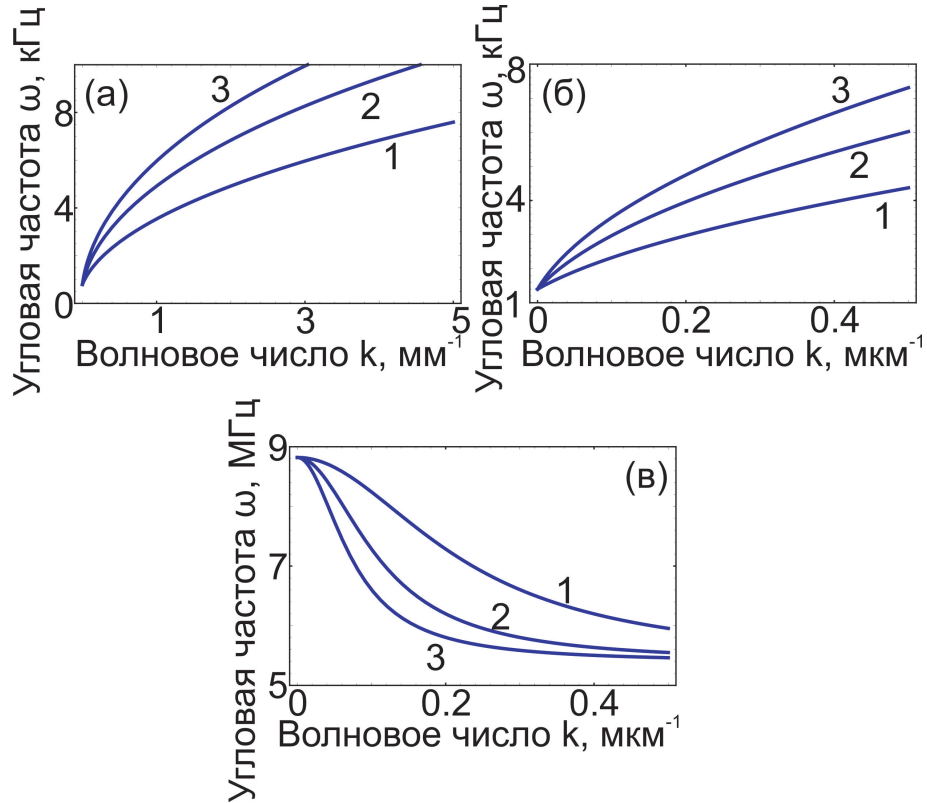


Рис. 1: Дисперсионные характеристики: а)поверхностных (ПМСВ), б)прямых объемных (ПОМСВ) и в)обратных объемных волн(ООМСВ). При значениях d равных 10, 20 и 30 мкм

Для численного моделирования и расчетов были использованы программные пакеты MuMax, MatLab, Wolfram Mathematica и OOMMF.

Для решения классического уравнение Ландау-Лифшица использовался MuMax. MuMax это микромагнитный инструмент моделирования общего назначения, работающий на Графических Единицах Обработки (GPUs). MuMax разработан для высокоэффективных вычислений, и специально предназначается для больших моделирований.

Wolfram Mathematica и MatLab это системы компьютерной алгебры и пакеты прикладных программ для решения задач технических вычислений.

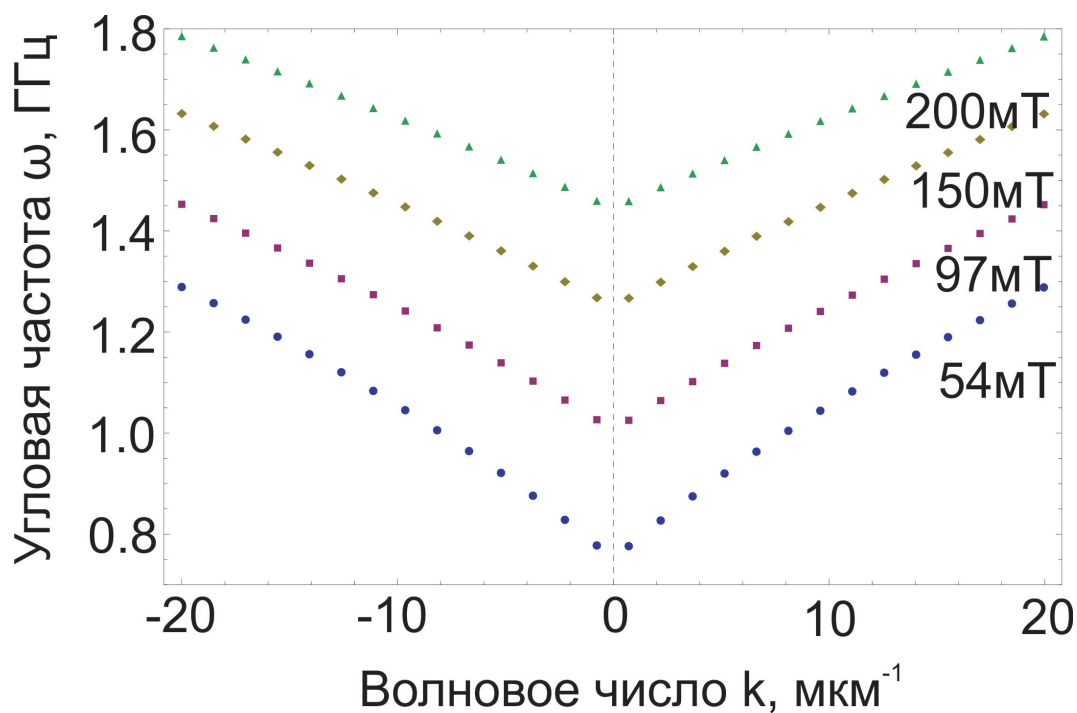


Рис. 2: Дисперсионная характеристика пленки $Pt/Co/Ni$ при разных значениях поля.

Следующим шагом рассмотрен вопрос о вынужденных колебаниях вектора намагниченности, используя метод комплексных амплитуд. Полученное решение показывает существование резонансного поглощения энергии электромагнитного поля ферромагнетиком при частотах, совпадающих с собственными частотами прецессии магнитных моментов электронной системы ферромагнитного образца во внутреннем эффективном магнитном поле.

В следующем разделе описываются методы исследования волновых процессов в магнитных структурах. Основные принципы работы и схемы установок рассмотрены для двух методов: метод Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии и магнитооптический эффект Керра.

Эффект взаимодействия Дзялошинского — Мория описан и по полученному дисперсионному соотношению рассчитана дисперсия для слоистой структуры $Pt/Co/Ni$ при разных значениях внешнего магнитного поля. Результат показан на рисунке 2

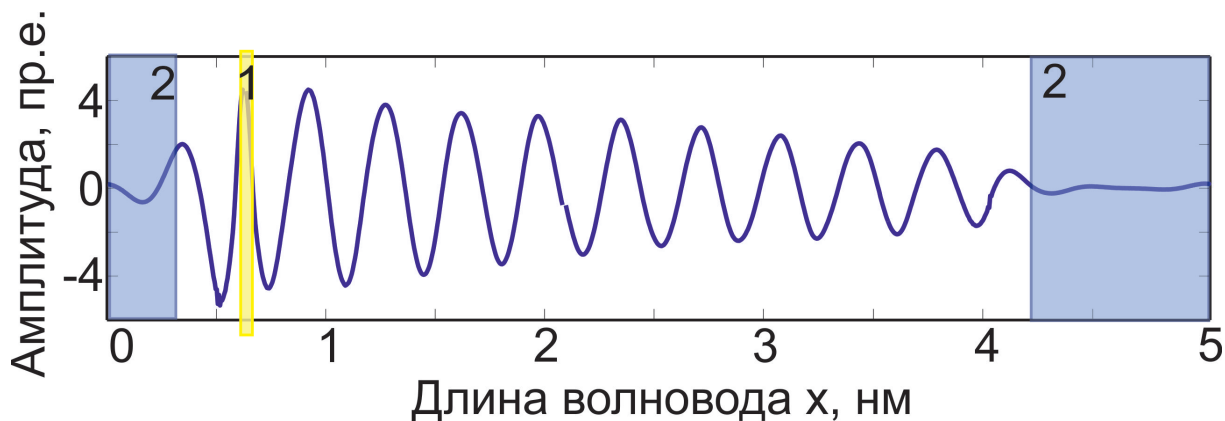


Рис. 3: Моделируемый волновод. 1 - антенна с частотой возбуждения $f = 5.4$ ГГц, 2 – области поглощения.

На рисунке 3 схематически показана структура исследуемой модели в проекции xy -плоскости. Синим цветом показана кривая, которая отображает зависимость y -компоненту магнитного поля от длины

волновода x . По оси ординат в произвольных единицах отложена амплитуда возбуждаемого сигнала.

Для этой структуры была рассчитана теоритическая и практическая дисперсионные характеристики, представленные на рисунке . Так же представлены расчеты групповой скорости и коэффициента затухания.

Заключение

В настоящей работе рассмотрены классификации магнетиков и типы магнитостатических волн, распространяющихся в магнитоупорядоченных материалах. Было установлено, что обратные объемные МСВ, в отличие от остальных типов, обладают аномальной дисперсионной характеристикой, так же показана взаимосвязь уширения диапазона частот при увеличении толщины образца.

Краткий обзор методов исследования волновых процессов в магнитных структурах, в котором разобраны основные принципы работы и схемы установок, позволяет следующим шагом делать практическую часть для сравнения результатов, полученных теоретическими расчетами и численным моделированием в программах.

Для интерфейса $Pt/Co/Ni$ были построены дисперсионные характеристики с учетом взаимодействия Дзялошинского - Мориа при разных значениях приложенного магнитного поля. Из построенной зависимости разности частоты в виде функции от волнового вектора, получена линейная зависимость, которая говорит об увеличении частотной разности при уменьшении длины волны, что характерно для обменных спиновых волн.

В программной среде смоделирован волновод на основе ЖИГ, для которого так же были получена дисперсионная характеристика, вид которой имеет большую схожесть с теоретической. Расчитаны такие характеристики, как групповая скорость, время релаксации и коэффициент затухания распространения сигнала.

Список литературы

- [1] Di Kai, Experimental and Theoretical Studies of Spin-Wave Dynamics in Magnetic Nanostructures, 2015.
- [2] Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П. Магнитостатические волны в электронике сверх-высоких частот. Саратов: Изд. СГУ. 1993.
- [3] Thomas Sebastian, Katrin Schultheiss, Bjorn Obry, Burkard Hillebrands, and Helmut Schultheiss, Micro-focused Brillouin light scattering: imaging spin waves at the nanoscale, *Frontiers in Physics* 3, 35 (2015)
- [4] Mohammed N. Bsatee, The Development of Experimental Setup for Various Magneto-Optical Studies, 2015
- [5] Гуревич А.Г. Магнитный резонанс в ферритах и антиферромагнетиках. М.,1973
- [6] Дзялошинский И. Е. Термодинамическая теория "слабого" ферромагнетизма антиферромагнетиков. ЖЭТФ Т.32 вып.6, 1957
- [7] O'Keeffe T.W., Patterson R.W. Magnetostatic surface-wave propagation in finite samples // *J. Appl. Phys.* 1978. V. 49. Pp.4886-4895.