

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

**Нерегулярные ферромагнитные волноведущие структуры для устройств
спин-волновой логики**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента 4 курса 431 группы

направления 03.03.03 Радиофизика

факультета нелинейных процессов

Савенкова Виктора Александровича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

А.В. Садовников

Зав. кафедрой физики открытых систем

профессор, к.ф.-м.н.

А.А. Короновский

Саратов 2016 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ	4
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	8
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	9

ВВЕДЕНИЕ

Существует огромная практическая потребность в новых логических устройствах, способных преодолеть ограничения, присущие обычным логическим схемам на основе транзисторов. Логические схемы на основе спиновых волн являются одним из возможных путей [1].

В настоящей работе будут рассмотрены нерегулярные устройства спин-волновой логики на примере интерферометра Маха – Цендера для СВ. Численное моделирование волновода и интерферометра Маха-Цендера на основе железо-иттриевого граната. Получение зависимости пропускной способности от частоты возбуждения.

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. Разобраны составляющие свободной энергии среды.

Во второй главе описывается численное моделирование исследуемой структуры, и предоставляются полученные расчеты пропускной способности.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Для описания движения прецессии вектора намагниченности вокруг вектора приложенного магнитного поля воспользовались уравнением Ландау-Лифшица с релаксационным членом в форме Гилберта:

$$\frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t} = -|\gamma|[\mathbf{M} \times \mathbf{H}^{eff}] + \frac{\alpha}{M}[\mathbf{M} \times \frac{\partial \mathbf{M}}{\partial t}]$$

где $\mathbf{M} \equiv \mathbf{M}(\mathbf{r}; t)$ – плотность магнитного момента (намагниченность), γ – некоторая феноменологическая постоянная, α – параметр диссипации, \mathbf{H}^{eff} – так называемое эффективное магнитное поле.

Эффективное магнитное поле определяется как вариационная производная свободной энергии по магнитному моменту [2]

$$\mathbf{H}^{eff}(\mathbf{r}, t) = -\frac{1}{\mu_0} \frac{\partial F}{\partial \mathbf{M}}$$

Далее для различных типов магнитоэлектронных волн распространяющихся в ферромагнитной пленке, построены семейства кривых дисперсионных характеристик для различной толщины d пленки [3]. Были выбраны следующие значения $d_1 = 10$ мкм, $d_2 = 20$ мкм, $d_3 = 30$ мкм. Результат предоставлен на рисунках 1-3.

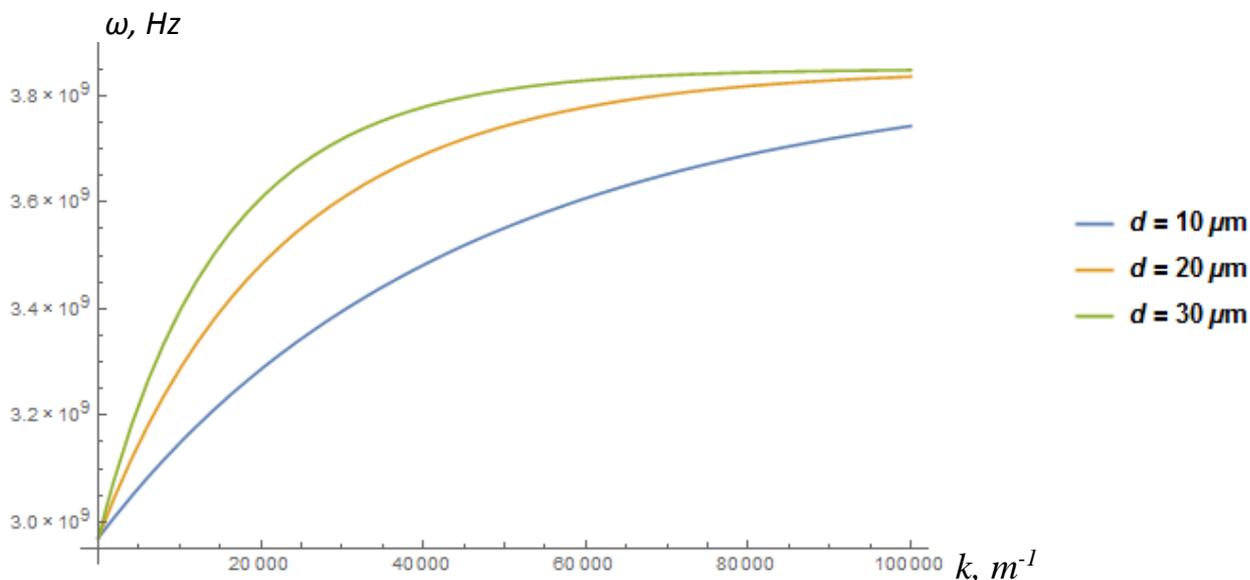


Рисунок 1 - Дисперсионные характеристики поверхностных МСВ, при разных значениях толщины плёнки.

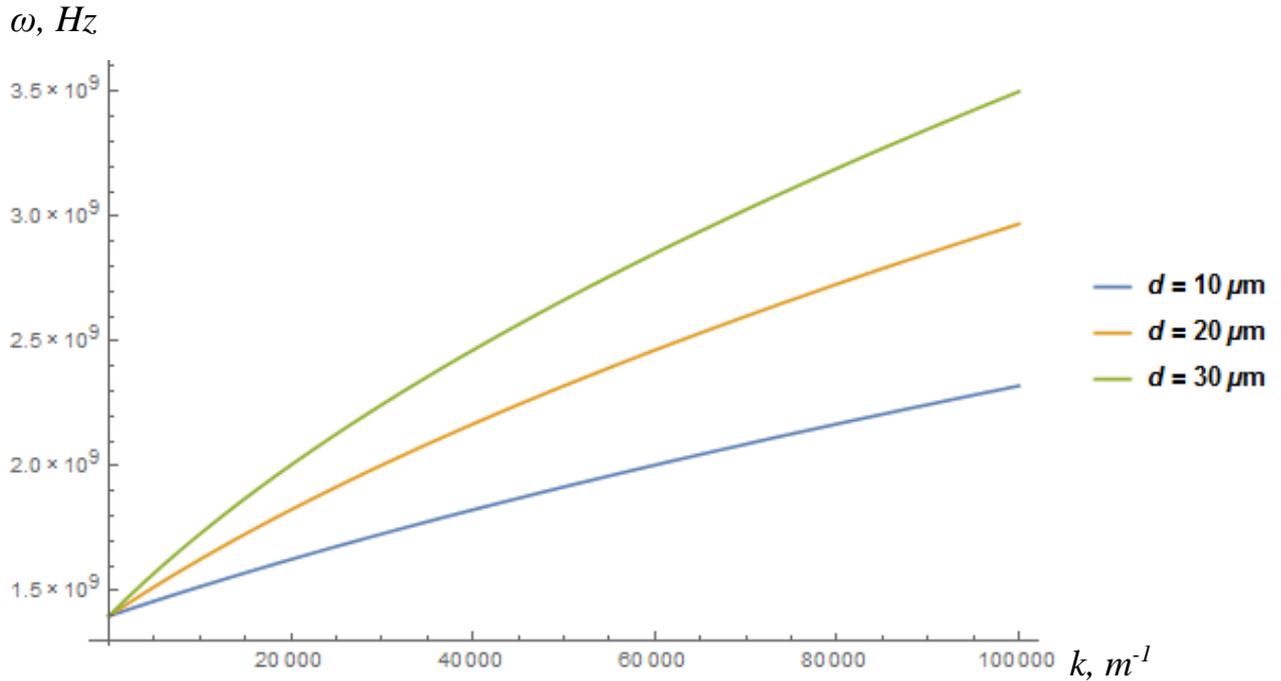


Рисунок 2 - Дисперсионные характеристики прямых объёмных МСВ, при разных значениях толщины плёнки.

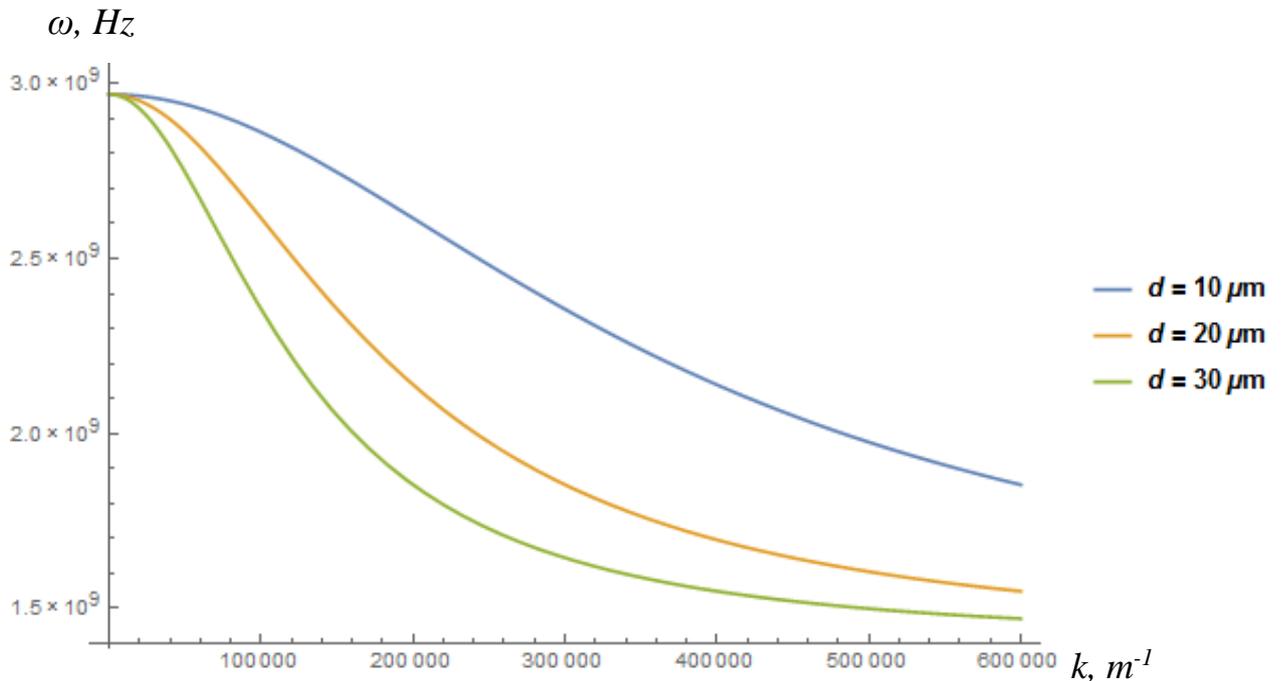


Рисунок 3 – Дисперсионные характеристики обратных объёмных МСВ, при разных значениях толщины плёнки.

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 было проведено численное исследование ферромагнитного волновода и интерферометра Маха-Цендера на основе пленок железо-иттриевого граната. Для численного моделирования и расчетов были использованы программные пакеты MuMax, MatLab и Wolfram Mathematica.

Для решения классического уравнения Ландау-Лифшица использовался MuMax 3.9c. MuMax – это инструмент расчёта пространственно-временной зависимости намагниченности в нано- и микроразмерных ферромагнетиках, использующий метод конечных разностей, работающий на графическом процессоре (GPU) [4].



Рисунок 4 – Схема волновода.

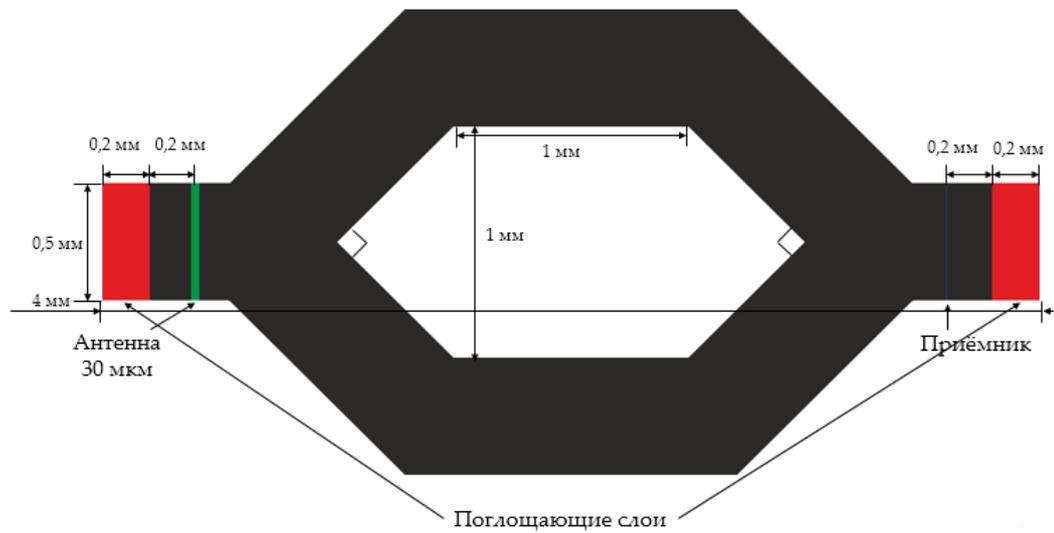


Рисунок 5 – Интерферометр Маха-Цендера.

Для промоделированных структур были получены зависимости коэффициента пропускания от частоты возбуждения.

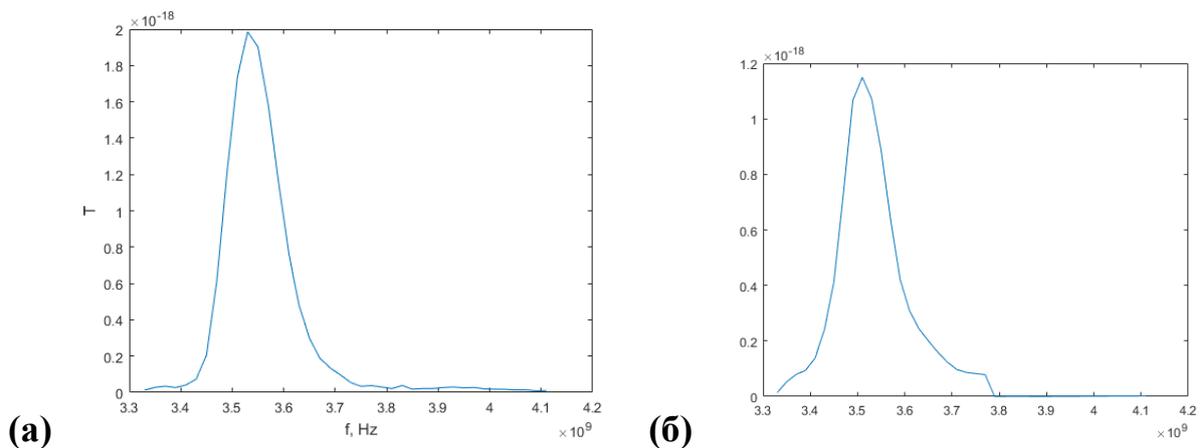


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента пропускания от частоты возбуждения
а) в волноводе б) в интерферометре Маха-Цендера.

Мы видим, что области максимальной пропускной способности совпадают. Таким образом волновод и интерферометр будут соотноситься по частоте, что позволит нам их объединять в сложные цепочки и структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Растущая потребность в сложных вычислительных устройствах приводит к необходимости разработки принципиально новых логических элементов на основе ферромагнитных структур.

В настоящей работе было проведено численное моделирование и исследование динамики распространения волн в интерферометре Маха-Цендера и волноводе. Построены амплитудно-частотные характеристики, исследовано распределение полей ПМСВ.

Была показана возможность применения итерационной методики, основанной на методе конечных разностей, для расчетов электродинамических характеристик нерегулярных волноведущих ферромагнитных структур.

На основе этого справедливо утверждение, что существует принципиальная возможность создания сложных вычислительных устройств на основе ферромагнитных пленок. Также необходим учёт влияния частоты возбуждения на затухание волн, так как при определенных частотах передача волн осуществляется частично или не осуществляется вовсе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alexander Khitun, Mingqiang Bao and Kang L Wan. Magnonic logic circuits. J. Phys. D: Appl. Phys. 43, 264005 (2010)
2. Di Kai. Experimental and Theoretical Studies of Spin-Wave Dynamics in Magnetic Nanostructures. A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy. Department of Physics. National University of Singapore. 2015
3. Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П.
Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1993.
4. Vansteenkiste A. et al The design and verification of mumax3 // AIP Advances. 2014. V. 4, 107133