

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

Кафедра электроники, колебаний и волн

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

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 225 группы

направления 03.04.03 Радиофизика

факультета нелинейных процессов

Савенкова Виктора Александровича

Научный руководитель

доцент, к.ф.-м.н.

А.В. Садовников

Зав. кафедрой:

профессор, д.ф.-м.н.

Д.И. Трубецков

Саратов 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

3

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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 интерферометра Маха-Цендера на основе железиттриевого граната. Получение зависимости пропускной способности от частоты возбуждения и внешнего воздействия. Исследование двух последовательно соединенных интерферометров.

Работа состоит из трех глав и в первой главе рассматривается классификация магнетиков и возмущения, распространяющиеся в этих средах. Дано определение спиновым волнам и разобрано уравнение, описывающие движение намагниченности в веществе. Разобраны составляющие свободной энергии среды.

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

В третьей главе рассматривается простейшая схема состоящая из двух последовательно соединенных интерферометров.

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

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

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, $d_1 = 20$ мкм, $d_1 = 30$ мкм. Результат предоставлен на рисунках 1-3.

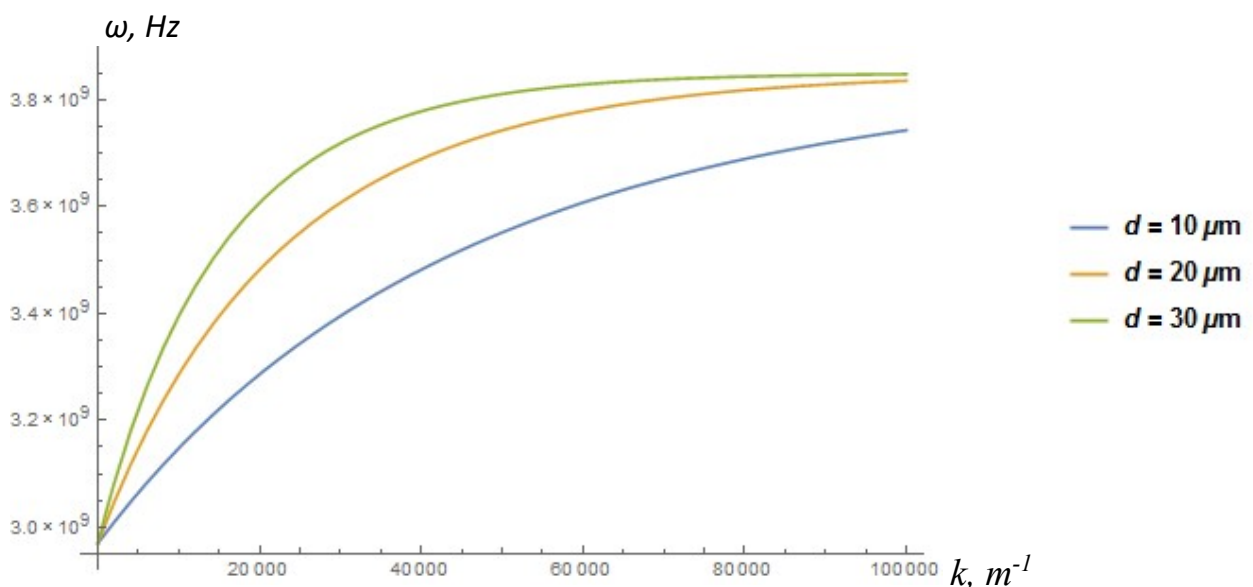


Рисунок 1 - Дисперсионные характеристики поверхностных МСВ, при разных значениях толщины плёнки.

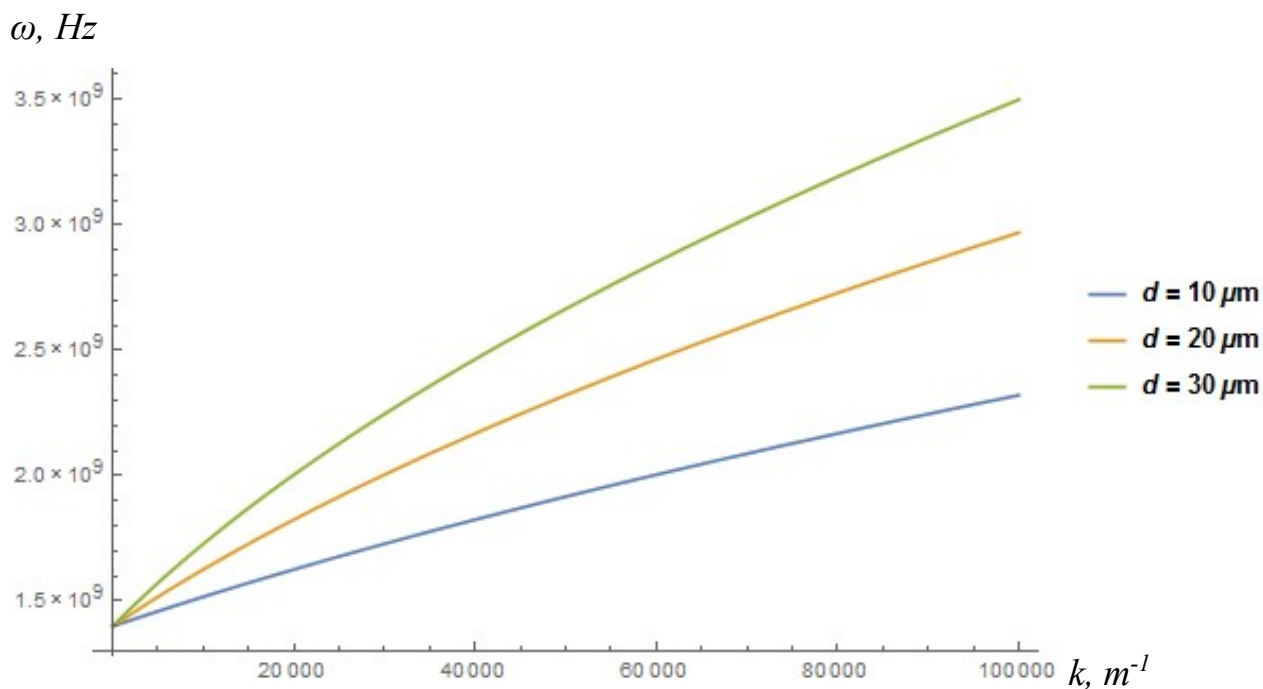


Рисунок 2 - Дисперсионные характеристики прямых объёмных МСВ, при разных значениях толщины плёнки.

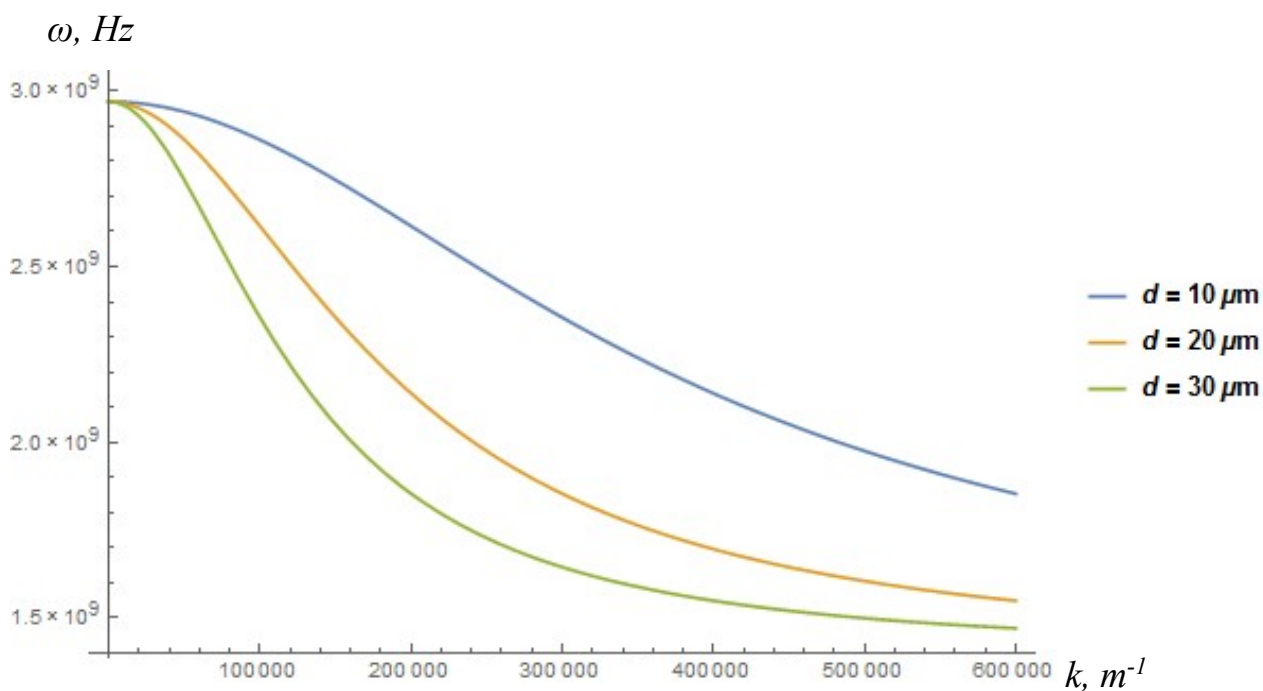


Рисунок 3 – Дисперсионные характеристики обратных объёмных МСВ, при разных значениях толщины плёнки.

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 интерферометра Маха-Цендера на основе пленок железо-иттриевого граната. Для численного моделирования и расчетов были использованы программные пакеты MuMax и MatLab.

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).



Рисунок 4 – Интерферометр Маха-Цендера.

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

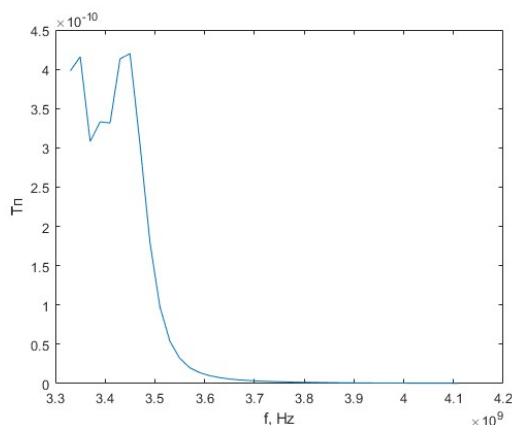


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента пропускания от частоты возбуждения в интерферометре Маха-Цендера.

Мы видим, что частота 3,44 ГГц соответствует максимальной пропускной способности.

Далее найдем зависимость коэффициента пропускания от величины изменения поля в нижнем плече.

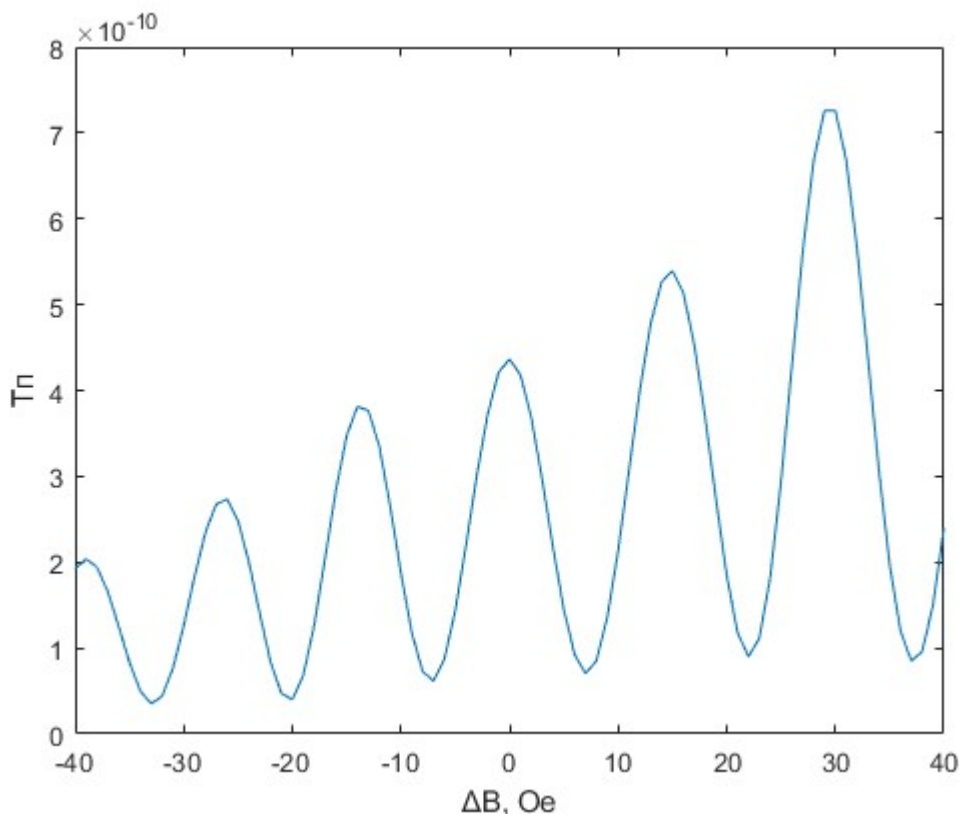


Рисунок 17 – Зависимость коэффициента пропускания от изменения индукции внешнего поля в нижнем плече.

Мы видим, при определенных значениях изменения поля выходная мощность значительно падает. Это связано с зависимостью фазовой скорости магнитостатической волны от индукции внешнего поля, вследствие чего при уменьшении поля в плече на 7 Э , волна в этом плече обгоняет волну в верхнем по фазе на π . Таким образом на основе интерферометра Маха-Цендера можно реализовать логический оператор NOT, где входной переменной является изменение внешнего поля, а выходным – сигнал на выходе.

При последовательном соединении двух интерферометров, схема пропускает сигнал только при одинаковых входных параметрах. Такая схема является логическим оператором XNOR.

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. Построены зависимости коэффициента пропускания от частот и внешних воздействий, исследовано распределение полей ПМСВ.

Были продемонстрированы простейшие логические устройства на основе интерферометра Маха-Цендера.

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. Википедия [Электронный ресурс]: свободная энциклопедия / текст доступен по лицензии Creative Commons Attribution-ShareAlike : Wikimedia Foundation, Inc. некоммерческой организации. Электрон. дан. (1318372 статьи, 4868746 страниц, 191307 файлов). Wikipedia®, 2001 – 2016. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения: 14.06.2016). Загл. с экрана. Яз. рус.
3. 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
4. Вашковский А.В., Стальмахов В.С., Шараевский Ю.П. Магнитостатические волны в электронике сверхвысоких частот. Саратов: Изд. Сарат. ун-та, 1993.
5. Vansteenkiste A. et al The design and verification of mumax3 // AIP Advances. 2014. V. 4, 107133

Выпускная квалификационная работа выполнена мной совершенно самостоятельно. Все использованные в работе материалы и концепции из опубликованной литературы и других источников имеют ссылки на них.

« _____ » _____ 20 ____ г.

подпись студента

расшифровка подписи