

Распространение спиновых волн в ферритовой пленке с периодическим массивом полупроводниковых полосок на поверхности

А.А. Мартышкин¹, К. Бубликов², А.В. Садовников²

¹СГУ им. Н.Г. Чернышевского

²Словацкий электротехнический институт, Словакия

Аннотация: в данной работе продемонстрировано численное и экспериментальное исследование спиновых волн, распространяющихся в пленке железо-иттриевого граната (YIG) с периодическим массивом полупроводниковых арсенида галлия (GaAs) на поверхности. Показано, что свойства спиновых волн зависят от концентрации свободных носителей заряда в GaAs. Экспериментальное наблюдения распространение спиновых волн осуществлено с помощью Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии. Проведенные численные исследования объясняют образование и механизм управления провалов в частотном диапазоне спиновых волн в пленке YIG.

Ключевые слова: спиновые волны, феррит-полупроводник, БЛС спектроскопия.

1. Введение

Интерес последних лет к полупроводниковым/ферромагнитным гетероструктурам обусловлен развитием новых методов изготовления тонких структурированных ферромагнитных пленок на полупроводниковых подложках [1]. Особый интерес представляют двухслойные структуры, состоящие из пленки железо-иттриевого граната, выращенные на подложке из арсенида галлия [2]. В работе [3] показано, что оптически инжектированные свободные носители заряда в полупроводниковом слое позволяют управлять дисперсионными характеристиками и спектрами прохождения спиновых волн (СВ). Наличие множества способов изменения скорости процессов инжекции и рекомбинации свободных носителей заряда в феррит/полупроводниковых гетероструктурах позволяет создавать реконфигурируемые устройства, основанные на магнотных принципах [4]. На основе эффекта, индуцированного лазерным излучением изменения проводимости слоя GaAs в структуре YIG/GaAs представляется возможным создание управляемых устройств магноники, которые могут быть интегрированы с КМОП-технологиями. Настоящая работа посвящена экспериментальному и численному анализу безобменного распространения СВ в структуре, состоящей из массива полосок GaAs, расположенных на поверхности слоя YIG. Показано, что при изменении величины концентрации свободных носителей заряда в полупроводниковых полосках структуры YIG/GaAs в спектре образуются запрещенные зоны распространения СВ, что аналогично случаю образования запрещенных зон в магнотно-кристаллических структурах. Предложенная структура может служить в качестве перестраиваемого лазерным излучением пространственно-частотного фильтра сигналов в магнотных интегральных схемах.

2. Исследование спин-волнового транспорта

Схематическое изображение исследуемой структуры показано на рисунке 1а. Полоски GaAs нанесены параллельно друг другу на слой ЖИГ через буферный слой AlO_x. Буферный слой AlO_x, используемый в ходе изготовления структуры необходим

для совместимости различных кристаллических структур ЖИГ и GaAs [2].

Исследуемая структура по аналогии с известными симметричными случаями в теории дифракции может быть отнесена к геометриям Брэгга и Лауэ [5]. Что касается использования полупроводниковых структур в геометрии Лауэ, то здесь можно упомянуть только теоретические работы [6]. С этой точки зрения представляет интерес исследование переноса спиновых волн в ферромагнитных/полупроводниковых структурах в геометрии Лауэ при распространении сигнала вдоль периодической структуры.

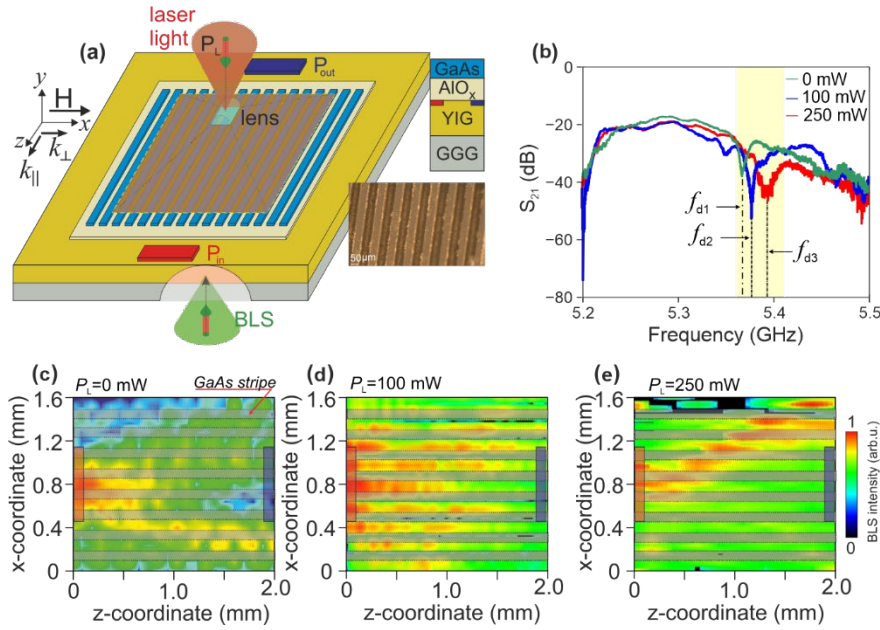


Рисунок 1. (a) Схематическое изображение исследуемой структуры. (b) Амплитудно-частотная характеристика СВ при различной мощности лазерного излучения P_L . Пространственное распределение интенсивности динамической намагниченности спиновых волн при мощности лазерного излучения (c) $P_L = 0$ мВт, (d) $P_L = 100$ мВт и (e) $P_L = 250$ мВт

Экспериментальное исследование распространения СВ осуществлялось с помощью генератора сигналов Anritsu MG3692C. Микроволновый сигнал подавался на антенну P_{in} 30 мкм шириной и длиной 0.5 мм. Структура помещалась во внешнее однородное магнитное поле величиной $H=1300$ Э. Методом микроволновой спектроскопии были получены S-параметры с помощью векторного анализатора цепей PNA-X Keysight. На рисунке 1b показаны амплитудно-частотные характеристики СВ распространяющихся в пленке YIG при изменении мощности лазерного излучения направленного на массив полосок GaAs. Видно, что увеличение мощности позволяет управлять зоной не прохождения спин-волнового сигнала, возникающего за счёт выполнения условий Брэгговского резонанса. Хорошо выраженный провал в передаче спиновых волн формируется на частотах $f_{d1} = 5.37$ ГГц, $f_{d2} = 5.38$ ГГц и $f_{d3} = 5.395$ ГГц для $P_L = 0$ мВт, $P_L = 100$ мВт и $P_L = 250$ мВт, соответственно.

С помощью системы точного позиционирования были получены карты пространственного распределения динамической намагниченности по методике BLS. Эксперимент проводился в конфигурации квазиобратного рассеяния, при этом интенсивность оптического отраженного сигнала была пропорциональна квадрату динамической намагниченности I_{BLS} в оптически зондируемой области. Далее было получено стационарное пространственное распределение I_{BLS} для различных значений входной мощности лазера (рисунок 1c-e).

3. Заключение

Проведен анализ распространения поверхностных спиновых волн в пленке YIG с нанесенной на её поверхности полосок арсенида галлия. Экспериментально продемонстрировано управление зоной непропускания спиновых волн в структуре YIG/GaAs путем изменения мощности лазерного излучения, направленного на массив полосок GaAs. Результаты, полученные с помощью Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии, демонстрируют различные режимы распространения спиновых волн вдоль структуры и формирование наклонного спин-волнового пучка.

Исследование выполнено при поддержке **гранта РФФИ (№23-79-30027)**.

Список литературы

1. Stognij A. et al. Synthesis, magnetic properties and spin-wave propagation in thin Y3Fe5O12 films sputtered on GaN-based substrates //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2015. – Т. 48. – №. 48. – С. 485002.
2. Lutsev L. V. et al. Magnetic properties, spin waves and interaction between spin excitations and 2D electrons in interface layer in Y3Fe5O12/AlOx/GaAs-heterostructures //Journal of Physics D: Applied Physics. – 2018. – Т. 51. – №. 35. – С. 355002.
3. Sadovnikov A. V. et al. Route toward semiconductor magnonics: Light-induced spin-wave nonreciprocity in a YIG/GaAs structure //Physical Review B. – 2019. – Т. 99. – №. 5. – С. 054424.
4. Barman A. et al. The 2021 magnonics roadmap //Journal of Physics: Condensed Matter. – 2021. – Т. 33. – №. 41. – С. 413001.
5. Sakharov V. K. et al. Spin waves in meander shaped YIG film: Toward 3D magnonics //Applied Physics Letters. – 2020. – Т. 117. – №. 2.
6. Gulyaev Y. V., Nikitov S. A. Propagation of surface magnetostatic waves in ferrite films with periodic semiconductor structure //Sov. Phys. Solid State. – 1983. – Т. 25. – С. 1446.