УДК 537.613, 537.622.4, 537.621.4, 537.876.4

Нерегулярный микромагнитный волновод как базовый блок 3d магнонных сетей

А.А. Мартышкин, С.А. Одинцов, А.А. Грачев, А.В. Садовников

СГУ им. Н.Г. Чернышевского

Аннотация: в настоящей работе исследовались спиновые волны в магнонном волноводе. Нерегулярная структура представляет собой сочленение двух регулярных магнонных волноводов. Предложенная конфигурация позволяет передавать спин-волновые сигналы в вертикальном направлении в широком диапазоне частот. С помощью микромагнитного моделирования произведен расчёт характеристик волнового процесса. Показано, что система с нарушением трансляционной симметрии может использоваться для передачи сигнала в трехмерных магнонных сетях

Ключевые слова: волновод, магноника, магнонные сети, межсоединения, железо-иттриевый гранат, поверхностные магнитостатические волны

1. Введение

В последнее время большой интерес представляет исследования спин-волновых возбуждений в магнитных структурах микро- и нанометровых размеров [1]. Спиновые волны являются перспективными переносчиками информационных сигналов, как было показано в ряде работ [2–4]. Развитие технологий формирования интегральных схем позволило реализовать целый класс устройств обработки сигналов на принципах магноники и магнонной спинтроники [2, 5]. Формирование трехмерных интегральных схем на основе их сборки в 3D-стек позволяет создавать многослойных структур с вертикальным спин-волновым транспортом, имеющих большую плотностью магнитных функциональных элементов. В качестве магнитного материала были выбраны пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ), демонстрирующие низкие величины затухания спиновых волны [6]. Пленки толщиной 10 мкм формируются методом ионно-лучевого распыления с последующим отжигом.

2. Результаты

Схематическое изображение исследуемой структуры приведено на рис. 1 (a). Сочленение в вертикальной плоскости двух магнонных микроволноводов образует Г-образную структуру, которая может использоваться в качестве вертикального межсоединения. В качестве магнитного слоя рассматривались пленки, сформированные из железо-иттриевого граната толщиной = 1 μm [(YIG) $Y_3Fe_5O_{12}$ (111)] и намагниченностью насыщения $M_0 = 1.39 \cdot 10^5$ A/m на подложке из галлий-гадолиниевого граната [(GGG) $Gd_3Ga_5O_{12}$ (111)] толщиной 500 μm. Константа неоднородного обмена пленки ЖИГ полагалась равной $A_{ex} = 3.614 \cdot 10^{-12}$ J/m. Направление внешнего магнитного поля $\vec{H}_0$ выбиралось вдоль плоскости волновода по направлению оси Oy для эффективного возбуждения поверхностной магнитостатической спиновой волны. С помощью микромагнитного моделирования решалась задача о возбуждении и распространении спиновых волн СВ в Г-образной структуре методом возбуждения в области S1 и приема СВ в волноводе S2. На рис. 1 (b) показан спектр мощности выходного спин-волнового сигнала для Г-образной структуры

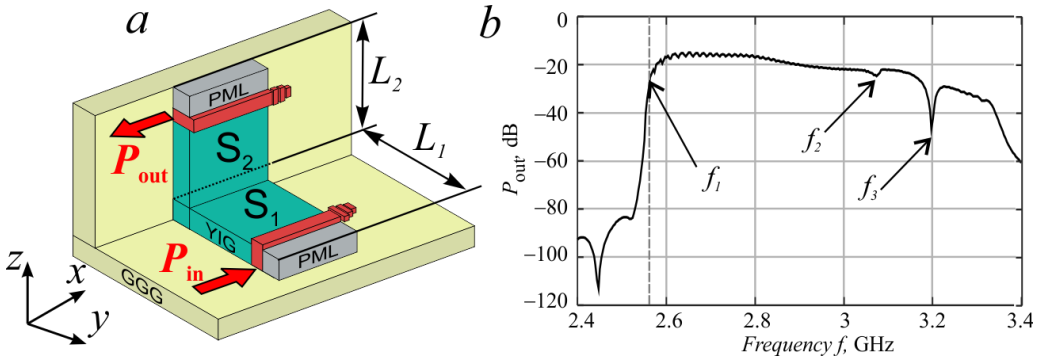

Рисунок 1. (a) Схематической изображение исследуемой структуры в виде сочленения магнонных микроволноводов. (b) Спектр мощности выходного сигнала для Г-образной структуры.

Были построены пространственные распределения величины интенсивности спиновой волны $I \sim \sqrt{m_x^2 + m_z^2}$ и величины m_z компоненты динамической намагниченности. Видно, что для частоты f_1 характер распределения динамической намагниченности имеет вид, хорошо согласующийся с распределением магнитостатического потенциала, в то время как для частоты входного сигнала f_2 и f_3 распределение представляет собой суперпозицию спин-волновых возбуждений с разным пространственным масштабом.

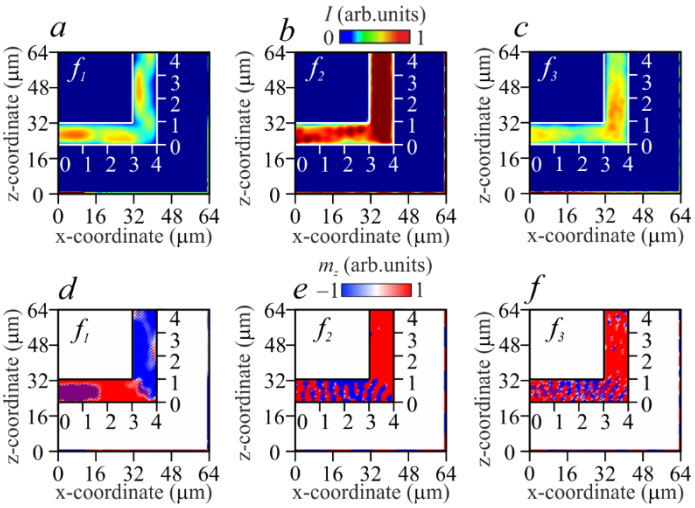

Рисунок 2. Распределение интенсивности I (a-c) и компоненты m_z динамической намагниченности (d-f) в Г-образной структуре на частотах $f_1 = 2.57$ GHz, $f_2 = 3.074$ GHz и $f_3 = 3.19733$ GHz.

3. Заключение

Используя структуру представляющей собой сочленение тонкопленочных магнитных волноводов, показана возможность передачи спин-волновых сигналов в вертикальном направлении в режиме распространения поверхностной спиновой волны в широком частотном диапазоне. Возможность создавать вертикальные связи путем ортогонального сочленения микроволноводных секций является преимуществом при создании устройств спинтроники. Последнее обстоятельство является важным на пути миниатюризации трехмерных магнонных сетей в устройствах нейроморфной обработки информационного сигнала.

Исследование выполнено за счет **гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-29-27026)**.

Список литературы

1. Sadovnikov, A. V. Spin wave propagation in a uniformly biased curved magnonic waveguide / Sadovnikov, A. V. [at al.] // Physical Review B. — 2017. — Vol. 96. — P. 060401.
2. Kruglyak V.V., Magnonics / V. V. Kruglyak, [at al.] // Journal of Physics D: Applied Physics. — 2010 — Vol. 43 — P. 264001.
3. Sadovnikov, A. V. Magnon Straintronics: Reconfigurable Spin-Wave Routing in Strain-Controlled Bilateral Magnetic Stripes / Sadovnikov, A. V. [at al.] // Physical Review Letters. 2018. — Vol. 120. — P. 257203.
4. Khitun, A. Magnonic logic circuits / Khitun, A. [at al.] // Journal. Physics. — 2010. — D 43. — P. 264005.
5. Nikitov, S. A. Magnonics: a new research area in spintronics and spin wave electronics / Nikitov, S. A [at. al.] // Physics Uspekhi. — 2015. — Vol. 185. — P. 1099.
6. Gurevich, A. G. Magnetization Oscillations and Waves / Gurevich A. G. [at al.] // CRC-Press, London, New York, 1996.