

Направленный делитель спин-волнового сигнала на основе магнноно-кристаллической структуры

С.А. Одинцов, А.А. Мартышкин, С.Е. Шешукова, А.В. Садовников

СГУ им. Н.Г. Чернышевского

Аннотация: в данной работе исследовалось взаимодействие спиновых волн в магнноно-кристаллической структуре. Проведена оптимизация геометрических параметров исследуемой структуры. Показана возможность разворота поверхностной магнитостатической волны в магнноно-кристаллической структуре. Показана возможность создания направленного делителя спин-волнового сигнала на основе исследуемой структуры.

Ключевые слова: волновод, магнноный кристалл, магнноные сети, спиновая волна.

1. Введение

Магнноный волновод, сформированный из магнитной пленки, является основным блоком любой сложной интегральной магнноной сети, [1] действующей в качестве линии передачи между устройствами обработки сигналов. [2]. Наиболее перспективными кандидатами на эффективную передачу спиновых волн между функциональными единицами магнноной сети являются пространственно-неоднородные магнитные структуры. [3] Периодическое изменение параметров магнитных материалов позволяет изготавливать магнноные кристаллы (МК). Одной из важных особенностей МК является наличие запрещенных зон в спектре спиновых волн, то есть полос частот, в которых распространение спиновых волн запрещено [4]. Магнноные кристаллы также перспективны для практического применения, например, для фазовращателей [5]. Магнитные волноводы и МК в непосредственной близости имеют перекрытие мод в своих внутренних полях и могут передавать энергию от одного к другому. [6] Соединение периодических волноводных структур открывает новую возможность управления дисперсией и передачей.

В работе проведено исследование взаимодействия спиновых волн в структуре, состоящей из двух латеральных волноводов и магнноного кристалла между ними.

2. Результаты

Схематическое изображение исследуемой структуры приведено на рис. 1 (а). Связанные магнитные волноводы шириной $w = 200$ мкм и толщиной $d = 10$ мкм и МК, помещенный между ними, были изготовлены из монокристаллической ферритмагнитной пленки YIG толщиной 10 мкм с намагниченностью насыщения $M_0 = 139$ Гс с использованием метода лазерного скрайбирования. Элементы структуры были расположены на той же подложке из галлий-гадолиниевого граната (GGG) толщиной 500 мкм. Длина структуры $L_1 = 8$ мм. Периодические последовательности магнноного кристалла в виде окружностей с радиусом $r = 35$ мкм с периодом $D = 150$ мкм были изготовлены на поверхности полос с помощью точного ионно-лучевого травления. Ширина каждой канавки имела длину 10 периодов в направлении, параллельном длинной оси полосы. На рис. 1 (b) показано распределение внутреннего поля в исследуемой структуре. Синим цветом показано в сечении где есть дефект в волноводе, зелёным цветом поле без дефекта. Видно, что эффективное внутреннее поле выше в сечении без дефекта, что говорит о сильной связи в этих секциях магнноно-кристаллической структуры.

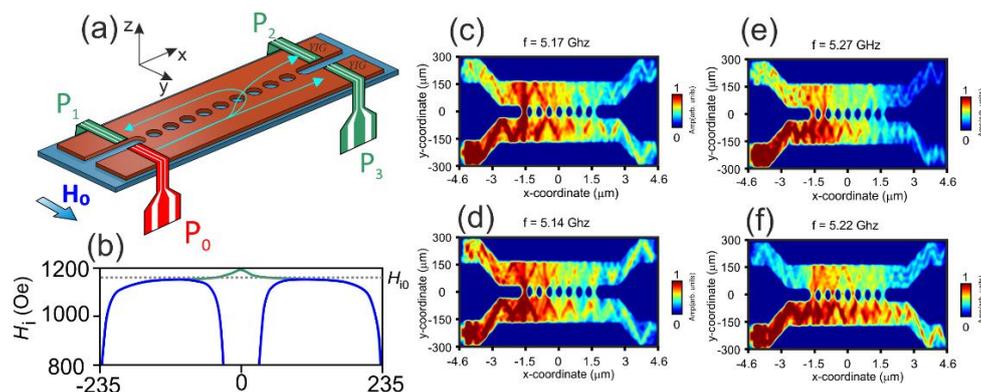


Рисунок 1. (а) Схематичное изображение исследуемой структуры, (б) Распределение внутреннего поля вдоль оси y в сечении вне периода МК (зелёная линия) и в сечении проходящем через дефект МК (синяя линия), карты пространственного распределения величины квадрата интенсивности спиновой волны на частотах $f = 5.17$ ГГц (с), $f = 5.14$ ГГц (д), $f = 5.27$ ГГц (е) и $f = 5.22$ ГГц (ф).

На рис. 1 (с-ф) показаны результаты численного моделирования, произведённого с помощью метода конечных разностей в программном пакете *muMax3*. Были построены пространственные распределения величины квадрата интенсивности спиновой волны. Видно, что на определённых частотах волна может ответвляться в канал P_1 на частотах $f = 5.17$ ГГц и $f = 5.14$ ГГц (рис. 1 с, д), в канал P_2 на частоте $f = 5.14$ ГГц (рис. 1 д), в канал P_3 на частотах $f = 5.22$ ГГц и $f = 5.27$ ГГц (рис. 1 е, ф).

3. Заключение

Используя эту структуру, показана возможность формирования волн, которые могут распространяться вперед и назад без изменения направления внешнего магнитного поля. Дисперсия профилей собственных мод и поперечных мод рассчитывалась методом конечных разностей (FDM). Набор из двух связанных волноводов и МК может использоваться в качестве частотно-избирательного спин-волнового делителя благодаря гибкости для интеграции в магноновые сети. Предложенная концепция может быть перенесена на любые связанные периодические структуры волноводов (например, фотонные, фононные, плазмонные кристаллы). Оптимизация геометрии позволила выявить параметры делителя (ширина полосы прохождения и запрещённые зоны), которые позволяют эффективно фильтровать частоты.

Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-37-80004).

Список литературы

1. Kruglyak V.V., Magnonics / V. V. Kruglyak, [at al.] // Journal of Physics D: Applied Physics. — 2010 — Vol. 43 — P. 264001.
2. Sadovnikov A. V., Magnonic beam splitter: The building block of parallel magnonic circuitry / A. V. Sadovnikov [at.al.] Applied Physics Letters — 2015 — Vol. 106 — P. 192406.
3. Demidov V.E., Dipolar field-induced spin-wave waveguides for spin-torque magnonics / V. E. Demidov, [at.al.] Applied Physics Letters — 2015 — Vol. 106 — P. 022403.
4. Sadovnikov A. V., Frequency selective tunable spin wave channeling in the magnonic network/ A. V. Sadovnikov [at.al.] Applied Physics Letters — 2016 — Vol. 108 — P. 172411.
5. Zhu Y., Magnonic crystals-based tunable microwave phase shifters / Y. Zhu [at.al.] Applied Physics Letters — 2014 — Vol. 105 — P. 022411.
6. Sadovnikov A. V., Directional multimode coupler for planar magnonics: Side-coupled magnetic stripes/ A. V. Sadovnikov [at.al.] Applied Physics Letters — 2015 — Vol. 107 — P. 202405