

Управление свойствами сверхнаправленного луча спиновых волн в магнонных кристаллах

А.Б. Хутиева¹, А.В. Садовников¹, А.Ю. Анненков², С.В. Герус², Э.Г. Локк²

¹СГУ им. Н.Г. Чернышевского

²Фрязинский филиал института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН

Аннотация: Представлены результаты теоретического и экспериментального исследования особенностей распространения спиновых волн в касательно намагниченной магнотно-кристаллической структуре на основе пленки железоиттриевого граната. Методом конечных элементов проведено численное моделирование распределения интенсивности сверхнаправленного пучка поверхностных спиновых волн в плоскости плёнки ЖИГ, распространяющихся в рассматриваемой структуре. Результаты расчётов находятся в удовлетворительном согласии с экспериментально измеренным распределением энергии спинволнового луча в ферритовой плёнке.

Ключевые слова: спиновая волна, сверхнаправленный луч, магнотный кристалл, магнитные микроструктуры, ферритовая пленка

1. Введение

В последнее время появилось много работ, посвященных исследованию волновых явлений в планарных волноведущих системах, использующих в качестве среды распространения ферромагнитные пленки с периодической модуляцией геометрических либо материальных параметров, которые часто называют магнотными кристаллами (МК) [1, 2]. Наиболее простой подобной структурой является одномерный МК, образованный путем создания периодической системы канавок на поверхности магнитной пленки [1].

Особый интерес представляют исследования взаимодействия МК с ограниченным по ширине волновым пучком спиновых волн (СВ), включая дифракцию этих пучков на различных локальных неоднородностях. Связано это с тем, что направления групповой и фазовой скоростей у СВ не совпадают друг с другом [3–6].

Еще одним фактором, вызывающим интерес к подобным исследованиям, является то, что в отличие от изотропных сред, в которых угловая ширина пучка дифрагированной спиновой волны определяется соотношением λ/D (где λ – длина волны, а D – характерный размер возбудителя), в случае, например, касательно намагниченной пленки железо-иттриевого граната (ЖИГ) оказывается возможным бездифракционное распространение сверхнаправленного пучка спиновых волн [3–7].

Цель работы – с помощью методов микромагнитного моделирования исследовать распространение сверхнаправленного пучка поверхностной СВ в касательно намагниченной пленке ЖИГ. Изучен диапазон параметров (характерный размер неоднородности, угол ориентации магнитного поля, размеры антенны для возбуждения СВ), в котором наблюдается эффективное формирование и распространение сверхнаправленного луча СВ. Рассчитаны дифракционные картины сверхнаправленного луча поверхностной СВ, возникающие при его распространении через МК.

2. Результаты

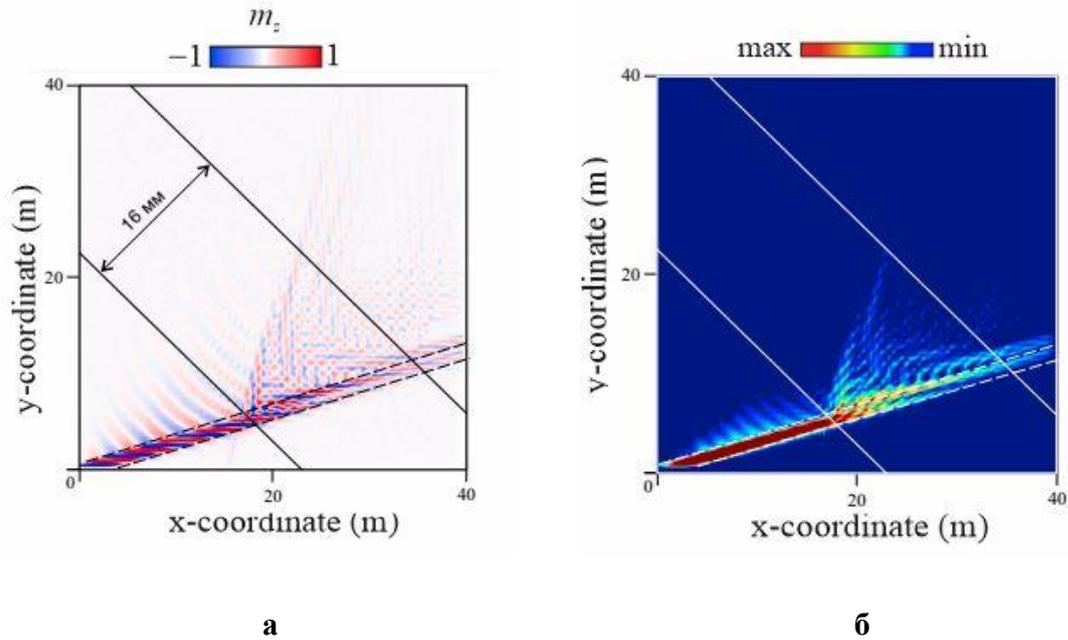


Рисунок 1. а – карта намагниченности ПМСВ б - распределение интенсивности сверхнаправленного пучка поверхностной СВ в плоскости плёнки ЖИГ на магнетный кристалл.

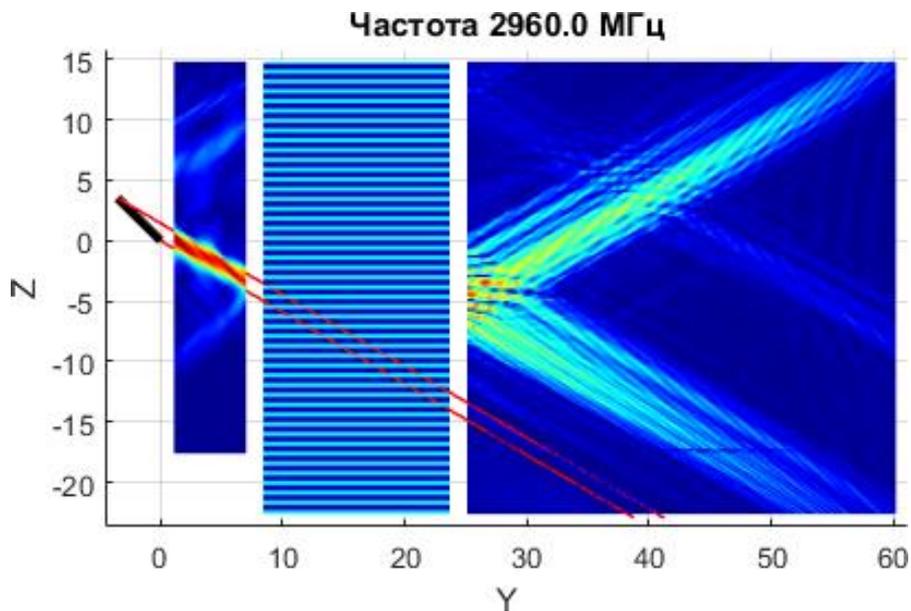


Рисунок 2. Двумерное распределение амплитуды поверхностных СВ при их дифракции на слабоконтрастном магнетном кристалле. Оси YZ лежат в плоскости плёнки ЖИГ, размеры указаны в миллиметрах. Цветовая гамма распределения СВ соответствует увеличению амплитуды СВ от синего (малая амплитуда) до красного (большая амплитуда).

Полученные численные результаты качественно согласуются с результатами экспериментальных измерений взаимодействия пучка СВ и слабоконтрастного МК, создаваемого в плёнке ЖИГ пространственно-периодическим магнитным полем. На рис. 2 приведено распределение энергии пучка поверхностных СВ по поверхности

пленки ЖИГ при прохождении через слабоконтрастный МК. Поле подмагничивания составляло 500 Э и было направлено вдоль оси Z. Намагниченность насыщения $4\pi M = 1850$ Гс, толщина ферритовой плёнки $h = 15$ мкм. Чёрный отрезок изображает линейный СВЧ-ток, являющийся возбуждающим преобразователем. Красные линии, идущие от преобразователя, соответствуют распространению луча СВ при отсутствии магнетонного кристалла. Магнетонный кристалл показан в виде прямоугольника, заполненного чередующимися полосами, шаг которых равен периоду решётки 810 мкм. Из рисунка видно, что на выходе из МК формируются прошедший и преломленный лучи, что качественно согласуется с распределением волны, полученным в данной работе численным методом (см. рис. 1). Формирование сверхнаправленного луча, который может бездифракционно распространяться в плоскости магнитной пленки, обуславливает создание элементов межсоединений для распространяющихся спин-волновых сигналов в интегральных магнетонных сетях с латеральным и вертикальным спин-волновым транспортом [8-10].

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 16-29-14021) и гранта РФФИ (проект № 17-07-00033).

Список литературы

1. Kruglyak V.V., Magnonics / V. V. Kruglyak, [et al.] // Journal of Physics D: Applied Physics. — 2010 — Vol. 43 — P. 264001.
2. Lock E. H. On the Angular Width of Diffractive Beam in Anisotropic Media. Cornell University Library: <http://arxiv.org/abs/1112.3929>
3. Локк Э. Г. Угловая ширина луча при дифракции на щели волны с неколлинеарными групповой и фазовой скоростями / Успехи физических наук — 2012 — т. 182 – №12 – с. 1327-1343.
4. Annenkov A.Yu., Gerus S.V., Lock E.H. Superdirected beam of the backward volume spin wave. EPJ Web of Conferences . — 2018 – Vol. 185 - — P. 02006 (1 – 3).
5. A.Yu. Annenkov, S.V. Gerus and E.H. Lock. Superdirectional beam of surface spin wave. EPL – 2018 – Vol. 123 – 44003 (p1 – p7).
6. Sadovnikov A.V., Odintsov S.A., Beginin E.N., Sheshukova S.E., Sharaevskii Yu.P. and Nikitov S.A. Phys. Rev. B 96. 144428 (2017).
7. Sadovnikov, A. V. Magnon straintronics: Reconfigurable spin-wave routing in strain-controlled bilateral magnetic stripes / A.V. Sadovnikov, [et al.] // Phys. Rev. Lett. — 2018. — Vol. 120. — P. 257203.
8. Sadovnikov, A. V. Spin-wave intermodal coupling in the interconnection of magnonic units/ A.V. Sadovnikov, [et al.] // Appl. Phys. Lett. — 2018. — Vol. 112. — P. 142402.
9. Sadovnikov, A. V. Spin-wave drop filter based on asymmetric side-coupled magnonic crystals/ A.V. Sadovnikov, [et al.] // Phys. Rev. Applied — 2018. — Vol. 9. — P. 051002.
10. Sadovnikov, A. V. Route toward semiconductor magnonics: Light-induced spin-wave nonreciprocity in a YIG/GaAs structure/ A.V. Sadovnikov, [et al.] // Phys. Rev. B. — 2019. — Vol. 99. — P. 054424.