

Управляемые электрическим полем режимы спин-волнового распространения в 2D и 3D структурах

А.В. Садовников^{1,2}, Е.Н. Бегинин¹, С.А. Никитов^{1,2}

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского

² Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Фрязинский филиал)

Аннотация: рассмотрено применение экспериментального метода Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии, методы микроволновой спектроскопии, метод широкополосного ферромагнитного резонанса и численные методы микромагнитного моделирования для исследования динамики спин-волновых возбуждений в 2D и 3D магнитных структурах. Приведены результаты исследования латеральных, нерегулярных и композитных магнитных микроструктур.

Ключевые слова: спиновые волны, магноника, Мандельштам-Бриллюэновской спектроскопии, микроструктуры

1. Введение

В последнее время большой интерес представляет исследование свойств спиновых волн (СВ) при их распространении в магнитных волноведущих структурах микронных и нанометровых размеров и методов управления СВ электрическим полем [1-4]. При этом основное внимание уделяется использованию СВ в 3D магнитных структурах в качестве носителей информационных сигналов, поскольку в этом случае удастся реализовать целый ряд устройств обработки сигнала на принципах магноники, управляемых электрическим полем [5].

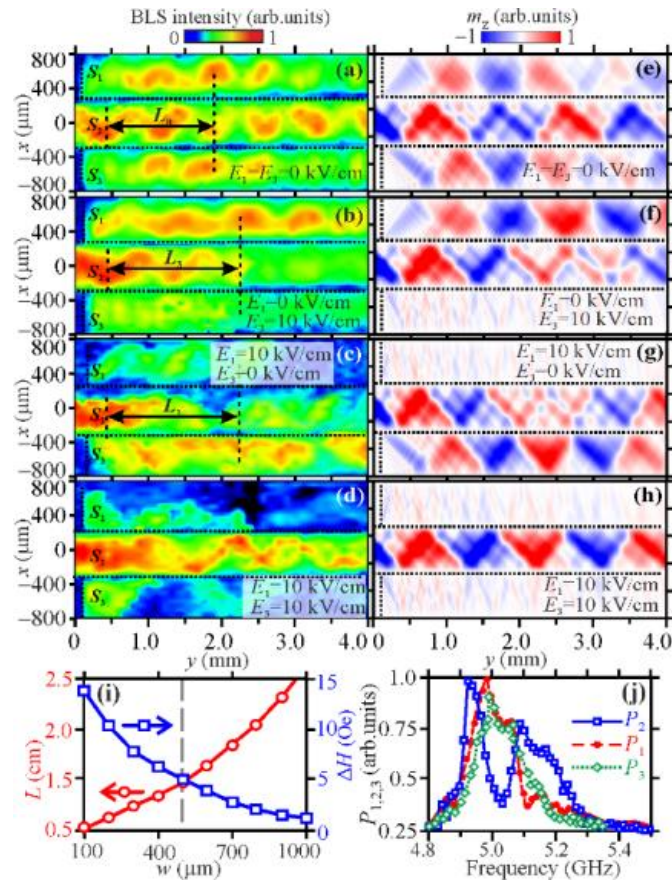
2. Методика эксперимента и результаты исследований

Одним из методов управления свойствами СВ является нарушение трансляционной симметрии в волноведущей магнитной структуре, сформированной, например, путем формирования изгиба (поворота) магнитного микроволновода или создания магнитных структур меандрового типа. На основе данного подхода удалось реализовать целый ряд функциональных устройств магноники для демультимплексирования сигналов в частотной и пространственной областях и линейного и нелинейного переключения в системах магнитных микроволноводов [5].

Вместе с этим одной из главных проблем на настоящий момент при создании функциональных узлов на основе спин-волновых структур является необходимость разработки элементов межсоединений для эффективной передачи СВ внутри магнитных сетей (МС) и интеграции в существующие КМОП топологии [6]. МС представляет собой ансамбли связанных магнитных микро- и наноразмерных структур. Стоит отметить, что создание управляемых связей в вертикальных и латеральных топологиях МС и нелинейные режимы распространения СВ обеспечивают возможность реализации устройств обработки сигнала на нейроподобных (нейроморфных) принципах, находящих основное применение для задач распознавания образов. В докладе представлены результаты недавних исследований в актуальной и быстро развивающейся области исследования спин-волновых возбуждений в магнитных микро- и наноструктурах – магнитной стрейнтронике, направленной на исследование методов управления режимами спин-волнового транспорта в двумерных и трехмерных магнитных структурах. Последние

могут быть реализованы на основах систем с нарушением трансляционной симметрии и сочленения ортогональных спин-волноводных секций, как в латеральной плоскости, так и в направлении, нормальном плоскости подложки.

Рисунок 1. (a)–(d) BLS-интенсивность спиновой волны на частоте $f_1 = 4.925$ ГГц в случае



приложения внешнего электрического поля (значения обозначены на рисунке); (c)–(h) Результаты расчета пространственного распределения $m_z(x,y)$ компоненты динамической намагниченности для частоты входного сигнала $f_1 = 4.925$ ГГц. (i) Рассчитанная длина связи и разность внутреннего магнитного поля в зависимости от ширины микроволноводов. (j) Частотная зависимость выходного сигнала P_1 , P_2 , и P_3 в микроволноводах S_1 , S_2 , и S_3 , соответственно. Все показанные результаты были получены при величине внешнего магнитного поля $H_0 = 1100$ Э.

Микромагнитное моделирование было поддержано **Российским фондом фундаментальных исследований (№ 18-29-27026.)**, экспериментальное исследование было поддержано **Российским научным фондом (№ 20-79-10191)**.

Список литературы

1. Bukharaev A A, Zvezdin A K, Pyatakov A P, Feti-sov Yu K “Straintronics: a new trend in micro- and nanoelectronics and material science” Phys. Usp. 61 1175–1212 (2018)
2. A. V. Sadovnikov, A. A. Grachev, S. E. Sheshuko-va, Yu. P. Sharaevskii, A. A. Serdobintsev, D. M. Mitin, S. A. Nikitov Magnon straintronics: Recon-figurabile spin-wave routing in strain-controlled bilateral magnetic stripes // Phys. Rev. Lett. 120, 257203 (2018)
3. N. S. Gusev, A. V. Sadovnikov, S. A. Nikitov, M. V. Sapozhnikov, and O. G. Udalov Manipulation of the Dzyaloshinskii–Moriya Interaction in Co/Pt Multilayers with Strain // Phys. Rev. Lett. 124, 157202 (2020)
4. Kulikova, D.P., Gareev, T.T., Nikolaeva, E.P., Ko-sykh, T.B., Nikolaev, A.V., Pyatakova, Z.A., Zvezdin, A.K. and Pyatakov, A.P. (2018), The Mechanisms of Electric Field-Induced Magnetic Bubble Domain Blowing. Phys. Status Solidi RRL, 12: 1800066.

5. A.V. Sadovnikov, S.A. Odintsov, E.N. Beginin, S.E. Sheshukova, Yu. P. Sharaevskii and S.A. Nikitov, Toward nonlinear magnonics: Intensity-dependent spin-wave switching in insulating side-coupled magnetic stripes // *Phys. Rev. B* 96, 144428 (2017).
6. A. V. Sadovnikov, S. A. Nikitov, E. N. Beginin, S. E. Sheshukova, Yu. P. Sharaevskii, A. I. Stognij, N. N. Novitski, V. K. Sakharov, and Yu. V. Khivintsev Route toward semiconductor magnonics: Light-induced spin-wave nonreciprocity in a YIG/GaAs structure // *Phys. Rev. B* 99, 054424. 2019
7. A. V. Sadovnikov, V. A. Gubanov, S. E. Sheshu-kova, Yu. P. Sharaevskii, S. A. Nikitov Spin-wave drop filter based on asymmetric side-coupled magnonic crystals // *Phys. Rev. Applied.* 9, 051002 (2018)