

# Спин-волновые резонансы скирмионных решеток в локально модифицированных пленках с перпендикулярной анизотропией

Р. В. Горев<sup>1</sup>, М. В. Сапожников<sup>1</sup>, В. Л. Миронов<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup> Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, 7, Нижний Новгород, 607680.

<sup>2</sup> Нижегородский государственный университет им. Н.И.Лобачевского, пр. Гагарина, 23, Нижний Новгород, 603950

\*[mironov@ipmras.ru](mailto:mironov@ipmras.ru)

Приводятся результаты микромагнитного моделирования вынужденных высокочастотных колебаний намагниченности решеток магнитных скирмионов стабилизированных в магнитных пленках с пространственно модулированной величиной перпендикулярной анизотропии. Обсуждается возможность перестройки спектра колебаний таких систем при перемагничивании во внешнем магнитном поле.

В последнее время большое внимание уделяется изучению свойств магнитных скирмионов в магнитных пленках с перпендикулярной анизотропией [1,2]. В частности, нами недавно было показано, что магнитные скирмионы в таких пленках могут быть стабилизированы посредством локального изменения величины параметра анизотропии при облучении фокусированным пучком ионов He[3]. В настоящей работе методами микромагнитного моделирования исследовались вынужденные колебания намагниченности пленок с пространственно модулированной константой анизотропии. Геометрия системы представлена на рис.1: толщина пленки 7.5 нм, диаметр модифицированных областей 100 нм, период решетки 200 нм. Моделирование проводилось на основе численного решения уравнения Ландау-Лифшица для намагниченности образца с использованием пакета OOMMF. Материальные параметры модельной системы выбирались соответствующими многослойной пленке Co/Pt: намагниченность насыщения  $2 \times 10^6$  A/m, обменная константа  $0.25 \times 10^{-12}$  J/m, константа анизотропии  $K_0 = 3.65 \times 10^4$  J/m<sup>3</sup>, константа анизотропии модифицированной области  $K_1 = 2.38 \times 10^4$  J/m<sup>3</sup>, параметр диссипации 0.01. В модельных экспериментах регистрировалась амплитуда установившихся колебаний под действием переменного магнитного поля, направленного вдоль поверхности образца. Частота возбуждающего СВЧ поля  $\nu$  изменялась в диапазоне от 0 до 14 GHz. Для анализа спектров колебаний строились частотные зависимости средней по системе амплитуды колебаний переменной составляющей намагниченности:

$$m = (m_x^2 + m_y^2 + m_z^2)^{1/2}$$

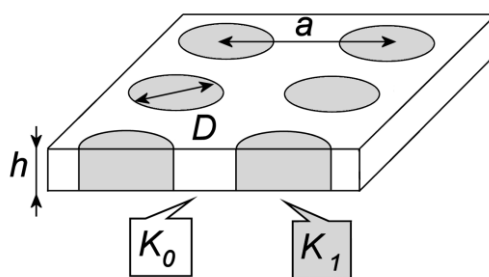


Рис. 1.

Для анализа модового состава резонансов рассчитывались временные реализации пространственных распределений амплитуды колебаний всех компонент переменной составляющей намагниченности при накачке на резонансных частотах.

На рис. 2 представлен спектр вынужденных колебаний перпендикулярно намагниченной пленки и пространственные распределения амплитуд колебаний величин  $m$  и  $m_x$ , соответствующие пикам в спектре. Распределение амплитуд показывает, что пик 1 соответствует однородной прецессии (резонанс нулевого порядка) намагниченности в модифицированной области. Пики 2 и 3 соответствуют резонансам первого и второго порядка. Интенсивный пик 4 связан с резонансом пленки, окружающей модифицированную область.

При перемагничивании структуры в противоположном направлении в ней формируется скирмионное состояние, когда намагниченности цилиндрических областей и остальной пленки направлены в противоположных направлениях [3]. Спектры и моды колебаний для этого случая приведены на рис. 3. Пики 1 и 2 связаны с резонансными колебаниями доменной стенки.

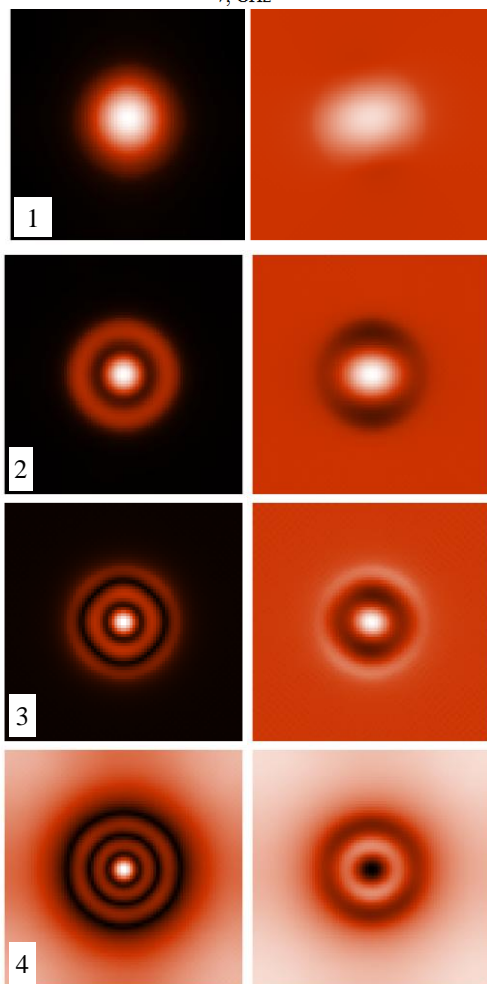
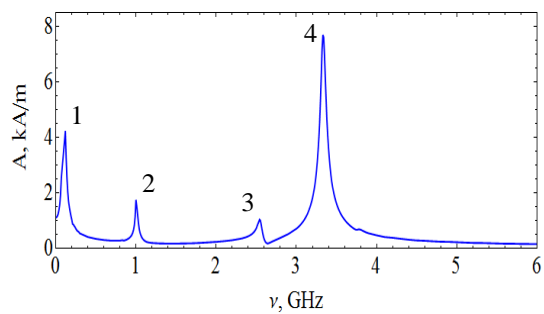


Рис. 2.

Пик 3 соответствует однородной прецессии намагниченности модифицированной области. Пик 4 - резонанс высшего порядка, а пик 5 связан с резонансом пленки, окружающей модифицированную область.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект 16-02-10254).

## Литература

1. L. Sun, R. X. Cao, B. F. Miao *et al.* // Phys. Rev. Lett. V. 110, 167201 (2013).

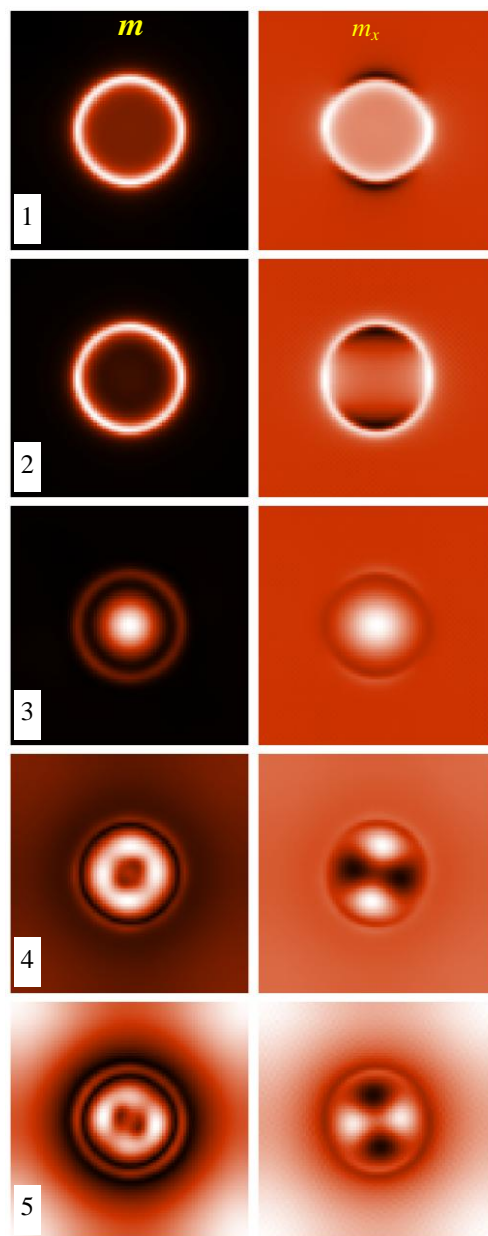
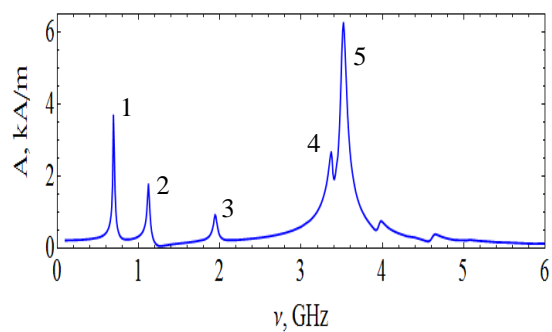


Рис. 3.

2. A.A. Fraerman, O.L. Ermolaeva *et al.* // J. Magn. Magn. Mar. V. 393, 452 (2015).  
 3. M.V. Sapozhnikov, S.N. Vdovichev, O.L. Ermolaeva *et al.* // APL, V. 109, 042406 (2016).