

# Локализованные моды спин-волнового резонанса ферромагнитных микрополосок в поле магнитного зонда

Р. В. Горев<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

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

Приводятся результаты микромагнитного моделирования вынужденных колебаний намагниченности планарных микрополосок с анизотропией легкая плоскость и с перпендикулярной анизотропией типа легкая ось в поле магнитного сферического зонда. Обсуждаются особенности спектров и пространственных распределений резонансных колебаний, обусловленные воздействием неоднородного магнитного поля.

## Введение

В последнее время большое внимание уделяется работам по исследованию локальных мод ферромагнитного резонанса (ФМР), обусловленных воздействием неоднородного поля зонда магнитно-резонансного силового микроскопа (МРСМ) [1]. С одной стороны это воздействие приводит к нежелательным искажениям характера колебаний намагниченности исследуемых объектов, но с другой стороны в условиях сильного взаимодействия зонда и образца возможна реализация новых методик исследования локальных СВЧ свойств ферромагнитных наноструктур [2]. В настоящей работе методы микромагнитного моделирования применены для анализа воздействия магнитного сферического зонда на колебания намагниченности тестовых образцов в виде тонкопленочных ферромагнитных микрополосок с анизотропией типа легкая плоскость и с перпендикулярной анизотропией.

## Результаты и обсуждение

Моделирование проводилось на основе численного решения уравнения Ландау-Лифшица для намагниченности образца с использованием программного пакета OOMMF. В качестве тестовых объектов исследовались прямоугольные микрополоски с латеральными размерами 2000×1000 нм. Расчеты проводились для двух различных систем. Первая представляла собой микрополоску из пермаллоя ( $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ ) толщиной 10 нм со следующими параметрами: намагниченность насыщения  $M_{\text{NiFe}} = 8 \cdot 10^5$  А/м, обменная константа  $A_{\text{NiFe}} = 1.3 \cdot 10^{-11}$  Дж/м. Вторая система представляла

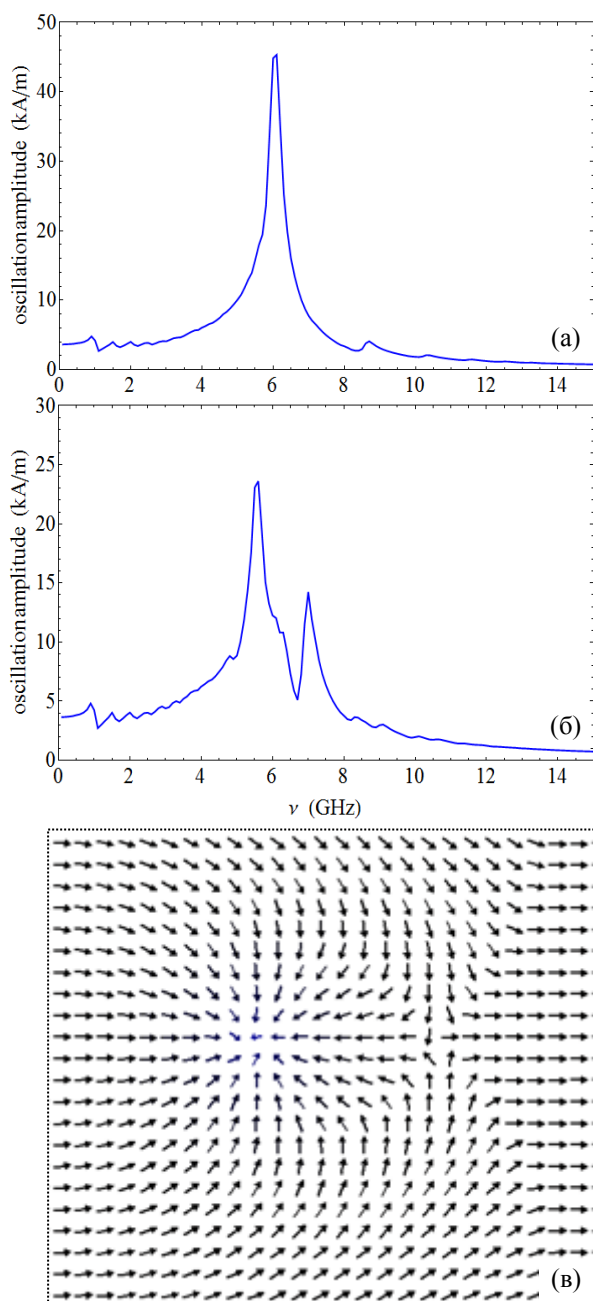
собой многослойную структуру Co/Pt с перпендикулярной анизотропией, имеющую следующие параметры: толщина 7.5 нм, намагниченность насыщения  $M_{\text{CoPt}} = 8 \cdot 10^5$  А/м, обменная константа  $A_{\text{CoPt}} = 10^{-11}$  Дж/м, параметр анизотропии  $K = 5 \cdot 10^5$  Дж/м<sup>3</sup>. В расчетах параметр диссипации составлял 0.01. В качестве поля модельного МРСМ зонда было выбрано поле однородно намагниченного шара из Co. Диаметр зонда варьировался в диапазоне 100 - 1000 нм.

Исследовались колебания намагниченности образцов в переменном магнитном поле, направленном вдоль микрополоски. В расчетах регистрировались временные зависимости установившихся колебаний всех компонент намагниченности. Частота возбуждающего СВЧ поля  $\nu$  изменялась в диапазоне от 0 до 14 GHz с шагом 0.1 GHz. Для анализа спектров колебаний строились частотные зависимости средней по системе амплитуды колебаний переменной составляющей намагниченности:

$$m = (m_x^2 + m_y^2 + m_z^2)^{\frac{1}{2}}.$$

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

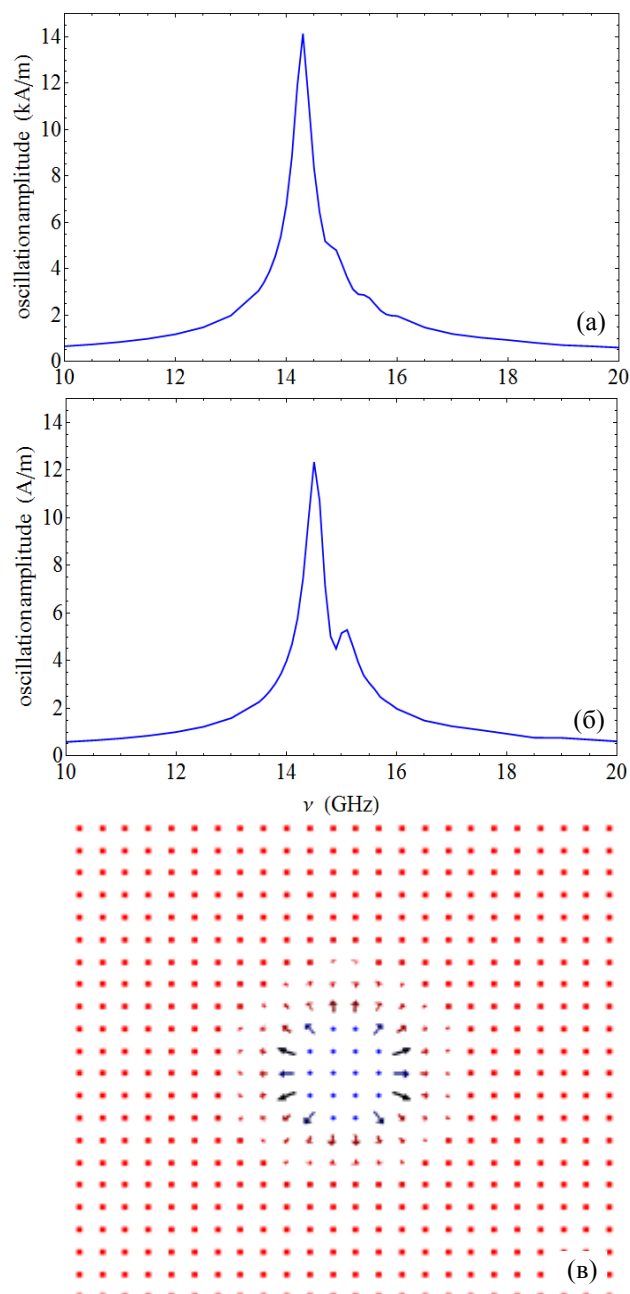
На рис. 1 представлены ФМР спектры микрополоски  $\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$ . В однородно намагниченном состоянии микрополоска имеет резонанс на частоте 6 ГГц. При приложении поля зонда в микрополоске формируется неоднородное состояние (“еж”-“антивихрь”, рис. 1в), при этом в спектре появляется дополнительный пик связанный с



**Рис. 1.** (а) ФМР спектр однородно намагниченной микрополоски NiFe. (б) Спектр микрополоски в присутствии зонда. (в) Распределение намагниченности на участке микрополоски NiFe вблизи зонда.

локализованной модой колебаний (рис. 1б).

Аналогичная ситуация наблюдается в пленке Co/Pt. Приложение поля зонда приводит к формированию в пленке скирмионного состояния (рис. 2в), что приводит к появлению в спектре ФМР дополнительного пика (рис. 2б). Проведены расчеты пространственных распределений амплитуды колебаний намагниченности и проанализирована их временная динамика.



**Рис. 2.** (а) ФМР спектр однородно намагниченной микрополоски Co/Pt. (б) Спектр микрополоски в присутствии зонда. (в) Распределение намагниченности на участке микрополоски Co/Pt вблизи зонда.

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

Сайт проекта: <http://mrfm.ipmras.ru/>.

## Литература

1. I. Lee, Yu. Obukhov, A.J. Hauser *et al.* // *J. Appl. Phys.*, V. 109, 07D313 (2011).
2. I. Lee, Yu. Obukhov, G. Xiang *et al.* // *Nature*, V. 466, 845 (2010).