

Ферромагнитный резонанс доменной стенки в системе нанопроволока - наночастица

Р. В. Горев¹, В. Л. Миронов^{1,2*}

¹ Институт физики микроструктур РАН, ул. Академическая, 7, Нижний Новгород, 607680.

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

*mironov@ipmras.ru

Приводятся результаты микромагнитного моделирования вынужденных высокочастотных колебаний намагниченности в планарной ферромагнитной системе, состоящей из магнитостатически связанных нанопроволоки и наночастицы. Обсуждается возможность перестройки спектра данной системы за счет введения в нанопроволоку доменной стенки, стабилизированной магнитным полем наночастицы. Анализируются зависимости частоты и амплитуды резонансных колебаний доменной стенки от геометрических параметров системы.

Введение

В последнее время большое внимание уделяется изучению ферромагнитного резонанса (ФМР) доменных стенок (ДС) в тонкопленочных ферромагнитных структурах в связи с возможностью их использования в приборах СВЧ электроники на основе планарных волноводов. Модельными объектами для исследований в этой области являются ферромагнитные нанопроволоки (НП) с уединенными ДС, резонансные колебания в которых возбуждаются спин-поляризованным током или внешним магнитным полем. Характеристики резонанса ДС существенно зависят от геометрических параметров НП и от способа пиннинга ДС. В настоящей работе рассматриваются варианты пиннинга, основанные на магнитостатическом взаимодействии ДС с локальными магнитными полями рассеяния систем однодоменных наночастиц (НЧ), расположенных вблизи НП [1,2]. В этом случае можно изменить профиль потенциальной энергии ДС за счет изменения пространственного расположения и магнитного состояния систем НЧ и тем самым варьировать в достаточно широких пределах СВЧ свойства НП с ДС.

Результаты и обсуждение

В данной работе методами микромагнитного моделирования исследовался ФМР в планарной системе, состоящей из НП и НЧ, расположенной перпендикулярно оси НП. Латеральные размеры нанопроволоки и наночастицы составляли 1000×100 нм и 300×100 нм соответственно. Зазор между частицей и проволокой (d) был равен 60 нм. Поскольку тип доменной стенки существенно зависит от толщины нанопроволоки, расчеты проводи-

лись для двух толщин: 20 нм (поперечная доменная стенка) и 40 нм (вихревая доменная стенка). Моделирование проводилось на основе численного решения уравнения Ландау-Лифшица для намагниченности образца с использованием программного пакета OOMMF. Расчеты проводились для системы из пермаллоя ($\text{Ni}_{80}\text{Fe}_{20}$) со следующими параметрами: намагниченность насыщения $8 \cdot 10^5$ А/м, обменная константа $1.3 \cdot 10^{-11}$ Дж/м, параметр диссипации 0.01. Первоначально система приводилась в состояние равновесия, после чего к ней прикладывалось переменное магнитное поле, направленное вдоль нанопроволоки, и регистрировалась амплитуда установившихся колебаний. Частота возбуждающего СВЧ поля ν изменялась в диапазоне от 0 до 14 ГГц с шагом 0.1 ГГц. Для анализа спектров колебаний строились частотные зависимости средней по системе амплитуды колебаний переменной составляющей намагниченности:

$$|\vec{m}| = \sqrt{m_x^2 + m_y^2 + m_z^2}.$$

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

На рис. 1а представлен спектр вынужденных колебаний намагниченности для системы НП-НЧ (толщиной 20 нм) с поперечной ДС. Из анализа пространственных распределений следует, что пики 1, 2, 5, 9 определяются резонансами намагниченности в НП, в то время как пики 3, 4, 6, 7, 8 резонансами в НЧ. Резонанс на частоте 0.76 ГГц обусловлен локализованными колебаниями ДС. Пространственное распределение интенсивности данной моды колебаний приведено на вставке рис. 1а.

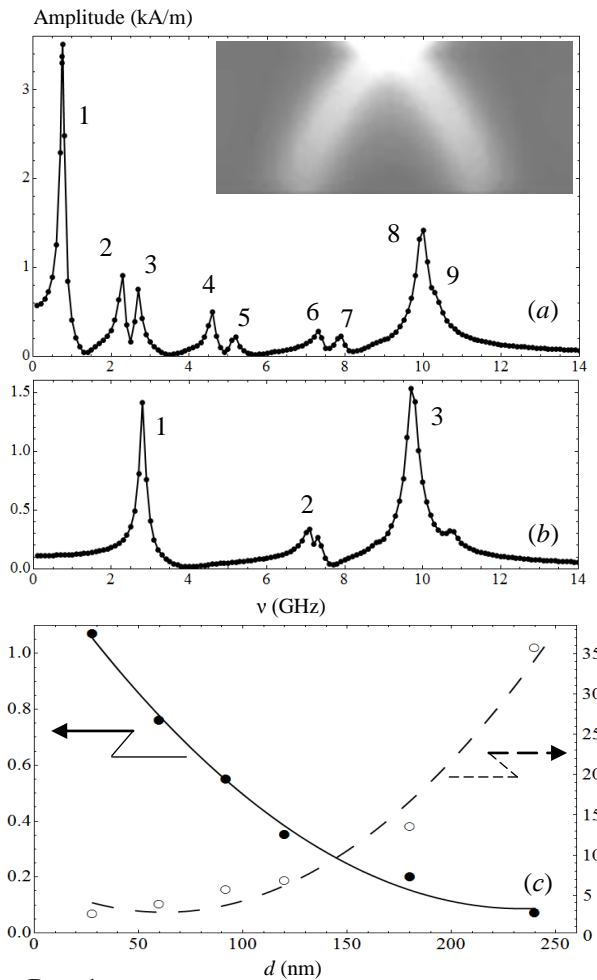


Рис. 1.

Максимум колебаний реализуется вблизи края НП. Спектр колебаний для той же системы, но без ДС показан на рис. 1*b*. Пики 1-3 в этом случае связаны только с резонансами в НЧ. Резонансы в НП при таком способе накачки не возбуждаются.

Интенсивность и положение резонанса поперечной ДС, могут варьироваться в довольно широких пределах посредством изменения величины зазора между НЧ и НП (рис. 1*c*). При расстояниях $d > 250$ nm поперечная ДС уже не удерживается полем НЧ и выходит из НП.

На рис. 2*a* приведен спектр колебаний системы НП-НЧ (толщиной 40 nm) с вихревой ДС. В этом случае пики 1, 3, 9 определяются резонансами намагниченности в НП, в то время как пики 2, 4, 7, 8 резонансами в НЧ. Основной резонанс ДС (пик 1) наблюдается на частоте 0.3 GHz. Значительный рост интенсивности этого резонансного пика связан, по-видимому, с увеличением объема области ДС. Пространственное распределение амплитуды резонанса для этого случая (см. вставку рис. 2*a*) показывает, что в данном колебании участвуют три области НП.

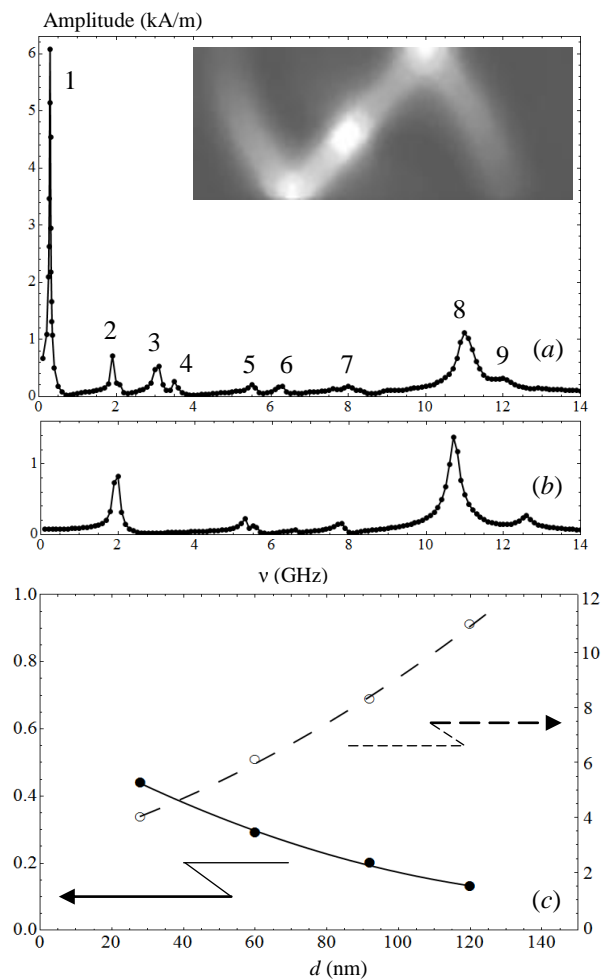


Рис. 2.

Одна область связана с центром (кором) вихря, а две другие обусловлены участками вблизи края НП с намагниченностью, напоминающей поперечные доменные стенки слева и справа от вихря. При намагничивании системы вдоль оси НП вихревая ДС выходит из НП и, соответственно, пропадает интенсивный пик, связанный с колебаниями ДС (см. рис. 2*b*). Интенсивность и положение резонансного пика вихревой ДС также могут варьироваться посредством изменения величины зазора между НЧ и НП (рис. 2*c*).

С практической точки зрения, структуры подобного типа могут применяться в качестве переключаемых элементов в устройствах СВЧ электроники на основе планарных волноводов.

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

Литература

1. V.L. Mironov, O. L. Ermolaeva, E. V. Skorohodov *et al.* // *Physical Review B*, V. 85, 144418 (2012).
2. V.L. Mironov, O. L. Ermolaeva, E. V. Skorohodov // *IEEE Trans. Magn.* V. 52, 1100607 (2016).