

слоя составляла 25 мкм.

Образец помещался внутрь катушки индуктивности, которая создавала переменное магнитное поле смещения.

Исследования показали, что на основе данной композитной структуры существует возможность создания анализатора спектра магнитных полей в диапазоне частот до 50 кГц с возможностью детектирования переменных магнитных полей в диапазоне от 0.05 Э до 5 Э.

Литература

1. J. F. Scott, "Applications of magnetoelectrics," *J. Mater. Chem.*, vol. 22, no. 11, pp. 4567–4574, 2012.
2. R. Jahns, H. Greve, E. Woltermann, E. Quandt, and R. Knochel, "Sensitivity enhancement of magnetoelectric sensors through frequency conversion," *Sens. Actuators A, Phys.*, vol. 183, pp. 16–21, Aug. 2012.

ПРОЦЕССЫ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ В РЕШЕТКЕ КОБАЛЬТОВЫХ АНТИТОЧЕК

Алехина Ю.А.^{1,4}, Tobias Schneider^{1,2}, Manuel Langer^{1,3}, Ewa Kowalska^{1,3}, Antje Oelschlägel^{1,3}, Семисалова А.С.^{1,4}, Andreas Neudert¹, Kilian Lenz¹, Kay Potzger¹, Костылев М.П.⁵, Jürgen Fassbender^{1,3}, Adekunle O. Adeyeye⁶, Jürgen Lindner¹, Rantej Bali¹

¹Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Institute of Ion Beam Physics and Materials Research, 01328 Dresden, Germany

²Technische Universität Chemnitz, Institute of Physics, 09107 Chemnitz, Germany

³Technische Universität Dresden, Department of Physics, 01069 Dresden, Germany

⁴МГУ им. Ломоносова М.В., физический факультет, Москва, Россия

⁵University of Western Australia, School of Physics, 6009 Crawley, Australia

⁶National University of Singapore, Department of Electrical and Computer Engineering, 117576 Singapore

E-mail: ya.alekhina@physics.msu.ru

Периодические магнитные наноструктуры привлекают исследовательский интерес благодаря возможности создания стабильного распределения намагниченности, недоступного в однородных тонких магнитных пленках. Магнитные свойства таких материалов (в частности, их доменная структура) определяются параметрами элементов наноструктур и их периодичностью. Система кобальтовых антиточек — отверстий в тонкой кобальтовой пленке — является ярким примером материалов этого типа. Упорядоченное расположение антиточек приводит к периодическому распределению намагниченности. Такие материалы могут быть крайне перспективны в области спинтроники и магноники, так как распространение магнонов (спиновых волн) сильно зависит от параметров решетки антиточек. Управляемое переключение между состояниями с различным распределением намагниченности может привести к регулируемому распространению спиновых волн в такой системе. Таким образом функциональность устройств на спиновых волнах может быть значительно увеличена. Кобальтовые антиточки позволяют обойти суперпарамагнитный предел и увеличить плотность магнитной записи, в то же время обладая высокой стабильностью. Более того, каждое стабильное состояние решетки антиточек может иметь определенное значение магнитосопротивления. Возможность управления свойствами материала путем изменения распределения намагниченности делает необходимым изучение процесса перемангничивания в системе кобальтовых антиточек.

Микромагнитное моделирование квадратной решетки кобальтовых антиточек диаметром 260 нм с периодом 415 нм в пленке толщиной 50 нм в пакете MuMax3 демон-

стрирует возможность получения распределения намагниченности без формирования доменных стенок (рис. 1).

Задачей данной работы было проведение исследования процесса перемангничивания решетки антидотов с помощью магнитного силового микроскопа (МСМ) и подтверждение результатов моделирования.

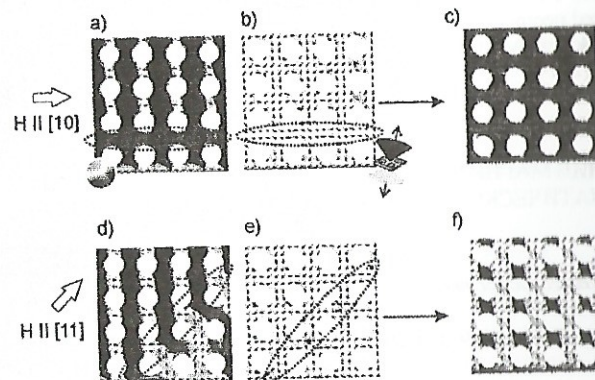


Рис. 1. Микромагнитное моделирование кобальтовых антиточек [1]. а) — с) — приложение поля в направлении [10]. д) — ф) — приложение поля в направлении [11]. а) и д) — распределение намагниченности в плоскости пленки, б) и е) — распределение намагниченности, перпендикулярной плоскости пленки, с) и ф) — перемангниченное состояние. Пунктирной линией выделена область перемангничивания.

С помощью МСМ были получены изображения системы кобальтовых антиточек (рис. 2). Микроскоп был оборудован электромагнитом, позволяющим прикладывать магнитное поле к образцу в процессе получения изображений. Для наблюдения процесса перемангничивания к образцу прикладывалось максимальное поле, после чего поле выключалось, и система принимала одно из состояний остаточной намагниченности. Затем поле прикладывалось в обратном направлении и плавно изменялось в диапазоне от 30 мТ, что соответствовало началу процесса перемангничивания системы антиточек, до 60 мТ, в которых система оказывалась полностью перемангниченной.

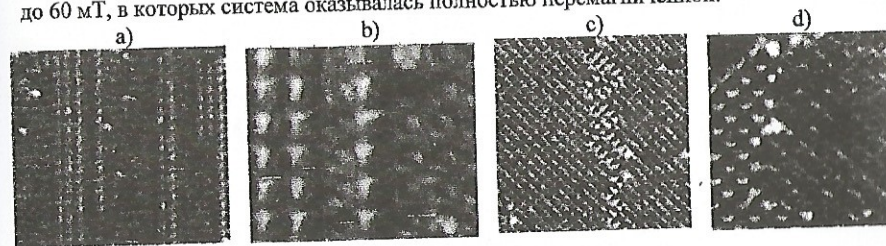


Рис. 2. а) и б) — процесс перемангничивания в системе кобальтовых антиточек при приложении поля в направлении [01], с) и д) — процесс перемангничивания в системе кобальтовых антиточек при приложении поля в направлении [11].

При каждом промежуточном значении магнитного поля было получено изображение системы. Таким образом были обнаружены области перемангничивания в поле порядка 40 мТ. При приложении поля в направлении [10] область перемангничивания распространяется вдоль решетки. При приложении поля в направлении [11] зарождаются вытянутые области с границей, параллельной магнитному полю и проходящей по диагонали решетки антиточек. На границе распространения этой области наблюдаются

участки наибольшего контраста изображения МСМ, соответствующие местам выхода намагниченности из плоскости пленки.

Полученные результаты полностью соответствуют распределению намагниченности при перемагничивании, полученному при моделировании.

Литература

1. Schneider, T., M. Langer, J. Alekhina et al. Programmability of Co-antidot lattices of optimized geometry. Sci. Rep. 7, 41157 (2017).
2. Vansteenkiste, A. et al. The design and verification of MuMax3. AIP Advances 4, 107133 (2014).

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ПЕРИОД КОЛЕБАНИЙ МОДЕЛИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МАЯТНИКА С НАМАГНИЧЕННЫМ ШАРИКОМ

Хорохорина В. А. Смирнов М. Д.

Ковровская государственная технологическая академия им. В.А. Дегтярева,
Ковров, Россия

E-mail: 9157550326@mail.ru logmax0@yandex.ru

Была проведена исследовательская работа, с целью оценить влияние магнитного поля на период колебаний модели математического маятника с намагниченным шариком. Было выбрано два направления плоскости качания модели математического маятника: перпендикулярно горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли и параллельно ему. Прибором для изучения влияния магнитного поля на период колебаний модели математического маятника служила лабораторная установка, используемая в лабораторном практикуме по механике по определению периода колебаний модели математического маятника.

Было проведено 300 измерений периода колебаний модели математического маятника с использованием постоянного магнита в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Затем результаты были обработаны по составленной программе и по данным были построены гистограммы. Полученные распределения сравнивались с нормальным распределением Гаусса с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

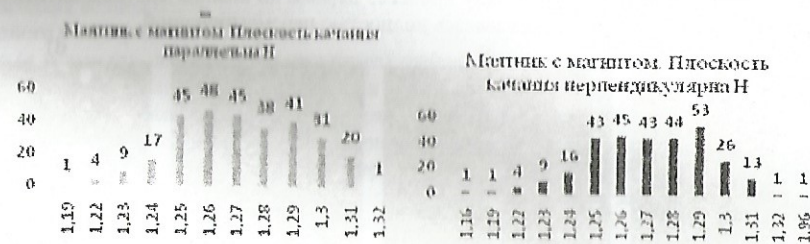


Рис. 1.

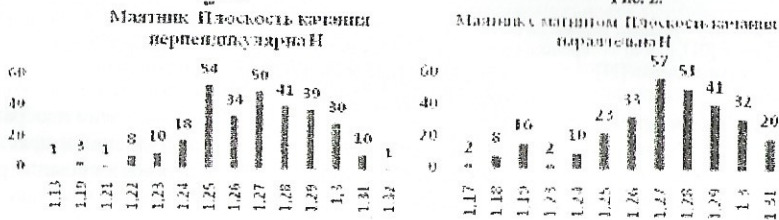


Рис. 3.

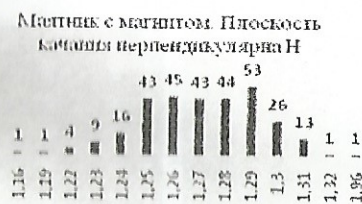


Рис. 2.

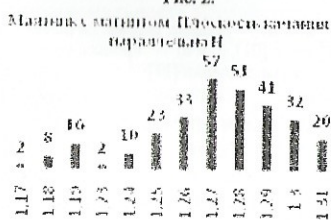


Рис. 4.

Полученные распределения сравнивались с нормальным распределением Гаусса с помощью критерия Колмогорова-Смирнова.

Вследствие критерия Колмогорова-Смирнова полученные гистограммы соответствуют нормальному распределению Гаусса. Магнитное поле не влияет на распределение периода колебаний математического маятника из-за того, что сила очень мала.

Литература

- Барабанов О.О. Статистическое оценивание и проверка гипотез [Текст] : Учеб.-метод. пособие. - Ковров : КГТА, 2007. - 28 с.

ФЕРРОМАГНИТНЫЙ РЕЗОНАНС В МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУРАХ CoFeB

Павлова О.С.

ОГУ физический факультет, Оренбург, Россия

E-mail: 89228804908@yandex.ru

Многослойные тонкопленочные структуры $(\text{CoFeB-SiO}_2-\text{CoFeB})_n$ с чередующимися слоями ферромагнетика и диэлектрика считаются перспективным объектом для различных устройств микроэлектроники [1,2]. Скорость «переключения» вектора намагниченности $\vec{M}$ и его поворота в процессах ферромагнитного резонанса (ФМР) определяется одним и тем же факторами. Методом ФМР исследованы многослойные образцы, полученные методом ионно-лучевого распыления [3]. Получены спектры ФМР многослойных образцов $(\text{CoFeB-SiO}_2-\text{CoFeB})_n$ и их угловые зависимости при комнатной температуре. В докладе приводится анализ полученных результатов.

Литература

1. F.F. Yang, S.S. Yan, M.X. Yu, Y.Y. Dai, S.S. Kang, Y.X. Chen, S.B. Pan, J.I. Zhang, H.L. Bai, T.S. Xu, D.P. Zhu, S.Z. Qiao, G.L. Liu, L.M. Mei, J. Appl. Phys. 111, 113909(2012).
2. Magnetic Properties and spin Dynamics of CoFeB-SiO₂ Multilayer Granular Heterostructures, E.N. Kablov, O.G. Osenikova, V.P. Korolev, Yu.E. Kalinin, A.V. Sitnikov, E.I. Kunitsyna, A.D. Talantsev, V.L. Berdinskii, R.B. Morgunov, ISSN 1063-7834, Physics of the Solid State, 2016, Vol.58, No.6, pp. 1121-1127.
3. O.V. Dunets, Yu. E. Kalinin, M.A. Kashirin, A.V. Sitnikov, Tech. Phys58(9),1352(2013).

НОВЫЙ ТИП МИКРОМАГНИТНОГО УПОРЯДОЧИВАНИЯ МАГНИТА NdFeB

Гинзбург Б.А.

МГУ им. М.В.Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия

E-mail: ba.ginzburg@physics.msu.ru

В данной работе представлены результаты исследования поверхности микромагнитной структуры на поверхности постоянного магнита NdFeB. Для исследования данной структуры применялся метод магнитно-силовой микроскопии. Обнаружено новое магнитное упорядочивание, представляющее собой смешанную магнитную структуру, состоящую из областей с полосовой доменной структурой и однородно намагниченных областей. Получены снимки данной структуры, особая ценность которых заключается в их высоком разрешении относительно аналогичных исследований, например [1-2], а так же в уникальности исследуемого образца. Один из этих снимков приведен на рис. 1.