

Изменение ширины доменов в феррит-гранатовых пленках под влиянием обратимой адсорбции

В. Е. Зубов¹⁾, А. Д. Кудakov, Н. Л. Левшин, М. Ю. Гусев, Н. С. Неустроев

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, 119992 Москва, Россия

Поступила в редакцию 5 мая 2011 г.

Магнитооптическим методом с использованием эффекта Фарадея в висмутсодержащих феррит-гранатовых пленках с перпендикулярной анизотропией установлено, что при адсорбции молекул метилового спирта ширина магнитных доменов лабиринтной доменной структуры существенно изменяется. Максимальное изменение ширины доменов наблюдалось в насыщенных парах метилового спирта и составило 50%. Наблюдающийся эффект обратим. Уменьшение ширины доменов при адсорбции объяснено уменьшением эффективной константы перпендикулярной магнитной анизотропии пленки, которое обусловлено адсорбцией молекул метилового спирта.

Химическая адсорбция может существенно изменять магнитные свойства поверхности ферромагнетиков. Физическая или ван-дер-ваальсова адсорбция на их свойства практически не влияет. Выделяют также промежуточный по величине энергии связи тип адсорбции – водородные связи. По механизму образования водородных связей адсорбируются молекулы воды, аммиака, спиртов и др. Этот тип адсорбции часто обратим при комнатной температуре. Большинство известных из литературы исследований посвящено влиянию необратимой химической адсорбции на магнитные материалы. Ранее нами было обнаружено влияние слабой адсорбции молекул воды и метилового спирта, обратимой при комнатной температуре, на динамику доменных границ (ДГ) на поверхности ферромагнитных металлов (в вискерах железа и лентах аморфного ферромагнетика на основе железа) [1, 2]. Наблюдалось также влияние указанной адсорбции на начальную магнитную восприимчивость этих образцов, обусловленную смещением ДГ [3, 4]. Исследования проводились на реальной поверхности, которая формируется в результате пребывания образцов на воздухе. Все активные центры на реальной поверхности заняты хемосорбированными молекулами, поэтому новые химические связи с молекулами, содержащимися в воздухе, не образуются. Однако возможна адсорбция молекул по механизму образования водородных связей. В плане дальнейшего изучения механизмов указанных эффектов представляет интерес исследование влияния обратимой адсорбции на магнитные свойства ферродиелектриков. Этот интерес обусловлен тем, что в магнитных диэлектриках значительно меньше концентрация магнитных атомов по сравнению с ферро-

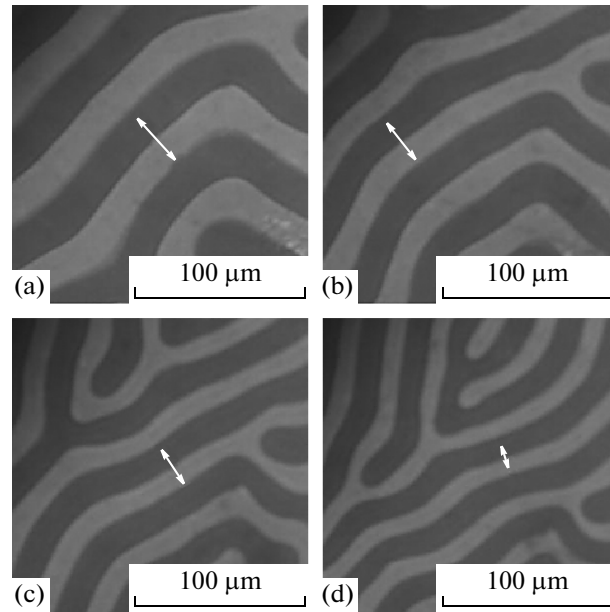
магнитными металлами. Кроме того, ферродиелектрики обладают, как правило, более сложной магнитной структурой, чем ферромагнитные металлы. Исследования по влиянию обратимой адсорбции на магнитные свойства ферродиелектриков до настоящего времени не проводились. В представленной работе впервые наблюдались обратимое изменение ширины доменов и перестройка лабиринтной доменной структуры под влиянием адсорбции молекул метилового спирта.

Проведены исследования влияния обратимой адсорбции молекул метилового спирта на доменную структуру тонких пленок висмутсодержащих ферритов-гранатов состава $(\text{Bi,Lu})_3(\text{Fe,Ga})_5\text{O}_{12}$ с перпендикулярной магнитной анизотропией, выращенных на подложке из гадолиний-галлиевого граната с кристаллографической ориентацией (111) методом кристаллизации из раствора в расплаве. Толщина пленок 4.5 мкм, индукция насыщения $B_s = 4\pi I_s = 30$ Гс, ширина доменов лабиринтной доменной структуры ≈ 20 мкм. Небольшая величина B_s обусловлена тем, что железные подрешетки пленок разбавлены ионами Ga, содержание которого составляет 1.2 на формульную единицу. Исследования проводились при комнатной температуре магнитооптическим методом с использованием магнитооптического микромагнетометра [5]. Исследуемые образцы помещались в оптическую вакуумную ячейку, соединенную с системой откачки и напуска различных газов. Наблюдение доменной структуры производилось с использованием эффекта Фарадея. Падающий из объектива линейно поляризованный свет проходил через феррит-гранатовую пленку, отражался от ее второй грани и возвращался в объектив. Благодаря эффекту Фарадея в доменах происходит поворот плоскости поляризации света,

¹⁾ e-mail: zve@sumail.ru

причем направление поворота зависит от знака намагниченности в доменах. Помещение анализатора на пути отраженного света позволяло наблюдать доменную структуру, которая регистрировалась цифровой камерой DCM-500. Сигнал с камеры поступал на компьютер, на экране которого можно было наблюдать изучаемую доменную структуру. Также можно было записывать полученные результаты в память компьютера. Переменное магнитное поле, перпендикулярное к поверхности пленки, могло создаваться с помощью катушки с переменным током. При некотором значении амплитуды магнитного поля доменные границы начинают колебаться, а при дальнейшем росте поля амплитуда колебаний доменных границ растет. Минимальное поле, при котором начинаются колебания границ, соответствует коэрцитивной силе доменных границ (H_c) в образце. В исследуемых образцах величина H_c составила 0.2 Э.

Проведены исследования доменной структуры в вакууме при давлении остаточных паров ~ 1 Па, а затем при напуске паров метилового спирта при различных давлениях от нуля до p_s , где p_s – давление насыщенных паров. При комнатной температуре $p_s \approx 13$ кПа. Наблюдалось уменьшение ширины доменов при напуске паров метилового спирта в ячейку с образцом. Для того чтобы устранить влияние закрепления доменных границ на дефектах в процессе их смещения, к образцу прикладывалось перпендикулярное переменное магнитное поле $H = 0.5$ Э, превышающее величину коэрцитивной силы. При наличии указанного поля перестройка доменной структуры происходит плавно, без скачков. С ростом давления напускаемых паров в ячейке с образцом ширина доменов уменьшалась. Максимальное уменьшение ширины доменов при давлении паров метилового спирта, равном p_s , составило 50%. Время установления новой равновесной доменной структуры после напуска паров метилового спирта составляет ~ 8 ч. На фотографиях в качестве примера показана доменная структура фрагмента образца в вакууме и через различные промежутки времени после напуска метилового спирта в ячейку с образцом при давлении $p = p_s$. Адсорбированные молекулы метилового спирта взаимодействуют с приповерхностными слоями феррит-гранатовой пленки. Однако из фотографий видно, что в результате адсорбции доменная структура изменяется не только в приповерхностной области, но и по всему объему образца, так как эффект Фарадея несет информацию об объемной намагниченности. Видно также, что через 8 ч после напуска паров метилового спирта ширина доменов умень-



Доменная структура фрагмента образца: а – в вакууме; б – через 1 ч после напуска метилового спирта в ячейку с образцом при давлении $p = p_s$; в – через 3 ч; д – через 8 ч. Стрелками показаны участки на изображении образца, на которых измерялась ширина доменов

шилась примерно в два раза. Наблюдаемый эффект полностью обратим: последующая откачка паров метилового спирта приводит к восстановлению исходной доменной структуры и ширины доменов.

Ширина доменов в феррит-гранатовых пленках с перпендикулярной анизотропией определяется конкуренцией энергии 180-градусных доменных границ и энергии магнитного поля рассеяния на поверхности пленки, возникающего из-за скачка нормальной составляющей намагниченности при выходе намагниченности в доменах на поверхность пленки. С уменьшением плотности энергии ДГ на единицу площади границы ширина доменов в пленке уменьшается, так как энергетически выгодно увеличение общей протяженности границ в образце. Оценить d можно с помощью соотношения $d \sim \sqrt{\frac{\sigma h}{1.75 I_s^2}}$, где $\sigma = 4\sqrt{AK}$ – энергия, приходящаяся на единицу площади границы, A – обменный параметр пленки, K – константа одноосной перпендикулярной магнитной анизотропии [6]. Перпендикулярная магнитная анизотропия индуцируется, во-первых, механическими напряжениями в пленке, возникающими из-за различия размеров элементарных ячеек феррит-гранатовой пленки и подложки из гадолиний-галлиевого граната, на которой выращивается пленка. Другой механизм появления перпендикулярной анизотропии – ростовая анизотропия, определяемая

составом феррит-гранатовой пленки [7]. При уменьшении K плотность энергии доменных границ σ и ширина доменов также уменьшаются. Используя приведенные формулу и параметры пленки и полагая $A = 1.4 \cdot 10^{-7}$ эрг/см, получим значение константы одноосной анизотропии $K \sim 1.7 \cdot 10^3$ эрг/см³. Значение параметра A приведено с учетом разбавления железных подрешеток феррита-граната галлием (подробнее см. [7]). Уменьшение ширины доменов в пленке естественно объяснить уменьшением эффективной константы перпендикулярной магнитной анизотропии, которое обусловлено адсорбцией молекул метилового спирта. Знак константы одноосной магнитной анизотропии, индуцируемой адсорбцией, должен быть противоположен знаку константы магнитной анизотропии пленки в исходном состоянии. Эффект появления перпендикулярной магнитной анизотропии благодаря слабой адсорбции молекул воды и метилового спирта наблюдался нами в аморфном ферромагнетике [8].

Энергия перпендикулярной магнитной анизотропии (K_h), приходящаяся на единицу площади пленки, составляет ~ 0.8 эрг/см². Влияние адсорбции молекул метилового спирта на свойства магнетика аналогично нарушению трансляционной симметрии на его поверхности. Поэтому адсорбция молекул метилового спирта может приводить к появлению поверхностной магнитной анизотропии, совпадающей по порядку величины с неелевской поверхностной магнитной анизотропией, энергия которой может достигать 1 эрг/см² [9]. Следовательно, изменение ширины доменов в пленке может быть объяснено уменьшением эффективной константы перпендикулярной маг-

нитной анизотропии, обусловленным адсорбцией молекул метилового спирта. Уменьшение эффективной константы перпендикулярной магнитной анизотропии пленки приводит к уменьшению σ . В результате становится выгодным увеличение общей протяженности доменных границ и уменьшение ширины доменов.

Таким образом, впервые показано, что обратимая адсорбция, протекающая по механизму образования водородных связей, приводит к перестройке доменной структуры и изменению ширины магнитных доменов в ферромагнитном диэлектрике.

1. V. E. Zubov, A. D. Kudakov, N. L. Levshin, and V. V. Pilipenko, *J. Magn. Magn. Mat.* **140–144**, 1895 (1995).
2. V. E. Zubov, A. D. Kudakov, N. L. Levshin, and T. S. Fedulova, *Surface Science* **482–485**, 330 (2001).
3. V. E. Zubov, A. D. Kudakov, N. L. Levshin, and T. S. Fedulova, *Sensors and Actuators A* **91**, 214 (2001).
4. В. Е. Зубов, А. Д. Кудакков, Н. Л. Левшин, Т. С. Федуллова, *Поверхность. Физика, химия, механика* **10**, 47 (2005).
5. В. Е. Зубов, Г. С. Кринчик, А. Д. Кудакков, *ПТЭ* **3**, 206 (1988).
6. Г. С. Кринчик, *Физика магнитных явлений*, М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1985.
7. А. Эшенфельдер, *Физика и техника цилиндрических магнитных доменов* (Пер. с англ.), М.: Мир, 1983 (A. H. Eschenfelder, *Magnetic Bubble Technology*, Springer-Verlag, Berlin, 1981).
8. В. Е. Зубов, Н. Л. Левшин, *Письма в ЖЭТФ* **90**, 292 (2009).
9. L. Neel, *J. Phys. Rad.* **5**, 225 (1954).