

ВЛИЯНИЕ СЛАБОСОРБИРОВАННЫХ МОЛЕКУЛ ВОДЫ НА ДИНАМИКУ ДОМЕННОЙ ГРАНИЦЫ В АМОРФНОМ ФЕРРОМАГНЕТИКЕ

В.Е.Зубов, А.Д.Кудаков¹⁾, Н.Л.Левшин, Т.С.Федулова

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова
119899 Москва, Россия

Поступила в редакцию 20 июня 2000 г.

После переработки 17 июля 2000 г.

Обнаружено влияние слабосорбированных молекул воды на динамику приповерхностной области 180-градусной доменной границы в аморфном ферромагнетике состава FeCuNbSiB. В диапазоне давлений паров воды 400–1300 Па наблюдается повышенное торможение колеблющейся доменной границы в приповерхностной области и уменьшение ее релаксационной частоты с 10 до 4 кГц. Эффект объяснен влиянием магнитных поверхностных дефектов, возникающих в результате давления кластеров слабосорбированных молекул воды на стенки микропор, расположенных на поверхности магнетика.

PACS: 75.60.Ch

Взаимосвязь между адсорбционно-десорбционными процессами и магнитными свойствами ферромагнетиков неоднократно отмечалась в литературе [1, 2]. В работе [2] при исследовании колебаний 180-градусной доменной границы (ДГ) в нитевидных монокристаллах железа (вискерах), отличающихся совершенной кристаллической структурой в объеме и на поверхности, установлено, что частота релаксации ДГ в приповерхностной области повышается более чем на порядок при снижении давления воздуха в ячейке с образцом от атмосферного ($p = 100$ кПа) до давления $p = 1$ кПа. Эффект объяснен взаимодействием ДГ с магнитными дефектами, создаваемыми при адсорбции молекул, входящих в состав воздуха, в частности, молекул воды. При указанных выше давлениях и относительной влажности воздуха, равной 70%, парциальное давление паров воды при комнатной температуре равно 1500 Па и 15 Па, соответственно. Плотность дефектов кристаллической решетки на поверхности железных вискероов столь низка, что их влиянием на движение ДГ можно пренебречь (подробнее см. работы [3, 4]).

Возможность наблюдения столь тонкого эффекта, как влияние обратимой адсорбции при комнатной температуре на подвижность ДГ, объясняется очень низкой коэрцитивной силой ДГ в железных вискерах, составляющей $\sim 0,1$ А/м [4]. К таким значениям коэрцитивная сила приближается и в лучших образцах магнитомягких аморфных магнетиков. Вместе с тем, аморфные магнетики имеют развитую поверхность, характеризующуюся как макро-, так и микродефектами, то есть с точки зрения качества поверхности аморфные образцы представляют собой полную противоположность вискерам.

В настоящей работе исследовано влияние адсорбции молекул воды, кислорода, азота и аргона при комнатной температуре на подвижность 180-градусной ДГ в лентах аморфного ферромагнетика. Образцы аморфных ферромагнитных лент состава Fe_{76.5}Cu₁Nb₃Si_{13.5}B₆ получены методом спиннингования. Перед аморфизацией

¹⁾ e-mail: kudakov@adk.phys.msu.su

расплав проходил специальную термовременную обработку с целью получения однородного, равновесного распределения легирующих элементов и, вследствие этого, улучшения магнитомягких свойств сплава [5]. Толщина образцов составляла 25–30 мкм, ширина – 0,55 мм и длина 15–20 мм. В дальнейшем используется система координат, оси x и y которой направлены вдоль средней и длинной сторон образца, а ось z – вдоль короткой стороны. В центре образцов в плоскости yz располагалась 180-градусная ДГ, которая делила его на два домена с противоположными направлениями намагниченности, коллинеарными оси y . Эффективная ширина ДГ на поверхности и коэрцитивная сила ДГ, измеренные магнитооптическим методом, имели значения 7 мкм и 1 А/м, соответственно.

Свойства ДГ на поверхности аморфной ленты изучены с помощью магнитооптического микромагнетометра, описанного в работе [6]. Измерялся экваториальный эффект Керра, обусловленный изменением намагниченности освещенного участка образца при движении ДГ в магнитном поле. Щель фотоэлектронного умножителя сканировала вдоль оси x перпендикулярно ДГ. Перемагничивание образца осуществлялось за счет перемещения ДГ во внешнем магнитном поле амплитудой 80 А/м и частотой от 20 Гц до 15 кГц, направленном вдоль оси y . Микромагнетометр был дополнен вакуумной ячейкой, в которую помещался образец, и системой контролируемого напуска различных газов. Давление адсорбатов (p) в ячейке могло изменяться от атмосферного до 10^{-3} Па. Адсорбция молекул из газовой фазы в наших экспериментах осуществлялась на реальной поверхности образцов, которая формируется после длительного пребывания ленты аморфного ферромагнетика на воздухе. Перед напуском паров адсорбата образец вакуумировался. В этих условиях на поверхности образца присутствует тонкая пленка оксида, покрытая гидроксильными группами и молекулами воды, адсорбированными на поверхности по механизму образования координационных связей [7].

Изучались частотные зависимости амплитуды колебаний ДГ (Δ) в атмосфере различных газов. В качестве адсорбатов были выбраны молекулы воды, кислорода и азота, входящие в состав воздуха, а также молекулы инертного газа аргона. Зависимость $\Delta(f)$ характеризовалась частотой релаксации f_r , которая определялась при величине $\Delta(f = f_r) = 0.7\Delta_0$, где Δ_0 – значение Δ при $f \rightarrow 0$. На рис.1 приведены зависимости амплитуды колебаний ДГ от частоты внешнего магнитного поля

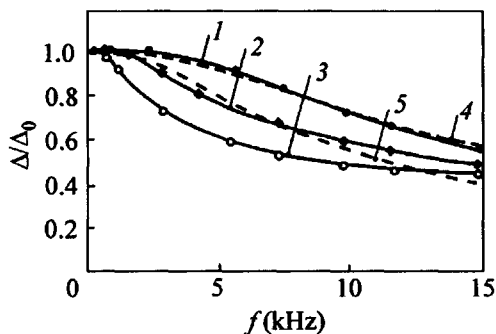


Рис.1. Экспериментальные зависимости амплитуды колебаний ДГ от частоты внешнего магнитного поля при адсорбции молекул воды. Давление паров воды: кривая 1 – $p = 1 - 400$ Па, 2 – $p = 1000$ Па, 3 – $p = 1900$ Па. Кривые 4 и 5 – теоретические зависимости $\Delta(f)$, полученные с помощью формулы (2) для $f_r = 10$ и 6,5 кГц, соответственно

в условиях адсорбции молекул воды. Кривая 1 соответствует давлениям от 1 до 400 Па и имеет частоту релаксации $f_r = 10$ кГц. После увеличения давления паров воды частота релаксации существенно уменьшилась (кривые 2 и 3). Обнаруженный

эффект был полностью обратим – вакуумирование образца приводило к восстановлению первоначальной зависимости $\Delta(f)$. Существенное изменение частоты релаксации наблюдалось в интервале давлений паров воды $400 \text{ Па} < p < 1300 \text{ Па}$ (см.рис.2). Напуск в вакуумную ячейку кислорода, азота и аргона до давлений, близких к атмосферному, не изменял исходную зависимость $\Delta(f)$.

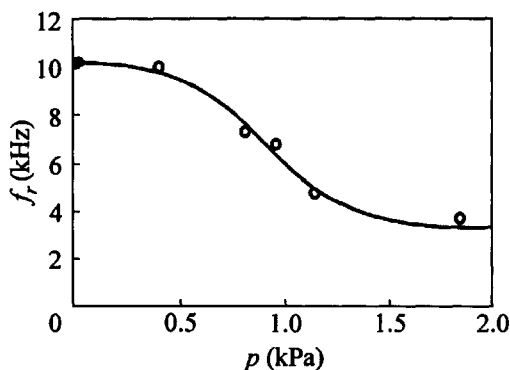


Рис.2. Зависимость релаксационной частоты колебаний ДГ от давлений паров воды в ячейке с образцом

Релаксационная частота ДГ характеризует величину силы эффективного трения, действующую на движущуюся ДГ. Действительно, в рассматриваемом случае движение ДГ в переменном магнитном поле $H = H_0 \cos 2\pi ft$ можно описать с помощью уравнения гармонического осциллятора, в котором слагаемое, содержащее эффективную массу ДГ, пренебрежимо мало:

$$b\dot{x} + kx = 2I_s H; \quad (1)$$

здесь b – постоянная вязкого трения, k – постоянная эффективной возвращающей силы, обусловленной полем размагничивания образца, I_s – намагниченность насыщения образца, $x(t) = \Delta \cos(2\pi ft - \varphi)$ – смещение ДГ из положения равновесия, φ – разность фаз между внешним полем и колебаниями ДГ. Для амплитуды колебаний ДГ можно получить выражение

$$\frac{\Delta}{\Delta_0} = \left[1 + \left(\frac{f}{f_r} \right)^2 \right]^{-1/2}, \quad (2)$$

$$\Delta_0 = \Delta(f = 0) = 2I_s H_0 / k, \quad f_r = k / 2\pi b.$$

Полученные экспериментальные кривые, представленные на рис.1, качественно согласуются с теоретическими кривыми, полученными с помощью формулы (2) (см. кривые 4 и 5 на рис.1). В частности, при низких частотах теоретические и экспериментальные кривые имеют горизонтальный участок, длина которого уменьшается с увеличением давления паров воды и, соответственно, с уменьшением релаксационной частоты. Это свидетельствует о том, что обнаруженное снижение частоты релаксации связано с увеличением постоянной вязкого трения в уравнении (1).

Образцы не подвергались термовакуумной обработке перед исследованием, поэтому их поверхность покрывали хемосорбированные атомы кислорода, гидроксильные группы и координационно-сорбированные молекулы воды, и они остаются связанными с поверхностью при вакуумировании образца. Наблюдаемые в настоящей работе

обратимые процессы адсорбции и десорбции соответствуют образованию и разрушению слабых водородных связей между молекулами воды и гидратным покрытием реальной поверхности образца. При высокой степени заполнения поверхности адсорбированные молекулы H_2O образуют кластеры толщиной до 3 слоев молекул, закрепленные на координационно-сорбированных молекулах воды [7].

Максимальное изменение частоты релаксации f_r наблюдалось в интервале давлений 0.4–1.3 кПа, при которых согласно изотермам адсорбции воды, полученным на различных оксидах, наблюдается перекрытие соседних кластеров молекул воды, адсорбированных на поверхности путем образования водородных связей [7]. При давлениях $p \sim 1.3$ кПа происходит полное слияние кластеров и образование полимолекулярного покрытия поверхности молекулами H_2O . Поскольку образцы аморфных ферромагнетиков обладают развитой поверхностью, характеризующейся, в частности, микропорами, то механизм влияния адсорбции молекул воды на динамику ДГ в изученных образцах можно представить следующим образом. При давлении паров воды в диапазоне $0.4 \text{ кПа} < p < 1.3 \text{ кПа}$ происходит заполнение микропор адсорбированными молекулами воды. В результате этого возникает давление со стороны адсорбированных молекул на стенки микропор. Отметим, что давление на стенки микропор в предлагаемой модели возникает не как следствие повышения давления паров воды в ячейке с образцом, а в результате заполнения микропор адсорбированными молекулами воды. Возникающие микронапряжения, благодаря магнитоупругому взаимодействию, являются источниками магнитных микродефектов. Предложенная модель образования магнитных поверхностных микродефектов представлена на рис.3. Усилению поверхностных магнитных микродефектов способствует

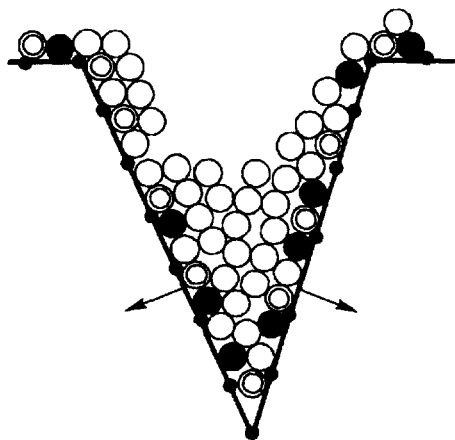


Рис. 3. Модель образования магнитного микродефекта на шероховатой поверхности аморфной магнитной ленты, вызванного давлением адсорбированных молекул воды на стенки микропоры, при высокой концентрации адсорбированных молекул: ● – атомы железа; ● – ОН-группы; ⊙ – координационно-сорбированные молекулы воды; ○ – Молекулы воды, адсорбированные по механизму водородных связей

повышенная поверхностная магнитоупругая энергия, возникающая из-за пониженной симметрии окружения поверхностных атомов по сравнению с атомами в объеме магнетика. Характерные размеры микропор, участвующих в создании магнитных микродефектов, определяются слиянием кластеров воды, адсорбированных на стенках микропор, то есть составляют порядка 6 слоев молекул воды. Поскольку эффективная ширина исследованных ДГ на несколько порядков превосходит характерные размеры указанных микродефектов, то торможение ДГ при ее движении обусловлено флуктуациями плотности микродефектов. Адсорбция молекул O_2 , N_2 и Ar при комнатной температуре на реальной поверхности магнетика, все активные центры

которой уже заняты хемосорбированными молекулами, происходит только по механизму образования слабых ван-дер-ваальсовых связей. При этом имеет место адсорбция небольшого количества молекул (менее одного монослойного покрытия [7]), которые не создают существенных деформаций поверхности. Поэтому описанный выше механизм образования магнитных дефектов в микропорах не реализуется.

В заключение отметим, что наблюдение эффекта торможения приповерхностной области ДГ в образцах аморфных ферромагнетиков под влиянием слабосорбированных молекул воды является неожиданным, поскольку аморфные ферромагнетики обладают развитой поверхностью, характеризуемой дефектами с широким диапазоном их размеров, и на фоне этих дефектов проявляются дефекты адсорбционного происхождения. Так как сильное влияние дефектов поверхности на движение ДГ хорошо известно, то тем более неожиданно то, что коэффициент эффективного вязкого трения ДГ может увеличиваться под действием обратимой адсорбции молекул воды в несколько раз.

Приносим благодарность В.С.Цепелеву за предоставленные образцы аморфных магнетиков. Работа выполнена при поддержке гранта Минобразования РФ (Санкт-Петербургский конкурсный центр) и гранта Российского фонда фундаментальных исследований (# 99-0216595).

-
1. V.F.Kiselev and O.V.Krylov, *Adsorption and catalysis on transition metals and their oxides*, Berlin: Springer-Verlag, 1987.
 2. V.E. Zubov, A.D.Kudakov, N.L.Levshin, and V.V.Pilipenko, *J. Magn. Magn. Mater.* **140-144**, 1895 (1995).
 3. В.Heinrich, К.В.Urguhart, S.T.Dutcher et.al., *J. Appl. Phys.* **63**, 3863 (1988).
 4. В.Е.Зубов, Г.С.Кринчик, С.Н.Кузьменко, *ЖЭТФ* **99**, 552 (1991).
 5. Ю.Н.Стародубцев, Л.Д.Сон, В.С.Цепелев и др., *Расплавы* **4**, 76 (1992).
 6. В.Е.Зубов, Г.С.Кринчик, А.Д.Кудаков, *ПТЭ* №3, 206 (1988).
 7. V.F.Kiselev and O.V.Krylov, *Adsorption processes on semiconductor and dielectric surfaces*, Springer Ser. In Chemical Phys, **32**, Berlin: Springer-Verlag, 1985.