

05;11;12

## Влияние обратимой адсорбции метилового спирта на процесс перемангничивания ферромагнетика

© В.Е. Зубов, А.Д. Кудakov, Н.Л. Левшин, Т.С. Федулова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
119992 Москва, Россия  
e-mail: kudakov@magn.ru.

(Поступило в Редакцию 28 апреля 2004 г.)

Магнитооптическим методом установлено, что динамика 180-градусной доменной границы на поверхности магнитомягкого аморфного ферромагнетика изменяется в атмосфере метилового спирта. В присутствии адсорбированных молекул метилового спирта наблюдалось обратимое уменьшение частоты релаксации доменной границы на поверхности образца. Обнаруженный эффект объяснен появлением магнитных дефектов, образующихся при адсорбции молекул метилового спирта на поверхности ферромагнетика, протекающей по механизму водородных связей. С учетом полученных ранее данных о влиянии обратимой адсорбции молекул воды на динамику доменных границ в ферромагнетиках сделан общий вывод о том, что влияние обратимой адсорбции в ферромагнитных металлах, протекающей по механизму образования водородных связей, существенно изменяет динамику доменных границ в магнитомягких ферромагнетиках.

### Введение

Ранее нами было установлено, что обратимая адсорбция молекул воды при комнатной температуре на поверхности магнитомягкого аморфного ферромагнетика приводит к увеличению эффективного коэффициента торможения доменной границы в приповерхностной области [1]. В результате действия адсорбции молекул воды амплитуда колебаний доменной границы на поверхности резко уменьшается при увеличении частоты перемангничивания до значений свыше 10 kHz, в то время как амплитуда колебаний границы в объеме остается при этом практически неизменной. Это совершенно неожиданный эффект, поскольку, согласно теории, развитой в работах ряда авторов (см., например, [2]), влияние вихревых токов в ферромагнитных металлах должно приводить к обратному эффекту. Поскольку плотность вихревых токов обусловленных движением доменной границы вблизи поверхности ниже, чем в объеме образца, то тормозящее действие вихревых токов на границу в объеме выше, чем на поверхности. Неожиданность эффекта состоит в том, что слабая обратимая при комнатной температуре адсорбция молекул воды, влияние которой охватывает небольшое число приповерхностных слоев ферромагнетика, оказывает более сильное воздействие на динамику доменной границы, чем вихревые токи, проникающие в образец на несравнимо большую глубину. Известно, что адсорбция молекул воды на реальной поверхности образца протекает по механизму образования водородных связей [3], которые по величине энергии связи занимают промежуточное положение между физической и химической адсорбцией. Убедительным доказательством столь сильного влияния адсорбции, протекающей по механизму образования водородных связей, на динамику доменных границ стало бы наблюдение аналогичного эффекта, вызванного ад-

сорбцией других молекул, адсорбирующихся по такому же механизму. Известно, что к таким молекулам относятся молекулы спиртов [4]. Поэтому в настоящей работе было исследовано влияние обратимой адсорбции молекул метилового спирта на динамику доменной границы в аморфном ферромагнетике. Молекулы метилового спирта имеют размеры, близкие к размерам молекул воды, но отличаются тем, что молекулы метилового спирта и воды могут образовывать различное количество водородных связей.

### Образцы и методика измерений

Исследовались аморфные ферромагнитные ленты на основе железа, которые прошли специальную термовременную обработку расплава для повышения однородности сплава и улучшения его магнитомягких свойств [5]. Состав аморфного сплава  $Fe_{76.5}Cu_1Nb_3Si_{13.5}B_6$ . Толщина образцов составляла 25–30  $\mu m$ , ширина 0.55 mm и длина 15–20 mm.

Исследование свойств доменной границы на поверхности образцов проводилось с помощью магнитооптического микромагнетометра, дополненного вакуумной ячейкой, в которую помещался исследуемый образец, а также системой контролируемого напуска различных газов [1]. Давление адсорбатов в ячейке можно было менять от атмосферного до  $10^{-3}$  Pa. Измерялся экваториальный эффект Керра, обусловленный изменением намагниченности освещенного участка образца площадью 1  $\mu m^2$ . Щель фотоэлектронного умножителя сканировала перпендикулярно длинной стороне образца. Перемангничивание образца осуществлялось во внешнем магнитном поле, направленном вдоль длинной стороны образца. Амплитуда поля составляла 300 A/m, а частота варьировалась в диапазоне от 30 Hz до 20 kHz.

Изучались частотные зависимости амплитуды колебаний доменной границы ( $\Delta$ ) на поверхности аморфного ферромагнетика. Зависимость  $\Delta(f)$  характеризовалась частотой релаксации  $f_r$ , которая определялась при величине  $\Delta(f = f_r) = 0.7\Delta_0$ . Здесь  $\Delta_0$  — значение  $\Delta$  при  $f \rightarrow 0$ .

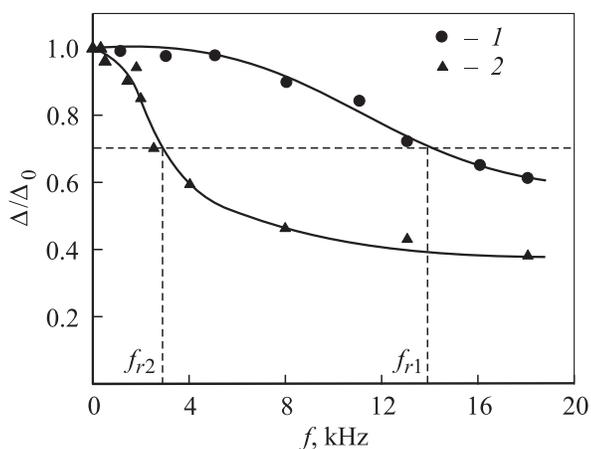
Эксперимент производился на реальной поверхности образца, которая сформировалась после пребывания аморфного ферромагнетика на воздухе. После вакуумирования образца на его поверхности присутствует тонкая пленка оксида, покрытая гидроксильными группами, а также координационно-связанными с поверхностью молекулами воды. После вакуумирования системы с образцом производился напуск паров метилового спирта.

Исследование колебаний доменной границы в объеме осуществлялось индукционным методом, для чего на образец наматывалась измерительная катушка. Сигнал с нее пропорционален намагниченности образца, которая в свою очередь пропорциональна смещению доменной границы в объеме.

## Результаты и обсуждение

Магнитооптическое исследование динамики доменной границы в аморфных лентах показало, что частота релаксации доменной границы на поверхности уменьшается после адсорбции молекул метилового спирта, при этом амплитуда колебаний границы в объеме в исследованном диапазоне частот остается постоянной. Частота релаксации доменной границы на поверхности в вакууме составила 13.5 кГц; напуск паров метилового спирта с давлением порядка 10 кПа приводит к уменьшению частоты релаксации до 2.6 кГц, т.е. более чем в 5 раз (см. рисунок). После повторного вакуумирования частота релаксации возвращается к первоначальному значению, что свидетельствует об обратимости наблюдаемого эффекта.

Полученные результаты качественно согласуются с результатами работ [1,6]. В этих работах было обна-



Зависимость амплитуды колебаний доменной границы на поверхности образца от частоты магнитного поля в вакууме (1) и при адсорбции метилового спирта (2).

ружено, что адсорбция молекул воды на поверхности високров железа и аморфных лент на основе железа приводит к обратимому уменьшению релаксационной частоты на поверхности. Уменьшение частоты релаксации было объяснено образованием приповерхностных магнитных дефектов, появляющихся при адсорбции молекул воды по механизму образования водородных связей. Качественное согласие результатов указанных работ и настоящей работы позволяет сделать вывод о том, что механизмы влияния адсорбции молекул воды и метилового спирта на магнитные свойства ферромагнетиков аналогичны.

Конкретно механизм влияния обратимой адсорбции метилового спирта на динамику доменной границы можно представить следующим образом. При вакуумировании поверхности образца происходит десорбция молекул воды, адсорбированных по механизму образования водородных связей, а также части координационно-связанных молекул. Доказательством последнего является обнаруженное изменение заряда поверхности оксида в результате ее вакуумирования [7]. Отметим, что адсорбция и десорбция молекул с образованием водородных и ван-дер-ваальсовых связей не изменяет заряд поверхностного оксида. Напуск метилового спирта в измерительную ячейку приводит к адсорбции его молекул первоначально на центры, освобожденные координационно-связанными молекулами воды, а затем к адсорбции по механизму образования водородных связей. Таким образом, молекулы метанола замещают и часть координационно-связанных молекул воды, и слабосорбированные молекулы воды. Обратимое изменение релаксационной частоты объясняется адсорбцией и десорбцией этих слабосорбированных молекул метанола. В отличие от адсорбированной молекулы воды, которая может присоединять к себе еще две адсорбированные по механизму образования водородных связей молекулы, метиловый спирт способен присоединять только одну молекулу по этому механизму [4], не образуя разветвленных цепочек молекул при адсорбции. Влияние адсорбции метилового спирта на динамику доменной границы аналогично влиянию адсорбции воды, но падение частоты релаксации при адсорбции метилового спирта выражено сильнее. Если предположить, что эффективность образования магнитных дефектов повышается при формировании гроздей слабосорбированных молекул, то более сильное влияние адсорбции метилового спирта на частоту релаксации доменной границы является неожиданным и объяснение причин такого влияния требует дополнительных экспериментальных исследований.

В заключение отметим, что результаты настоящей работы с учетом ранее полученных данных по адсорбции молекул воды позволяет сделать вывод о том, что обратимая адсорбция газов, протекающая по механизму образования водородных связей, оказывает существенное влияние на динамику доменных границ в магнитомягких ферромагнетиках.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 02-02-16627).

## Список литературы

- [1] Зубов В.Е., Кудakov А.Д., Левшин Н.Л. и др. // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика. Астрономия. 2002. № 2. С. 52–57.
- [2] Филиппов Б.Н., Танкеев А.П. Динамические эффекты в ферромагнетиках с доменной структурой. М.: Наука, 1987.
- [3] Kiselev V.F., Krylov O.V. Absorption Processes on Semiconductor and Dielectric Surfaces, Series in Chemical Physics. Vol. 32. Berlin: Springer, 1987. P. 237.
- [4] Соколов Н.Д. // УФН. 1955. Т. 57. Вып. 2. С. 205–278.
- [5] Старобудцев Ю.Н., Сон Л.Д., Цепелев В.С. и др. // Расплавы. 1992. Т. 4. С. 76–79.
- [6] Zubov V.E., Kudakov A.D., Levshin N.L. et al. // J. Magn. Magn. Mater. 1995. Vol. 140–144. P. 1895–1896.
- [7] Kiselev V.F., Kozlov S.N., Kevshin N.L. // Phys. Stat. Sol. (a). 1981. Vol. 66. N 1. P. 93–101.