

05.2

©1994

## ВЛИЯНИЕ АДСОРБЦИОННО-ДЕСОРБЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ДИНАМИКУ ДОМЕННЫХ ГРАНИЦ В МОНОКРИСТАЛЛАХ ЖЕЛЕЗА

*В.Е.Зубов, А.Д.Кудаков, Н.Л.Левшин, В.В.Пилипенко*

Влияние намагниченности ферромагнитных материалов на их адсорбционные и каталитические свойства неоднократно отмечалось в литературе [1]. В ряде работ [2,3] был изучен обратный эффект — изменение магнитных характеристик поверхности кристалла при адсорбции. Изменение адсорбционной активности в местах выхода доменных границ (ДГ) на поверхность [2] указывает на тесную взаимосвязь между доменной структурой кристалла и адсорбцией.

Особый интерес представляет исследование влияния адсорбции на свойства отдельной ДГ, в которой распределение намагниченности резко неоднородно. Работ, посвященных изучению взаимосвязи магнитных неоднородностей и адсорбции, пока нет. Современные экспериментальные методы позволяют изучать свойства отдельной ДГ. Среди них следует выделить магнитооптические методы в отраженном свете, обладающие высоким быстродействием и возможностью измерения любой составляющей намагниченности на микроучастках поверхности [4]. Этим методом, в частности, было обнаружено существенное отличие амплитуды раскачки ДГ в объеме и на поверхности нитевидных монокристаллов (вискеров) железа при повышении частоты [5]. Вискеры ферромагнитных металлов, в частности, железа, благодаря высокому совершенству их кристаллической структуры в объеме и на поверхности, а также простоте магнитной структуры [6], представляются наиболее подходящим объектом для изучения влияния адсорбции на свойства отдельной ДГ. Коэрцитивное поле ДГ в железных вискерах составляет  $\sim 10^{-3}$  эрстеда и обусловлено точечными дефектами кристалла [7]. Естественно предположить, что на фоне относительно малой плотности дефектов на свойства ДГ вискероов заметное влияние могут оказать дефекты, индуцированные адсорбцией. С целью проверки этого предположения было проведено измерение частотной зависимости амплитуды колебаний  $\Delta 180^\circ$  ДГ в приповерхностной области вискероов железа, возбуждаемых перемен-

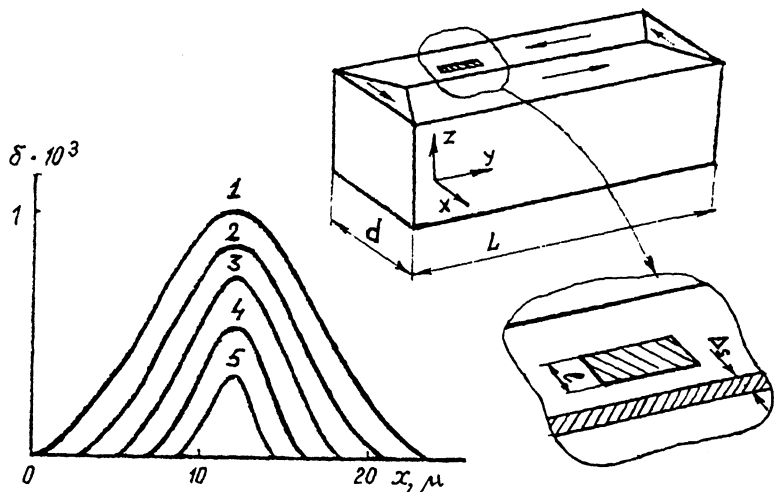


Рис. 1. ЭЭК в вискере железа, обусловленный изменением компоненты намагниченности  $M_y$  при колебаниях  $180^\circ$  ДГ:

$H = 3$  отн.ед., кривая 1 —  $f = 0.8$ , 2 — 2, 3 — 4, 4 — 6, 5 — 8 кГц. На вставке — схематическое изображение вискера железа, положение входного окна ФЭУ относительно ДГ и используемая система координат.

ным магнитным полем параллельным намагниченности в доменах при различных давлениях воздуха.

Исследование колебаний ДГ проводилось с помощью магнитооптического микромагнетометра [4], дополненного вакуумной ячейкой, в которую помещался вискер. Давление воздуха  $p$  в ячейке могло изменяться от атмосферного до  $10^{-3}$  Па. Исследованные вискеры железа имели квадратное сечение со стороной  $d = 30-70$  мкм, длину  $L = 2-5$  мм, обладали оптически совершенными гранями типа (100) и содержали одну  $180^\circ$  ДГ, расположенную в центре вдоль оси кристалла параллельно его боковым граням (см. вставку на рис. 1). Применение вакуумной ячейки привело к тому, что минимальное фокусное расстояние используемого объектива составляло 13 мм, что в свою очередь определяло пространственное разрешение установки ( $\sim 1$  мкм). Магнитное поле  $H_y$  (система координат показана на вставке к рис. 1) создавалось катушками Гельмгольца, в которые подавался ток от усилителя мощности ТУ-100. Амплитуда поля  $H_y$  изменялась от 0 до 3 Э. Измерялся экваториальный эффект Керра (ЭЭК), обусловленный намагниченностью в доменах. Измерение проводилось путем сканирования входного окна ФЭУ поперек ДГ (вдоль оси  $x$ ). Входное окно ФЭУ имело

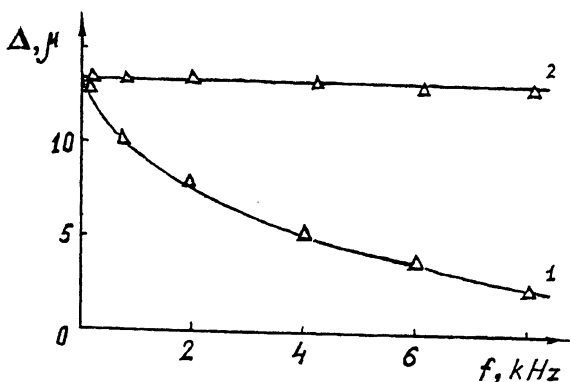


Рис. 2. Частотная зависимость амплитуды колебаний ДГ при  $p = 10^5$  Па (кривая 1) и  $p = 10^3$  Па (кривая 2).

размеры  $3 \times 1$  мкм<sup>2</sup>, причем его длинная сторона располагалась параллельно ДГ. Зависимости ЭЭК  $\delta$  от  $x$  для различных частот  $f$  поля  $H_y$  при атмосферном давлении представлены на рис. 1. Эффект отличен от нуля в области с размерами  $2\Delta - l + \Delta_s$ , где  $\Delta$  — амплитуда колебаний ДГ,  $l = 1$  мкм — ширина входного окна ФЭУ,  $\Delta_s \sim 0.5$  мкм — эффективная ширина  $180^\circ$  ДГ на поверхности железа [8]. Кривая 1 на рис. 2 представляет собой частотную зависимость  $\Delta$ , полученную с использованием кривых на рис. 1. Видно, что зависимость  $\Delta(f)$  имеет релаксационный вид. Частота релаксации  $f_r$ , определенная из кривой 1 на рис. 2 на уровне 0.7 от максимального значения  $\Delta$  при  $f \rightarrow 0$ , составляет  $\sim 1$  кГц. Кривая 2 на рис. 2 представляет собой зависимость  $\Delta(f)$  того же участка ДГ, что и кривая 1, но при давлении воздуха  $10^3$  Па. Как видно из рисунка, при  $p = 10^3$  Па  $\Delta$  в диапазоне частот  $f = 20-8$  кГц практически не изменяется, из чего можно сделать вывод, что  $f_r$  для кривой 2 существенно больше 10 кГц. При дальнейшем уменьшении  $p$  от  $10^3$  до  $10^{-3}$  Па характер зависимости  $\Delta(f)$  не меняется. Таким образом, при уменьшении давления от атмосферного ( $10^5$ ) до  $10^3$  Па  $f_r$  возрасла более чем на порядок. Исследование показало, что наблюдающийся эффект зависимости  $f_r$  от  $p$  полностью обратим. Релаксационная частота характеризует действие сил внутреннего трения на ДГ при ее движении:  $f_r \sim \beta^{-1}$ , где  $\beta$  — коэффициент при первой

производной координаты ДГ по времени в уравнении движения границы (см. [9]). Следовательно, при уменьшении давления воздуха трение, действующее на ДГ в приповерхностной области, существенно уменьшается. Отметим, что действие вихревых токов на движение ДГ в железных вискерах с  $d \simeq 50$  мкм при  $f \sim 10$  кГц пренебрежимо мало как на поверхности, так и в объеме кристалла [5]. Время установления частоты релаксации значительно превышало время достижения заданного давления. Поэтому обнаруженный эффект естественно объяснить тем, что дефекты в приповерхностной области кристалла, индуцированные адсорбцией, оказывают существенное влияние на свойства ДГ. А именно, увеличение числа адсорбированных молекул при возрастании  $p$  приводит к росту плотности дефектов на поверхности и увеличению силы трения, действующей на ДГ. Обратимость полученного эффекта однозначно указывает на то, что в нашем случае происходит десорбция физически адсорбированных молекул, входящих в состав воздуха, в частности молекул  $H_2O$ , адсорбированных на поверхности по механизму водородных связей. Молекулы  $H_2O$  образуют водородные связи с гидроксильными группами и координационно-сорбированными молекулами воды на реальной поверхности железа. Образование гидроксидов при взаимодействии атомарно-чистой поверхности  $Fe(100)$  с кислородом и  $H_2O$  недавно было доказано данными электронной спектроскопии [10]. Адсорбция других компонент воздуха при комнатной температуре очень мала. Давлению воздуха  $10^3$  Па при комнатной температуре соответствует парциальное давление паров воды  $p \sim 15$  Па при относительной влажности 70%. Этому давлению соответствует количество адсорбированных молекул  $H_2O$  порядка нескольких десятых монослоя [11]. Таким образом, при изменении давления от атмосферного до  $10^3$  Па происходит значительная дегидратация поверхности образца (от полимолекулярного адсорбционного покрытия до долей монослоя). Изменяется также покрытие поверхности вискера другими молекулами, входящими в состав воздуха. Образование водородных связей сопровождается сжатием поверхности [11]. Этот эффект обратим. Деформации поверхности монокристаллов железа могут создаваться либо в результате непосредственной адсорбции на свободную поверхность железа, либо через тонкую пленку оксида, толщина которой согласно [12,13] составляет не более 1-2 монослоев.

Авторы благодарят В.Ф.Киселева за интерес к работе и полезные замечания. Работа поддержана Госкомитетом Российской Федерации по делам науки и высшей школы, грант № 93-7.1-42.

## Список литературы

- [1] *Kiselev V.F., Krylov O.V.* Absorption and catalysis on transition metals and their oxides. Springer Ser. in Surface Sci. V. 9. Berlin, 1987. 445 p.
- [2] *Кринчик Г.С., Шварцман Р.А., Гущин В.С., Купнис А.Я.* // ФТТ. 1974. Т. 16. В. 6. С. 1682-1685.
- [3] *Bansmann J., Getzlaff M., Westphal C., Schonhense C.* // J. Magn. Magn. Mat. 1992. V. 117. P. 38-44.
- [4] *Зубов В.Е., Кринчик Г.С., Кудаков А.Д.* // ПТЭ. 1988. В. 3. С. 206-207.
- [5] *Зубов В.Е., Кринчик Г.С., Кудаков А.Д.* // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 17. С. 1597-1601.
- [6] *Бережкова Г.В.* Нитевидные монокристаллы. М., 1969. 158 с.
- [7] *Зубов В.Е., Кринчик Г.С., Кузьменко С.Н.* // ЖЭТФ. 1991. Т. 99. В. 2. С. 551-561.
- [8] *Зубов В.Е., Кринчик Г.С., Кудаков А.Д.* // ЖЭТФ. 1988. Т. 94. В. 12. С. 243-250.
- [9] *Кринчик Г.С.* Физика магнитных явлений. М., 1985. 336 с.
- [10] *Hung W.M., Schwartz J., Bernasek S.L.* // Surf. Sci. 1993. V. 294. P. 21-32.
- [11] *Kiselev V.F., Krylov O.V.* Absorption processes on semiconductor and dielectric surfaces. Springer Ser. in Chemical. Phys. V. 32. Berlin, 1987. 237 p.
- [12] *Luborsky F.E., Koch E.F., Morelak C.R.* // J. Appl. Phys. 1963. V. 34. N 9. P. 2905-2909.
- [13] *Sewell P.B., Stokbridge C.D., Cohen M.* // J. Electrochem. Soc.-1961. V. 108. N 10. P. 933-941.

Московский государственный  
университет им. М.В.Ломоносова

Поступило в Редакцию  
22 февраля 1994 г.