

05

Спин-поляризационная электронная оже-спектроскопия пленок ванадия на поверхности FeNi_3 (110)

© В.Н. Петров, А.С. Камочкин, В.М. Уздин

С.-Петербургский государственный политехнический университет

E-mail: Petrov@tuexph.stu.neva.ru

С.-Петербургский государственный университет

Поступило в Редакцию 13 октября 2003 г.

Методом электронной оже-спектроскопии с разрешением по спину исследованы магнитные свойства пленок ванадия на поверхности FeNi_3 . Установлено, что пленки ванадия антиферромагнитным образом упорядочены относительно подложки. Индуцированный магнитный момент пленки толщиной 2 монослоя составил $\sim 0.35 \mu_B$. Показано, что намагниченность подрешетки железа не убывает при напылении ванадия.

Магнитные свойства металлических поверхностей, интерфейсов, сверхрешеток привлекают последнее время большое внимание. В этих низкоразмерных структурах проявляются новые фундаментальные законы магнетизма, а сами они служат основой для создания электронных устройств, имеющих большие промышленные приложения. Особый интерес представляют интерфейсы ферромагнитный (ФМ) — немагнитный металл, свойства которых определяют межслойное обменное взаимодействие (МОВ) и магнитосопротивление многослойных структур. Модельными системами здесь являются сверхрешетки, где в качестве немагнитного металла используется ванадий.

Проникновение водорода в прослойку ванадия позволяет увеличивать постоянную решетки ванадия в направлении, перпендикулярном плоскости сверхрешетки до 10%, и добиваться перехода от антиферромагнитного (АФ) к ФМ МОВ и обратно при изменении внешнего давления водорода [1]. Это, в свою очередь, дает возможность экспериментально реализовать переход от трехмерного к квазидвумерному магнетизму [2]. Отметим, что информация о химической и магнитной структуре интерфейса имеет принципиальное значение

для описания этого перехода. Ванадий — парамагнитный металл. Однако на интерфейсе с ферромагнетиком, например с железом, на атомах V возникает наведенный магнитный момент, причем его величина сильно зависит от характера перемешивания в пограничном слое [3]. Расчеты тонких пленок V на Fe показывают, что наведенный момент может быть довольно значительным, особенно в монослойных пленках ванадия, когда из-за уменьшения координационного числа у приповерхностных атомов d зона ванадия сужается [4]. При толщинах, больших чем два монослоя, конкуренция антиферромагнитных V–V и V–Fe взаимодействий приводит к сильному подавлению магнитных моментов всюду, кроме интерфейсного слоя. Присутствие индуцированного магнитного момента на атомах V было продемонстрировано и экспериментально [5].

Следует отметить, что большинство расчетов магнитной структуры проводится в предположении, что толщина области интерфейса составляет 1–3 монослоя. В то же время реализовать экспериментально столь узкий интерфейс часто не удается. Кроме того, до сих пор не решена проблема контроля перемешивания и определения профиля концентрации компонент в процессе эпитаксиального роста.

Ниже представлены результаты исследования методом спин-поляризационной электронной оже-спектроскопии (СПЭОС) тонких пленок ванадия, нанесенных на поверхность (110) кристалла FeNi₃.

Спин-поляризационный электронный спектрометр, разработанный в Группе поверхностного магнетизма СПбГПУ, представляет собой оригинальный энергоанализатор типа „цилиндрическое зеркало“, совмещенный с компактным спиновым детектором (классическим детектором Мотта) [6–8].

Монокристалл FeNi₃ (110) был изготовлен в виде рамки, стороны которой ориентированы вдоль осей легкой намагниченности [111]. Образец намагничивался до насыщения пропусканием импульса тока по катушке, представляющей собой несколько витков провода, навитых вокруг одной из сторон рамки. Пленки ванадия с помощью термического испарительного устройства напылялись на чистую поверхность монокристалла FeNi₃ при комнатной температуре. При этом давление поддерживалось на уровне $5 \cdot 10^{-9}$ Торр. Чистота подложки и слоев контролировалась с помощью оже-электронного анализа. В эксперименте регистрировался спектр вторичных электронов. Спиновая поляризация

определялась как $P = (N^\uparrow - N^\downarrow)/(N^\uparrow + N^\downarrow)$, где N^\uparrow (N^\downarrow) — число электронов с магнитным моментом, параллельным (антипараллельным) намагниченности FeNi_3 .

Толщина пленок определялась посредством измерения интенсивностей оже-пиков Ni и V во время напыления. Экспериментальные точки ложатся на экспоненциальные кривые, что позволяет при известных длинах свободного пробега электронов, отвечающих оже-пикам [9], определять абсолютную толщину пленки ванадия. Численные значения толщин, полученные при анализе зависимости интенсивности пиков Ni и V, находятся в хорошем (разница менее 5%) количественном согласии друг с другом.

Тем не менее убывание амплитуды низковольтных пиков Fe и Ni при напылении ванадия не согласуется с простой моделью, предполагающей наличие однородной пленки V на подложке FeNi_3 . Поскольку длина свободного пробега низковольтных оже-электронов в два раза меньше, чем высоковольтных, амплитуда низковольтных пиков должна убывать с толщиной слоя ванадия гораздо быстрее. Тот факт, что амплитуда низковольтных пиков Fe и Ni спадает с толщиной даже медленнее, чем высоковольтных, говорит о неоднородности пленки по толщине или существовании довольно большого количества атомов Fe и Ni, растворенных в ванадии. Скорость убывания низковольтных пиков с толщиной позволяет оценить характерный масштаб шероховатости величиной порядка 10 \AA .

Спин-разрешенные оже-пики V и Fe регистрировались для пленок толщиной в 1, 2 и 12 монослоев. Поляризация пика Ni не исследовалась из-за того, что ее величина оказалась значительно меньше поляризации пика Fe. При толщине пленки ванадия в 1 монослой в пределах погрешности эксперимента расщепления оже-пика ванадия обнаружено не было. На рис. 1 представлен спин-разрешенный оже-пик ванадия (после вычитания фона) при толщине пленки в 2 монослоя. Этот пик соответствует $L_3M_{23}M_{45}$ -переходу, и в нем участвует только один $3d$ -электрон. В первом приближении можно считать, что форма пика определяется плотностью состояний d -электронов, что позволяет сделать грубую оценку намагниченности по поляризации. Если пренебречь влиянием присутствующей в атоме дырки (сначала $2p$, потом $3p$) на плотность состояний в валентной зоне и оже-процессами, происходящими с переворотом спина участвующих электронов, можно

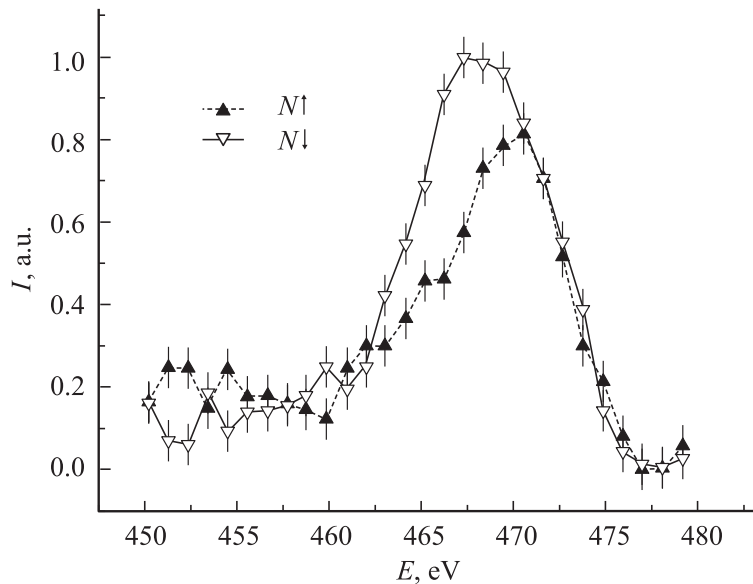


Рис. 1. Спин-разрешенный оже-пик ванадия для 2 монослоев ванадия на поверхности монокристалла FeNi_3 (110).

оценить магнитный момент на атоме как

$$M = N \frac{S^\uparrow - S^\downarrow}{S^\uparrow + S^\downarrow} \mu_B.$$

Здесь S^\uparrow и S^\downarrow — площади под оже-пиками для электронов с соответствующей проекцией спина, N — число валентных электронов на атом, μ_B — магнетон Бора. Для уточнения оценки и моделирования формы пика требуется более аккуратный учет межэлектронных корреляций. Однако и в этом случае при интерпретации оже-спектров приходится вводить подгоночные параметры [10,11].

Поляризация пика ванадия оказалась отрицательной (интенсивность оже-электронов со спином вниз больше, чем со спином вверх), что говорит об антиферромагнитном упорядочении пленки ванадия относительно подложки. Оценка момента дает величину $0.35 \mu_B$. Отметим, что слабая поляризация наблюдалась и для пленки толщиной

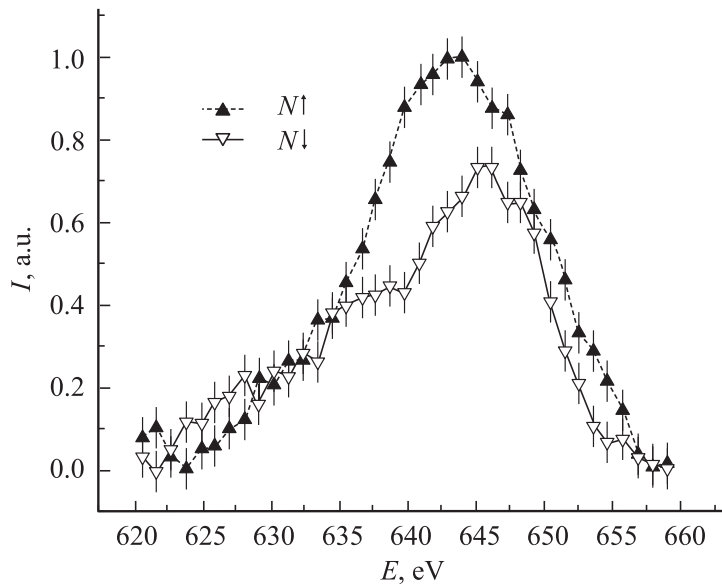


Рис. 2. Спин-разрешенный оже-пик железа после напыления пленки ванадия толщиной 2 монослоя на поверхность монокристалла FeNi_3 (110).

в 12 монослоев, хотя здесь величина момента на ванадии составляет менее $0.1 \mu_B$. Наведенный момент на столь большом расстоянии от интерфейса подтверждает вывод о шероховатости интерфейса или наличии в пленке достаточно большой концентрации диффузных атомов Fe и Ni.

На рис. 2 представлен оже-пик железа после напыления пленки ванадия толщиной в 2 монослоя. Этот пик также соответствует $L_3M_{23}M_{45}$ -переходу. При анализе полученных данных было установлено, что намагниченность подрешетки железа при напылении пленки ванадия толщиной в 2 монослоя не убывает в пределах точности эксперимента. Следовательно, покрытие кристалла тонким слоем ванадия не приводит к уменьшению намагниченности приповерхностных атомов железа. При толщине пленки в 12 монослоев интенсивность оже-пика Fe оказалась мала, что не позволило провести детальные спин-разрешенные исследования.

Работа частично поддержана международной программой ИНТАС (проект 01–0386) и Минобразования России (Е02–3.4–255).

Список литературы

- [1] *Hjörvarsson B., Dura J.A., Isberg P., Watanabe T., Udovic T.J., Andersson G., Majkrzak C.F.* // Phys. Rev. Lett. 1997. V. 79. P. 901.
- [2] *Leiner V., Westerholt K., Blixt A.M., Zabel H., Hjörvarsson B.* // Phys. Rev. Lett. 2003. V. 91. P. 037202.
- [3] *Uzdin V., Westerholt K., Zabel H., Hjörvarsson B.* // Phys. Rev. B. 2003. V. 68.
- [4] *Spisak D.* // J. Hafner Phys. Rev. B. 2000. V. 61. P. 4160.
- [5] *Schwickert M.M., Coehoorn R., Tomaz M.A., Mayo E., Lederman D., O'Brien W.L., Tao Lin, Harp G.* // Phys. Rev. B. 1998. V. 57. P. 13681.
- [6] *Petrov V.N., Kamochkin A.S.* New energy analyzer for spin-polarized Auger electron spectroscopy. // Rev. Sci. Instrum. (To be published).
- [7] *Petrov V.N., Landolt M., Galaktionov M.S.* et al. // Rev. Sci. Instrum. 1997. V. 68. P. 4385.
- [8] *Petrov V.N., Grebenshikov V.V., Grachev B.D.* et al. // Rev. Sci. Instrum. 2003. V. 74. N 3. P. 1278.
- [9] *Seah M.D., Dench W.A.* // Surf. Interface. Anal. 1979. V. 1. P. 1.
- [10] *Schröder K., Kisker E., Bringer A.* // Sol. State Com. 1985. V. 55. N 4. P. 377.
- [11] *Sinkovic B., Shekel E., Hulbert S.L.* // Phys. Rev. B. 1995. V. 52. R15703.