

Поверхность раздела двух сред сама по себе является устройством

Герберт Крёмер



Мауриц Эшер «Три мира» (1956)

Секция 8.
Магнитные пленки,
многослойные и ван-дер-ваальсовы
структуры

УДК 314.748

Морфология границ и обменное смещение в системе Al_2O_3 – кобальт**Кобяков А.В.**

к.ф.-м.н., доцент, Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ; научный сотрудник, Институт физики им. Киренского ФИЦ КИЦ СО РАН

Патрин Г.С.

д.ф.-м.н., профессор, Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ; заведующий лабораторией, Институт физики им. Киренского ФИЦ КИЦ СО РАН

Юшков В.И.

к.т.н., доцент, Институт инженерной физики и радиоэлектроники СФУ; научный сотрудник Институт физики им. Киренского ФИЦ КИЦ СО РАН

Косырев Н.Н.

к.ф.-м.н., научный сотрудник, Институт физики им. Киренского ФИЦ КИЦ СО РАН

Аннотация. Работа посвящена исследованию взаимосвязи технологических особенностей магнетронного напыления, морфологии интерфейса и поверхности с магнитными свойствами в системе Al_2O_3 – Co с окисленной поверхностью Co. Обнаружена смена знака обменного смещения при изменении очередности осаждения слоев. Эффект возникает при температурах ниже 200 К и толщинах Co менее 10 нм.

Ключевые слова: ферромагнитная пленка, оксиды, обменное смещение, интерфейс

Morphology of interfaces and exchange bias in the Al_2O_3 – cobalt system**Kobyakov A. V.**

PhD., Associate Professor, Institute of Engineering Physics and Radio Electronics of SFU; Researcher, Kirensky Institute of Physics of FRC KSC SB RAS

Patrin G. S.

Dr.Sc., professor, Institute of Engineering Physics and Radio Electronics of SFU; head of a laboratory; Kirensky Institute of Physics of FRC KSC SB RAS

Yushkov V. I.

PhD., Associate Professor, Institute of Engineering Physics and Radio Electronics of SFU; Researcher, Kirensky Institute of Physics of FRC KSC SB RAS

Kosyrev N. N.

PhD., Researcher, Kirensky Institute of Physics of FRC KSC SB RAS

Annotation. The work is devoted to the study of the relationship between the technological features of magnetron sputtering, the morphology of the interface and surface with magnetic properties in the Al_2O_3 – Co system with an oxidized surface Co. A change in the sign of the exchange bias was detected

when the order of layer deposition changed. The effect occurs at temperatures below 200 K and Co thicknesses less than 10 nm.

Keywords: ferromagnetic film, oxides, exchange bias, interface

В последние годы наночастицы ферромагнитных металлов нашли практическое применение в таких областях, как медицина, технологии накопления электроэнергии, электроника и спинтроника. Такие устройства, часто представляют собой многослойные структуры, как с магнитными, так и с немагнитными слоями, с размерами нанометрового масштаба. Но в таких масштабах появляются проблемы фундаментального характера в области физики твердого тела, связанные с влиянием структурных, размерных и интерфейсных эффектов, на магнитные характеристики тонкопленочных структур [1-3].

Одним из актуальных направлений исследований в этой области является связь эффекта обменного смещения (ЕВ) с интерфейсными особенностями в многослойных системах. Эффект ЕВ возникает при охлаждении системы ферромагнетик/антиферромагнетик (ФМ/АФМ) ниже температуры Нееля. В работе [4] предложено, что атомы расположенные вблизи границы раздела имеют меньшее количество связей с соседями, чем атомы, расположенные в объеме. А при уменьшении размеров магнитных частиц энергия обменного взаимодействия между частицами уменьшается и становится сравнимой с тепловой энергией. Все это приводит к нарушению магнитного порядка на границе раздела. Поведение магнитных моментов ферромагнитных частиц становится подобным поведению магнитных моментов парамагнетиков.

Эффект ЕВ для системы Al_2O_3 - Co исследовался в работе [5]. Слой Co (с толщинами от 2.7 до 40 нм) осажденный на подложку Al_2O_3 ВЧ распылением естественно окислялся. В результате возникало положительное обменное смещение ниже температуры блокировки и отрицательное обменное смещение вблизи температуры блокировки (T_b). Однако в литературе мало информации о морфологии поверхности, интерфейса и их взаимосвязи с обменным смещением в системе Al_2O_3 . В работе [6] в структуре $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ge}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$ методом СКВИД магнитометрии и с помощью эффекта Керра анализировалась зависимость магнитных свойств от температуры при различных скоростях осаждения, но с фиксированной толщиной кобальта. В данной работе мы исследуем морфологические особенности, анализируем поведение эффекта ЕВ в системе Al_2O_3 - Co при температуре ниже 300 К с переменной толщиной кобальта (4 - 100 нм). Толщина слоя Al_2O_3 во всех образцах равна 5 нм.

Все образцы получены магнетронным напылением при базовом давлении $P = 10^{-7}$ Torr в атмосфере аргона при давлении 3 mTorr. В качестве материала подложки использовалось покровное стекло, очищенное *in situ* методом ионно-плазменного травления. Осаждение проводилось на вращающуюся подложку при ее температуре $T \approx 373$ K. Морфология поверхности пленок исследовалась на атомно-силовом микроскопе VeecoMultiMode. (разрешение 1 нм). Магнитные измерения проводились с помощью метода магнитооптического эффекта Керра (NanoMOKE-2). Магнитное поле прикладывалось в плоскости образца.

Исследование химического состава образцов проводилось на электронном спектрометре SPECS, оснащенный полусферическим анализатором PHOIBOS 150 MCD 9, с использованием монохроматического источника $\text{AlK}\alpha$ (1486,6 эВ). Разложение линий сделано с использованием полуэмпирического подхода описанного в работе [7]. При анализе фотоэлектронных спектров, обнаружено, что поверхности кобальтовых слоев состоят из основных компонент, характерных для кобальта с долей равной 49,7% ($2p_{3/2}$), и компонент оксидов с общей долей равной 41,6% (CoO и Co_2O_3 - антиферромагнетики с температурами

Нееля $T_N \sim 290$ К. и 40 К.). Поэтому магнитный слой можно рассматривать как систему: $\Phi M - A\Phi M$.

На рис. 1 представлены зависимости средней шероховатости (R_{ms}) поверхности образца $glass/Al_2O_3/Co$ в зависимости от толщины слоя кобальта нанесенного на оксид алюминия, осажденного на стекло (линия из точек). Для сравнения, приведена та же зависимость, но для образца $glass/Co$ (сплошная линия).

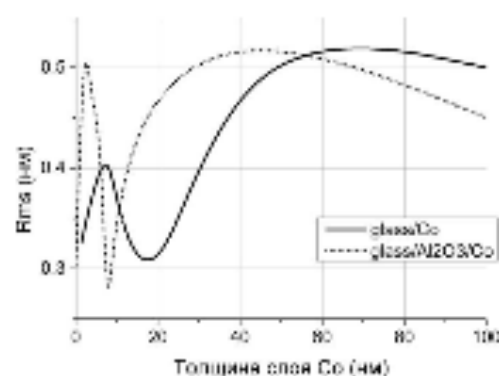


Рис. 1. Зависимости средней шероховатости (R_{ms}) от толщины слоя кобальта.

На рис. 2 показаны зависимости обменных смещений от температуры для образцов $glass/Co$ (а) и $glass/Al_2O_3/Co$ (б). При толщине кобальта менее 8 нм H_E мало (рис. 2а). Но при осаждении кобальта на Al_2O_3 , при тех толщинах, H_E имеет отрицательный знак (рис. 2б). При возрастании толщины кобальта от 10 до 20 нм H_E в обоих случаях имеет положительный знак и достигает максимума при температурах ~ 100 К. При дальнейшем увеличении толщины слоя кобальта в обоих случаях H_E уменьшется.

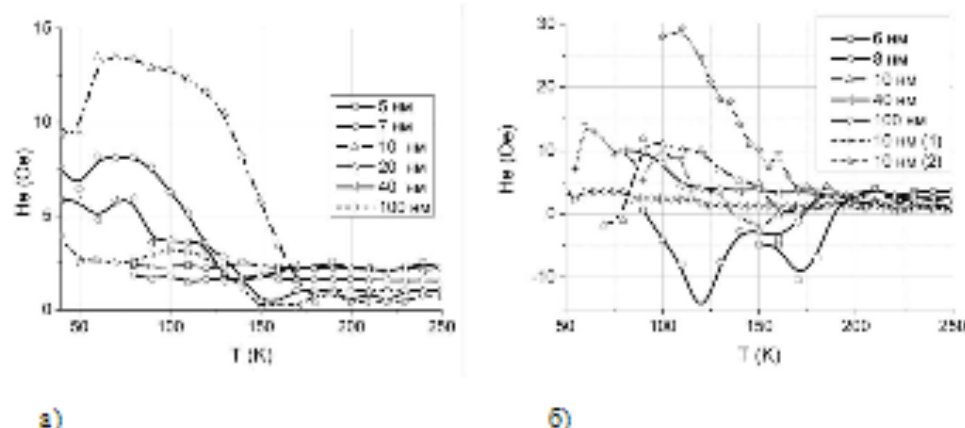


Рис. 2. Температурная зависимость обменного смещения для образцов $glass/Co$ (а), $glass/Al_2O_3/Co$ (б). (1) – образец $glass/Al_2O_3/Co$ (10 нм) с уменьшенной скоростью осаждения кобальта (1.2 нм/мин). (2) – образец $glass/Co$ (10 нм) $/Al_2O_3$.

Температура, при которой происходит смена знака H_z уменьшается от 190 К до 160 К при увеличении толщины кобальта от 6 до 10 нм в образцах $\text{glass}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$. При осаждении кобальта (10 нм) на Al_2O_3 с уменьшенной скоростью (от 7,2 до 1,2 нм/мин) H_z имеет отрицательный знак только от 140 до 160 К. А при изменении очередности осаждения $\text{glass}/\text{Co}(10 \text{ нм})/\text{Al}_2\text{O}_3$ H_z имеет всегда положительный знак (рис. 2а). В данном случае H_z имеет максимальные значения при температуре ~100 К, а зависимость $H_z(T)$ подобна как для образца $\text{glass}/\text{Co}(10 \text{ нм})$. Для этой толщины Co зависимость R_{ms} (толщины слоя Co) имеет максимум 0,4 нм.

При анализе зависимостей $H_z(T)$ можно заметить несколько особенностей.

Для образцов с обратной очередностью слоев $\text{glass}/\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и при более медленном осаждении слоев $\text{glass}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$, зависимость $H_z(T)$ аналогична, как у системы Co/CoO ($\Phi\text{M}/\text{A}\Phi\text{M}$) с температурой блокировки близкой к $T_b \sim 176 \text{ К}$.

Для образцов $\text{glass}/\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$ с толщинами Co менее 10 нм осажденного с повышенной скоростью, зависимость $H_z(T)$ подобна зависимости, получаемых от магнитных частиц ядро-оболочка $\text{Co}-\text{CoO}$. Очевидно, что такая магнитная структура образуется на интерфейсе $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$. Увеличенная шероховатость при малой толщине Co (4-5 нм) и резкое ее уменьшение до 0,27 нм (10 нм кобальта), показывает резкое уменьшение относительной доли частиц $\text{Co}-\text{CoO}$.

Морфологические неоднородности на поверхности кобальта и в интерфейсе $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Co}$ приводят к изменению T_b при толщинах Co менее 20 нм. Увеличение доли $\text{A}\Phi\text{M}$ составляющей (доли оксидов) относительно доли ΦM составляющей приводит к увеличению T_b ближе к T_K (рис. 2а).

Исследование выполнено в рамках государственного задания $\Phi\text{ГАОУ ВО}$ Сибирский федеральный университет (номер FSRZ-2023-0008).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Blauert J. and Kiourt A. Theoretical Modeling and Design Guidelines for a New Class of Wearable Bio-Matched Antennas // IEEE TAP. – 2019. – V. 68. – № 3. – pp. 2040 – 2049.
2. Yetisen A. K., Martinez-Hurtado J. L., Ünal B., Khademhosseini A., Butt H. Wearables in Medicine // Adv. Mater. – 2018. – V. 30. – p. 1706910.
3. Tung R. T. The physics and chemistry of the Schottky barrier height // Appl. Phys. Rev. – 2014. – V. 1. – № 1.
4. Bean C. P., Livingston J. D. Superparamagnetism // J. Appl. Phys. – 1959. – V. 30. – № 4, – pp. 1208-1298.
5. Radu F., Etzkorn M., Siebrecht R., Schmitte T. Interfacial domain formation during magnetization reversal in exchange-biased CoO/Co bilayers // Phys. Rev. – 2003. – V. 67. – P. 134409.
6. Kobyskov, A. V., Patrin, G. S., Yushkov, V. I., Shiyan, Magnetic and Resonance Properties of a Low-Dimensional Cobalt-Aluminum Oxide-Germanium Film Tunnel Junction Deposited by Magnetron Sputtering // Magnetochemistry. – 2022. – V. 8(10). – P. 130.
7. Biesinger M. C., Payne B. P., Grosvenor A.P., Lau L.W.M. Resolving surface chemical states in XPS analysis of first row transition metals, oxides and hydroxides: Cr, Mn, Fe, Co and Ni // Applied Surface Science. – 2011. – V. 257. – pp. 2717–2730.