

Нетривиальные явления в магнитных нанокompозитах Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂

Г.В. Лашкарев, М.В. Радченко, А.Е. Байбара, М.Е. Бугаева, Л.И. Петросян

*Институт проблем материаловедения им. И.Н. Францевича, НАН Украины
ул. Кржижановского, 3, г. Киев, Украина
E-mail: baibaraoleksii@gmail.com*

Y. Dumond

Laboratoire GEMaC, University of Versailles St. Quentin en Yvelines, Versailles, France

T. Story, W. Knoff, N. Nedelko, A. Ślawska-Waniewska, and M. Foltyn

Institute of Physics, Polish Academy of Sciences, Al. Lotnikow 32/46, Warsaw, Poland

Я.А. Стельмах, Л.А. Крушинская

Институт электросварки им. Е.О. Патона, НАН Украины, ул. Антоновича, 68, г. Киев, Украина

Статья поступила в редакцию 11 октября 2018 г., опубликована онлайн 20 декабря 2018 г.

Магнитные нанокompозиты (МНК), в которых наночастицы ферромагнитных металлов распределены в широкозонной диэлектрической матрице (Al₂O₃ или SiO₂), являются перспективными материалами для электроники благодаря возможности управления их свойствами путем технологического варьирования размерами и концентрацией ферромагнитных наночастиц. Слои МНК Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂ с концентрациями Co ниже порога перколяции были осаждены на поликорковые подложки методом электронно-лучевого напыления в вакууме (ЕВ-PVD). Сканирующая электронная микроскопия показала наличие в МНК плотно упакованных зерен Co неправильной формы с размерами 5–50 нм. Проведены низкотемпературные измерения намагниченности МНК Co/Al₂O₃ в диапазоне температур 4–300 К и магнитных полях до 10 кЭ. Обнаружен «магнитный обменный сдвиг», который увеличивается с возрастанием концентрации Co. Путем исследований электрических свойств в МНК Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂ в диапазоне температур 77–280 К установлен прыжковый механизм транспорта электронов моттовского типа. В МНК Co/Al₂O₃ нами впервые обнаружен эффект гигантской положительной термоэдс в магнитном поле, а в МНК Co/SiO₂ — эффект отрицательной магнитотермоэдс.

Ключевые слова: ЕВ-PVD, магнитные нанокompозиты, наночастицы Co, магнитный обменный сдвиг, магнитотермоэдс.

Введение

Развитие нанотехнологий открыло новые возможности для создания и исследования композиционных наноматериалов. Изучение свойств систем, содержащих наноразмерные объекты, является важным с точки зрения как фундаментальной науки, так и практического применения.

Среди магнитных материалов особое место занимают магнитные нанокompозиты (МНК), представляющие собой материалы, в которых наночастицы (НЧ) ферро-

магнитных металлов распределены в широкозонной диэлектрической матрице. Научная и прикладная значимость таких материалов обусловлена тем, что путем технологического варьирования размерами и концентрацией ферромагнитных НЧ возможно управлять свойствами МНК.

Несмотря на то, что МНК были достаточно широко исследованы в 1970-х годах [1], на сегодняшний день они остаются интересным объектом для изучения индивидуальных и коллективных свойств магнитных НЧ. Следующий скачок интереса к МНК произошел в 90-х

Таблица 1. Основные технологические условия выращивания образцов МНК

МНК	$T_{\text{sub}}, ^\circ\text{C}$	$I_{\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2}, \text{A}$	I_{Co}, A	$d, \text{мкм}$	$V_{\text{cond}}, \text{мкм/мин}$	$C_{\text{Co}}, \text{ат.}\%$
Co/Al ₂ O ₃	40–200	0,44–0,49	0,3–7	4–19,5	0,4–3,2	14–61
Co/SiO ₂	25–100	0,08–0,1	0,39–0,41	0,9–2,7	0,2–0,5	24–65

годах из-за открытия явления гигантского магнитосопротивления [2], которое впоследствии стало определяющим для развития компьютерных технологий. Кроме того, МНК характеризуются явлениями туннельного магнитосопротивления и аномального эффекта Холла [3,4].

Несмотря на активные исследования МНК, ряд проблем как фундаментального (объяснение явлений электропереноса в средах металл–диэлектрик), так и прикладного характера (стабильность магнитного состояния индивидуальных гранул в качестве возможных носителей информации) остается недостаточно изученным.

Экспериментальное изучение термоэлектрических явлений позволяет получить дополнительную информацию о механизмах электронного переноса. Нам известны лишь несколько работ, посвященных термоэдс МНК [4–7].

По-видимому, первой публикацией о термоэлектрических свойства МНК была работа [6], в которой изучалось поведение термоэдс МНК Co/Al₂O₃, где Co содержится в виде ферромагнитных НЧ и находится вблизи порога перколяции. Эти результаты стали основанием для предположения, что в этом случае природа термоэдс в МНК Co/Al₂O₃ связана с туннельным типом проводимости.

В работе [7] изучена зависимость величины термоэдс МНК от напряженности магнитного поля и концентрации ферромагнитных НЧ. Для диэлектрических матриц Al₂O₃ и CaF₂ было показано, что термическая обработка МНК не сопровождается кристаллизацией аморфной матрицы и наблюдается рост величины термоэдс.

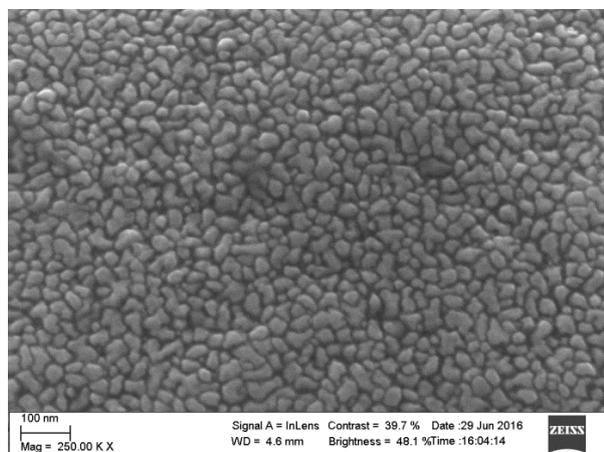
В ферромагнитных нанокompозитах Co/Al₂O₃ нами впервые был обнаружен эффект гигантской положительной термоэдс в магнитном поле при прыжковом механизме проводимости электронов по немагнитным центрам локализации [8].

Впервые для МНК Co/Al₂O₃ с содержанием Co в интервале 12–43 ат.%, выращенных методом двухтигельного электронно-лучевого напыления, обнаружен «магнитный обменный сдвиг», который достигает 38 Э и связан с магнитным взаимодействием ферромагнитного металлического ядра НЧ Co с антиферромагнитным слоем CoO на поверхности НЧ [9].

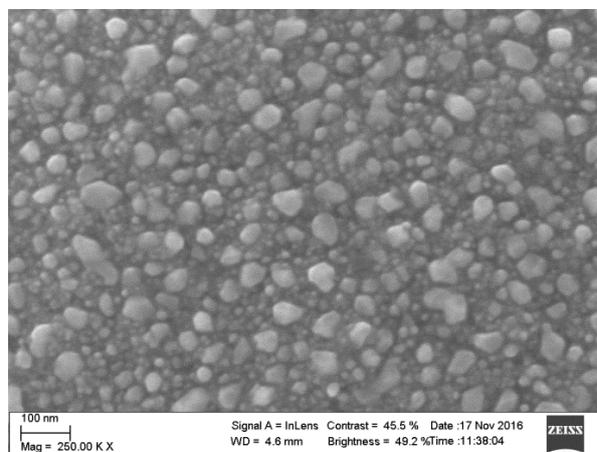
Такое разнообразие выявленных нетривиальных эффектов побудило нас продолжить изучение этих явлений в магнитных нанокompозитах в широком диапазоне концентраций Co и технологических параметров осаждения.

Осаждение слоев МНК

Нанокompозиты Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂ были получены методом электронно-лучевого осаждения в вакууме. Использована двухтигельная схема одновременного испарения и конденсации Co и Al₂O₃ (или SiO₂) на поликорковую подложку. Основными технологическими параметрами, позволяющими регулировать структуру и свойства конденсатов, были содержание кобальта (в ат.%), температура подложки (T_{sub}) и скорость распыления компонентов (анодные токи I пучков электронов, испаряющих Al₂O₃ или SiO₂ и Co). В процессе конденсации вакуум в рабочей камере составлял $2\text{--}3 \cdot 10^{-2}$ Па.



(a)



(б)

Рис. 1. СЭМ изображение поверхности МНК Co/Al₂O₃ с концентрацией Co: 22 ат.%(а), 50 ат.%(б).

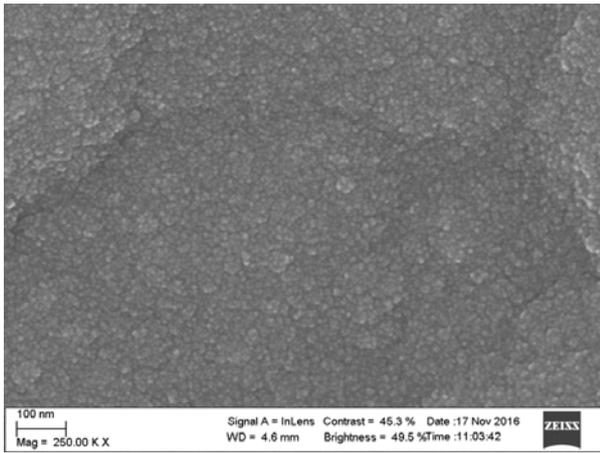


Рис. 2. СЕМ изображение поверхности МНК Co/SiO₂ с 21 ат.% Co.

Основные технологические параметры осаждения МНК Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂ приведены в табл. 1. Исследования серий образцов показали, что скорость конденсации и толщина слоя МНК в значительной степени зависят от содержания кобальта в газовой смеси.

Структуру и состав конденсатов анализировали на шлифах с использованием сканирующего микроскопа CamScan 4D (в режиме вторичных электронов), оснащенного рентгеноспектральным микроанализатором Energy 2000 с погрешностью измерений химического состава ± 0,3%. Обработку полученных результатов проводили с помощью программы Inca-2000.

Для нанокompозитов Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂ была также выполнена сканирующая электронная микроскопия (СЭМ) поверхности пленки МНК. На рис. 1 приведены изображения слоев МНК Co/Al₂O₃ с концентрациями 22 и 50 ат.% Co. На рис. 1(а) видно, что МНК Co/Al₂O₃ состоят из плотноупакованных зерен неправильной формы размером от нескольких нанометров до 50 нм. С увеличением концентрации Co размеры НЧ могут достигать 70 нм (рис. 1(б)).

На рис. 2 показано СЕМ изображение МНК Co/SiO₂. В отличие от матрицы Al₂O₃ наночастицы Co в матрице SiO₂ имеют меньший разброс по размерам (примерно от 7 до 13 нм), что связано с отличными от матрицы Al₂O₃ физико-химическими свойствами SiO₂.

Электрические свойства МНК Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂

Для определения механизма электропереноса в МНК Co/Al₂O₃ и Co/SiO₂ построены температурные зависимости электропроводности в координатах Мотта $\ln(\sigma/\sigma_{280}) \propto f(T^{-1/4})$. На рис. 3 и 4 видно, что температурные зависимости σ имеют линейный характер при $T > 100$ К. Это указывает на прыжковый механизм переноса электронов с переменной длиной прыжка по локализованным состояниям, которые находятся в узкой полосе энергий вблизи уровня Ферми, в указанной области температур в обеих матрицах.

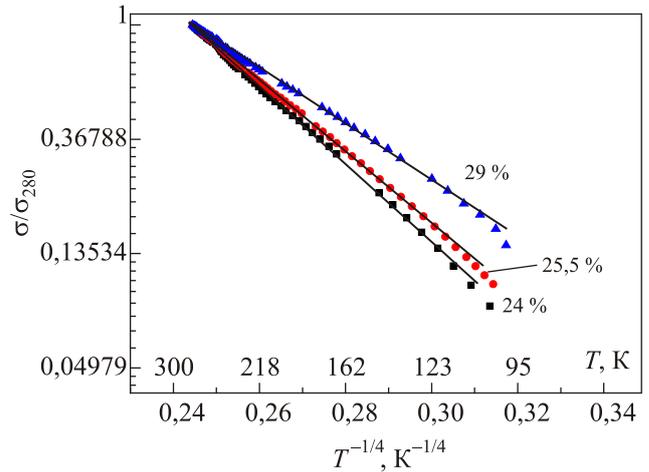


Рис. 3. (Онлайн в цвете) Температурная зависимость проводимости МНК Co/Al₂O₃ с разным содержанием Co.

Выражение для электропроводности в случае прыжкового механизма (закон Мотта [10]) имеет вид

$$\sigma = e^2 R^2 v_{ph} N(E) \exp\left(-\frac{B}{T}\right)^{1/4}, \quad (1)$$

$$B = \frac{1,66}{a^3 k N(E)}, \quad (2)$$

где e — заряд электрона, T — абсолютная температура, $N(E)$ — плотность центров локализации электронов на уровне Ферми, k — постоянная Больцмана, v_{ph} — фактор спектра фононного взаимодействия, a — радиус локализации волновой функции электрона (радиус центра локализации).

С помощью выражения (1) определены значения B для различных концентраций Co в матрице Al₂O₃ и SiO₂. Из формулы (2), принимая радиус локализации $a \approx 0,8$ нм [11], были найдены значения плотности состояний на уровне Ферми $N(E)$ (см. табл. 2 и рис. 5).

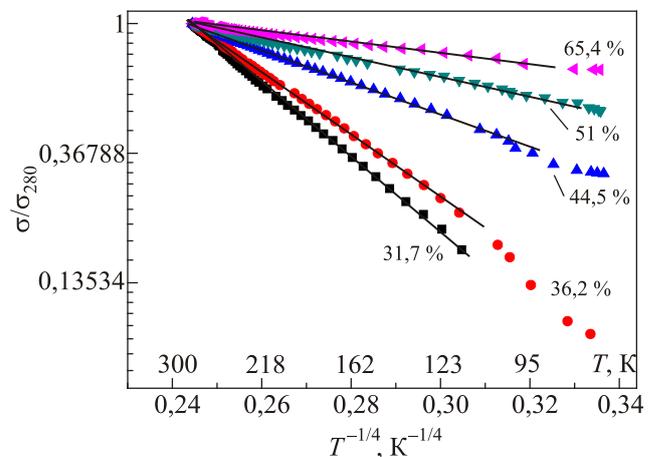


Рис. 4. (Онлайн в цвете) Температурная зависимость проводимости МНК Co/SiO₂ с разным содержанием Co.

Таблица 2. Параметры МНК $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и Co/SiO_2 , определенные из графиков на рис. 3 и 4

Концентрация Co, ат. % МНК Co/SiO_2	B , К	$N(E)$, $\text{эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$	Концентрация Co, ат. % МНК $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$	B , К	$N(E)$, $\text{эВ}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$
31,7	15^4	$7,4 \cdot 10^{20}$	24	15^4	$7,4 \cdot 10^{20}$
36,2	$12,8^4$	$1,4 \cdot 10^{21}$	25,5	$14,3^4$	$8,73 \cdot 10^{20}$
44,5	$8,5^4$	$7,2 \cdot 10^{21}$	29	$12,7^4$	$1,4 \cdot 10^{21}$
51	$6,4^4$	$2,2 \cdot 10^{22}$			

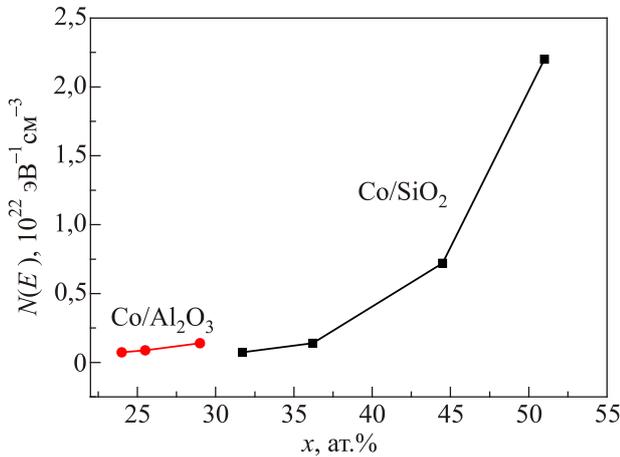


Рис. 5. Зависимость плотности состояний на уровне Ферми от концентрации Co.

Полученные оценочные значения плотности состояний $N(E)$ очень высоки потому, что источником локализованных состояний в МНК могут выступать не только дефекты структуры диэлектрической матрицы, а и границы НЧ Co с аморфной матрицей. С увеличением концентрации Co плотность состояний увеличивается.

Магнитные свойства и магнитный обменный сдвиг

На рис. 6 и 7 представлены зависимости намагниченности МНК $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ и Co/SiO_2 от магнитного поля. Петли гистерезиса при высоких температурах не

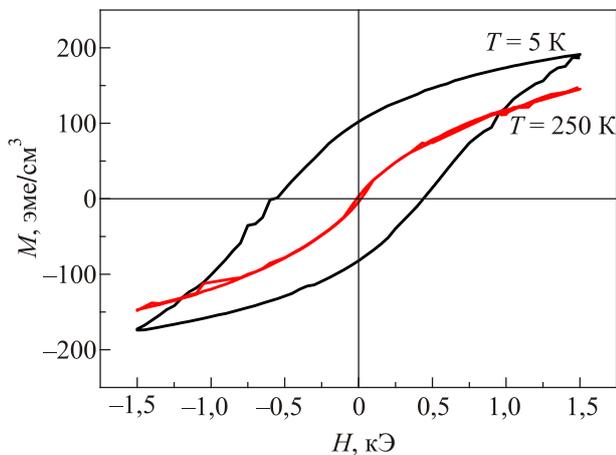


Рис. 6. Зависимость намагниченности МНК $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ с 28 ат. % Co от магнитного поля.

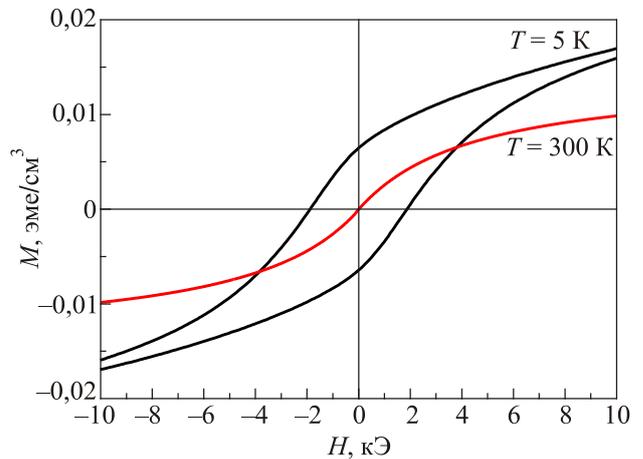


Рис. 7. Зависимость намагниченности МНК Co/SiO_2 с 32 ат. % Co от магнитного поля.

наблюдаются, что характерно для суперпарамагнитного состояния нанокомпозитов. При 5 К наблюдается переход от суперпарамагнитного состояния в ферромагнитное, что означает превалирование обменного взаимодействия между наночастицами Co по сравнению с тепловой энергией.

Также нами впервые для МНК $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ обнаружен «магнитный обменный сдвиг» (38 Э) [9].

При формировании слоя МНК $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ путем электронно-лучевого распыления металлического кобальта в вакууме, содержащем следы кислорода в остаточной газовой смеси, а также благодаря взаимодействию с оксидом алюминия, наночастицы Co покрываются слоем CoO (см. рис. 8).

В отличие от ферромагнитного кобальта с температурой Кюри $T_K = 1121^\circ\text{C}$, CoO является антиферромагнетиком (АФМ) с температурой Нееля $T_N = 290 \text{ К}$. В результате обменного магнитного взаимодействия ядра Co с оболочкой CoO магнитные моменты ионов Co в оболочке CoO ориентируются параллельно магнитным моментам Co в однодоменных ядрах НЧ. При измерении петли гистерезиса с изменением направления магнитного поля магнитный момент ядра НЧ Co, а следовательно, магнитные моменты всех составляющих его атомов Co переориентируются по полю. В то же время направления магнитных моментов Co в АФМ CoO остаются прежними. Поскольку слой АФМ препятствует повороту магнитных моментов ядер Co в НЧ, для их перемагничивания нужны большие магнитные поля в

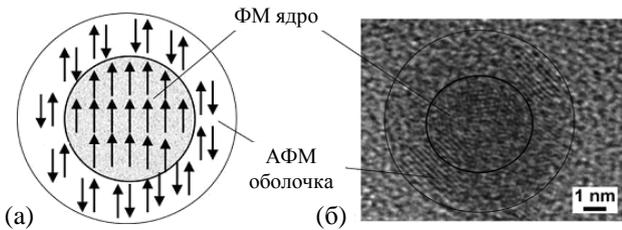


Рис. 8. Строение НЧ Co с ферромагнитным ядром, покрытым оболочкой антиферромагнитного CoO; (а) схематическое изображение НЧ Co «в оболочке» CoO с направлениями магнитных моментов атомов кобальта при $H = 0$; (б) просвечивающая электронная микроскопия образца НЧ Co «в оболочке» CoO ($d_{Co} = 4$ нм, толщина АФМ оболочки Co 2 нм) [12].

обратном направлении по сравнению с ситуацией, когда наночастицы Co не покрыты АФМ оболочкой CoO.

Благодаря этому растет обменная энергия и возникает гигантская магнитная анизотропия $E_a = -k_a \cos \theta$, где θ — угол между направлением ориентации магнитных моментов ядра Co, а также магнитными моментами в АФМ слое и вектором магнитного поля H . Величина константы анизотропии k_a достигает ~ 105 Дж/м³. Это приводит к смещению центра петли гистерезиса в сторону отрицательных магнитных полей (по отношению к первому изначально приложенному). Такое смещение называется «магнитным обменным сдвигом» (МЭВ, magnetic exchange bias) ΔH_{exch} и вычисляется как $\Delta H_{exch} = (H_c^- + H_c^+)/2$.

Для определения магнитного обменного сдвига измерены зависимости магнитного момента от внешнего магнитного поля для МНК Co/Al₂O₃ с 42,78 ат.% Co (см. рис. 9) на VSM-магнитометре. Измерения выполнены при трех температурах, что дает возможность выявить влияние обменного взаимодействия на границе ядра Co с АФМ оболочкой, которое возникает при температурах ниже температуры Нееля $T_N = 290$ К.

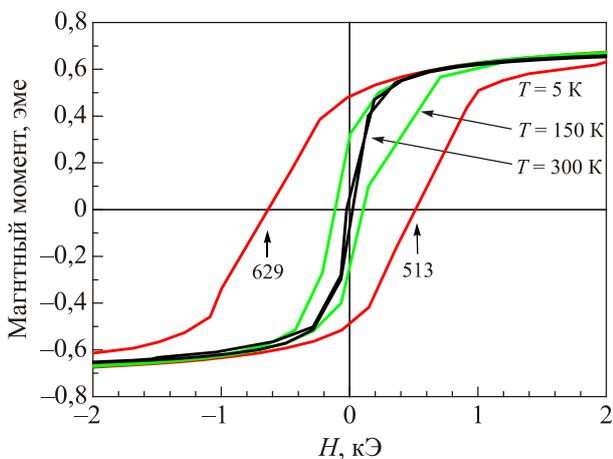


Рис. 9. (Онлайн в цвете) Петли гистерезиса ФМНК Co/Al₂O₃ с 42,8 ат.% Co при различных температурах измерений.

Наибольший сдвиг петли гистерезиса в полученных нами МНК наблюдали при температуре 5 К. «Магнитный обменный сдвиг» ΔH_{exch} составлял 38 Э. Этот эффект может использоваться в магниторезистивных датчиках и магнитной оперативной памяти.

Термоэлектрические явления

В МНК Co/Al₂O₃ нами была обнаружена гигантская положительная магнитотермоэдс [8], показанная на рис. 10. Мы полагаем, что она связана с прыжковым механизмом транспорта электронов по немагнитным центрам локализации, по магнитным центрам, содержащим единичные атомы кобальта или их кластеры, и по наночастицам ферромагнитного кобальта в условиях температурного градиента.

Гигантскую положительную магнитотермоэдс можно объяснить следующим образом. При приложении температурного градиента к МНК движение электронов становится направленным (от горячего к холодному концу). При включении магнитного поля происходит уменьшение рассеяния электронов с поворотом спина на магнитных центрах. Скорость движения электронов увеличивается, поскольку электроны и магнитные центры имеют параллельные направления магнитных моментов и соответственно отталкиваются (см. рис. 11). Такое спин-зависимое движение электронов в магнитном поле при температурном градиенте, по нашему мнению, приводит к гигантской положительной магнитотермоэдс. Подавление электронного рассеяния при измерении термоэдс — аналог подавления эффекта Кондо с помощью магнитного поля. Величина магнитотермоэдс растет с уменьшением температуры вследствие ослабления тепловой дезориентации магнитных моментов магнитных центров и электронов.

Нами также обнаружено явление отрицательной магнитотермоэдс в МНК Co/SiO₂ (см. рис. 12).

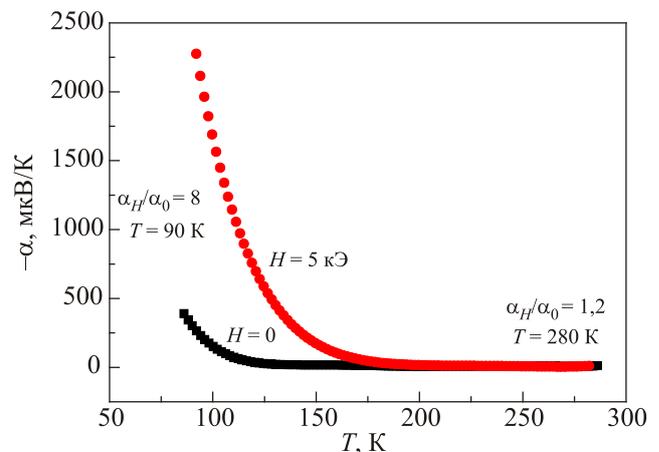


Рис. 10. (Онлайн в цвете) Температурная зависимость термоэдс МНК Co/Al₂O₃ с содержанием Co 24 ат.%.

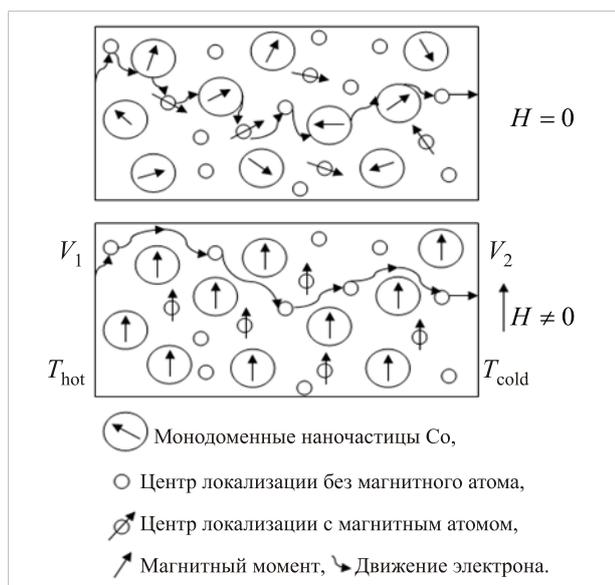


Рис. 11. Механизм гигантской термоэдс в магнитном поле для МНК с содержанием Со ниже порога перколяции.

Отрицательная магнитотермоэдс в МНК Co/SiO_2 объяснена нами химическим взаимодействием Со и SiO_2 , приводящим к появлению новых силицидных фаз с различными типами магнитного упорядочения. Поскольку магнитные моменты Со на поверхности их наночастиц и кластеров случайным образом ориентированы, происходит рассеяние электронов с поворотом спина, что приводит к уменьшению термоэдс в магнитном поле.

Заключение

В широкой области температур и в магнитных полях до 5 кЭ нами были исследованы магнитные, электрические и термоэлектрические свойства МНК, представляющих собой диэлектрические матрицы Al_2O_3 и SiO_2 с распределенными в них наночастицами Со в доперколяционной области концентраций. Показано, что

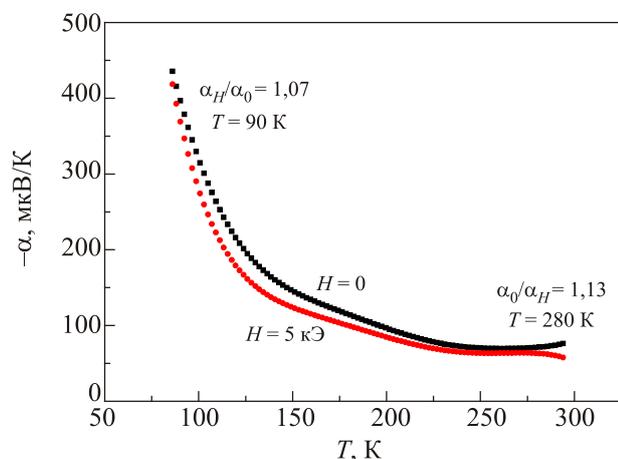


Рис. 12. (Онлайн в цвете) Температурная зависимость термоэдс МНК Co/SiO_2 с содержанием Со 36,2 ат.%.

для обеих матриц характерен прыжковый механизм переноса электронов по локализованным состояниям с переменной длиной прыжка.

Впервые для МНК $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$ с содержанием Со в интервале 12–43 ат.%, выращенных методом двухтигельного электронно-лучевого напыления, обнаружен «магнитный обменный сдвиг» (38 Э), обусловленный магнитным взаимодействием ферромагнитного ядра НЧ Со с его оболочкой в виде тонкого антиферромагнитного слоя СоО.

Предложен механизм возникновения спин-зависимой гигантской положительной термоэдс в магнитном поле в композитах $\text{Co}/\text{Al}_2\text{O}_3$, основанный на эффекте уменьшения рассеяния электронов магнитными центрами благодаря параллельному направлению магнитных моментов электронов и этих центров при включении магнитного поля.

В случае матрицы SiO_2 обнаружена отрицательная магнитотермоэдс, т.е. уменьшение термоэдс при включении магнитного поля. Она объяснена химическим взаимодействием Со и SiO_2 , приводящим к появлению новых силицидных магнитных фаз с различными типами магнитного упорядочения. В случае возникновения пространственных флуктуаций их намагниченности с включением магнитного поля рассеяние электронов возрастает, что приводит к дополнительному рассеянию, уменьшающему термоэдс.

1. B. Abeles, P. Sheng, M.D. Coutts, and Y. Arie, *Adv. Phys.* **24**, 407 (1975).
2. M. N. Baibich, J. M. Broto, A. Fert, F. Nguyen Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friederich, and J. Chazelas, *Phys. Rev. Lett.* **61**, 2472 (1988).
3. A.Ya. Vovk, V.O. Golub, L. Milkinski, A.F. Kravets, A.M. Pogorily, and O.V. Shupil, *J. Magn. Magn. Mater.* **272–276**, 1403 (2004).
4. A.B. Pakhomov, X. Yan, and B. Zhao, *Appl. Phys. Lett.* **67**, 3497 (1995).
5. M.V. Radchenko, G.V. Lashkarev, M.E. Bugaiova, V.I. Sichkovskiy, V.I. Lazorenko, W. Knoff, T. Story, S.P. Kolesnik, and N.I. Danilenko, *Phys. Status Solidi B* **248**, 1619 (2011).
6. H. Sato, Y. Kobayashi, K. Hashimoto, Y. Aoki, H. Sugawara, S. Mitani, H. Fujimori, and S. Ohnuma, *J. Phys. Soc. Jpn.* **7**, 2193 (1998).
7. В.А. Белоусов, А.Б. Грановский, Ю.Е. Калинин, А.В. Ситников, *Письма в ЖЭТФ* **132**, 1393 (2007).
8. G.V. Lashkarev, M.V. Radchenko, M.E. Bugaiova, O.E. Baibara, A.I. Dmitriev, W. Knoff, T. Story, M. Foltyn, Y.A. Stelmakh, and L.A. Krushynskaya, *Phys. Status Solidi B* **254**, 1700153 (2017)
9. M.V. Radchenko, G.V. Lashkarev, M.E. Bugaiova, O.E. Baibara, W. Knoff, T. Story, L.A. Krushynskaya, Y.A. Stelmakh, and Y. Dumond, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics and Optoelectronics* **21**, 125 (2018).

10. Н. Мотт, С. Девис, *Электронные процессы в некристаллических веществах*, Мир, Москва (1994).
11. Ю.Е. Калинин, А.Н. Ремизов, О.В. Сытников, *ФТТ* **46**, 2076 (2004).
12. J. Noguees, J. Sort, V. Langlais, V. Skumryev, S. Suriñach, J. Muñoz, and S. Baró, *Phys. Rep.* **422**, 65 (2005).

Нетривіальні явища в магнітних нанокompозитах Co/Al₂O₃ та Co/SiO₂

Г.В. Лашкар'єв, М.В. Радченко, А.Є. Байбара, М.Є. Бугаєва, Л.І. Петросян, Y. Dumond, T. Story, W. Knoff, N. Nedelko, A. Ślawska-Waniewska, M. Foltyn, Я.А. Стельмах, Л.А. Крушинська

Магнітні нанокompозити (МНК), в яких наночастинки ферромагнітних металів розподілені у широкозонній діелектричній матриці (Al₂O₃ або SiO₂), є перспективними матеріалами для електроніки через можливість управління їх властивостями шляхом технологічного управління розмірами та концентрацією ферромагнітних наночастинок. Шари МНК Co/Al₂O₃ та Co/SiO₂ з концентраціями Co нижче порога перколяції були осаджені на полікорові підкладки методом електронно-променевого напilenня в вакуумі (ЕВ-РВД). Скануюча електронна мікроскопія показала наявність в МНК щільно упакованих зерен Co неправильної форми з розмірами 5–50 нм. Проведено низькотемпературні вимірювання намагніченості МНК Co/Al₂O₃ в діапазоні температур 4–300 К та магнітних полях до 10 кЕ. Виявлено «магнітний обмінний зсув», який збільшується зі зростанням концентрації Co. Шляхом досліджень електричних властивостей в МНК Co/Al₂O₃ та Co/SiO₂ в діапазоні температур 77–280 К встановлено стрибковий механізм транспорту електронів моттовського типу. В МНК Co/Al₂O₃ нами вперше було виявлено ефект гігантської позитивної термоерс у магнітному полі, а в МНК Co/SiO₂ — ефект від'ємної магнітотермоерс.

Ключові слова: ЕВ-РВД, магнітні нанокompозити, наночастинки Co, магнітний обмінний зсув, магнітотермоерс.

Nontrivial phenomena in magnetic nanocomposites Co/Al₂O₃ and Co/SiO₂

G.V. Lashkarev, M.V. Radchenko, A.E. Baibara, M.E. Bugaiova, L.I. Petrosian, Y. Dumond, T. Story, W. Knoff, N. Nedelko, A. Ślawska-Waniewska, M. Foltyn, Y.A. Stelmakh, and L.A. Krushynskaya

Magnetic nanocomposites (MNC), in which nanoparticles of ferromagnetic metals are distributed in a wide-gap dielectric matrixes (Al₂O₃ or SiO₂), are perspective materials for electronics due to the ability to give them necessary properties by technological control of the concentration and size of ferromagnetic nanoparticles. Co/Al₂O₃ and Co/SiO₂ MNC layers with Co concentrations below the percolation threshold were deposited on polycor substrates using electron-beam deposition in vacuum (EB-PVD). Scanning electron microscopy showed the presence of tightly packed Co grains of irregular shape with sizes of 5–50 nm in MNC. Low-temperature measurements of the magnetization for MNC Co/Al₂O₃ were made in the temperature range 4–300 K and magnetic fields up to 10 kOe. The “magnetic exchange bias” has been detected and it increases with Co concentration growing. By studying the electrical properties of the MNC Co/Al₂O₃ and Co/SiO₂ in the temperature range of 77–280 K, Mott type electron transport hopping mechanism was established. We first observed the effect of a giant positive thermoelectric power in a magnetic field in MNC Co/Al₂O₃ and the effect of a negative magnetothermoelectric power in a Co/SiO₂.

Keywords: EB-PVD, magnetic nanocomposites, Co nanoparticles, magnetic exchange bias, magnetothermoelectric power.