

**Отзыв официального оппонента на диссертационную работу Кобякова
Александра Васильевича «Синтез и физические свойства трехслойных пленок в
системе Co-Ge», представленную на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности 01.04.11 — физика магнитных
явлений.**

Диссертационная работа Кобякова А.В. посвящена экспериментальному исследованию структурных, магнитных и резонансных свойств пленок Co-Ge и изучению механизмов, ответственных за формирование магнитных свойств и межслойных взаимодействий. Тема работы актуальна по ряду причин, имеющих как научное, так и прикладное значение. Во-первых, непрерывный и все возрастающий интерес к тонкопленочным материалам обусловлен широчайшим спектром их технических применений. Во-вторых, развитие физики и технологии получения тонких пленок и многослойных структур важно в плане фундаментального понимания явлений, наблюдаемых в планарных наноструктурах. В третьих, планарные наноструктуры системы ферромагнитный металл – полупроводник вызывают в последние годы заметный интерес, т.к. в них появляется возможность управления магнитными и резистивными свойствами путем подбора полупроводникового материала, чередования и толщины магнитных и немагнитных слоев. Для развития указанных направлений необходимо детальное понимание механизмов, ответственных за формирование структуры, магнитных свойств и особенностей межслойных взаимодействий. Из вышесказанного следует, что тема диссертации Кобякова А.В. актуальна, а работы, на которых основана его диссертация, весьма важны и могут быть интересны широкому кругу научных работников.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 100 наименований. Общий объем диссертационной работы составляет 112 страниц, в том числе 51 рисунок и 4 таблицы.

Первая глава содержит краткий обзор литературных источников по тематике диссертации: многослойные магнитные пленки с немагнитной прослойкой из полупроводниковых материалов. В конце первой главы сформулирована цель работы и поставлены задачи. Вторая глава посвящена описанию оборудования для получения магнитных пленок Co/Ge/Co и экспериментальным методикам исследований структурных, магнитных и резонансных свойств магнитных пленок. В третьей главе обсуждаются некоторые вопросы технологии получения планарных наноструктур. Установлено, что магнитная структура исследуемых образцов зависит как от скорости напыления слоев, так

и от температуры подложки. В четвертой главе описаны результаты структурных и магнитных исследований, а также предложено модельное описание магнитного поведения системы. Пятая глава содержит описание резонансных исследований и межслойных взаимодействий. В заключении сформулированы основные выводы работы.

Поставленные задачи содержат элементы новизны, ряд полученных результатов, безусловно, можно отнести к оригинальным и вносящим вклад в понимание особенностей протекания физических процессов в планарных наноструктурах системы ферромагнитный металл – полупроводник.

В отзыве сложно перечислить все новые результаты, полученные в диссертации. Отмечу только те из них, которые с моей точки зрения, имеют, наибольший интерес:

1. Получены магнитные пленки Co/Ge/Co с различным соотношением кубической и гексагональной фаз кобальта.

2. Обнаружен переход из аморфного в «кубическое» состояние при увеличении толщины слоя германия, приводящий к образованию неравновесной кубической гранецентрированной фазы кобальта. Определены условия получения гексагональной и кубической фаз кобальта в пленках в области нанотолщин.

3. Обнаружено необычное термомагнитное поведение намагниченности, для объяснения которого предложено использование модифицированной модели Стонера-Вольфорта: кубическая фаза кобальта рассматривается как сплошная среда, с расположенными в ней сильно анизотропными гранулами гексагонального кобальта, обменно связанными с матрицей.

4. С применением метода электронного магнитного резонанса установлен антиферромагнитный характер обменной связи между ферромагнитными слоями, при наличии слабых осцилляций по величине для всех толщин немагнитной полупроводниковой прослойки. Предложена модель обмена через электронную зону проводимости.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием современных методик, достаточным количеством представленных в работе данных, анализом полученных результатов и их сопоставлением с результатами независимых исследований. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

По сути сделанных в работе выводов у рецензента есть несколько замечаний:

1. Диссертационная работа представлена на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 — физика магнитных явлений. В

работе достаточно новых интересных научных результатов, соответствующих специальности 01.04.11 — физика магнитных явлений. Поэтому формулировка цели работы как «отработка технологии получения магнитных пленок Co/Ge/Co и исследование особенностей магнитной структуры в зависимости от технологических условий» мне видится крайне не удачной. Предложенные технические решения совершенно стандартны и не представляют специального общего интереса

2. Первая глава содержит краткий обзор литературных источников. Рассмотрены системы с прослойкой из однокомпонентного полупроводника Fe/Si)n, (Fe/Ge)n, (Co/Si)n, экзотические системы с прослойкой из двухкомпонентных полупроводников $[(\text{ZnTe})_x/(\text{MnTe})_y]$, EuS/PbS, системы с редкоземельными слоями (Co/Si/Gd/Si). Обзор получился большим и эклектически разношерстным. Например, система (Co/Si)n описана поверхностно и без учета работ ряда групп (Е. Е. Shalygina et al. Features of the Magnetic Properties of Co/Si/Co Thin Film Systems, Technical Physics Letters, 39(12) 1089 (2013); A. Sagdeo, Origin of step-like behavior in the Co/Si system, J. Phys.: Condens. Mater. 23, 246004 (2011). Отсутствует и интересная с точки зрения магнитосопротивления система (Tb/Si)n (A.V. Svalov et al. Magnetoresistance in nanostructured Tb/Ti and Tb/Si multilayers, J. Appl. Phys. 109, 023914 (2011). Вопросы влияния скорости осаждения пленок, полученных методом ионно-плазменного распыления, в обзоре почти не затронуты (A.V. Svalov et al., Study of the effect of the deposition rate and seed layers on structure and magnetic properties of magnetron sputtered FeNi films, Vacuum 119, 245 (2015)).

3. Исследование особенностей образования фаз германидов кобальта было проведено для структур полученных методом термического испарения на монокристаллическую MgO(001) подложку, а магнитные пленки Co/Ge/Co были получены методом ионно-плазменного распыления на стеклянные подложки. В какой степени эти системы можно сравнивать?

4. В целом, работа производит положительное впечатление, хотя изложение и диссертации, и автореферата не свободно от многочисленных опечаток и недостатков стилистического характера. Список литературы оформлен небрежно, без единого формата. Появление англоязычных вставок мне кажется совершенно неоправданным. Например, на стр. 19 автореферата сказано, что “В fcc фазе в зависимости от скорости напыления и температуры подложки возникают гранулы гексагонального кобальта”, а Таблица 3 на стр. 67 приводится целиком на английском языке. В автореферате нет рисунка 2.

Полученные в работе результаты имеют значение как для материаловедения, так и для создания новых устройств спинтроники, их можно рекомендовать для ознакомления и использования в организациях, ведущих исследования в области наномagnetизма, как например, МГУ им. М.В.Ломоносова (г. Москва), Уральский и Дальневосточный федеральные университеты, Санкт-Петербургский, Новосибирский и Тверской университеты, ФТИ РАН РФ им. Иоффе (г. С-Петербург), Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН (г. Красноярск), Институт физики металлов РАН (Екатеринбург) и др.

Отмеченные недостатки не ставят под сомнение ценность содержания работы и не снижают общей положительной ее оценки. Автореферат и публикации автора в отечественных и зарубежных научных изданиях точно и полностью отражают полученные в диссертационной работе результаты.

Результаты работы докладывались на международных конференциях, опубликованы в научных журналах, в том числе и в с журналах с импакт-фактором.

В целом диссертационная работа «Синтез и физические свойства трехслойных пленок в системе Co-Ge» отвечает всем требованиям ВАК РФ предъявляемым к диссертации на соискание степени кандидата физико-математических наук, а ее автор, Кобяков Александр Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11.- физика магнитных явлений.

Доктор физико-математических наук по специальности 01.04.11 — физика магнитных явлений, профессор-исследователь Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина"



Курляндская Галина Владимировна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина" Институт естественных наук ул. Мира, д.19 620002 Екатеринбург

Тел. 8 343 2617528

Факс 8343 375-48-90

E-mail: galinakurlandskaya@urfu.ru



Подпись профессора-исследователя кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук д.ф.-м.н. Курляндской Г.В. удостоверяю

Список трудов д.ф.м.н. Г.В. Курляндской за 2011-2016 гг. по теме, соответствующей теме оппонируемой диссертации Кобякова Александра Васильевича «Синтез и физические свойства трехслойных пленок в системе Co-Ge» по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

1. A.V. Svalov, **G.V. Kurlyandskaya**, V.O. Vas'kovskiy, A.N. Sorokin, D. Diercks, Magnetoresistance in nanostructured Tb/Ti and Tb/Si multilayers, *Journal of Applied Physics* Vol. 109 (2) (2011) 023914.
2. **G.V. Kurlyandskaya**, A. Garcia-Arribas, E. Fernandez, A.V. Svalov, Nanostructured Magnetoimpedance Multilayers, *IEEE Transactions on Magnetism*, Vol. 48(4) (2012) 1375-1380.
3. A.V. Svalov, E. Fernandez, A. Garcia-Arribas, J. Alonso, M.L. Fdez-Gubieda, **G.V. Kurlyandskaya**, FeNi-based magnetoimpedance multilayers: Tailoring of the softness by magnetic spacers, *Applied Physics Letters*, Vol. 100(16) (2012) 162410.
4. E. Fernandez, **G.V. Kurlyandskaya**, A. Garcia-Arribas, A.V. Svalov, Nanostructured giant magneto-impedance multilayers deposited onto flexible substrates for low pressure sensing, *Nanoscale Research Letters*, Vol. 7 (2012) 230.
5. A.V. Svalov, P.A. Savin, V.N. Lepalovskij, A. Larranaga, V.O. Vas'kovskiy, A. Garcia Arribas, **G.V. Kurlyandskaya**, Exchange biased FeNi/FeMn bilayers with coercivity and switching field enhanced by FeMn surface oxidation, *AIP Advances*, Vol. 3(9) (2013) 092104.
6. E.E. Shalygina, A.M. Kharlamova, A.A. Rozhnovskaya, **G.V. Kurlyandskaya**, A.V. Svalov, Features of the magnetic properties of Co/Si/Co thin-film systems, *Technical Physics Letters*, Vol. 39(12) (2013) 1089-1092.
7. P.A. Savin, V.N. Lepalovskij, A.V. Svalov, V.O. Vas'kovskiy, **G.V. Kurlyandskaya**, Effect of phase separation in an Fe₂₀Ni₈₀/Fe₅₀Mn₅₀ structure with exchange coupling, *Physics of Metals and Metallography*, Vol. 115(9) (2014) 856-863.
8. A.V. Svalov, A. Larranaga, **G.V. Kurlyandskaya**, Effect of Ti seed and spacer layers on structure and magnetic properties of FeNi thin films and FeNi-based multilayers, *Materials Science and Engineering B*, Vol. 188 (2014) 102-105.
9. A.V. Svalov, V.O. Vas'kovskiy, K.G. Balymov, J. Alonso, M.L. Fdez-Gubieda, **G.V. Kurlyandskaya**, Magnetic Properties and Magnetic Entropy Change in Gd/Ti Multilayers *IEEE Transactions on Magnetism*, Vol. 50(11) (2014) 2302204.
10. A. Svalov, L. Lokamani, R. Schafer, V. Vas'kovskiy, **G.V. Kurlyandskaya**, Magnetization processes and magnetic domain structure in weakly coupled GdCo/Si/Co trilayers, *Journal of Alloys and Compounds*, 615 (2014) S366-S370.
11. A.V. Svalov, **G.V. Kurlyandskaya**, V.N. Lepalovskij, P.A. Savin, V.O. Vas'kovskiy, Exchange bias in FeNi/FeMn/FeNi multilayers, *Superlattices and Microstructures*, Vol. 83 (2015) 216-223.
12. A.V. Svalov, **G.V. Kurlyandskaya**, B. Gonzalez Asensio, J.M. Collantes, A. Larranaga, Tuning the structure and magnetic softness of thin permalloy films by variations in the thickness of titanium seed layer, *Materials Letters*, Vol. 152 (2015) 159-162.
13. A.V. Svalov, B. Gonzalez Asensio, A.A. Chlenova, P.A. Savin, A. Larranaga, J.M. Gonzalez, **G.V. Kurlyandskaya**, Study of the effect of the deposition rate and seed layers on structure and magnetic properties of magnetron sputtered FeNi films, *Vacuum*, Vol. 119 (2015) 245-249.

14. A.V. Svalov, **G.V. Kurlyandskaya**, V.O. Vas'kovskiy, A. Larranaga, R. Della Pace, C.C.P. Cid, Thickness-dependent Curie temperature in ferrimagnetic Gd-Co/Ti multilayers Superlattices and Microstructures, Vol. 90 (2016) 242-246.
15. A.V. Svalov, **G.V. Kurlyandskaya**, V.O. Vas'kovskiy, Thermo-sensitive spin valve based on layered artificial ferrimagnet, Applied Physics Letters, Vol. 108(6) (2016) 063504.

Доктор физико-математических наук,


Курляндская Галина Владимировна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина" Институт естественных наук ул. Мира, д.19 620002 Екатеринбург

Тел. 8 343 2617528

Факс 8343 375-48-90

E-mail: galinakurlyandskaya@urfu.ru



Подпись профессора-исследователя кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук д.ф.-м.н. Курляндской Г.В. удостоверяю