

Заключение диссертационного совета МГУ.013.5  
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук

Решение диссертационного совета от «05» октября 2023 г. № 16

О присуждении Макарову Андрею Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Исследование структурных, магнитных и магнитооптических свойств трёхслойных тонкоплёночных систем Fe/полидифениленфталид/Fe, Co/Gd/Co и Co/Cu/Co» по специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений» принята к защите диссертационным советом 22 июня 2023 года, протокол № 15.

Соискатель, Макаров Андрей Владимирович, 1994 года рождения, в 2018 году окончил Московский Государственный Университет имени М. В. Ломоносова с присвоением квалификации «Магистр» по направлению подготовки 03.04.02 «Физика». В 2022 году он успешно освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре физического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по направлению 03.06.01 «Физика и астрономия». В настоящее время соискатель временно не работает.

Диссертация выполнена на кафедре магнетизма физического факультета Московского Государственного Университета имени М. В. Ломоносова.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры магнетизма физического факультета Московского Государственного Университета имени М. В. Ломоносова Шалыгина Елена Евгеньевна.

Официальные оппоненты:

- Юрасов Алексей Николаевич – доктор физико-математических наук, доцент, профессор кафедры наноэлектроники Института перспективных технологий и индустриального программирования РТУ МИРЭА,
  - Пятаков Александр Павлович – доктор физико-математических наук, профессор РАН, профессор кафедры физики колебаний физического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова,
  - Бузников Никита Александрович – доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник лаборатории внутрипромышленного газа ООО Газпром ВНИИГАЗ
- дали положительные отзывы на диссертацию.

Соискатель имеет 7 опубликованных статей, все по теме диссертации, из них 4 статьи (1,51 п.л.) опубликованы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.12– «физика магнитных явлений».

В качестве основных публикаций можно выделить следующие работы:

1. Shalygina E.E., Kharlamova A.M., Makarov A.V., Kaminskaya T.P., Shalygin A.N. // Thin-Film Three-Layer Fe/Poly(diphenylene phthalide)/Fe Systems: Structural Properties and Behavior in Magnetic Fields. // Physics of the solid state, 2018, том 60, № 9, с. 1737 – 1743 (SJR Q3 IF: 0.848, DOI: 10.1134/S1063783418090287). (0,38 п.л., авторский вклад 0,2);

2. Shalygina E.E., Kharlamova A.M., Makarov A.V., Vorobieva N.V., Lachinov A.N. // Peculiarities of the magnetic properties of thin film three-layer Fe/Poly(diphenylene phthalide)/Fe systems. // Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 2018, Vol. 459, Pp. 328 – 330 (SJR Q2 IF: 3.097, DOI: 10.1016/j.jmmm.2017.09.069) (0,19 п.л., авторский вклад 0,2).

3. Shalygina E.E., Kharlamova A.M., Efremova S.L., Makarov A.V., Kurlyandskaya G.V., Svalov A.V. // The influence of the interlayer on the magnetic and structural properties of three-layer systems. // Journal of Physics: Conference Series, 2019, Vol. 1389, VII Euro-Asian Symposium "Trends in Magnetism", 012021, Pp. 8–13. (IF: 0.482, DOI: 10.1088/1742-6596/1389/1/012021) (0,38 п.л., авторский вклад 0,17);

4. Kharlamova A. M., Makarov A. V., Shalygina E. E., Svalov A. V. // Temperature Dependence of Magnetic Properties and Magnetic Field Behavior of Co/Gd/Co Thin-Film Three-Layer Systems. // Physics of the solid state, 2021, том 63, № 10, с. 1735 – 1742 (SJR Q3 IF: 0.848, DOI: 10.1134/S1063783421100140). (0,56 п.л., авторский вклад 0,25)

Приведённые в публикациях экспериментальные данные были получены автором самостоятельно в процессе работы на экспериментальном оборудовании. Исследования морфологии поверхности тонкопленочных систем Fe/ПДФ/Fe были выполнены автором под руководством с.н.с. Т.П. Каминской. Анализ и интерпретация полученных данных проводились автором совместно с научным руководителем. Кроме того, автор принимал участие в обсуждении и подготовке научных публикаций, а также в представлении их на научных конференциях.

На диссертацию и автореферат поступило 3 дополнительных отзыва, все положительные.

Выбор официальных оппонентов обосновывался соответствием их научных интересов профилю рассматриваемой диссертации, профессионализмом, высокими достижениями и компетентностью в соответствующей отрасли науки, а также наличием публикаций, соответствующих тематике диссертации. Указанные оппоненты не имеют совместных проектов и публикаций по теме диссертации с соискателем.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований были решены важные научные задачи, связанные с разработкой новых магнитных материалов для микро- и наноэлектроники, а также предложены новые научно обоснованные решения для создания тонкопленочных систем. Разработанные в диссертации методики и полученные экспериментальные результаты представляют интерес для широкого круга специалистов. Они могут быть использованы в научно-исследовательских организациях, в частности, в МИРЭА, МГУ, ИФМ УрО РАН, ЦНИИЧерМет, ИМЕТ РАН, МИИТ, МИЭТ, МФТИ, ИФП РАН, ИФТТ РАН, ФИАН, ИОФАН, ИФ СОИ РАН и др,

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. Положения, выносимые на защиту, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. В тонкопленочных системах Fe/ПДФ/Fe петли гистерезиса, измеренные вдоль длины образцов, имеют двухступенчатую форму с размером ступенек, зависящим от толщины ПДФ слоя. Причиной возникновения двухступенчатой петли гистерезиса является магнитоэлектронное взаимодействие между слоями железа. При этом роль обменного взаимодействия незначительна. Значения поля насыщения и коэрцитивной силы при одинаковой толщине магнитных слоёв уменьшаются с увеличением толщины промежуточного ПДФ слоя из-за уменьшения взаимодействия.

2. Гадолиний оказывает сильное влияние на магнитные свойства систем Co/Gd/Co, которое проявляется в зависимости магнитного момента Co/Gd/Co от температуры и толщины прослойки. Кроме того, образец с толщиной гадолиния, равной 9.0 нм, при  $T = 150$  К характеризуется минимальным значением магнитного момента и безгистерезисной формой петли перемангничивания, что указывает на состояние магнитной компенсации. Интенсивность магнитооптического эффекта Керра Co/Gd/Co образцов уменьшается с ростом толщины гадолиниевого слоя, поскольку уменьшается вклад нижнего слоя кобальта в магнитооптический сигнал.

3. Коэрцитивная сила и поле насыщения образцов Co/Cu/Co возрастают при уменьшении температуры от 350 до 100 К, что обусловлено усилением обменного РККИ-взаимодействия между слоями кобальта и увеличением магнитной анизотропии структуры. Вместе с тем для Co/Cu/Co образца с  $t_{Cu} = 3.2$  нм наблюдается двухступенчатая петля

гистерезиса при комнатной температуре. Увеличение размера ступеньки петли гистерезиса для данного образца при уменьшении температуры вызвано усилением обменного РККИ взаимодействия между слоями кобальта.

На заседании 5 октября 2023 г. диссертационный совет принял решение присудить Макарову Андрею Владимировичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – «Физика магнитных явлений».

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 18, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета МГУ.013.5  
Доктор физико-математических наук,  
профессор

Перов Николай Сергеевич

Ученый секретарь диссертационного совета МГУ.013.5  
кандидат физико-математических наук

Шапаева Татьяна Борисовна

5.10.2023