

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Уклеева Виктора Алексеевича «ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНЫХ МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК И МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМ ВЗАИМОДОПОЛНЯЮЩИМИ МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОННОГО И РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЙ», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Наноструктурированные мультифункциональные материалы (композиты) в последнее время привлекают пристальное внимание, так как именно они становятся основой элементной базы новых технологий создания устройств микро- и нанoeлектроники. В то же время ряд вопросов, связанных, в первую очередь, с особенностями пространственной организации и структурой таких систем, остается малоизученным. Диссертационная работа В.А. Уклеева, посвященная исследованию одного из классов подобных материалов: плёнок и многослойных металлических наноструктур, содержащих магнитные наночастицы, является, безусловно, **актуальной и имеет практическую значимость**. Здесь следует отметить, что рассматриваемые в диссертации плёнки и сверхрешётки на сегодняшний день остаются мало изученными по сравнению с аналогичными системами на основе сплошных слоёв переходных металлов. Определение структуры и магнитных свойств подобных систем (объектов), является весьма сложной и трудоёмкой задачей, требующей высокой квалификации и применения современных экспериментальных методик, в том числе таких, как малоугловое рассеяние нейтронов и синхротронного излучения (в том числе и в условиях скользящей геометрии), нейтронной рефлектометрии и других методов, использованных в диссертации.

Такой комплексный подход, сочетающий взаимодополняющие методики, существенно повышает **надежность и обоснованность** полученных данных и сделанных выводов. Работа имеет несомненную **научную и практическую ценность**, в ней получен ряд **принципиально новых** результатов: **впервые** получены экспериментальные данные о нано-масштабной структуре и магнитных свойствах гранулированных плёнок  $\text{SiO}_2(\text{Co})$ , **впервые** показано изменение формы и размеров магнитных наночастиц в многослойных структурах в зависимости от толщины соседних полупроводниковых слоёв.

В числе наиболее значительных результатов работы следует отметить следующие:

1. Обнаружена неоднородность роста плёнок  $\text{SiO}_2(\text{Co})$ , которая приводит к появлению двух магнитных фазовых переходов системы, один из которых происходит в объёме плёнки, а другой на интерфейсе с подложкой.
2. Показана возможность контроля намагниченности насыщения и электрического сопротивления с помощью изменения толщины полупроводникового слоя в многослойных структурах металл-диэлектрик / полупроводник.

Диссертационная работа состоит из Введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 87 наименований. Во Введении обоснована актуальность диссертационной

работы, сформулирована ее цель, определены объекты исследования и конкретные задачи, сформулированы выносимые на защиту положения, подчеркнута научная новизна, практическая значимость и актуальность работы.

Первая глава диссертационной работы носит обзорный характер – автор описывает современное состояние исследований в области магнитных наночастиц и плёночных структур, методы получения плёнок, содержащих магнитные наночастицы, а также обосновывает выбор объектов исследования: гранулированные плёнки на основе кобальта в диэлектрической матрице оксида кремния и многослойные структуры металл-диэлектрик / полупроводник различных составов.

Во Второй главе рассмотрены методы исследования нано-масштабной структуры и магнитных свойств тонких плёнок, использованные в работе. Приводятся примеры исследований методами малоуглового рассеяния синхротронного излучения в скользящей геометрии, рефлектометрии поляризованных нейтронов и магнитометрии. Подробно излагается методика нейтронных и синхротронных экспериментов, использованных в данной работе.

В Третьей главе приводятся экспериментальные результаты исследования структуры и магнитных свойств плёнок  $\text{SiO}_2$  с наночастицами кобальта. С помощью данных о нано-масштабной структуре плёнок, полученные методами малоуглового рассеяния и рефлектометрии, объясняются магнитные свойства, полученные с помощью магнитометрии.

Четвертая глава посвящена исследованиям структуры, магнитных и электропроводящих свойств многослойных систем, состоящих из чередующихся металл-диэлектрических и полупроводниковых слоёв. Приводятся результаты экспериментов, проведённых с образцами разного состава и с разной толщиной слоёв. Выявлено влияние толщины полупроводникового слоя на магнитные свойства и электропроводность структуры, связанное с изменением формы и размеров наночастиц в соседних металл-диэлектрических слоях.

В заключительном разделе диссертации в целом достаточно полно сформулированы основные выводы.

В работе автор применял **хорошо апробированные экспериментальные методики**, достаточно **корректно** использовал известные теоретические подходы для анализа полученных экспериментальных результатов и для обоснования выводов и рекомендаций. Результаты и выводы диссертанта **обоснованы и достоверны**. Автором получены оригинальные результаты, имеющие несомненное фундаментальное и практическое значение. Основные положения диссертации нашли отражение в публикациях автора, апробированы на международных и всероссийских научных конференциях.

В то же время есть целый ряд **замечаний и недостатков** как в оформлении работы, так и в изложении самих результатов:

- Нет списка использованных в работе сокращений и аббревиатур.
- Диссертация недостаточно «вычитана»: много ошибок, опечаток, неудачно сформулированных предложений. Например: стр. 19 – «Данный эффект оказал значительный эффект на индустрию записи информации»; стр. 39 – «размер области интереса на детекторе составляет, как правило, единицы градусов»; подпись к рис. 2.9 – «симуляция нейтронной рефлектометрии», рис. 2.11 – «данные и модели, измеренные от

образца при температуре 10 К», рис. 4.5 – «температурная зависимость удельного сопротивления намагниченности». Опечатки есть даже в названиях разделов (пп. 3.1.2, 3.2.2).

- Часть рисунков (2.7, 2.11, 3.4, 3.9, 3.10, 3.11, 3.17, 3.18) расположены в других подразделах, а не там, где они обсуждаются, что затрудняет чтение диссертации.

- Нет единообразия в обозначении единиц измерения намагниченности: в основном используются  $\text{emu}/\text{cm}^3$ , на рисунках 3.9, 3.10, 3.11 весьма странные единицы ( $\text{emu}/\text{cc}$ ) (видимо, описка), на рис. 4.4 намагниченность приведена в гауссах, а на ряде рисунков в относительных единицах.

- В тексте есть отсылки к несуществующим рисункам (например, рис. 3.3.2 – стр. 75, рис. 9 – стр. 94, рис.3 – стр. 105) и формулам (так на стр. 76 указано просто сокращение «Ур.»).

- Не приведены ошибки определения параметров моделей, например, на стр. 63 приведены без ошибок рассчитанные межчастичные расстояния для трехмерной системы наночастиц ( $70 \text{ \AA}$ ) и для монослоя ( $306 \text{ \AA}$ ) на интерфейсе «гранулированная пленка/Si». То же самое относится и к параметрам, приведенным в таблицах.

- Непонятна цель проведения измерений образцов многослойных структур с двумя практически одинаковыми слоями углерода (1.7 и 1.8 нм).

- Из текста диссертации остается неясным вопрос о выборе числа слоев этих структур. Почему именно 77 и 36 слоев?

- Чем обусловлен выбор 4-х контактного метода измерения сопротивления многослойных структур и в чем его (метода) преимущества в данном случае? Какова была геометрия измерений? Эти вопросы в диссертации не освещены.

- В разделе 3.2.2 приводятся данные магнитометрии для двух плёнок  $\text{SiO}_2(\text{Co}) / \text{GaAs}$  с различными толщинами. Сравнение этих двух образцов не вполне корректно из-за различной концентрации кобальта, и, как следствие, размеров частиц.

- На Рис. 3.5 приводятся кривые намагниченности плёнок в зависимости от приложенного поля в относительных единицах, хотя метод SQUID магнитометрии позволяет измерять абсолютное значение магнитного момента. Сами нормированные данные на рисунке представлены в весьма сомнительной нормировке: из графика следует, что приложение поля (-) 5 Т приводит к обнулению намагниченности.

- Также вызывает вопросы представление данных на Рис. 3.6: из рисунка следует, что переход к режиму измерения ZFC ведет к спонтанному переключению намагниченности образца! Факт удивительный и никак не комментируется в тексте диссертации. По-видимому, это ошибка представления данных, но хотелось бы получить объяснения этому явлению.

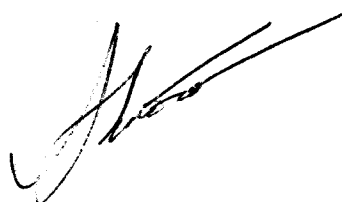
Указанные выше замечания не влияют на общую хорошую оценку диссертационной работы. В целом диссертация базируется на большом количестве высококачественного и достоверного экспериментального материала. Диссертация представляет цельное, законченное исследование, выполненное на хорошем научном уровне, её результаты дают новую и важную информацию о магнитных свойствах и структуре исследованных объектов. Хорошо виден **личный вклад** автора диссертации, как во всех представленных результатах, так и в составлении общей структуры работы. Не вызывает сомнения, что автор проделал большой объём работы и хорошо ориентируется в данном направлении

исследований, но хотелось бы рекомендовать автору в дальнейшем более ответственно относиться к представлению полученных результатов. Публикации автора и автореферат диссертации адекватно отражают основное содержание работы. По содержанию она полностью соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении учёных степеней», утвержденного постановления Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Уклеев Виктор Алексеевич, заслуживает присуждения степени по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния.

12 сентября 2016 г.

**Официальный оппонент**

доктор физико-математических наук,  
старший научный сотрудник  
ФТИ им. А.Ф. Иоффе, доцент,  
Набережнов Александр Алексеевич



/Набережнов А.А./

194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д.26, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, тел.: +7(812)292-79-21, e-mail: [alex.nabereznov@mail.ioffe.ru](mailto:alex.nabereznov@mail.ioffe.ru)

Подпись А.А. Набережнова удостоверяю  
Учёный секретарь ФТИ им. А.Ф. Иоффе  
доктор физико-математических наук,  
профессор



/Шергин А.П./