

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Уклеева Виктора Алексеевича

«Исследование неоднородных магнитных плёнок и многослойных систем взаимодополняющими методами поверхностного рассеяния нейтронного и рентгеновского излучений», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - физика конденсированного состояния.

Актуальность темы диссертации Уклеева В. А. обусловлена двумя обстоятельствами. Во-первых, актуален тип объектов исследования, которые представляют собой наногранулированные композитные структуры, а также многослойные наносистемы, проявляющие целый ряд необычных свойств, обусловленных квантовыми эффектами. Изучение таких систем, содержащих магнитные наногранулы или магнитные слои нанометровой толщины, дает существенную информацию о влиянии размерного фактора, интерфейсов, эффектов магнитной близости на физические свойства исследуемых объектов: изменение констант обменного взаимодействия, величину магнитной анизотропии, нарушение и изменение магнитного упорядочения. Исследование таких объектов актуально с точки зрения их практического использования в устройствах хранения и записи информации, высокочастотных электромагнитных приборах, датчиках магнитного поля, элементах спинтроники. Во-вторых, актуальны выбранные для исследования конкретные системы, в которые помимо традиционного сочетания материалов ферромагнетик + диэлектрик включены полупроводники (в качестве подложки при исследовании композитов или в качестве самостоятельных слоев в случае многослойных структур). Введение полупроводников в магнитные наноструктуры позволяет значительно влиять на свойства последних (например, эффект гигантского инжекционного магнитосопротивления), хотя, механизмы такого влияния до конца не изучены.

В целом **степень обоснованности научных положений и выводов, сформулированных в диссертации**, не вызывает сомнений. Достоверность

полученных результатов обусловлена использованием современных методик, высокоточных исследовательских установок, воспроизводимостью экспериментальных данных, соответствием экспериментальных результатов количественным оценкам, сделанным на основе известных теоретических положений, а также соответствием оригинальных результатов данным, полученными другими авторами, использовавшими альтернативные методы.

В работе исследовано два типа объектов: наногранулированные композитные пленки Co-SiO_2 , нанесенные на полупроводниковые подложки из GaAs и Si, а также многослойные структуры композит/полупроводник (CoFeZr-AlO/a-Si и CoFeB-SiO/C). Использована комбинация методов, позволяющих с одной стороны составить представление о структуре и морфологии исследуемых объектов (причем с высоким разрешением), а с другой стороны - исследовать магнитные и электрические свойства наноструктур. Сопоставление двух групп результатов позволило обоснованно сформулировать выводы по проделанным исследованиям. Показано, что при формировании гранулированных композитов Co-SiO_2 на полупроводниковых (GaAs или Si) подложках на границе подложка/композит происходит образование переходного слоя, отличающегося как по морфологии, так и по магнитным свойствам от остального объема композита. Делается предположение о ключевом влиянии электронной структуры приповерхностной области полупроводника (в области интерфейса пленка-подложка) на гигантское инжекционное магнитосопротивление. Исследовано последовательное изменение морфологии композитной части слоистых структур композит-полупроводник (CoFeZr-AlO/a-Si и CoFeB-SiO/C) и их магнитных свойств при увеличении доли полупроводниковой фазы в материалах.

Новизна полученных результатов заключается в использовании комбинации двух методов (малоуглового рентгеновского рассеяния и рефлектометрии поляризованных нейтронов) для неразрушающего исследования наноструктурированных материалов, что позволило получить представление о морфологии наноструктур (о распределении и форме металлических наноча-

стиц) без привлечения сложной процедуры утонения образцов и последующего исследования их с помощью HRTEM. Впервые показано образование промежуточного слоя на границе композит - полупроводниковая подложка (системы Co-SiO₂/GaAs и Co-SiO₂/Si), состоящего из гранул большего размера, нежели гранулы в остальном объеме пленочного композита. Впервые показано, что изменение количества полупроводниковой фазы в слоистых структурах композит-полупроводник (CoFeZr-AlO/a-Si и CoFeB-SiO/C) приводит к изменению объема и формы металлических наночастиц.

Теоретическая значимость результатов диссертации обусловлена выводом о наличии интерфейсного слоя в гранулированных композитах металл-диэлектрик, напыленных на полупроводниковые подложки, а также выводом о зависимости природы эффекта гигантского инжекционного магнитосопротивления от электронной структуры поверхности полупроводника на границе полупроводник / гранулированный композит.

В работе получены результаты, обладающие **практической ценностью**, в частности, показан способ воздействия на морфологию и магнитные свойства гранулированных композитных пленок металл-диэлектрик посредством формирования слоистой структуры за счет периодического добавления в материал полупроводника.

Результаты диссертации могут быть использованы при разработке и синтезе новых композитных систем, содержащих полупроводниковые включения. Полученные результаты и выводы диссертации могут быть использованы в научных центрах занимающихся получением и исследованием новых композитных наноструктурированных материалов: НИЦ «Курчатовский институт», Институт физики СО РАН им. Л. В. Киренского, МГУ им. М.В.Ломоносова, Воронежский государственный технический университет, Тамбовский государственный технический университет, Белорусский государственный университет, Институт синтетических полимерных материалов РАН и др.

Замечания:

1. В работе использовано высокоточное оборудование для исследования магнитных свойств композитных пленок (squid-магнетометр), поэтому полученные результаты не вызывают сомнений. Однако, результаты, представленные на рис. 3.9 не вполне понятны, поскольку из них следует, что при превышении магнитным полем значений 3000 мТ намагниченность образцов начинает уменьшаться. Это можно было бы объяснить диамагнитным вкладом от Si подложки или диэлектрической фазы SiO₂, однако этот вклад был учтен (стр. 67). Означает ли это, что в сильных полях в композитах Co-SiO₂ возникает достаточно большой диамагнитный сигнал? К сожалению, в работе этот аспект никак не обсуждается.

2. При описании объектов исследования в 4 главе предполагается, что они представляют собой многослойные системы, причем толщина полупроводниковых прослоек (Si или C) в ряде образцов составляет всего 0.6, 1.4 нм и 0.4, 1.7 нм, соответственно. Понятно, что данные значения являются номинальными и определяются исходя из скорости и времени напыления каждого слоя, а не прямыми измерениями. Тем не менее, представляется весьма проблематичным, чтобы слой полупроводника, формирующийся при НЕэпитаксиальном росте на сильно развитой поверхности и имеющий толщину в несколько ангстрем (несколько атомных диаметров) формировал бы сплошную пленку. Скорее всего, в образцах с небольшим содержанием полупроводника формируется композитная структура с чередованием областей обедненных и обогащенных полупроводником. В данном случае, для доказательства слоистости исследованных образцов было бы весьма желательно использование ТЕМ высокого разрешения перпендикулярного среза пленки.

3. В 4 главе описываются результаты, полученные при исследовании многослойных структур композит-полупроводник на примере образцов, различающихся толщиной полупроводниковой прослойки. Изменение толщины полупроводниковой прослойки в исследованных структурах достигалось технологическим приемом – использованием V-образного экрана, рас-

положенного перед полупроводниковой мишенью. Из описания методики получения и текста главы 4 (4.2.1) следует, что толщина композитных слоев в образцах должна быть одинаковой (перед композитной мишенью нет V-экрана, следовательно, плотность атомного потока, конденсирующегося на подложку, одинакова для всех образцов, а время напыления каждого слоя определяется скоростью вращения подложек, которая также не менялась). В связи с этим не понятно, на основании чего в работе утверждается, что *размеры металлических гранул* в композитной прослойке (формирующейся независимо от формирования полупроводниковых слоев) увеличиваются при увеличении *толщины полупроводниковых* слоев. Ведь это означает, что толщина композитного слоя должна также возрастать, чего не должно быть в рамках выбранной технологии.

4. Имеется ряд погрешностей в оформлении работы. К наиболее существенным - следует отнести использование странного термина «магнито-мертвый». По всей видимости, этим термином обозначаются области материала, в которых элементарные магнитные моменты не участвуют в магнитном упорядочении, однако термин явно неудачный. Даже будучи неупорядоченными, магнитные моменты присутствуют в материале, т.е. в терминологии автора «остаются живыми». Также можно отметить опечатки в названии раздела 3.1.2, подписи к рис. 4.5, ссылки на рисунок на стр. 105 (не 3, а 4.2) и т.п.

Вместе с тем, сделанные замечания не влияют на **общее положительное впечатление от работы**. Материал в диссертации изложен последовательно, логично и грамотно. Задачи, сформулированные в диссертации, решены полностью. Основные научные результаты прошли апробацию на большом числе российских и международных научно-технических конференциях и достаточно полно отражены в публикациях, в том числе и по перечню изданий ВАК (5 статей). Автореферат правильно отражает содержание диссертации.

Закключение.

Диссертация Уклеева В. А., представленная на соискание ученой степени кандидата наук, является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи, имеющей существенное значение для физики наноструктур, что **соответствует требованиям** «Положения о порядке присуждения ученых степеней» № 842, утвержденного Постановлением Правительства РФ 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Уклеев Виктор Алексеевич, **заслуживает** присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «Физика конденсированного состояния».

Официальный оппонент,
профессор кафедры физики твердого тела
д.ф.-м.н., профессор



Стогней О.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ВГТУ»).

Почтовый адрес: 394026, Россия, г. Воронеж, Московский проспект, д. 14.

Тел.: + 7 (473) 246-66-47

E-mail: sto@sci.vrn.ru

