

ОТЗЫВ

официального оппонента Рудого Юрия Григорьевича на диссертацию Харламовой Анны Михайловны “Магнитные и структурные свойства тонкопленочных трехслойных систем на основе кобальта с кремнием, висмутом и медью”, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Диссертационная работа А.М. Харламовой посвящена исследованию структуры, морфологии и магнитных характеристик трехслойных тонкопленочных магнитных систем (ТПМС), состоящих из чередующихся магнитных и немагнитных слоев субмикронной толщины. В диссертации отмечено, что благодаря уникальным физическим свойствам ТПМС являются объектом интенсивных исследований в области физики магнитных явлений и прикладного магнетизма. Актуальность изучения обусловлена как фундаментальным, так и практическим интересом. ТПМС представляют собой новый тип искусственно созданных материалов с необычными физическими свойствами. В работе отмечается, что наибольшего внимания заслуживает осциллирующее поведение обменного взаимодействия между ФМ слоями с изменением толщины немагнитного слоя, при оценке которого на начальном этапе принималось во внимание РККИ-взаимодействие, а в дальнейшем учитывались квантовые размерные эффекты. Практическая значимость изучения описанных выше материалов связана с использованием в магниторезистивных датчиках магнитного поля и различных сенсорах, для хранения и записи информации в запоминающих устройствах. Большинство ранних работ были посвящены исследованию влияния проводящей немагнитной прослойки на магнитополевое поведение многослойных систем. С точки зрения практического применения ТПМС изучение влияния толщины Si полупроводниковой, Вi полуметаллической, а также Cu

проводящей прослойки, характеризующихся отличными от ранее исследуемых систем параметрами, на магнитные свойства многослойных магнитных структур заслуживает также особого внимания. Вместе с тем, в работе отмечается, что наличие большого числа интерфейсов в ранее изучаемых многослойных структурах, как правило, усложняет интерпретацию экспериментальных данных. Эта проблема была решена в диссертационной работе А.М. Харламовой путем детального изучения трехслойных магнитных структур, а для более глубокого понимания наблюдаемых физических эффектов, сравнением магнитополевого поведения двухслойных и трехслойных систем.

Таким образом, **актуальность** работы А.М. Харламовой не вызывает сомнения, а детальное исследование ТПМС различными методиками способствует более глубокому пониманию физики межслойного взаимодействия в многослойных образцах.

Цели диссертационной работы А.М. Харламовой состояли в проведении исследования структуры, морфологии и магнитных характеристик Co/Si/Co, Co/Bi/Co и Co/Cu/Co тонкопленочных магнитных систем, а также в сравнительном изучении магнитополевого поведения и магнитооптических свойств трехслойных Co/Si/Co, Co/Bi/Co и Co/Cu/Co и двухслойных Co/Si, Si/Co, Bi/Co образцов.

Объём и структура работы. Диссертация А.М. Харламовой состоит из вполне короткого, но в то же время емкого введения, трех глав, заключения, основных результатов и выводов, списка публикаций и цитируемой литературы.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована ее цель, а также задачи, для достижения поставленной цели, четко изложены положения, выносимые на защиту, обозначены научная новизна, достоверность результатов, практическая значимость и апробация работы, отмечен личный вклад автора, а также приведены количество публикаций и структура диссертации.

Первая глава носит обзорный характер. Приводятся существующие представления о различных физических явлениях, которые имеют место в подобных объектах исследования и объяснен интерес к ним с практической точки зрения. Видна полнота изложения и объем изученной литературы.

Во второй главе диссертации достаточно подробно описаны экспериментальные методики с соответствующими ссылками, описаны погрешности эксперимента, что немаловажно для экспериментальной работы, приведены данные об изучаемых образцах.

Третья глава посвящена результатам исследования тонкопленочных магнитных систем на основе кобальта с кремнием, висмутом и медью. Рассмотрена природа и особенности эффектов, основные полученные результаты.

В разделе **3.1** диссертационной работы приводятся данные о структурных измерениях Co/Si/Co, Co/Bi/Co, Bi/Co и Co/Cu/Co тонкопленочных систем. Отмечено, что слои кобальта во всех изучаемых образцах имеют нанокристаллическую структуру с размером зерен порядка толщины кобальтовых слоев.

В разделах **3.2, 3.3 и 3.4** диссертации А.М. Харламовой приводятся результаты исследования Co/Si/Co, Co/Bi/Co и Bi/Co, Co/Cu/Co тонкопленочных систем соответственно. Обсуждаются результаты исследования морфологии поверхности изучаемых систем, результаты исследования магнитных свойств Co/Si/Co, Co/Bi/Co и Bi/Co, Co/Cu/Co тонкопленочных систем, измеренные с помощью магнитооптического и вибрационного магнитометров, приводятся экспериментальные данные наблюдения доменной структуры образцов при их перемагничивании от $-H$ до $+H$ ($|H| > H_S$) с помощью Керр-магнитометра, приводятся и обсуждаются результаты измерений спектральных зависимостей экваториального эффекта Керра Co/Si/Co и Co/Bi/Co образцов, выполненных на магнитооптическом спектрометре.

В заключении работы сформулированы исчерпывающие **основные результаты и выводы.**

Научная новизна результатов работы А.М. Харламовой состоит в следующем. Все экспериментальные результаты диссертационной работы были получены впервые, что позволяет расширить представления о магнитополеводении и магнитных свойствах тонкопленочных систем, состоящих из магнитных и немагнитных слоев субмикронной толщины, которые могут быть использованы в различных практических приложениях.

Достоверность и обоснованность полученных в диссертации А.М. Харламовой результатов подтверждаются следующим:

1. Использованием современных экспериментальных методов изучения структуры, морфологии, магнитных и магнитооптических свойств тонкопленочных магнитных систем;
2. Апробацией результатов, представленных в 12 докладах на научных конференциях в России и за Рубежом;
3. Воспроизводимостью результатов при повторных измерениях, а также их согласием с теоретическими и экспериментальными данными, опубликованными в научной литературе;
4. Соответствием поставленной цели и задач исследования, сформулированной научной новизной и полученными результатами, опубликованными в научных трудах автора. Результаты, вошедшие в диссертацию, опубликованы в 8 статьях в российских и зарубежных журналах, рецензируемых по базе данных Scopus, 5 из которых индексируются также в Web of Science.

К наиболее важным результатам диссертационной работы, можно отнести следующие:

1. Обнаружено, что толщина и состав немагнитных слоев (Si, Bi и Cu) влияют на магнитополеводение трехслойных систем, проявляющееся в наблюдении прямоугольных и двухступенчатых петель гистерезиса. Найдено, что видоизменение петель гистерезиса сопровождается

осцилляционной зависимостью значений поля насыщения и коэрцитивной силы трехслойных Co/Si/Co, Co/Bi/Co, Co/Cu/Co образцов от толщины Si, Bi и Cu слоев.

2. Установлены особенности и причины осцилляционных зависимостей поля насыщения и коэрцитивной силы от толщины Si полупроводниковой, Bi полуметаллической, а также Cu проводящей прослоек в системах с нанокристаллической структурой.

3. Обнаружено влияние толщины немагнитных слоев на магнитооптические характеристики трехслойных систем. Полупроводниковый Si слой влияет на величину и спектральную зависимость экваториального эффекта Керра Co/Si/Co образцов. Полуметаллический Bi слой не оказывает влияния на вид спектральных зависимостей исследуемых трехслойных Co/Bi/Co образцов. Вместе с тем величина магнитооптических сигналов тонкопленочных Co/Bi/Co и Bi/Co структур уменьшается с ростом толщины слоя висмута.

Исходя из вышесказанного, **новизна и практическая значимость** диссертационной работы А.М. Харламовой не вызывают сомнения.

Полученные А.М. Харламовой экспериментальные результаты могут быть полезны в организациях, занимающихся исследованиями в области физики магнитных явлений: МГУ им. М.В. Ломоносова, Институт физики металлов Уро РАН, Уральский Федеральный Университет, Московский технологический университет, ФИАН РАН, ФТИАН РАН и другие.

Несмотря на положительную оценку работы, диссертационная работа не лишена ряда недостатков:

1. В разделе 2.4 приводится анализ погрешностей эксперимента. Однако в дальнейшем, погрешность приводится только на рисунке 35 (стр. 96). Так как работа во многом экспериментальная, то было бы целесообразно привести точность (погрешность) измерений и на остальных рисунках, полученных экспериментально.

2. В первом основном выводе к диссертационной работе написано: «Доказано, что осцилляционное поведение H_S и H_C обусловлено наличием при некоторых толщинах Si, Bi и Cu слоев обменного взаимодействия между магнитными слоями Co через Si, Bi, Cu слои.» Проводилась ли численная оценка этих результатов до получения экспериментальных данных с целью предсказания наличия обменного взаимодействия между ферромагнитными слоями через немагнитную прослойку?

3. Наблюдается несколько незначительных опечаток: в списке сокращений на странице 4 дважды приводится период осцилляций, на странице 57 рисунок 13 смещен в тексте, после формул 22 (стр. 60) и 23 (стр. 62) стоят две запятые.

Как следует из замечаний, они не носят принципиального характера и не снижают ценности диссертационной работы А.М. Харламовой и полученных в ней экспериментальных результатов.

Диссертация А.М. Харламовой написана литературным языком и является вполне завершенной научно-исследовательской работой. Результаты исследования хорошо структурированы и представлены наглядно в виде графиков и изображений. Полученные экспериментальные данные полностью соответствуют поставленной цели исследования. В тексте диссертации приведены ссылки на все используемые материалы, о чем свидетельствует обширный список цитируемой литературы.

Автореферат диссертации А.М. Харламовой полностью соответствует содержанию диссертации.

Диссертация А.М. Харламовой полностью соответствует паспорту специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Таким образом, можно сделать вывод, что диссертационная работа Харламовой Анны Михайловны “Магнитные и структурные свойства тонкопленочных трехслойных систем на основе кобальта с кремнием, висмутом и медью” по актуальности, новизне, научному уровню и практической значимости полностью соответствует требованиям

специальности 01.04.11– физика магнитных явлений (пп.2-4 паспорта специальности), представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, вносящую значительный вклад в исследование магнитных наносистем. Диссертация отвечает критериям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода в пп. 2.1-2.5 "Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова", а ее автор, Харламова Анна Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Официальный оппонент,
профессор Института физических
исследований и технологий РУДН,
доктор физико-математических наук

Ю.Г. Рудой

117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6.

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН)

Тел.: +7(495)955-08-38. E-mail: rudikar@mail.ru

«Я, Рудой Юрий Григорьевич, даю свое согласие на включение своих
персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного
совета, и их дальнейшую обработку»

Подпись д.ф.-м.н. Ю.Г. Рудого удостоверяю

Ученый секретарь Ученого Совета РУДН
профессор, доктор физико-математических наук



В.М. Савчин