

ОТЗЫВ

официального оппонента Пятакова Александра Павловича на диссертационную работу 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.

Тонкопленочные многослойные магнитные структуры в настоящее время являются объектом интенсивных исследований, что с одной стороны связано с развитием вакуумных физических методов получения таких пленок, а с другой – широким практическим применением многослойных гетероструктур из нанослоев магнитных и диамагнитных материалов в устройствах магнитной памяти. Диссертационная работа А.М. Харламовой посвящена свойствам трехслойных систем, представляющих собой сэндвич из слоев кобальта, разделенных диамагнитной прослойкой из кремния, висмута или меди.

Актуальность исследований данных структур несомненна, поскольку в них наблюдаются уникальные физические эффекты, такие как осциллирующее обменное взаимодействие, квантовые размерные эффекты и др. В то же время литературные данные о свойствах таких систем противоречивы.

Целью диссертации А.М. Харламовой являлось экспериментальное изучение структуры, морфологии и магнитных свойств трехслойных нанопленок Co/Si/Co, Co/Bi/Co и Co/Cu/Co, а также сравнения их со свойствами соответствующих двухслойных образцов.

Практическая значимость работы определяется широким использованием магнитных тонкопленочных гетероструктур в магнитной памяти, спиновой электронике и сенсорной технике.

Структура диссертации включает введение, 3 главы, заключение и список литературы. Работа изложена на 150 страницах, содержит 59 иллюстраций и 2 таблицы. Список литературы включает 189 наименований.

Во введении излагаются цели и задачи работы, актуальность, научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, научные положения, выносимые на защиту, достоверность результатов, апробация работы и личный вклад автора.

Первая глава посвящена обзору литературы по теме диссертации, в котором показана специфика в магнитных пленках по сравнению со свойствами объемных материалов, вводятся размерные и безразмерные параметры, задающие характерные масштабы и относительную силу магнитных взаимодействий в пленке, методы исследования магнитных свойств пленок с особым упором на

магнитооптические, обзор предшествующих работ по влиянию диамагнитной прослойки на магнитные свойства многослойных пленок, и, наконец, физические и химические способы получения тонких магнитных пленок.

Экспериментальные установки, схемы измерений и методы получения и характеристики образцов описаны во второй главе диссертации. Особо стоит отметить подробный разбор источников случайных и систематических погрешностей.

В третьей главе диссертационной работы представлены собственно результаты исследований: топография поверхности, исследованная методами сканирующей зондовой микроскопии и доменная структура, визуализированная магнитооптически, кривые намагничивания, измеренные магнитооптическим и вибрационными методами, спектры эффектов Керра и результаты обработки измерений в виде зависимости от толщины поля насыщения и коэрцитивной силы.

В заключении представлены основные результаты и выводы диссертационной работы.

К **научной новизне** диссертации можно отнести первое систематическое исследование влияния толщины диамагнитного слоя на обмен между слоями кобальта, форму гистерезисных петель величину магнитооптического отклика пленок и его спектральную зависимость.

Достоверность результатов, полученных соискателем, следует из воспроизводимости результатов, а также согласованности экспериментальных результатов полученных методами магнитооптической и вибрационной магнитометрии, согласием с литературными данными. Результаты работы были представлены в докладах на международных научных конференциях, изложены в 8 статьях, опубликованных в рецензируемых научных журналах, индексируемых в Web of Science или Scopus. Текст автореферата и диссертации отражает основное содержание и выводы работы.

Среди достоинств работы следует отметить большой объем проделанной работы, тщательность при проведении магнитных измерений (включая анализ погрешностей), доступное изложение и продуманную структуру диссертации (многоуровневую организацию глав, цикличность в расположении результатов для трех типов диамагнитных прослоек, наличие списка сокращений и т.п.).

При общей высокой оценке диссертационной работы следует отметить ряд замечаний:

1. В тексте диссертации многократно используется термин «немагнитный» слой/прослойка. Поскольку все материалы в той или иной степени реагируют на магнитное поле, лучше использовать термин «диамагнитный».
2. В обзоре литературы на с. 47 при описании физических свойств висмута приведены ошибочные

или сомнительные данные о его характеристиках: абсолютная величина магнитной восприимчивости уменьшена на три порядка, также непонятно, что значит «Плотность носителей ... в 105 раз меньше, чем в обычных металлах» -- при расплывчатости понятия «обычный металл», неоправданно точно указана величина. Далее в том же предложении отсутствие численного значения делает фразу вовсе бессмысленной: «что приводит к относительному удельному сопротивлению».

3. Во второй главе на с.78 указывается шаг вариации толщины прослойки 0.2 нм. Учитывая, что указанная величина меньше постоянной решетки, следовало бы здесь и далее говорить о номинальной величине, определяемой массой осажденного вещества на единицу площади.
4. Во второй главе на с. 79, 80 приведены ошибочные ссылки на рис. 16, вместо рис. 25. Также в третьей главе на с. 85 вместо ссылки на рис. 20 должно быть «рис. 29».
5. В третьей главе на рис. 28, 29 приведено несколько наслаивающихся друг на друга кривых, изображенных разным цветом. Ни на легенде графика, ни в тексте не указано, что означает цвет. Вероятно, это результаты нескольких измерений, воспроизводящих друг друга, но на это в тексте следовало бы обратить внимание особо.
6. В третьей главе в качестве силовой характеристики анизотропного взаимодействия используется поле насыщения, определяемое по уровню 98% от максимального значения намагниченности. Однако для случаев кривых намагничивания, приведенных рисунке 30 для толщин 1нм и 2.4нм, этот подход может оказаться некорректным, так как приводит к появлению двух величин H_s , соответствующих направлениям намагничивания D_1 и D_2 .
7. В третьей главе на с.92 в формуле (29) величина константы обмена приравнивается к величине, имеющую размерность поверхностной энергии. Здесь стоит пояснить, идет ли речь об особой, интерфейсной, характеристике.
8. В комментариях к рис. 44-48 следовало бы указать характерный размер доменов, поскольку на изображениях присутствуют как мелкомасштабные, так и крупномасштабные неоднородности контраста.
9. В тексте встречаются отдельные опечатки, впрочем, очень немногочисленные. Например, с. 55 “тонкие пленки специальными магниторезистивными свойствами”, с. 93 «где k_{BZ} – значение вектора к границе зоны Бриллюэна».

Приведенные замечания, большая часть из которых носит характер пожеланий или редакторской правки, нисколько не умаляют общего положительного впечатления о диссертационной работе.

Таким образом, можно заключить, что диссертационная работа Харламовой Анны Михайловны полностью соответствует специальности 01.04.11 – «физика магнитных явлений», а по актуальности, новизне, научному уровню и практической значимости удовлетворяет всем критериям, установленным в Положении о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Автор работы, Харламова Анна Михайловна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Профессор кафедры физики колебаний
физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук,
профессор РАН

А.П. Пятаков


г. Москва, Ленинские горы, д.1, строение 2,
физический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова,
тел. +7 (495)939-41-38,
e-mail: pyatakov@physics.msu.ru

Декан физического факультета
МГУ имени М.В. Ломоносова,
доктор физико-математических наук,
профессор



Н.Н. Сысоев