

Отзыв официального оппонента
д.ф.-м.н., доц. Орлова Виталия Александровича
на диссертационную работу Фещенко Анастасии Александровны
«Композиционирование, структура и магнитные свойства многослойных
плёнок на основе антиферромагнетика Cr-Mn», представленную на
соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по
специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений

Среди магнитных систем, интересных для исследователей, тонкопленочные ферро- и антиферромагнитные структуры занимают лидирующие позиции. Это связано с многими аспектами, как прикладными, так и академическими. Многослойные низкоммерные системы обладают магнитными свойствами, не присущими массивным образцам, что само по себе вызывает интерес исследователей. Кроме того, формфактор таких объектов позволяет использовать развитый к настоящему времени инструментарий для изучения их микроструктур и физических свойств.

Применение пленочных структур обширно: от основ для устройств спинтроники до биомедицинских приложений. Не менее важно их исследование и для фундаментальных знаний, расширяющих представление о физике магнитных явлений в структурно неупорядоченных объектах. В этом контексте диссертационная работа Фещенко А.А. своевременна и приобретает особую ценность и для прикладных, и для академических исследований.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК РФ и состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Каждая глава описывает одну крупную задачу, как промежуточный этап на пути достижения цели, сформулированной автором. Общий объем диссертационной работы составляет 145 страниц, в том числе 51 рисунок и 6 таблиц. Перечень цитируемой литературы содержит 129 наименований.

Во введении традиционно обоснована актуальность диссертационного исследования, сформулированы цель и задачи, защищаемые положения. Так же, определены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, кратко описаны методология и методы исследований.

Первая глава носит обзорный характер и посвящена толкованию природы антиферромагнетизма и анализу основных магнитных свойств материалов, которым присуще антиферромагнитное упорядочение. Здесь же обсуждается феномен обменного смещения, его трактовка в историческом и прикладном аспекте. Так же уделено внимание некоторым характеристикам композита хром-марганец, который является объектом настоящего исследования.

Во второй главе описаны химический состав, инструменты и экспериментальные методы исследований тонкопленочных мультислойных образцов.

Третья глава посвящена инструментальному изучению микроструктуры, химического состава композита Cr-Mn, их влиянию на процесс намагничивания и гистерезисные свойства. Здесь обсуждаются зависимости магнитных свойств композита от толщин слоев, условий напыления и термомагнитной обработки.

Четвертая глава, посвящена экспериментальному изучению влияния кристаллографической анизотропии на гистерезисные свойства многослойного композита, в частности, на поле смещения. Кроме того, обсуждается возможность синтеза пленок с заранее заданными анизотропными свойствами посредством легирования антиферромагнитных слоев.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Материал диссертации изложен достаточно подробно, работа хорошо структурирована, сопровождается достаточным количеством иллюстраций и сводных

таблиц. Текст диссертации написан ясным, понятным языком. Автореферат адекватно отражает содержание, результаты и структуру диссертации.

Достоверность полученных в работе результатов подтверждается контролирующим (проверочным) использованием разных экспериментальных методик, внутренней непротиворечивостью моделей. В работе приведены достаточные обоснования применимости используемых методов и теоретических гипотез. Результаты диссертационной работы обладают научной новизной и востребованы научным сообществом, что подтверждается публикациями результатов работы в авторитетных журналах и презентациями на международных конференциях.

Основные научные результаты диссертационной работы изложены в 5 печатных работах, опубликованных в ведущих российских и зарубежных научных журналах, в том числе, входящих в базы данных Scopus, Web of Science и Перечень ВАК РФ. Можно выделить следующие важные результаты, полученные автором:

1. Проведено детальное экспериментальное исследование влияния микроструктуры, химического состава, геометрии образцов на поле обменного смещения, коэрцитивную силу и прочие гистерезисные свойства.
2. На основе экспериментальных данных предложено качественное теоретическое обоснование толщинных, температурных и композиционных зависимостей гистерезисных параметров многослойных пленок хром-марганец/ферромагнетик. Предложенная автором модель упорядоченного монотонного распределения кристаллитов по признаку их размеров нашла свое подтверждение.
3. Экспериментально исследовано влияние степени легирования на магнитную анизотропию и поля обменного смещения многослойных пленок на основе антиферромагнетика хром-марганец.
4. Продуктивное использование технологий индикаторных и буферных слоев позволило экспериментально выявить роль кристаллографической анизотропии в формировании феномена обменного смещения.

Новизна научных положений, выносимых на защиту, не вызывают сомнения. Результаты, представленные в диссертации, практически значимы, будут интересны для исследователей и инженеров, работающих в области физики магнитных явлений, микро-, наноэлектроники, связанных с разработкой устройств спинтроники различного назначения. Результаты исследования будут полезны и востребованы в организациях, занимающихся исследованиями в этих областях, таких как: МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), УрФУ (г. Екатеринбург), УУНиТ (г. Уфа), Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН (г. Москва), Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН (г. Красноярск), Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН (г. Екатеринбург), Институт радиотехники и электроники имени В.Л. Котельникова РАН (г. Москва).

Значимость научных результатов автора диссертационной работы косвенно подтверждается финансовой поддержкой Минобрнауки РФ и РНФ.

Несмотря на общий высокий уровень диссертационного исследования, работа не свободна от недостатков, выраженных в замечаниях и вопросах, сформулированных ниже. Замечания относятся в основном к стилистике и техническому оформлению:

1. На странице 16 имеется оборот: "...дифракция нейтронов, которые рассеиваются не только на ядрах, но и на магнитных моментах атомов". Естественно указывать на рассеяние зонда на мишени (ядре), но, вероятно, не разумно утверждать, что нейтроны рассеиваются на физической величине (магнитный момент). Хотя контекст позволяет понять, что хотел сказать автор. Так же, на странице 21 оборот "На эксперименте..."

(вероятно, “В эксперименте...”).

2. На странице 51 автор использует неудачное сочетание: “Сердечник увеличивает магнитную проницаемость...”. Проницаемость – характеристика материала, вероятно, автор имел в виду увеличение индукции или напряженности магнитного поля.
3. В тексте диссертации обнаруживаются дефекты, которые можно отнести к техническим опечаткам, например:
 - a. На странице 18 имеется оборот: “... в диапазоне до 0,8 ат. % рения, волновой...”, где, по-видимому, оказалась лишняя часть слова.
 - b. На странице 45 в первом абзаце: “*Расширение* по вертикали – 1 Å, повторяемость измерений – 6 Å”. Здесь автор, вероятно, имел в виду “Разрешение”.
 - c. В тексте периодически возникают не единообразные обозначения физических величин. В частности, для символа и индекса одной и той же величины используется то прямой, то курсивный шрифт (см. например, стр. 46,67...). Стандартное обозначение функции $\ln$ на странице 107 выполнено курсивом вместо прямого шрифта и др.
4. Есть замечания к некоторым рисункам:
 - a. В частности, на рисунке 4.5 автор использует цветовое обозначение разных зависимостей в одной сетке координат, что при черно-белом варианте этого рисунка может привести к недоразумению. Разумно было бы кривые пронумеровать, а для точек использовать разные символы. Заметим, что прочие рисунки лишены этого дефекта, например, рис. 4.6.
 - b. Легенда по осям на рисунке 3.4 (страница 58) выполнена мелко и невнятно. Для выяснения количественных данных и масштаба возникла необходимость обратиться к исходным текстам статей автора.

По существу диссертационного исследования замечаний нет, но есть вопросы:

1. Для большей убедительности предположения автора о столбчатой микроструктуре образца и упорядочении кристаллитов по размеру в направлении нормали к пленке, вероятно, можно было бы использовать технологию “cross section”. С чем связано игнорирование этой возможности?
2. Есть ли качественное объяснение отсутствия поля смещения при толщинах буферного слоя 20 нм, согласно данным таблицы 3.1 на странице 59?
3. На страницах 71-72 автор делает предположения о линейных размерах кристаллитов в направлении нормали к пленке и вдоль нее. Приводится утверждение о существовании “столбчатой” структуры, причем по данным автора диаметр столбиков имеет порядок 40 нм, а нижняя граница – 12-16 нм. Уместно ли в данном случае говорить о столбиках?
4. На странице 37 делается утверждение: “Этот минимум может быть объяснен *интерференцией* ланжевенковского парамагнетизма локализованных моментов Mn и антиферромагнетизмом хрома”. Что именно имел в виду автор под “*интерференцией*” парамагнетизма моментов Mn и антиферромагнетизмом хрома?

Вышеуказанные замечания не носят сущностного характера, не снижают уровень новизны результатов, выносимых на защиту, и не сказываются на общей положительной оценке диссертационной работы.

Таким образом, диссертационная работа А.А. Фещенко «Композиционирование,

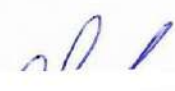
структура и магнитные свойства многослойных плёнок на основе антиферромагнетика Cr-Mn» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную на актуальную тему. Работа содержит новые научные результаты и положения, совокупность которых можно классифицировать как важное и полезное достижение в области физики магнитных явлений.

Автором получен ряд значимых новых научных результатов. Соискатель в полной мере подтвердила высокую квалификацию, продемонстрировала владение современным инструментарием, экспериментальными методами и навыком теоретического анализа экспериментальных данных.

В целом, представленная диссертационная работа «Композиционирование, структура и магнитные свойства многослойных плёнок на основе антиферромагнетика Cr-Mn» соответствует паспорту специальности 1.3.12. «Физика магнитных явлений» и по своему научному содержанию, значению и достоверности результатов полностью соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней в УрФУ, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а ее автор, Фещенко Анастасия Александровна заслуживает присуждения ей степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12. Физика магнитных явлений.

Официальный оппонент

доктор физико-математических наук, по специальности
1.3.12. Физика магнитных явлений, доцент,
Заведующий кафедрой экспериментальной физики и
инновационных технологий СФУ


Виталий Александрович Орлов

Подпись заведующего кафедрой
экспериментальной физики и инновационных технологий
ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет,
д.ф.-м.н. В.А. Орлова удостоверяю:

Ученый секретарь


Иван Юрьевич Макаrchук

Данные об организации:

ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет,

Адрес: 660041, Красноярский край, г. Красноярск, пр. Свободный, 79

Тел: +7 (391) 206-22-22

Сайт: <https://sfu.ru>

Почта: office@sfu-kras.ru

06.11.2025