

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Рябухиной Марины Викторовны «**Кристаллическая структура и магнитные свойства сверхрешеток Fe/Cr/Gd**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений

Актуальность темы диссертации

Прогресс в технологиях получения слоистых наноструктур открыл в области физики магнитных явлений широкую область исследований недоступную ранее, благодаря нескольким факторам. Во-первых, переход от рассмотрения трехмерных структур к квазидвумерным принципиально меняет окружение атома в некоторых направлениях, что приводит к изменению (иногда кардинальному) межатомного взаимодействия. Магнетизм наноразмерных слоев, полученных из ферромагнитных материалов может сильно отличаться от магнетизма в объемном образце из такого же материала. В гетерогенных многослойных наноструктурах возникает целый комплекс так называемых эффектов близости, при которых возможно сосуществование сверхпроводимости и магнетизма, индуцировании магнитного момента в слоях, материалы которых в объемном виде представляют собой парамагнетик, вариации ряда основных характеристик магнитных материалов, таких как температура Кюри, обменных интеграл, величина магнитного момента и т.д. Кроме этого, важнейшей особенностью технологии изготовления слоистых наноструктур является возможность регуляции параметров отдельных слоев, таких как толщина, состав, шероховатость, которые играют определяющую роль в установлении межслойного обменного взаимодействия. Таким образом, появляется возможность сканирования характеристик обменного взаимодействия по структурным параметрам системы. Это дает качественно новый уровень подхода к теоретическому описанию магнитного взаимодействия в таких системах. Во многом благодаря этому, магнитные слоистые наноструктуры обладают большим технологическим потенциалом. Некоторые из систем, такие как спиновые клапаны, уже являются предметом рутинного производства и использования в элементах памяти.

Данная диссертационная работа посвящена выявлению корреляций обменного межслойного взаимодействия в слоистой системе Fe/Cr/Gd, со структурными особенностями системы. В настоящее время хорошо изучено прямое обменное взаимодействие магнитных моментов слоев 3d- и 4f- металлов. В такой системе проявляется разнообразие типов температурных зависимостей спонтанной намагниченности $M(T)$. При разной толщине слоёв реализуются как монотонные, так и немонотонные температурные зависимости намагниченности. В то же время имеются лишь единичные работы по изучению взаимодействия этих металлов через неферромагнитную прослойку. Предполагается, что, изменяя толщину неферромагнитной прослойки, можно регулировать интенсивность обменного взаимодействия редкоземельных и переходных металлов и получать совершенно новые типы искусственных материалов с необычными физическими свойствами. Таким образом, научная значимость диссертации является очевидной. Выбранный подход для изучения указанных систем, основанный на использовании разных взаимодополняющих методик, делает полученные результаты значимыми, а саму работу в целом интересной и актуальной.

Структура и основное содержание работы

Диссертация изложена на 106 страницах. Состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, условных обозначений и списка литературы. Список литературы включает 135 наименования. Материал изложен четко и последовательно, логично распределен по главам.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, показана научная новизна, сформулирована цель работы и положения, выносимые на защиту.

Первая глава представляет собой обзор литературы, отражающий современное состояние в области многослойных структур на основе Gd, а также в области исследования магнитных эффектов близости.

Во **второй** главе описаны методы, используемые в настоящей работе для синтеза образцов и исследования кристаллической структуры и магнитных свойств.

Третья глава посвящена росту образцов, их рентгеноструктурной аттестации и изучению кристаллической структуры.

В четвертой главе описаны исследования магнитной структуры с помощью SQUID-магнитометрии и XMCD измерений.

В пятой главе описаны особенности магнитных свойств сверхрешеток, исследованные с помощью рефлектометрии поляризованных нейтронов и резонансной магнитной рефлектометрии.

В заключении перечислены основные результаты, полученные в работе.

Научная новизна результатов диссертационной работы заключается впервые проведенными систематическими исследованиями структурных и магнитных свойств сверхрешеток Fe/Cr/Gd. Одним из основных результатов работы является получение численных значений средних магнитных моментов слоев Fe и Gd.

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается использованием аттестованных образцов и взаимодополняющих методик исследования, согласием и непротиворечивостью результатов с данными, опубликованными в литературе другими авторами. Основные результаты диссертации докладывались на 11 международных и всероссийских конференциях, опубликованы в 3 научных статьях, входящих в перечень ВАК.

Практическая значимость полученных результатов

Слоистые наногетероструктуры Fe/Cr/Gd могут быть использованы для получения на их основе наноматериалов с большим магнитным моментом.

Замечания по диссертационной работе:

При несомненных достоинствах диссертации, в ней присутствует ряд недостатков.

1. Основным замечанием к рассматриваемой диссертации является отсутствие тех или иных критериев значимости полученных экспериментальных величин. В некоторых случаях, таких как экспериментальные зависимости коэффициентов отражения от переданного импульса, о точности можно судить по интенсивности отражения при данном значении Q . Но иногда, отсутствие погрешности не дает возможности адекватно судить о полученном результате. Например, на рисунке 23 «Зависимость намагниченности сверхрешеток Fe/Cr/Gd от толщины прослойки Cr, измеренная при $H=4000$ Э, $T=295$ К», полученная зависимость носит осциллирующий характер с разной амплитудой осцилляций при разной толщине прослойки Cr. Без отметок

погрешности невозможно оценить значимость полученной зависимости. Кроме этого, все полученные значения структурных параметров, приведенные в диссертации, не имеют погрешности. При исследовании многослойных структур, число параметров, характеризующих систему достигает десятков. Поэтому здесь важно не только привести данные о погрешности, но и о методе подгонки, позволяющем получать значения для большого массива структурных величин.

2. Анализ полученных результатов в диссертации носит скорее качественный характер. Полученные значения подвергаются сравнительному анализу с данными, полученными в других работах. При этом работе недостает собственных теоретических оценок значений тех величин, которые получают экспериментально. Это могло бы существенно усилить сделанные выводы.
3. В целом язык диссертации ясный и грамотный; тем досаднее встречать отдельные жаргонизмы, и упрощения, которые бросаются в глаза. На странице 75: «Из обработки спектров, полученных методом рефлектометрии поляризованных нейтронов». В методе рефлектометрии обрабатываются зависимости коэффициентов отражения от переданного импульса, которые некорректно называть спектрами. На странице 88 встречаем фразу: «...так как спин – флипа R^+ для образцов данной серии не наблюдался». Использованный термин «спин-флип» правильнее заменить на отражение с переворотом спина.

Однако указанные недочеты не являются принципиальными ошибками и не снижают общий научный уровень диссертационной работы.

Заключение (выводы о работе)

- В целом диссертационная работа заслуживает положительной оценки. М.В. Рябухина показала отличное владение различными методами исследования слоистых наноструктур. Автор хорошо ориентируется в современном состоянии исследований в данной области. Получены интересные и важные экспериментальные результаты по установлению зависимости между структурными и магнитными свойствами сверхрешеток Fe/Cr/Gd. Сделанные замечания не снижают научной ценности результатов и носят характер рекомендаций для дальнейшего развития научной работы в данном направлении. М.В. Рябухина показала, что является квалифицированным специалистом, способным самостоятельно ставить и решать научные задачи. Автореферат отражает содержание диссертации.

Профиль диссертации соответствует специальности 01.04.11 (физика магнитных явлений), а сама работа по своему научному уровню, знанию и достоверности новых результатов полностью соответствует требованиям ВАК РФ, предъявленным к кандидатским диссертациям и удовлетворяет требования п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. №842. М.В. Рябухина заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений.

Начальник группы № 2 – РЕФЛЕКС
в секторе №2 Нейтронной оптики
Лаборатории нейтронной физики имени И.М. Франка
Объединенного института ядерных исследований,
кандидат физ.-мат. наук

В.И. Боднарчук

«01» ноября 2016 г.

Почтовый адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6

Тел.: +7(49621)65486

E-mail: bodnarch(@)nf.jinr.ru

Подпись В.И. Боднарчука заверяю.

Уч. секретарь ЛНФ ОИЯИ

Д.Худоба

Сотавом ознакомлена

09.11.2016г.

(Рябухина М.В.)

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Виктор Иванович Боднарчук

Ученая степень, звание: кандидат физико-математических наук, специальность 01.04.07 – физика конденсированного состояния

Полное наименование организации: Международная межправительственная организация Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория нейтронной физики имени И.М. Франка

Должность: начальник группы № 2 – РЕФЛЕКС в секторе №2 Нейтронной оптики

Почтовый адрес: 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д.6

Тел.: +7(49621)65984

E-mail: bodnarch(@)nf.jinr.ru

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Bodnarchuk, I.A., Bodnarchuk, V.I., Yaradaikin, S.P. / Estimation of the cross section of neutron scattering by spin waves in thin ferromagnetic layers // Phys. of the Solid State vol. 56 pp. 138 -141 (2014).
2. Aksenov, V.L., Bodnarchuk, V.I., Kozhevnikov, S.V., Nikitenko, Yu.V. / Three-layered Fe/Si/Cu structure as a neutron spin-precessor for low-frequency spectrometry of thin layers and surfaces // JMMM vol. 272-276 N. 1 pp. 845 – 847 (2004).
3. T. Veres, L. Cser, V. Bodnarchuk, V. Ignatovich, Z.E. Horváth, B. Nagy, Investigation of periodic Ni–Ti multilayers, Thin Solid Films 540 (2013) 69–72

Ученый секретарь ЛНФ ОИЯИ,
кандидат физ.-мат. наук

Д. Худоба
01.11.2016