

УТВЕРЖДАЮ
Директор
Института физики
микроструктур РАН,
член - корреспондент РАН
З.Ф. Красильник
« 31 » октября 2016 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации 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

Многослойные системы, состоящие из магнитных пленок, представляют большой интерес как с фундаментальной, так и с практической точки зрения. Одним из центральных факторов, определяющих физические свойства этих структур, является межслоевое взаимодействие. В частности, большое внимание уделялось изучению обменного взаимодействия в многослойных системах на основе 3d- и 4f- металлов (например, Fe/Gd). Известно, что при прямом обменном взаимодействии слоев Fe и Gd их магнитные моменты выстраиваются антипараллельно. В искусственной магнитной системе, состоящей из наноразмерных слоев Fe, Cr и Gd, становится возможным управлять обменным взаимодействием и ориентацией магнитных моментов слоев Fe и Gd, изменяя толщину прослойки Cr. Несмотря на их перспективность, системы Fe/Cr/Gd остаются малоизученными. Диссертационная работа М.В. Рябухиной посвящена исследованию структурных и магнитных свойств сверхрешеток Fe/Cr/Gd. Таким образом, тема диссертационной работы является актуальной.

Структура и основное содержание работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав и заключения. Первая глава представляет собой краткий обзор литературы, посвященной предмету исследований. Особое внимание уделено системам ферромагнитный металл/неферромагнитный металл/ферромагнитный металл, редкоземельный /переходный металлы и многослойным структурам на основе Gd, а также магнитным эффектам близости. Во второй главе описаны методики приготовления

образцов и изучения их структурных и магнитных свойств. Третья глава посвящена изучению качества межслойных границ и кристаллической структуры методами рентгеновской дифракции. В четвертой главе описаны исследования магнитной структуры методами вибро - и СКВИД - магнитометрии. В пятой главе приведены исследования распределения магнитных моментов в слоях Fe и Gd сверхрешетки Fe/Cr/Gd с разрешением по глубине. Устанавливается корреляция между кристаллической структурой и магнитными свойствами сверхрешеток Fe/Cr/Gd. Заключение содержит основные выводы по работе.

Научная новизна результатов диссертационной работы

В диссертации впервые проведено систематическое исследование структурных и магнитных свойств сверхрешеток Fe/Cr/Gd с различной толщиной прослойки Cr. Это позволило установить существование критической толщины слоя Cr $\sim 10 \text{ \AA}$, при которой магнитные свойства Gd существенно изменяются. В диссертационной работе впервые установлена корреляция между кристаллической структурой и магнитными свойствами сверхрешеток $[\text{Fe/Cr/Gd/Cr}]_{12}$. Доказано, что ГЦК фаза Gd является причиной уменьшения среднего магнитного момента Gd.

Достоверность результатов и обоснованность выводов

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается использованием аттестованных образцов и современных методик комплексного 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

Проведенные в работе исследования корреляции структурных и магнитных свойств сверхрешеток Fe/Cr/Gd позволили определить зависимость среднего магнитного момента Gd от толщины прослойки Cr. Полученные в работе результаты могут быть использованы при создании слоистых наноматериалов с большим магнитным моментом, а также для создания новых материалов спинтроники на основе Gd- содержащих наноструктур.

К замечаниям по диссертационной работе можно отнести следующее:

1. Из данных, приведенных на рис. 20, нельзя сделать однозначных выводов о текстурировании ГЦК фазы пленок гадолиния. Это утверждение требует приведения, например, кривых качания для отражения (111) ГЦК фазы гадолиния. Кроме того, сделанная в диссертации оценка соотношения ГПУ и ГЦК фаз в слоях гадолиния не учитывает разные структурные факторы использованных отражений и упомянутое текстурирование ГЦК фазы.

2. Вывод о некоррелированности межслоевых шероховатостей в исследуемой многослойной системе представляется ошибочным. О коррелированности слоев свидетельствует наличие "квазибрэгговских" пиков диффузного рассеяния, хорошо заметных на рис.17.
3. В диссертации недостаточное внимание уделено обсуждению точности проведенных измерений. В частности, на рис.47 не проставлены доверительные интервалы, что не позволяет сделать достоверного утверждения об особенности магнитного момента гадолиния при толщине прослойки хрома $\sim 1,2$ нм.

Заключение (выводы о работе)

Несмотря на сделанные замечания, диссертационная работа заслуживает положительной оценки. М.В. Рябухина получила интересные экспериментальные результаты при решении актуальной научной задачи по установлению зависимости магнитных свойств сверхрешеток Fe/Cr/Gd от их кристаллической структуры. Автореферат отражает содержание диссертации. Диссертация соответствует специальности 01.04.11 (физика магнитных явлений) и по своему научному уровню, актуальности и достоверности полученных результатов полностью удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям и п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г.. М.В. Рябухина заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений. Диссертация обсуждалась на семинаре по физике твердого тела ИФМ РАН № 3(450) от 10.10. 2016 года. Отзыв утвержден Ученым советом ИФМ РАН (протокол №5 от 21.10.2016)

Зав. отделом магнитных наноструктур,

доктор физ.-мат. наук

А.А. Фраерман

Почтовый адрес: 603950, г. Нижний Новгород ГСП-105

Тел.: (831)4179473, E-mail: andr@ipmras.ru

Ученый секретарь ИФМ РАН,

кандидат физ.-мат. наук

Д.М.Гапонова

С отзывом ознакомлена

08.11.2016г.

Рябухина

Сведения о ведущей организации

диссертации Рябухиной Марины Викторовны «Кристаллическая структура и магнитные свойства сверхрешеток Fe/Cr/Gd»

Полное наименование: Институт физики микроструктур РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук»

Краткое наименование: ИФМ РАН

Место нахождения: 603087. Нижегородская область, Кстовский район, д. Афонино, ул. Академическая, д.7

Почтовый адрес: г. Нижний Новгород ГСП-105

Тел.: (831)4179473

E-mail: director@ipmras.ru

<http://www.ipmras.ru>

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация

1. Д.А. Татарский, О. Г. Удалов, А. А. Фраерман, Невзаимность упругого рассеяния неполяризованных нейтронов магнитными системами с некомпланарным распределением намагниченности, ЖЭТФ, т.142, №2, С. 1–9, (2012).
2. О влиянии микрокристаллической структуры на магнитные свойства ферромагнитных пленок и структур на их основе / С. А. Гусев, Д. А. Татарский, А. Ю. Климов, В. В. Рогов, Е. В. Скороходов, М. В. Сапожников, Б. А. Грибков, И. М. Нефедов, А. А. Фраерман, Физика твердого тела 55, 435 (2013).
3. Магнитосопротивление и неколлинеарные состояния многослойных ферромагнитных наночастиц / С. Н. Вдовичев, Б. А. Грибков, С. А. Гусев, А. Ю. Климов, В. Л. Миронов, И. М. Нефедов, В. В. Рогов, А. А. Фраерман, И. А. Шерешевский, Письма в ЖЭТФ 94 (5), 418 (2011);
4. V.L. Mironov, O. L. Ermolaeva, E. V. Skorohodov, and A. Yu. Klimov «Field-controlled domain wall pinning-depinning effects in ferromagneticnanowire-nanoislands system», Physical Review B, V. 85, 144418 (2012).

5. A.S. Mel'nikov, A. V. Samokhvalov, S. M. Kuznetsova, and A. Buzdin, «Interference phenomena and long-range proximity effect in clean superconductor — ferromagnet systems», *Physical Review Letters*, V. 109, 237006 (2012).
6. G.M. Genkin, Yu. N. Nozdrin, A. V. Okomel'kov, I. D. Tokman, «Magnetization of a garnet film through a change in its multidomain structure under circularly polarized light», *Physical Review B*, V. 86, 024405 (2012).
7. E.A. Karashtin, A.A. Fraerman Instability of a domain wall in electric current: Role of topological charge *Phys. Rev. B* 92, 014401 (2015).
8. Д. А. Татарский, А. В. Петренко, С. Н. Вдовичев, О. Г. Удалов, Ю. В. Никитенко, А. А. Фраерман, Невзаимная ячейка для нейтронов, *Письма в ЖЭТФ*, Т.102, №10, С.721 (2015).
9. A.A.Fraerman, O.L.Ermolaeva, E.V.Skorohodov, N.S.Gusev, V.L.Mironov, S.N. Vdovichev, E.S.Demidov, Skyrmion states in multilayer exchange coupled ferromagnetic nanostructures with distinct anisotropy directions, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, V.393, p.452-456 (2015).
10. I.A. Kolmychek, V.L. Krutyanskiy, T.V. Murzina, M.V. Sapozhnikov, E.A. Karashtin, V.V. Rogov, A.A. Fraerman, First and second order in magnetization effects in optical second harmonic generation from a trilayer magnetic structure , *J. Opt. Soc. Am. B*, V. 32, P. 331-338, (2015).

Ученый секретарь ИФМ РАН,
кандидат физ.-мат. наук

Д. М. Гапонова