

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Девятерикова Дениса Игоревича
«Кристаллическая структура и магнитное упорядочение в сверхрешетках
Dy/Ho и тонких плёнках Dy и Ho», представленную на соискание ученой
степени кандидата физико-математических наук по специальности
1.3.12 — физика магнитных явлений

Актуальность данной работы связана, с одной стороны, с выбором в качестве объектов исследования слабоизученных типов планарных наноструктур на основе редкоземельных металлов (РЗМ), структурные и магнитные свойства которых представляют интерес как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения прикладных исследований в области наноспинтроники. Особый интерес представляет раскрытие возможностей рефлектометрии поляризованных нейтронов для аттестации наноструктур на основе РЗМ и при исследовании длиннопериодического магнитного упорядочения в тонких плёнках и сверхрешетках РЗМ.

Структура и основное содержание работы

Диссертация состоит из оглавления, введения, пяти глав, заключения, списка обозначений и сокращений, списков литературы и публикаций по теме диссертации.

Во введении обоснована актуальность и новизна диссертационной работы, определены цели и задачи работы, а также сформулированы положения, выносимые на защиту. В первой главе содержится обзор литературы по тематике исследования, приведены общие сведения о кристаллической и магнитной структуре монокристаллов Dy и Ho и наноструктур и тонких плёнок на их основе. Во второй главе рассмотрены методики получения тонкоплёночных образцов и сверхрешеток, исследования их кристаллической структуры, магнитных свойств и особенностей магнитного упорядочения, а также описаны условия проведения экспериментальных исследований, результаты которых приводятся в работе. В третьей главе установлена возможность синтеза методом магнетронного распыления аксиально текстурированных плёнок Dy поверх буферного слоя на подложках Al_2O_3 с ранее не наблюдавшимся ориентационным соотношением. В четвёртой главе приводятся результаты исследования структурных и магнитных свойств тонких плёнок Dy (200 нм), Ho (200 нм), а также сверхрешеток [Dy (6 нм)/Ho (6 нм)] с традиционным и новым ориентационным соотношениями подложки Al_2O_3 и буферного слоя Nb. Результаты изучения особенностей магнитного упорядочения в рассмотренных образцах методом рефлектометрии поляризованных нейтронов

представлены в пятой главе. В заключении приведены основные результаты, полученные при решении задач работы.

Научная новизна.

В соответствие с основными положениями впервые

- получены тонкие пленки Dy(200 нм), Ho(200 нм) и сверхрешетки [Dy/Ho] с ориентационным соотношением $[01-12]Al_2O_3 \parallel [110]Nb \parallel [0001]PЗМ$;
- методом рефлектометрии поляризованных нейтронов определены температурные зависимости периодов магнитных геликоид в тонких плёнках Dy(200 нм) и Ho(200 нм), сверхрешетках [Dy(6 нм)/Ho(6 нм)]; обнаружено, что период в сверхрешётках выше, чем в тонких плёнках и монокристаллах Ho и Dy;
- обнаружено уменьшение температуры Кюри в тонких плёнках Dy (200 нм) по сравнению с ее значением для монокристаллов Dy; для тонкой плёнки Ho (200 нм) установлено подавление перехода в соизмеримую коническую фазу;
- обнаружено существование веерной магнитной фазы в слоях диспрозия в сверхрешетках [Dy(6 нм)/Ho(6 нм)] в интервале температур от 80 К до 50 К и в тонкой плёнке Dy (200нм) при температурах от 80 К до 1.5 К.

Достоверность результатов обеспечивается использованием аттестованных образцов и апробированных экспериментальных методик, проведением исследований с соблюдением идентичности экспериментальных условий. Полученные результаты не противоречат известным в научной литературе представлениям и результатам.

Практическая значимость полученных результатов. Полученная информация об особенностях геликоидального упорядочения в тонких плёнках Dy и Ho и сверхрешетках Dy/Ho вносит вклад в понимание магнитных свойств наноструктур на основе PЗМ, которое будет стимулировать проведение дальнейших исследований и может иметь значение при разработке устройств спинтроники с использованием уникальных свойств PЗМ.

Замечания по диссертационной работе.

Общие замечания: Слишком длинные заголовки. Условия проведения экспериментов приведены во второй главе и оторваны от описания результатов в следующих главах. Для кристаллографических плоскостей вместо общепринятых () использованы []. Термин «магнитный сателлит» из дифрактометрии кристаллов, у которых период структуры намного меньше магнитного, поэтому магнитные пики вблизи структурных, не удачен для описания магнитных пиков отражения от изучаемых сверхрешеток, период которых в несколько раз превышает магнитный.

Ряд недостатков связан с невнимательностью автора, например, отсутствует Рис. 1.5.2; на Рис. 1.5.5 T_C (Dy) =80 К, на с. 50 она 81.5 К – вместо 85 К; на Рис. 4.1.1 два рефлекса идентифицированы одинаково «[01-12]Al₂O₃»; разрешение « $\delta\lambda/\lambda=0.04 \text{ \AA}$ » (с. 41).

Замечания по содержанию работы:

1. Неточности при описании электронных конфигураций РЗМ: «разделение на локализованные 4f-электроны и делокализованные 5s электроны» (с. 11), у церия «5d¹6s³» (с. 12); «у большинства РЗМ ... валентными являются 3 электрона с внешней d- и s-оболочки», т.о. участие 4f-электронов в связях игнорируется, более того у Eu и Yb «f-оболочка ... забирает один электрон с внешних электронных оболочек, снижая валентность до 2» (с. 14).

2. На рисунке 3.1.3 вместо зависимостей интенсивности двух образцов r-Nb и r-Ta даются четыре зависимости, обозначенные mas 19-1, mas 19-4, mas 19-5, mas 19-6, причем кривая mas 19-1 принципиально отличается от трех других.

3. При одной и той же температуре 15К намагниченности плёнок Dy(20 нм) более 2100 Гс (Рис. 3.1.5), а у плёнки Dy(200 нм) всего лишь 520 Гс даже в поле 50кЭ (Рис. 4.2.1). Это не понятно.

4. Согласно Рис. 4.2.2 плёнка Ho (200 нм) в поле 50 кЭ переходит в ферромагнетик при $T_C = 115 \text{ К}$, не «при $T=165\pm 6 \text{ К}$ » как написано в тексте на с. 58 и в Табл. 4.2.1 на с. 61.

5. Вывод автора на с. 73 – то, что «температура Нееля слоёв Ho в сверхрешётке r-[Dy (6 нм)/Ho (6 нм)] превышает температуру Нееля в тонкой плёнке Ho (200 нм) как минимум на 20 К» противоречит Рис. 5.1.3, из которого следует, что у слоёв Ho температура Нееля меньше, чем у плёнки Ho (200 нм).

6. До главы 5 несколько раз отмечается «чрезвычайное сходство магнитных свойств» двух сверхрешеток Dy/Ho. Автору следовало бы самому указать на то, что при разных кристаллографических ориентациях подложек буферные слои Nb имеют одинаковую ориентацию (110), и дать какое-то объяснение отличия свойств сверхрешеток Dy/Ho и прояснить совершенно непонятный факт: у одной сверхрешетки брэгговские пики выше у нейтронов со спином по полю (+), а у другой - у нейтронов со спином против поля (-) (Рис. 5.1.8).

7. Из литературы можно сделать вывод, что спиновый веер возникает в результате перехода из геликоидального упорядочения под воздействием достаточно сильного внешнего поля в плоскости образца (базовой плоскости). Что имеется в виду под «веерной магнитной фазой» автор не уточняет.

Отмеченные недостатки не снижают ценности полученных результатов и выводов.

Заключение (выводы о работе)

Объекты исследования слабоизученных планарных наноструктур на основе редкоземельных гелимагнетиков уникальны, полученные результаты исследования кристаллической и магнитной структуры являются новыми и важными с научной точки зрения. Продемонстрированные в данной диссертационной работе возможности метода рефлектометрии поляризованных нейтронов для исследования длиннопериодического магнитного упорядочения в тонких плёнках и сверхрешетках РЗМ позволили получить интересные результаты и могут быть использованы в дальнейшей работе, в том числе для продолжения начатых в данной работе исследований.

Полученные результаты могут быть использованы в научных и образовательных организациях, где осуществляются теоретические и экспериментальные исследования магнитных свойств наноструктур на основе редкоземельных элементов, например, ИФМ УрО РАН (г. Екатеринбург), УрФУ им. Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург) и ОИЯИ (г. Дубна).

Автореферат верно отражает основные результаты диссертационной работы.

Диссертация Девятерикова Д.И. «Кристаллическая структура и магнитное упорядочение в сверхрешетках Dy/No и тонких плёнках Dy и No» в целом соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Девятериков Денис Игоревич, заслуживает присуждения ему степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.12 – Физика магнитных явлений.

Ведущий научный сотрудник ИЦ «Нейтронные технологии»

НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ

доктор физ.-мат. наук

Н.К. Плешанов

« 14 » ноября 2022 г.

Почтовый адрес: 188300, Ленинградская обл., г.Гатчина, мкр. Орлова роща, д. 1

Тел.: +79213935165 E-mail: pleshanov_nk@pnpi.nrcki.ru

Подпись Н.К. Плешанова заверяю

Учёный секретарь НИЦ КИ ПИЯФ

канд. физ.-мат. наук

С. И. Воробьёв



*С отзывом ознакомлен
16.11.2022*

Д.И. Девятериков

Сведения об официальном оппоненте

ФИО: Плешанов Николай Константинович

Ученая степень: доктор физико-математических наук, специальность 01.04.01 – приборы и методы экспериментальной физики

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова Национального исследовательского центра «Курчатовский институт»

Веб-сайт организации: <http://www.pnpi.spb.ru>

Должность: ведущий научный сотрудник отдела нейтронной оптики ИЦ «Нейтронные технологии»

Почтовый адрес: 188300, Ленинградская обл., г. Гатчина, Орлова роща, д. 1

Тел.: +79213935165

E-mail: pleshanov_nk@pnpi.nrcki.ru

Публикации в сфере исследований, которым посвящена диссертация:

1. N.K. Pleshanov, B.G. Peskov, A.F. Schebetov, V.G. Syromyatnikov, B. Chen, C.Q. Huang, X.X. Li, Physica B 397 (2007) 62-64. - Observation of difference in nuclear and magnetic roughness in CoFe/TiZr multilayers by polarized neutron reflectometry.

2. N.K. Pleshanov, V.L. Aksenov, A.P. Bulkin, A.A. Fraerman, V.A. Matveev, Yu.V. Nikitenko, V.G. Syromyatnikov, S.N. Vdovichev, V.M. Uzdin, J. Phys.: Conf. Ser. 340 (2012) 012085. - Study of magnetization of a bilayer nanoststructure CoCu/Co (GF/F) by polarized neutron reflectometry.

3. N.K. Pleshanov, Nucl. Instrum. Methods A 853 (2017) 61-69. - Neutron spin optics: Fundamentals and verification.

4. V.A. Matveev, N.K. Pleshanov, J. Neutron Research 20 (2018) 107-111. - On using Ti nanofilms in neutron spin optics.

5. В.И. Боднарчук, А.П. Булкин, Е.А. Кравцов, Н.К. Плешанов, В.Г. Сыромятников, В.А. Ульянов, Кристаллография, Т. 67 (2022) 57-71. - Нейтронная рефлектометрия в России: текущее состояние и перспективы.

Учёный секретарь НИЦ КИ ПИЯФ

канд. физ.-мат. наук

— С. И. Воробьёв

14.11.22

