

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 004.003.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА ФИЗИКИ МЕТАЛЛОВ ИМЕНИ М.Н. МИХЕЕВА
УРАЛЬСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИФМ УрО РАН) МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА
СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 21.12.2018 №19

О присуждении ЛОБОВУ Ивану Дмитриевичу, гражданину России,
ученой степени доктора физико-математических наук.

Диссертация «Магнитооптика многослойных обменно-связанных наноструктур с гигантскими аномалиями магнитотранспортных свойств» по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений принята к защите 12.09.2017, протокол № 8, диссертационным советом Д004.003.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской Академии наук (ИФМ УрО РАН), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 620108, Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 18, приказы Минобрнауки РФ № 714/нк от 02.11.2012 и № 188/нк от 26.02.2015.

Соискатель Лобов Иван Дмитриевич, 1956 года рождения, в 1978 году окончил Уральский государственный университет им. А.М. Горького по специальности «Физика». Диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук «Магнитооптика сверхрешеток Fe/X (X=Cr, Cu, Al)» защитил в 2000 году, в диссертационном совете, созданном на базе Ордена Трудового Красного Знамени Института физики металлов Уральского отделения Российской академии наук. Работает в должности старшего научного сотрудника в Федеральном государственном бюджетном

учреждении науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена в лаборатории квантовой наноспинтроники Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Официальные оппоненты:

1. Ганышина Елена Александровна, доктор физико-математических наук, профессор кафедры магнетизма Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Г.Москва;
 2. Памятных Евгений Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики Института естественных наук Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г.Екатеринбург;
 3. Юрасов Алексей Николаевич, доктор физико-математических наук, профессор Московского технологического университета (МГТУ МИРЭА), г, Москва;
- дали положительные отзывы о диссертации.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр» Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН), г. Красноярск в своем положительном заключении, подписанном Эдельман Ириной Самсоновной, доктором физико-математических наук, главным научным сотрудником лаборатории физики магнитных явлений ИФ СО РАН, указала, что диссертационная работа Лобова И.Д. «имеет как научную, так и практическую ценность. Автореферат диссертации и публикации в рецензируемых научных изданиях отражают содержание диссертационной работы. Выводы по диссертации являются

полными, логичными и обоснованными. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений, а именно, пункту 2 «Экспериментальные исследования магнитных свойств и состояний веществ различными методами, установление взаимосвязи этих свойств и состояний с химическим составом и структурным состоянием, выявление закономерностей их изменения под влиянием различных внешних воздействий» и пункту 3 «Исследование изменений различных физических свойств вещества, связанных с изменением их магнитных состояний и магнитных свойств». Диссертация И.Д. Лобова представляет собой научно-квалификационную работу, которая по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов удовлетворяет критериям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24 сентября 2013 года, а её автор Лобов Иван Дмитриевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.04.11 – Физика магнитных явлений.»

Соискатель имеет 73 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации 56 работ, из них статей, опубликованных в рецензируемых российских и зарубежных научных изданиях, входящих в список ВАК, – 20, публикаций в сборниках трудов и тезисов докладов в материалах всероссийских и международных конференций – 36. Общий объем научных изданий составляет 21.8 печатных листа. Автором получены новые экспериментальные данные и установлено влияние квантовых размерных эффектов на оптические и магнитооптические свойства металлических магнитных сверхрешеток, выявлена взаимосвязь магнитооптических свойств и межслоевого обменного взаимодействия в сверхрешетках и слоистых наногетероструктурах. Разработан магнитооптический метод определения параметров рассеяния электронов проводимости на интерфейсе ферромагнитный металл/немагнитный металл.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Оптические, магнитооптические свойства и гигантское магнитосопротивление сверхрешёток Fe/Cr с неколлинеарным упорядочением слоёв железа / В.В. Устинов, М.М. Кириллова, И.Д. Лобов, В.М. Маевский, А.А. Махнев, В.И. Минин, Л.Н. Ромашев, А.Р. Дель, А.В. Семерилов, Е.И. Шредер // ЖЭТФ. – 1996. – Т.109, вып.2. – С.477–494.
2. Оптические и магнитооптические свойства многослойных плёнок Fe/Cu: влияние периода модуляции и фазового превращения ОЦК-ГЦК в железе / М.М. Кириллова, И.Д. Лобов, В.М. Маевский, Л.В. Номерованная, А.А. Махнев, Г.А. Болотин, Ф.А. Пудонин // ЖЭТФ. – 1997. – Т.112, вып.5. – С.1694–1709.
3. Магнитооптические и магнитные свойства наногетероструктур Fe/ZnTe/Fe: проявление межслоевого обменного взаимодействия / И.Д. Лобов, В.М. Маевский, М.М. Кириллова, А.В. Королев, Ф.А. Пудонин // ФММ. –2006. –Т.102, N.2. –С.162–170.
4. TKE spectra of antiferromagnetic Cr(100) film and $\text{Fe}_t\text{x}/\text{Cr}(100)$ superlattices with ultrathin Fe layers / I.D. Lobov, M.M. Kirillova, L.N. Romashev, V.V. Ustinov, V.M. Maevskii, M.A. Milyaev // JMMM. –2006. –V.300, N.1. –P.e359–e362.
5. Parameters of Fe/Cr interfacial electron scattering from infrared magnetoreflexion / I.D. Lobov, M.M. Kirillova, A.A. Makhnev, L.N. Romashev, V.V. Ustinov // Phys. Rev. B. –2010. –V.81. –P.134436 (1–6).
6. Spin-dependent scattering of conduction electrons in Co/Cu multilayers / I.D. Lobov, M.M. Kirillova, A.A. Makhnev, M.A. Milyaev, L.N. Romashev, V.V. Ustinov // JMMM. –2015. –V.389. –P.169–175.
7. Магнитооптические, оптические и магнитотранспортные свойства сверхрешеток Co/Cu с ультратонкими слоями кобальта / И.Д. Лобов, М.М. Кириллова, А.А. Махнев, Л.Н. Ромашев, А.В. Королев, М.А. Милыев, В.В. Проглядю, Н.С. Банникова, В.В. Устинов // ФТТ. –2017. –Т.59, вып.1. –С.54–62.

На диссертацию и автореферат поступило 11 отзывов. Все отзывы положительные. В них отмечается актуальность темы диссертационной работы, научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость. Отзывы без замечаний поступили: от Грановского Александра Борисовича, доктора физико-математических наук, профессора кафедры магнетизма физического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва; от Успенского Юрия Алексеевича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Физического института им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, г. Москва; от Свалова Андрея Владимировича, доктора физико-математических наук, старшего научного сотрудника отдела магнетизма твердых тел Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург; от Пятакова Александра Павловича, доктора физико-математических наук, профессора РАН, профессора физического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва; от д.ф.-м.н. Голика Леонарда Леонидовича, доктора физико-математических наук, и.о. зав. лаб. ФИРЭ им. В.А. Котельникова РАН, г. Фрязино

Замечания содержатся в отзыве Крейнс Наталии Михайловны, доктора физико-математических наук, профессора, ведущего научного сотрудника Института физических проблем им. П.Л. Капицы РАН, г. Москва.

Замечание: В качестве небольшого замечания хотелось бы высказать пожелание более подробного описания использованных методов исследования.

Замечания содержатся в отзыве Огнева Алексея Вячеславовича, доктора физико-математических наук, доцента, ведущего научного сотрудника кафедры физики низкоразмерных структур Школы естественных наук ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток.

Замечания: 1. На рис.2а представлены зависимости $\omega \text{Im}(\sigma_{xy})^{\text{eff}}$ и $\text{Re}(\sigma_{xx})^{\text{eff}}$ от периода модуляции T при $t_{\text{Fe}}/t_{\text{Cu}}=2/3$. В тексте автореферата отмечается,

что второй пик наблюдается при $T=4$ нм, однако этой толщине соответствует минимум на кривых 1 и 2.

2. В автореферате автор утверждает, что в мультислоях $\text{Fe}(0.12 \text{ нм})/\text{Cr}(t_{\text{Cr}})$ первый АФМ максимум наблюдается при $t_{\text{Cr}}=0.15$ нм. В то же время, анализ кривых намагничивания на рис.3.1 диссертации показывает, что максимальное поле насыщения, а, следовательно, и АФМ максимум, наблюдается в образцах с $t_{\text{Cr}}=0.11$ нм.

Замечания содержатся в отзыве Курляндской Галины Владимировны, доктора физико-математических наук, профессора-исследователя кафедры магнетизма и магнитных наноматериалов Института естественных наук и математики ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург.

Замечания: 1. Результаты работы изложены в 20 статьях в журналах, включенных ВАК в Перечень ведущих рецензируемых журналов. Несмотря на то, что по формальным признакам количество публикаций достаточно, список нельзя назвать расширенным. Частично данный недостаток компенсируется несомненным личным вкладом автора диссертации: Лобов И.Д. является первым автором в большинстве ключевых работ.

2. В работе практически отсутствуют методы структурной аттестации сверхрешеток и гетероструктур.

Замечания содержатся в отзыве Белотелова Владимира Игоревича, доктора физико-математических наук, профессора РАН, руководителя научной группы ООО «Международный центр квантовой оптики и квантовых технологий». Московская область, Одинцовский район, д. Сколково.

Замечания: 1. В тексте автореферата положения, выносимые на защиту, не вполне четко структурированы.

2. На рис.1б наблюдается область энергий фотона, в которой мнимая часть недиагональной компоненты тензора оптической проводимости сверхрешеток меняет знак. Хотя в тексте автореферата упоминается про

структуру осцилляционного типа, эту особенность следовало обсудить более подробно.

Замечания содержатся в отзыве Павлова Виктора Владимировича, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника, зав. лабораторией Оптических явлений в сегнетоэлектрических и магнитных кристаллах Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе РАН, г. С.-Петербург.

Замечания: 1. не приведен тип использованного спектрофотометра и его характеристика по спектральному разрешению;

2. на странице 6 введено понятие δr -эффекта, но не дано его определение;

3. на рисунке 1б в области ~ 5.3 эВ видна смена знака эффекта в сверхрешетках по отношению к объемному Co (1 кривая), но не объяснено чем обусловлена смена знака.

Замечания содержатся в отзыве Гаврилюка Алексея Александровича, доктора физико-математических наук, доцента, заведующего кафедрой общей и экспериментальной физики физического факультета Иркутского государственного университета, г. Иркутск.

Замечание: В качестве пожелания, хотелось, чтобы автор работы более ясно отразил свой непосредственный вклад в результаты проведенных исследований.

Выбор официальных оппонентов доктора физ.-мат. наук, профессора Е.А. Ганьшиной, доктора физ.-мат. наук, профессора Е.А. Памятных и доктора физ.-мат. наук, профессора А.Н. Юрасова, а также ведущей организации обосновывается публикациями оппонентов, тематикой структурного подразделения ведущей организации и публикациями доктора физ.-мат. наук, профессора И.С. Эдельман, относящимися к сфере исследований, которым посвящена диссертация.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Установлено влияние квантовых размерных эффектов на оптические и магнитооптические свойства металлических магнитных сверхрешеток $[\text{Fe}/\text{Cr}]_n$ и $[\text{Fe}/\text{Cu}]_n$ при толщинах составляющих их слоев до 25 Å включительно. Экспериментально подтверждено, что образование широких интерфейсов ($\sim 14\text{--}16$ Å) приводит к исчезновению проявлений квантовых размерных эффектов в оптических и магнитооптических свойствах многослойных периодических структур $[\text{Fe}/\text{Al}]_n$.
2. Показано, что кардинальное изменение спектральных свойств сверхрешеток $[\text{Fe}/\text{Cr}]_n$ при толщине слоев железа (1–3) Å обусловлено формированием неоднородных магнитных кластеров, содержащих помимо атомов Fe атомы Cr. Экспериментально продемонстрирована необходимость учета обнаруженных в хроме магнитооптических эффектов при анализе магнитооптики кластерно-слоистых структур, содержащих Cr в качестве матрицы.
3. Получено экспериментальное подтверждение предсказанной теоретически полосы осцилляционного типа для магнитооптической функции $\omega \text{Im}\sigma_{xy}(\omega)$ в ультрафиолетовой области спектра, обусловленной обменным расщеплением 3d-зоны ферромагнетиков на примере ГЦК-Co в сверхрешетках Co/Cu.
4. Обнаружено экспериментально межслоевое обменное взаимодействие антиферромагнитного типа в наногетероструктурах Fe/ZnTe/Fe, Fe/GaAs/Fe и Fe/GaAs/Fe/GaAs/Fe. Предложен метод определения характера магнитного упорядочения в многослойных периодических структурах с межслоевым обменным взаимодействием, основанный на измерении экваториального эффекта Керра и определении углов θ_0 между векторами намагниченностей в соседних магнитных слоях.

5. Предложен и реализован экспериментально метод определения параметров рассеяния электронов проводимости на интерфейсах слоистых металлических структур на основе ИК магнитоотражения.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- Изученное экспериментально влияние квантовых размерных эффектов на оптические и магнитооптические свойства металлических магнитных сверхрешеток $[\text{Fe}/\text{Cr}]_n$ и $[\text{Fe}/\text{Cu}]_n$, а также данные о влиянии α - γ фазового превращения в слоях железа в системе Fe/Cu на величину экваториального эффекта Керра и эффективную диэлектрическую проницаемость ϵ среды представляют интерес для построения соответствующих моделей энергетических зонных спектров.
- Научные результаты по рассеянию электронов проводимости на интерфейсах металлических слоев, сформулированные и обоснованные в работе, позволили выявить применимость теоретической модели магниторефрактивного эффекта (авторы J.C.Jacquet и T.Valet) для описания рассеяния электронов проводимости на металлических интерфейсах, что позволяет глубже понять природу формирования интерфейсного рассеяния в слоистых магнитных металлических сверхрешетках и наноструктурах.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики заключается в том, что:

- Разработанный в диссертационной работе и примененный к металлическим сверхрешеткам $[\text{Fe}/\text{Cr}]_n$ и $[\text{Co}/\text{Cu}]_n$ метод определения параметров спин-зависящего рассеяния электронов проводимости на интерфейсах металлических слоистых структур востребован при решении прикладных задач, связанных с разработкой новых материалов спинтроники.
- Метод аттестации спектрометров в ультрафиолетовой области спектра на основе регистрации полосы осцилляционного типа, наблюдающейся в сверхрешетках Co/Cu для магнитооптической функции $\omega \text{Im}\sigma_{xy}(\omega)$ может

найти применение при проведении исследований, при усовершенствовании и создании новых экспериментальных установок.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- экспериментальные результаты получены на аттестованных установках, достоверность обеспечивается проведением различных экспериментов на одних и тех же образцах при одних и тех же экспериментальных условиях, согласием и непротиворечивостью полученных результатов и результатов, полученных другими авторами и опубликованных в литературе;
- достоверность полученных результатов обеспечивается использованием аттестованных образцов сверхрешеток и наногетероструктур, полученных с помощью методов магнетронного напыления и молекулярно-лучевой эпитаксии. Образцы аттестованы по структурному состоянию, магнитным и магниторезистивным свойствам.
- выводы работы не имеют принципиальных расхождений с имеющимися экспериментальными и теоретическими данными других исследователей.

Личный вклад соискателя состоит в выборе направления, постановке задач и методов их решения, связанных с проведением магнитооптических исследований, выборе объектов исследования; разработке и создании магнитооптических экспериментальных методик; проведении магнитооптических измерений; анализе полученных результатов и сравнении экспериментальных данных с теоретическими моделями. Автором лично были разработаны компьютерные программы, использованные для анализа результатов. Автором или при его прямом участии дана интерпретация представленных в диссертации экспериментальных результатов.

На заседании 21 декабря 2018 г. диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным требованиям, предъявляемым ВАК Министерства образования и науки РФ к диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (пп. 9-11, 13, 14 «Положения о

присуждении ученых степеней» в редакции, утвержденной Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 с изменениями от 21.04.2016 № 335), и принял решение присудить Лобову Ивану Дмитриевичу ученую степень доктора физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 17 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации 01.04.11 – Физика магнитных явлений, 5 докторов наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния, 6 докторов наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов, участвовавших в заседании, из 21 человека, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту – нет, проголосовали: за – 17, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Председатель заседания,

заместитель председателя диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физ.-мат. наук

овета

Н.Г. Бебенин

Т.Б. Чарикова

24 декабря 2018 г.