

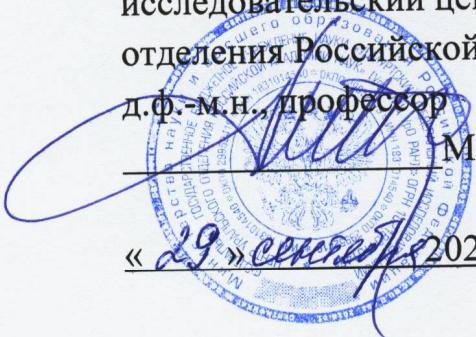
УТВЕРЖДАЮ

Директор

ФГБУН «Удмуртский федеральный
исследовательский центр Уральского
отделения Российской академии наук»

д.ф.-м.н., профессор

М.Ю. Альес


«29» сентябрь 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Буйлова Никиты Сергеевича

«Атомное и электронное строение многослойных наноструктур с

металлокомпозитными слоями и немагнитными прослойками»,

представленной на соискание ученой степени

кандидата физико-математических наук по специальности

01.04.07 - «физика конденсированного состояния»

Диссертация Буйлова Н.С. посвящена исследованию особенностей атомного и электронного строения, характера межатомных взаимодействий и магнитных свойств в образцах многослойных наноструктур (МНС) двух типов с разным содержанием металлической, диэлектрической и углеродной компонент и инверсным расположением двух последних в металлокомпозитных слоях или в прослойках, полученных методом ионно-лучевого распыления.

Актуальность темы диссертационной работы определяется современными объектами исследования и широкими перспективами их применения в научно-технических технологиях. Многослойные наноструктуры из магнитных слоев и немагнитных прослоек с нелинейными электромагнитными свойствами имеют перспективу практического применения в микроэлектронике и спинtronике для создания различных устройств нового поколения. Для управления этими свойствами необходимо иметь наиболее полную и достоверную информацию об особенностях атомного и электронного строения, характера межатомных взаимодействий на межфазных границах и интерфейсах

в МНС различного состава. Следует учитывать, что новые характеристики таких сложных объектов возникают не только при переходе вещества к нанометровым размерам, но и в результате использования в магнитных слоях нанокомпозитов с различным соотношением металлических и неметаллических фаз.

Структура и содержание диссертации. Диссертационная работа Н.С. Буйлова содержит 160 страниц, включая 81 рисунок, 15 таблиц, список литературы, который содержит 157 наименований, включая публикации по теме диссертации. Она состоит из введения, четырех глав и заключения.

Диссертационная работа по содержанию и структуре отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к научно-квалификационным работам на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук.

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи работы, ее научная новизна, практическая значимость полученных результатов и научные положения, выносимые на защиту.

Глава 1 содержит анализ современного состояния рассматриваемой области исследования. На протяжении последнего десятилетия различными научными группами ведутся работы по исследованию нанокомпозитных материалов и уникальных физических свойств, проявляющихся в них, что отражено в литературном обзоре представленной диссертации.

В главе 2 представлены методы получения и исследования многослойных наноструктур $[(\text{CoFeB})_{60}\text{C}_{40}/\text{SiO}_2]_{200}$ и $[(\text{CoFeB})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{C}]_{46}$.

В главе 3 изложены экспериментальные результаты исследования атомного, электронного строения и магнитных свойств МНС $[(\text{CoFeB})_{60}\text{C}_{40}/\text{SiO}_2]_{200}$ с содержанием металлической компоненты выше порога перколяции в углеродной матрице металлокомпозитных слоев.

В главе 4 представлены экспериментальные результаты исследования атомного, электронного строения и магнитных свойств МНС второго типа $[(\text{CoFeB})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{C}]_{46}$ с содержанием в металлокомпозитных слоях кластеров CoFeB ниже порога перколяции в матрице из диоксида кремния SiO_2 и с углеродными прослойками.

В заключении диссертационной работы проанализированы полученные результаты и сделаны выводы о влиянии межатомных взаимодействий на электромагнитные свойства МНС $[(\text{CoFeB})_{60}\text{C}_{40}/\text{SiO}_2]_{200}$ и $[(\text{CoFeB})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{C}]_{46}$.

Главной особенностью исследуемых МНС $[(\text{CoFeB})_{60}\text{C}_{40}/\text{SiO}_2]_{200}$ и $[(\text{CoFeB})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{C}]_{46}$ является различное содержание металлического сплава и

инверсное расположение углерода и диоксида кремния в металлокомпозитных слоях или прослойках. Для определения влияния этой особенности на характер химических связей и магнитный порядок МНС, в диссертации были проведены комплексные исследования с использованием самых различных современных методов анализа материалов в конденсированном состоянии, среди которых преобладали неразрушающие методы, такие как метод ультрамягкой рентгеновской эмиссионной спектроскопии (УМРЭС) с варьированием высокого напряжения, методы рентгеновской дифракции (РД) и рентгеновской рефлектометрии (РР), оптической ИК-спектроскопии по методике нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО), а также рентгеноспектральные методы исследования нанослоев XANES (X-ray absorption near edge structure) и EXAFS (Extended X-ray absorption fine structure) с использованием синхротронного излучения и метод рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии (РФЭС) с послойным удалением слоев ионным травлением.

Комбинирование многих методов с различной глубиной анализа от нескольких нанометров до нескольких микрон позволило получить ряд новых результатов о характере межатомного взаимодействия атомов как на межфазных границах внутри металлокомпозитных слоев, так и на интерфейсах металлокомпозитный слой/неметаллическая прослойка, и его влиянии на магнитооптические свойства в образцах МНС с различной толщиной нанослоев.

Научная новизна исследования.

Впервые для такого рода объектов установлено преобладание химических связей на межфазных границах между металлическими кластерами CoFeB и элементами окружающей матрицы в металлокомпозитных слоях с формированием карбо-боридных полу/оболочек в матрице из углерода или окси-боридных оболочек в матрице из SiO_2 , препятствующих образованию силицидов как на межфазных границах, так и на интерфейсах. С использованием синхротронного излучения и средств методики EXAFS также впервые получена информация об электронной структуре и межатомных расстояниях в аморфных МНС, показывающая различия в координационных числах металлических кластеров в МНС двух типов $[(\text{CoFeB})_{60}\text{C}_{40}/\text{SiO}_2]_{200}$ и $[(\text{CoFeB})_{34}(\text{SiO}_2)_{66}/\text{C}]_{46}$. Также были исследованы магнитооптические эффекты и определен магнитный порядок, реализуемый в образцах исследуемых МНС.

Полученные в диссертации результаты позволяют расширить фундаментальные знания о характере межатомных взаимодействий в аморфных

гетерогенных системах сложного состава (новых многослойных наноструктурах), их атомном и электронном строении, образовании химических связей на межфазных границах металлических кластеров с матрицей металлокомпозитных слоев и на интерфейсах с прослойками, влияющими на их магнитные свойства.

Научная и практическая значимость работы.

В диссертации Буйлов Н.С. получил ряд результатов, представляющих научный и практический интерес, среди которых следует отметить следующие:

- В металлокомпозитных слоях, в зависимости от содержания металлической компоненты выше или ниже порога перколяции, на межфазных границах металлических кластеров CoFeB с окружающей матрицей образуются либо тонкие карбо-боридные оболочки/полу-оболочки в матрице из углерода, не препятствующие контактам металлических кластеров в МНС $[(CoFeB)_{60}C_{40}/SiO_2]_{200}$, либо более толстые металло-окси-боридные оболочки в матрице из SiO_2 , препятствующие контактам металлических кластеров в МНС $[(CoFeB)_{34}(SiO_2)_{66}/C]_{46}$.
- Образование как карбо-боридных, так и металло-окси-боридных оболочек вокруг кластеров CoFeB в металлокомпозитных слоях МНС экранирует их от образования силицидов 3d- металлов на межфазных границах и на интерфейсах.
- Относительное содержание металлической компоненты CoFeB в металлокомпозитных слоях МНС выше или ниже порога перколяции и химические связи на межфазных границах определяют различия в распределении локальной парциальной плотности электронных состояний и координационных чисел атомов Fe и Co в МНС двух типов $[(CoFeB)_{60}C_{40}/SiO_2]_{200}$ и $[(CoFeB)_{34}(SiO_2)_{66}/C]_{46}$ и их ферромагнитные или суперпарамагнитные свойства соответственно.

Автором выявлены основные закономерности и особенности атомного и электронного строения многослойных наноструктур с металлокомпозитными слоями и немагнитными прослойками и установлено их влияние на магнитные свойства МНС.

Результаты, полученные в работе, могут быть использованы для оптимизации технологических режимов получения многослойных наноструктур с металлокомпозитными слоями и немагнитными прослойками, а также позволяют управлять электромагнитными свойствами подобных МНС, используя данные о межатомных взаимодействиях в сложных гетерофазных

наноструктурах, что, несомненно, делает представленную работу актуальной и обладающей научной и практической значимостью.

Положения, выносимые автором на защиту, и основные научные результаты получены впервые и являются оригинальными. Они вносят вклад в решение фундаментальных вопросов о влиянии атомного и электронного строения и межатомных взаимодействий на магнитные свойства многослойных нанокомпозитных материалов.

Полученные результаты позволяют управлять размерами, формой, качеством интерфейсов и межфазных границ наноструктур и изготавливать искусственно созданные материалы с наперед заданными свойствами.

Полученные данные важны для оптимизации методов формирования и управления свойствами нанокомпозитных материалов.

Результаты диссертации будет полезным использовать в организациях, занимающихся как созданием подобных структур, так и их изучением. Среди таковых можно отметить ПАО «Микрон» (г. Москва), МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва), ИОНХ РАН (г. Москва), ФТИ им. А.Ф. Иоффе (г. Санкт-Петербург), СПбГУ (г. Санкт-Петербург), ЛЭТИ (г. Санкт-Петербург), ННГУ им. Н.И. Лобачевского (г. Нижний Новгород), ЮФУ (г. Ростов-на-Дону), Новосибирский государственный университет (г. Новосибирск), Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН (г. Ижевск), ИФМ Уральского отделения РАН (г. Екатеринбург), Институт физики полупроводников Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск), Институт неорганической химии Сибирского отделения РАН (г. Новосибирск), Институт физики микроструктур РАН (г. Нижний Новгород), ВГТУ (г. Воронеж), ВЗПП-С (г. Воронеж).

По диссертации имеются следующие замечания:

1. В заключении по обзору литературы отсутствует вывод о том, как влияют толщины металлокомпозитных слоев и прослоек на качество интерфейсов и электромагнитные свойства МНС. В следующих главах с экспериментальными данными о разном качестве интерфейсов в МНС двух типов автор диссертации не обсуждает вопрос возможного влияния толщин.

2. Для определения различного типа межатомных связей на межфазных границах диссертант привлекает данные ИК-спектроскопии. Однако при этом не объясняет, на каком основании выбиралась полуширина гауссиан при разложении ИК-спектров МНС, определяющая отнесение мод ИК-спектров к той или иной межатомной связи.

3. Полученные многочисленные экспериментальные данные о различии ближнего порядка и магнитных свойств в МНС двух типов дают основание на

вопрос к диссертанту: почему он не представил графическую модель металлических кластеров в композитных слоях, чередующихся с прослойками, а ограничился только описанием?

Отмеченные недостатки не снижают общей высокой оценки большого объема полученной информации и качества ее анализа.

Достоверность результатов и **научная обоснованность** выводов, представленных в диссертации, основывается на согласованности данных эксперимента, полученных с использованием современной экспериментальной техники и результатов моделирования. Основные результаты диссертации докладывались на международных и национальных научных конференциях и семинарах. Буйлов Н.С. имеет 22 научных работы по теме диссертации, из которых 4 статьи в ведущих научных изданиях, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных работ и цитируемых в базах данных WoS и Scopus.

Заключение по работе. Диссертация Буйлова Н.С. «Атомное и электронное строение многослойных наноструктур с металлокомпозитными слоями и немагнитными прослойками» представляет собой законченное исследование современных востребованных наноструктур, используемых при создании различных устройств микроэлектроники и спинtronики.

Результаты, впервые полученные автором, имеют научное и практическое значение для физики конденсированного состояния, важны для понимания процессов самоорганизации в сложных низкоразмерных структурах и их взаимосвязи с физическими свойствами данных материалов.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

В целом по объему выполненной работы, актуальности полученных результатов, новизне, научной и практической значимости основных положений, выносимых на защиту, работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, в том числе критериям установленным п. 9-11, 13, 14 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями постановления Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2016 г. № 335), а ее автор Буйлов Никита Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 - «физика конденсированного состояния».

Диссертация Буйлова Никиты Сергеевича «Атомное и электронное строение многослойных наноструктур с металлокомпозитными слоями и немагнитными прослойками» прошла обсуждение на заседании Ученого Совета

Физико-технического института ФГБУН ФИЦ УрО РАН «17» сентября 2020 года, протокол № 2.

Отзыв на диссертацию Буйлова Никиты Сергеевича «Атомное и электронное строение многослойных наноструктур с металлокомпозитными слоями и немагнитными прослойками» обсужден и одобрен на заседании Объединенного Ученого совета Удмуртского федерального исследовательского центра Уральского отделения РАН « 24 » сентября 2020 года, протокол № 4.

Главный научный сотрудник
лаб. рентгеноэлектронной спектроскопии
Отдела физики и химии поверхности
Физико-технического института
УдмФИЦ УрО РАН
доктор физико-математических наук,
специальность 01.04.07 – физика твердого тела,
профессор

Шабанова Ирина Николаевна

426067, г. Ижевск, ул. им. Т. Барамзиной, 34
тел. 9(3412)430302, e-mail: xps@udman.ru
«24» сентября 2020

Подпись Шабановой И.Н. заверяю
Начальник отдела кадров

Воронцова О.С.

