

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д003.055.02
НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ИМ. Л.В. КИРЕНСКОГО
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 10 октября № _____

О присуждении Яковлеву Ивану Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Получение, структура и магнитные свойства тонкопленочных силицидов железа» по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния принята к защите 23.05.2014 г., протокол № 4 диссертационным советом Д 003.055.02 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук (ИФ СО РАН), Федерального агентства научных организаций, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50, строение № 38, номер приказа о создании диссертационного совета 714/НК от 02.11.2012 г.

Соискатель Яковлев Иван Александрович 1988 года рождения, в 2011 году соискатель окончил Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева».

В 2014 году соискатель освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики им. Л.В. Киренского Сибирского отделения Российской академии наук, где работает младшим научным сотрудником.

Диссертация выполнена в ИФ СО РАН Федерального агентства научных организаций.

Научный руководитель: к.т.н., доцент, Варнаков Сергей Николаевич, ИФ СО РАН, лаборатория физики магнитных явлений, ст.н.с.

Официальные оппоненты: Артемьев Евгений Михайлович, д.ф.-м.н., доцент, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский федеральный университет» (ФГАОУ ВПО СФУ), кафедра физики №2 Института инженерной физики и радиоэлектроники, проф.; Коробцов Владимир Викторович, д.ф.-м.н., Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт автоматики и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН), лаборатория технологии гомоэпитаксии, зав.лаб. дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФП СО РАН), г. Новосибирск, в своем положительном заключении, подписанном Пчеляковым Олегом Петровичем, д.ф.-м.н., проф., зам. директора; Шамирзаевым Тимуром Сезгировичем, д.ф.-м.н., лаб.№16 молекулярно-лучевой эпитаксии элементарных полупроводников и соединений A_3B_5 , вед.н.с., указала, что проведенные исследования закладывают основу для разработки технологии контролируемого получения монофазных ферромагнитных слоев железа и его силицида Fe_3Si с толщинами $2 \div 50$ нм на поверхности кремния.

Соискатель имеет 13 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 13 работ, опубликованных в рецензируемых научных изданиях 4 статьи, одно свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ и методические указания к выполнению лабораторной работы. 1. Яковлев, И.А. Исследование структурных и магнитных характеристик эпитаксиальных пленок $Fe_3Si/Si(111)$ / И.А. Яковлев, С.Н. Варнаков, Б.А. Беляев, С.М. Жарков, М.С. Молокеев, И.А. Тарасов, С.Г. Овчинников // Письма в ЖЭТФ. – 2014. – Т. 99. – Вып. 9. – С. 610; 2. Komogortsev, S.V. Magnetic anisotropy in Fe films deposited on $SiO_2/Si(001)$ and $Si(001)$ substrates / S.V. Komogortsev, S.N. Varnakov, S.A. Satsuk, I.A. Yakovlev, S.G. Ovchinnikov // JMMM. – 2014. – Vol. 351. – P. 104; 3. Косырев, Н.Н. Эллипсометрическая методика определения показателя поглощения полупроводниковых нанослоев *in situ* / Н.Н. Косырев, В.А. Швец, Н.Н. Михайлов, С.Н. Варнаков, С.Г. Овчинников, С.В. Рыхлицкий, И.А. Яковлев // ЖТФ. – 2014. – Т. 84. – Вып. 5. – С. 109;

4. Варнаков, С.Н. Сравнение силицидов железа, полученных методами молекулярно-лучевой и твердофазной эпитаксии / С.Н. Варнаков, И.А. Яковлев, С.А. Лященко, С.Г. Овчинников, Г.В. Бондаренко // Вестник СибГАУ. – Т. 30. – Вып. 4. – 2010. – С. 45–51; 5. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ 2013660341 «Комплекс виртуальных лабораторных работ (КЛР 1.0)» / С.А. Лященко, И.А. Яковлев, С.Н. Варнаков, Р.В. Мосин. – 31 октября 2013 г. Объем публикаций составляет 1,25 печатных листов.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы: 1. *ИФП СО РАН*. Замечания: (а) в выводах к главе 1 не корректно использован оборот «фазовая диаграмма для тонкопленочной системы Fe-Si»; (б) автор злоупотребляет использованием различных обозначений для описания одной и той же величины; (в) в главе 3 описана структура и фазовый состав пленок: каковы их магнитные свойства; (г) магнитные свойства получившихся слоев железа и его силицида, определяются не геометрией напыления, а атомной структурой сформированных слоев; (д) в главе 4: какие изменения в структуре поликристаллов имеют место при возрастании толщины слоя SiO₂ и как эти изменения связаны с анизотропией магнитных свойств изучаемых пленок. 2. *Артемьева Е. М.*, д.ф.-м.н., доцента ФГАОУ ВПО СФУ. Замечания: (а) не приведено значение погрешности определения кристаллической структуры по данным дифракционных измерений; (б) в диссертации отсутствуют измеренные, оригинальные, петли гистерезиса и абсолютные значения остаточной намагниченности; (в) ряд измерительных методик представлены очень подробно, что является излишним. 3. *Коробцова В.В.*, д.ф.-м.н., зав. лаб. в ИАПУ ДВО РАН. Замечания: (а) в главе 3 при определении межплоскостных расстояний из диффузных колец из-за невысокой точности легко сделать неверный вывод; (б) каким образом получали слои SiO₂ толщиной 4 нм?; (в) почему от пленки Fe на Si(001) 2×1 толщиной 10 нм, напыленной при комнатной температуре, наблюдается точечная картина ДБЭ, тогда как от пленки толщиной 1.5–2.0 нм видны лишь диффузные кольца?; (г) на стр.92 не корректная ссылка: [99, с. 109]; 4. *Бибенина Н.Г.*, д.ф.-м.н., гл.н.с. ИФМ УрО РАН. Отзыв положительный. Замечания: в списке публикаций не следовало бы включать методические указания к лабораторной работе. 5. *Галки-*

на Н.Г., д.ф.-м.н., проф., зам.директора ИАПУ ДВО РАН. Отзыв положительный. Замечания: (а) неинформативно сформулирована новизна в ряде пунктов; (б) в общем виде и неинформативно сформулировано второе защищаемое положение; (в) не объяснено, почему пленка β -FeSi₂ формируется на подложке Si(001) 2×1 при 500 °С независимо от соотношения Fe:Si; 6. Жмерика В.Н., д.ф.-м.н., с.н.с. ФТИ им. А.Ф.Иоффе. Отзыв положительный. Замечания: в автореферате почти не рассматриваются возможные физические причины магнитной анизотропии пленок Fe и силицида Fe₃Si на различных поверхностях. 7. Самардака А.С., к.ф.-м.н., доцента, вед.н.с., ДВФУ. Отзыв положительный. Замечания: для объяснения экспериментальных результатов не привлекались теоретические и численные методы; 8. Гомоюновой М.В., д.ф.-м.н., проф, гл.н.с. ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Отзыв положительный. Замечаний нет. 9. Ганьшиной Е.А., д.ф.-м.н., проф., вед.н.с. МГУ. Отзыв положительный. Замечаний нет.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их широкой известностью своими достижениями в области физики конденсированного состояния, наличием публикаций в соответствующей сфере исследования и способностью определить научную и практическую ценность представленной диссертации.

Диссертационный совет отмечает, что целью выполненных соискателем исследований являлось определение влияния различных технологических условий на формирование наноструктур Fe-Si на подложках кремния Si(001) и Si(111) и выявление их структурных и магнитных характеристик. На основании выполненных соискателем исследований получены следующие основные результаты: 1. Отработана технология напыления слоев Fe эффективной толщиной 1.5÷2.0 нм на Si(001) 2×1 при температурах подложки 150, 300, 450 °С, а также при комнатной температуре с последующим отжигом покрытия при $T = 150, 300, 450$ °С. Получены пленочные структуры толщиной 10 нм при напылении Fe под углом к поверхности на атомарно чистые и покрытые слоем SiO₂ подложки Si(001) и Si(111). Получены эпитаксиальные пленки ферромагнитного силицида Fe₃Si с резкими границами раздела и полупроводникового силицида β -FeSi₂ толщиной 10÷50 нм. 2. Установлены фазовый состав и атомная структура пленок, образующихся при напы-

лении Fe эффективной толщиной $1.5 \div 2.0$ нм на поверхность Si(001) 2×1 , при различных температурах подложки и условиях послеростового отжига. 3. Установлено, что морфология атомной структуры пленок железа задается ориентацией потока атомов Fe в молекулярном пучке относительно плоскости и кристаллографических осей подложек Si(001), SiO₂/Si(001), Si(111), SiO₂/Si(111). Заданная морфология островковой пленки определяет магнитную анизотропию в плоскости подложки, величину поля анизотропии H_a и коэрцитивной силы H_c . 4. Показано, что эпитаксиальные пленки Fe₃Si/Si(111) с резкими границами раздела обладают одноосной магнитной анизотропией в плоскости пленки. Магнитные характеристики, измеренные методом ферромагнитного резонанса, заданы величинами: коэрцитивная сила $H_c = 12.3$ Э, поле анизотропии $H_a = 26$ Э. Магнитная структура поликристаллических пленок Fe₃Si на SiO₂/Si(111) изотропна относительно поворота в плоскости пленки (коэрцитивная сила структуры $H_c = 48$ Э).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что показано влияние ориентации потока атомов Fe в молекулярном пучке относительно плоскости и кристаллографических осей подложек Si(001), SiO₂/Si(001), Si(111), SiO₂/Si(111) на морфологию атомной структуры Fe, которая, в свою очередь, определяет магнитное состояние структуры Fe.

Значение полученных соискателем результатов для практики определяется тем, что в работе определены технологические условия для формирования пленок Fe и различных силицидов Fe-Si на подложках Si(001) и Si(111) с заданным магнитным упорядочением. Получены эпитаксиальные пленки ферромагнитного силицида Fe₃Si на подложке Si(111), при комнатной температуре обладающие магнитной одноосной анизотропией и имеющие сравнительно узкую линию однородного ферромагнитного резонанса, которые перспективны как активный материал электрически управляемых устройств микроволнового диапазона.

Оценка достоверности результатов исследования выявила, что результаты получены на сертифицированном оборудовании, использованы современные методики сбора и обработки исходной информации и показана воспроизводимость результатов исследования в различных условиях.

Личный вклад соискателя состоит в проведении всех экспериментов по созданию наноструктур при различных температурных условиях, пленок ферромагнитного силицида Fe_3Si и полупроводникового $\beta-FeSi_2$; изучении *in situ* структурных свойств полученных пленок методами дифракции отраженных быстрых электронов и электронной спектроскопии; измерении магнитного гистерезиса *ex situ*.

Диссертация охватывает основные вопросы поставленной научной задачи и соответствует критерию внутреннего единства, что подтверждается наличием последовательного и четкого плана исследования, непротиворечивой методологической платформы, согласованностью и взаимосвязанностью выводов.

Диссертационным советом сделан вывод о том, что диссертация представляет собой научно-квалификационную работу, соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней, и принято решение присудить Яковлеву Ивану Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 18 человек, из них 8 докторов наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, 10 докторов наук по специальности 01.04.11 – физика магнитных явлений, участвовавших в заседании, из 21 человек, входящих в состав совета, проголосовали: «за» – 18, «против» – 0, недействительных бюллетеней нет.

Зам. председателя
диссертационного совета Д 003.055.02
д.ф.-м.н., профессор

Зиненко В. И.

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 003.055.02
д.ф.-м.н., с.н.с.
21.10.2014 г.



Втюрин А. Н.