ПРОТОКОЛ № 24
заседания диссертационного совета 24.2.288.05
от 6 октября 2022 г.

ЧЛЕНОВ СОВЕТА ВСЕГО: 22

ПРИСУТСТВОВАЛИ: согласно явочному листу 15 членов совета (из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации):

Терехов Владимир Андреевич	д.ф.–м.н.	1.3.11
Бобрешов Анатолий Михайлович	д.ф.–м.н.	1.3.4
Домашевская Эвелина Павловна	д.ф.–м.н.	1.3.11
Сирота Александр Анатольевич	д.т.н.	2.3.1
Степкин Владислав Андреевич	к.ф.–м.н.	1.3.4
Бормонтов Евгений Николаевич	д.ф.–м.н.	1.3.11
Задорожний Владимир Григорьевич	д.ф.–м.н.	2.3.1
Каширина Ирина Леонидовна	д.т.н.	2.3.1
Корчагин Юрий Эдуардович	д.ф.–м.н.	1.3.4
Курбатов Виталий Геннадьевич	д.ф.–м.н.	2.3.1
Овчинников Олег Владимирович	д.ф.–м.н.	1.3.11
Середин Павел Владимирович	д.ф.–м.н.	1.3.11
Турищев Сергей Юрьевич	д.ф.–м.н.	1.3.11
Усков Григорий Константинович	д.ф.–м.н.	1.3.4
Абрамов Геннадий Владимирович	д.т.н.	2.3.1

ПОВЕСТКА ДНЯ:

Защита диссертации Баркова Константина Александровича на тему «Атомное и электронное строение, электрические и оптические свойства композитных пленок Si-SiO_x», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – физика полупроводников.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, Терехов Владимир Андреевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», кафедра физики твердого тела и наноструктур физического факультета, профессор.

Официальные оппоненты:

Кузьменко Александр Павлович, профессор, доктор физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», Региональный центр нанотехнологий, главный научный сотрудник;

Валеев Ришат Галеевич, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», отдел физики и химии поверхности, лаборатория атомной структуры и анализа поверхности, ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского», г. Нижний Новгород.

СЛУШАЛИ: Защиту диссертации Баркова Константина Александровича на тему «Атомное и электронное строение, электрические и оптические свойства композитных пленок Si-SiO_x», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – физика полупроводников

Вопросы по защищаемой диссертации задали: д.ф.–м.н., доц. Турищев С.Ю., д.ф.-м.н., доц. Усков Г.К., д.ф.-м.н. Рябцев С.В., д.ф.-м.н., проф. Бобрешов А.М.

В дискуссии приняли участие: д.ф.-м.н., доц. Турищев С.Ю., д.ф.-м.н., доц. Середин П.В.

ПОСТАНОВИЛИ:

1. На основании результатов тайного голосования присудить Баркову Константину Александровичу ученую степень кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – физика полупроводников.
   Результаты голосования: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.
2. Принять заключение диссертационного совета по кандидатской диссертации Баркова Константина Александровича.
3.

(Стенограмма заседания, протокол счетной комиссии и заключение диссертационного совета прилагаются)

Заместитель председателя
диссертационного совета Бобрешов А.М.

Ученый секретарь
диссертационного совета Степкин В.А.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.288.05, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» МИНОБРНАУКИ РОССИИ ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело №_____

решение диссертационного совета от 06 октября 2022 года № 24

О присуждении Баркову Константину Александровичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Атомное и электронное строение, электрические и оптические свойства композитных пленок Si-SiO_x» по специальности 1.3.11 – физика полупроводников принята к защите «07» июля 2022 года (протокол заседания № 18) диссертационным советом 24.2.288.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет», Минобрнауки России, 394018, г. Воронеж, Университетская площадь, 1, приказ Минобрнауки России №1121/нк от 16.11.2017.

Соискатель Барков Константин Александрович, 20 октября 1993 года рождения, работает заведующим лабораторией на кафедре физики твердого тела и наноструктур физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет», Минобрнауки России.

В 2017 году соискатель окончил магистратуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет».

В 2021 году соискатель окончил очную аспирантуру федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет».

Диссертация выполнена на кафедре физики твердого тела и наноструктур физического факультета федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный университет», Минобрнауки России.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Терехов Владимир Андреевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный университет», физический факультет, кафедра физики твердого тела и наноструктур, профессор.

Официальные оппоненты:

Кузьменко Александр Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», Региональный центр нанотехнологий, главный научный сотрудник;

Валеев Ришат Галеевич, кандидат физико-математических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», отдел физики и химии поверхности, лаборатория атомной структуры и анализа поверхности, ведущий научный сотрудник

- дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского» (г. Нижний Новгород) в своем положительном отзыве, подписанном Павловым Дмитрием Алексеевичем, доктором физико-математических наук, профессором, заведующим кафедрой физики полупроводников, электроники и наноэлектроники и Ершовым Алексеем Валентиновичем, кандидатом физико-математических наук, доцентом кафедры физики полупроводников, электроники и наноэлектроники, указала, что диссертация является законченным научным исследованием современных востребованных наноструктур, используемых при создании полупроводниковых приборов. Научные результаты, впервые полученные автором, имеют значение для физики полупроводников, важны для понимания изменений в кристаллической структуре и электронно-энергетическом строении полупроводниковых наноструктур в зависимости от способов их формирования. В целом, по объему выполненной работы, актуальности полученных результатов, новизне и значимости основных положений, выносимых на защиту, диссертация удовлетворяет п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор Барков Константин Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11 – Физика полупроводников

Соискатель имеет 35 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 25 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 3 работы. Все работы посвящены исследованиям структуры, фазового состава, атомного и электронно-энергетического строения, а также электрических и оптических свойств композитных пленок $Si\text{-}SiO_x$ с различным содержанием кислорода. В диссертации Баркова К.А. отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем

работах, в которых изложены основные результаты работы. Авторский вклад соискателя составляет 75%, общий объем научных изданий составляет 5,9 п.л.

Наиболее значительные работы:

1. V.A. Terekhov Bound oxygen influence on the phase composition and electrical properties of semi-insulating silicon films / V.A. Terekhov, D.N. Nesterov, **K.A. Barkov**, E.P. Domashevskaya, A.V. Konovalov, Yu.L. Fomenko, P.V. Seredin, D.L. Goloshchapov, A.I. Popov, A.D. Barinov, V.M. Andreeshchev, I.E. Zanin, S.A. Ivkov, O.E. Loktionova // Materials Science in Semiconductor Processing. – 2021. – V.121. – P.105287.
2. V.A. Terekhov Rearrangement of the optical properties of a-SiO_x: H films after crystallization of silicon nanoclusters / V.A. Terekhov, E.I. Terukov, Y.K. Undalov, **K.A. Barkov**, P.V. Seredin, D.L. Goloshchapov, D.A. Minakov, E.V. Popova, I.E. Zanin, O.V. Serbin, I.N. Trapeznikova // Journal of Non-Crystalline Solids. – 2021. – V.571. – P.121053.
3. В.А. Терехов Структурная перестройка пленок a-SiO_x:H при импульсном фотонном отжиге / В.А. Терехов, Е.И. Теруков, Ю.К. Ундалов, **К.А. Барков**, И.Е. Занин, О.В. Сербин, И.Н. Трапезникова // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2020. – Т.22, №4. – С. 489–495.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов:

1. Мирошникова Ирина Николаевна, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», кафедра электроники и наноэлектроники, заведующая кафедрой;
2. Яловега Галина Эдуардовна, доктор физико-математических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», физический факультет, кафедра физики наносистем и спектроскопии, заведующая кафедрой;
3. Горбунов Вячеслав Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Вологодский государственный университет», кафедра автоматики и вычислительной техники, профессор.
4. Калимуллин Рустем Ирекович, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», кафедра промышленной электроники, профессор.
5. Филиппов Владимир Владимирович, доктор физико-математических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Липецкий государственный педагогический университет имени П.П. Семенова-Тян-Шанского», кафедра математики и физики, лаборатория физики

полупроводников и твердотельной электроники, заведующий лабораторией.

Все отзывы положительные. В них подчеркивается актуальность, научная и практическая значимость, новизна работы. Замечания носят частный, рекомендательный или уточняющий характер.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их компетенцией по специальности 1.3.11 – физика полупроводников, способностью определить научную и практическую ценность диссертации, а также наличием публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных журналах.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана оригинальная методика диагностики фазового состава композитных кремниевых слоев SIPOS, представляющих собой сложные многофазные системы, включающие в разных соотношениях аморфные и нанокристаллические кремниевые и субоксидные фазы;

предложен способ трансформации люминесцентных свойств аморфных диэлектрических пленок SiO_x с нанокластерами аморфного кремния, путем кристаллизации нанокластеров кремния в нанокристаллы с помощью кратковременного импульсного фотонного отжига;

доказано, что кислород в структурной сетке матрицы аморфного кремния пленок SIPOS содержится в связанном виде кремний-кислородных тетраэдров преимущественно $Si\text{-}Si_3O$ типа и в незначительном количестве в виде тетраэдров $Si\text{-}Si_2O_2$ типа без образования диоксида SiO_2;

введены критерии выбора технологических режимов формирования композитных пленок SIPOS методом химического осаждения из газовой фазы, для получения образцов с заданными свойствами.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

показано, что в пленках SIPOS с содержанием кислорода в пределах от 8 до 16 ат.% характер распределения кремний-кислородных тетраэдров $Si\text{-}Si_3O$ и $Si\text{-}Si_2O_2$ коррелирует с моделью случайной связи;

установлено, что под воздействием импульсного фотонного отжига композитных диэлектрических пленок SiO_x с нанокластерами аморфного кремния стехиометрия субоксидной матрицы изменяется до значений, близких к SiO_2, при этом распределение кремниевых и кремний-кислородных тетраэдров в пленках коррелирует с моделью случайной смеси;

обнаружены неизвестные ранее закономерности кристаллизации нанокластеров аморфного кремния в композитных диэлектрических пленках SiO_x с нанокластерами кремния под воздействием импульсного фотонного отжига;

выявлено, что при импульсном фотонном отжиге диэлектрических композитных пленок SiO_x с исходным содержанием нанокластеров кремния менее 50 % часть нанокластеров кремния кристаллизуется в нанокристаллы, а часть окисляется, в то время как в пленках с исходной концентрацией нанокластеров кремния более 50 %, при отжиге происходит антибатный переход кремния из оксидной фазы в нанокристаллы кремния.

Значение полученных соискателем результатов для практики подтверждается тем, что:

определены оптимальные технологические параметры формирования структур из газовой фазы на основе силана, с заданным фазовым составом и электрофизическими характеристиками полуизолирующих слоев SIPOS;

разработан комплексный подход к диагностике и контролю параметров композитных материалов на основе аморфных фаз кремния и субоксидов кремния, используемых для изготовления высоковольтных интегральных схем и дискретных полупроводниковых приборов;

установлены закономерности формирования нанокристаллов кремния в диэлектрических пленках SiO_x с нанокластерами кремния под воздействием импульсного фотонного отжига в зависимости от исходного содержания нанокластеров, а также влияние кристаллизации нанокластеров кремния на оптические свойства пленок;

обнаружено, что импульсный фотонный отжиг аморфных диэлектрических композитных пленок SiO_x с нанокластерами кремния приводит к образованию в оксидной матрице нескольких массивов нанокристаллов со средними размерами: ~1 нм, ~5 нм, ~10 нм и более крупных кристаллитов кремния ≥100 нм;

показано, что формирование нанокристаллов кремния в диэлектрических пленках SiO_x сопровождается смещением края оптического поглощения и уменьшением ширины запрещенной зоны на 0.1÷0.4 эВ.

Оценка достоверности результатов выявила:

Надежность научных результатов, представленных в диссертации, обеспечивается применением воспроизводимых промышленных методик получения материалов с заданными свойствами; применении высокоточных современных методов анализа электронно-энергетического строения нанокомпозитных пленок $Si\text{-}SiO_x$, в том числе уникальной научной установки «Рентгеновский спектрометр монохроматор РСМ-500»; систематической воспроизводимостью экспериментальных результатов; использовании надежных методов и современного программного обеспечения для обработки экспериментальных данных; согласием результатов с имеющимися литературными данными, в тех случаях где это сравнение применимо.

Достоверность научных положений, выносимых на защиту, подтверждается независимыми экспертными оценками рецензентов научных журналов, входящих в перечень ВАК и индексируемых базами данных Web of Science и Scopus, в которых опубликованы статьи, содержащих основные результаты работы.

Личный вклад соискателя состоит в том, что все включенные в диссертацию данные получены лично автором или при его непосредственном участии. Формулировка выводов по итогам проделанной работы, подготовка публикаций, а также представление результатов на международных и всероссийских научных конференциях осуществлялись автором под руководством профессора Терехова В.А.

В ходе защиты диссертации критических замечаний высказано не было.

На заседании 06 октября 2022 года диссертационный совет принял решение: за решение научной задачи, состоящей в определении влияния кислорода на структуру, фазовый состав, атомное и электронное строение, а также электрические и оптические свойства композитных пленок на основе кремния и субоксидов кремния, применяемых в микроэлектронике, позволяющей расширить понимание процессов формирования наноструктур с заданными свойствами и имеющей значение для развития физики полупроводников, присудить Баркову К. А. ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 15, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя диссертационного совета — Бобрешов Анатолий Михайлович

Ученый секретарь диссертационного совета — Степкин Владислав Андреевич

06 октября 2022 года