

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и цифровому развитию  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»  
Алексей Александрович Короновский



» кабине 2021 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования «Саратовский национальный исследовательский  
государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

по диссертации **Галушка Виктора Владимировича** «Влияние излучений и электрического поля на ионный перенос в структурах на основе иодида серебра и пористого кремния» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2.— Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, выполненной на кафедре материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского»

Тема диссертационной работы утверждена приказом ректора СГУ от 07.10.2020 г. №147-Д.

Соискатель **Галушка Виктор Владимирович** окончил в 2008 году государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» по специальности «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы» с присуждением квалификации «Физик-микроэлектронщик».

Дубликат удостоверения о сдаче кандидатских экзаменов № 386 выдан 13.04.2021 г. федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского».

В период подготовки диссертации с 2009 по 2012 г. соискатель обучался в очной аспирантуре ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». В настоящее время является соискателем (приказ ректора СГУ №141-Д от 01.10.2020г.) для подготовки диссертации на соискание ученой

степени кандидата физико-математических наук по специальности «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах», работает научным сотрудником в лаборатории материалов специального назначения Образовательно-научного института наноструктур и биосистем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

*Научный руководитель* – Вениг Сергей Борисович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденный приказом ректора СГУ от 07.10.2020 г. №147-Д, представил положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры материаловедения, технологий и управления качеством Института физики СГУ и Образовательно-научного института наноструктур и биосистем СГУ с приглашением специалистов по профилю диссертации из других структурных подразделений СГУ.

На заседании присутствовали:

1. Вениг Сергей Борисович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством, директор Института физики СГУ;
2. Аникин Валерий Михайлович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой компьютерной физики и метаматериалов на базе Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН;
3. Аникин Анатолий Афанасьевич, д.т.н., профессор, профессор кафедры материаловедения, технологии и управления качеством СГУ;
4. Роках Александр Григорьевич, д.ф.-м.н., профессор, профессор кафедры физики полупроводников СГУ;
5. Скрипаль Александр Владимирович, д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой физики твердого тела СГУ;
6. Глухова Ольга Евгеньевна, д.ф.-м.н., профессор, заведующая кафедрой радиотехники и электродинамики СГУ;
7. Симакон Вячеслав Владимирович, д.т.н., доцент, профессор кафедры материаловедения, технологии и управления качеством СГУ;
8. Стецора Светлана Викторовна, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством СГУ;

9. Слепченков Михаил Михайлович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры радиотехники и электродинамики СГУ;

10. Синев Илья Владимирович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством СГУ;

11. Сердобинцев Алексей Александрович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством СГУ;

12. Глуховской Евгений Геннадьевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством;

13. Терин Денис Владимирович, к.ф.-м.н., доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством СГУ;

14. Кириллова Ирина Васильевна, к.ф.-м.н., доцент, директор Образовательно-научного института наноструктур и биосистем СГУ;

15. Браташов Даниил Николаевич, к.ф.-м.н., старший научный сотрудник лаборатории «Биомедицинской фотоакустики» Научного медицинского центра СГУ;

16. Захаревич Андрей Михайлович, к.ф.-м.н., заведующий лабораторией диагностики наноматериалов и структур отдела нанотехнологий департамента нанотехнологий Образовательно-научного института наноструктур и биосистем СГУ;

17. Скапцов Александр Александрович, к.ф.-м.н., доцент, начальник отдела наномеханики Образовательно-научного института наноструктур и биосистем СГУ;

18. Селифонова Екатерина Игоревна, к.х.н., старший научный сотрудник отдела химической технологии наноматериалов департамента биотехнологий Образовательно-научного института наноструктур и биосистем СГУ.

*Рецензенты диссертации:*

Скрипаль Александр Владимирович, д.ф.-м.н., заведующий кафедрой физики твердого тела, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», представил положительный отзыв.

Глуховской Евгений Геннадьевич, к.ф.-м.н., доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», представил положительный отзыв.

Синев Илья Владимирович, к.ф.-м.н., доцент кафедры материаловедения, технологий и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», представил положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее заключение:

### **Заключение**

по диссертации Галушка Виктора Владимировича «Влияние излучений и электрического поля на ионный перенос в структурах на основе иодида серебра и пористого кремния» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро-и наноэлектроники, квантовых устройств.

В диссертации Галушка В.В. решена актуальная задача в области разработки и исследования физических основ создания электронной компонентной базы микро- и наноэлектроники, заключающаяся в установлении возможности обратимого управления проводимостью структур металл-изолятор-металл за счет массопереноса в слоях с ионной проводимостью и влияния внешних воздействий на ионный перенос в наноструктурах, а также возможности учета и управления процессом осаждения углерода электронным лучом.

### **Научная новизна работы**

1. Установлено, что явление массопереноса серебра через тонкий слой иодистого серебра с образованием кластеров металла на его поверхности наблюдается при условии сплошной пленки или слоя частиц.
2. Показано обратимое изменение электропроводности туннельной структуры, содержащей слои AgI/Ag.
3. На основе экспериментальных токовых зависимостей получена функциональная зависимость проводимости туннельного зазора в ходе роста серебряного кластера.
4. Обнаружены мемристорные свойства в структуре металл - пористый полимер - AgI/Ag.
5. Обнаружено влияние ультрафиолетового излучения на массоперенос серебра в слоях пористого кремния.
6. Показана возможность получения ионопроводящего композита, состоящего из матрицы пористого кремния и приповерхностных слоев, насыщенных AgI.
7. Реализованы структуры с обратимо управляемым изменением сопротивления на основе слоев пористого кремния и твердого электролита.

8. Выявлены факторы, позволяющие снизить влияние осаждения углерода из газовой среды электронного микроскопа, что позволило существенно повысить точность количественного элементного анализа растровой электронной микроскопией.

#### **Практическая значимость работы**

Реализованы устройства для контролируемого получения слоистых структур с требуемой толщиной нанослоя иодистого серебра на поверхности слоя серебра. Модернизирована установка контроля процесса образования пористого кремния. Показана возможность насыщения пористого слоя кремния металлами, что существенно оказывает влияние на электрофизические свойства получаемых композитов. Получены структуры с управляемым сопротивлением на основе AgI/Ag в качестве активного электрода и пористых слоев кремния или полимера в качестве диэлектрика. Показано, что осаждение углерода при электронно-микроскопических исследованиях приводит не только к искажениям регистрируемой топологии, но может существенным образом исказить результаты элементного анализа. Проведен расчет влияния толщины образующегося слоя углерода на ослабление рентгеновского отклика. Оценена вносимая ошибка определения количественного состава образца. Разработаны методики и приводятся рекомендации режимов проведения электронно-зондового микроанализа в условиях осаждения углерода на поверхность образца в ходе исследований.

**Ценность научных работ** соискателя, лежащих в основе его диссертации, определяется тем, что представленные в них результаты расширяют представления об ионном переносе в структурах на основе иодистого серебра и пористого кремния под влиянием излучений и электрического поля. Существенно важным результатом, полученным экспериментально, является установленная возможность проведения количественного элементного анализа, учитывающего динамику процесса осаждения углерода на исследуемую поверхность.

#### **Личный вклад автора**

Все защищаемые результаты, включенные в диссертацию, получены лично соискателем. Автором проводился сбор и анализ публикаций по тематике работы, выбор основных направлений исследования, постановка экспериментов и построение моделей. Постановка задачи, обсуждение и интерпретация результатов осуществлялись совместно с научным руководителем, а также с соавторами опубликованных работ.

**Достоверность результатов** проведенных исследований обеспечивается применением широко апробированных и хорошо зарекомендовавших себя методов исследования и аппаратуры, включающих в себя:

- оптические методы (спектральная эллипсометрия, интерферометрия, спектрофотометрия, рамановская спектроскопия, диффрактометрия);
- зондовые методы (туннельная, атомно-силовая, электронная микроскопии и электронно-зондовый микроанализ);
- электрофизические методы (исследование вольт-амперных и вольт-фарадных зависимостей);
- аппаратуру и методы обеспечивающие исследования влияния воздействия ультрафиолетового, электронного и рентгеновского тормозного излучения;
- использование независимых методов анализа и статистической обработки результатов и согласованностью с данными, полученными другими авторами, широкой апробацией результатов работы на международных и всероссийских конференциях.

**Апробация работы.** Основные материалы работы докладывались на следующих конференциях и семинарах:

Всероссийская научная школа-семинар «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине», 23-25 мая 2007 г., Саратов;

Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых «Инновации и актуальные проблемы техники и технологий» (2009, 2010), Саратов;

Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП» (2010, 2012, 2014, 2016, 2018, 2020 гг.), Саратов;

Международная конференция «Перспективные полимерные композиционные материалы. Альтернативные технологии. Переработка. Применение. Экология. "Композит -2010", 30 июня – 2 июля 2010 г., Саратов;

18 Международное совещание «Физика конденсированных сред» 25 ноября 2011 г., Анкара, Турция;

III Международная школа-семинар «Наночастицы, наноструктурные покрытия и микроконтейнеры: технология, свойства, применения, 5-9 мая 2011 г., Анталья, Турция;

IV Всероссийская школа-семинар студентов, аспирантов и молодых ученых по тематическому направлению развития ННС «Нанобиотехнология» Нанобиотехнологии: проблемы и перспективы», 29 сентября - 1 октября 2011 г., Белгород;

Тридцать вторая международная конференция «Композиционные материалы в промышленности, 4-8 июня 2012 г., Ялта-Киев;

Международная конференция «Ионный перенос в органических и неорганических мембранах», 28 мая-2 июня 2012г., Краснодар;

II Международная конференция молодых ученых «Актуальные проблемы теории и практики электрохимических процессов», 21-24 апреля 2014 г., Энгельс;

Всероссийская научная школа-семинар «Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами» (2016, 2019), Саратов;

Всероссийская молодежная конференция «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине» 11-12 ноября 2015 г., Саратов;

X Международная научная конференция «Фуллерены и наноструктуры в конденсированных средах», 20-23 августа 2018 г., Минск, Беларусь;

Международная конференция «Nanoparticles, Nanostructured Coatings And Microcontainers: Technology, Properties» 2014 г., Гент, Бельгия; 2015 г., Саратов, Россия, 2016 г., Томск, Россия;

на семинарах кафедры материаловедения, технологии и управления качеством, лабораторий микроэлектроники, диагностики наноматериалов и структур, материалов специального назначения.

Материалы диссертации были использованы при выполнении грантов:

Грант РФФИ/TUBITAK №10-08-91219-СТА «Влияние морфологии, условий получения и внешних воздействий на диэлектрические и магнитные свойства нанокомпозитов»;

Грант РФФИ №13-08-00678 А «Композиционные материалы и покрытия на основе смесей тяжелых микро- и наночастиц с полимером и их свойства при знакопеременных деформациях в поле ультразвуковой волны»;

Гос. задание по проекту №3468, регистрация в ЕГИСУ НИОКР №114121550163, «Фазовая и структурная модификация микро- и наноструктур электромагнитным излучением широкого спектрального диапазона энергий»;

Грант РФФИ №18-07-00752 А «Комплексное исследование кинетики формирования нано-, мезопористого кремния при гамма-облучении в сочетании с компьютерным моделированием для радиационно-стойких элементов микроэлектроники».

Грант по программке УМНИК НИОКР № 8758 р /13975 и №10072 р /14303 «Разработка методов снижения влияния артефактов при рентгеноспектральном микроанализе в электронной микроскопии».

#### **Публикации.**

По теме диссертационного исследования опубликовано 39 работ, из них 15 статей в рецензируемых научных журналах, в том числе 10 статей в журналах, индексируемых базами данных и системами цитирования Web of Science и/или Scopus:

1. Белобровая О.Я., Биленко Д.И., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Терин Д.В., Хасина Е.И. Влияние адсорбции на емкостные свойства нанопористого кремния // Нано- и микросистемная техника. – 2009. – № 10. – С.15–18.
2. Биленко Д.И., Сагайдачный А.А., Галушка В.В., Полянская В.П. Определение оптических свойств и толщины нанослоев по угловым зависимостям коэффициента отражения // Журнал технической физики. – 2010. – Т.80. – Вып. 10. – С. 89–94.
3. Галушка В.В., Биленко Д.И. Снижение влияния артефактов при рентгеноспектральном микроанализе в электронной микроскопии // Вестник СГТУ. – 2010. – №4(51). – С. 20–25.
4. Биленко Д.И., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Мысенко И.Б., Терин Д.В., Хасина Е.И. Электрофизические и фотоэлектрические свойства наноструктур, полученных неэлектролитическим травлением кремния // Физика и техника полупроводников. – 2011. – Т. 45. – Вып. 7. – С. 984–987.
5. Биленко Д.И., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Мысенко И.Б., Терин Д.В., Хасина Е.И. Электрофизические свойства мезопористого кремния, пассивированного железом // Физика и техника полупроводников. – 2013. – Т. 47. – Вып. 5. – С. 644-648.
6. Галушка В.В., Биленко Д.И., Терин Д.В. Исследование управляемого массопереноса в наноструктурах AgI-Ag методом туннельной микроскопии// Нано- и микросистемная техника. – 2014. – №8. – С.37– 42.
7. Биленко Д.И., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Мысенко И.Б., Терин Д.В., Хасина Е.И. Фотоэлектрические и фотовольтаические свойства структур на основе мезопористого кремния, пассивированного железом // и техника полупроводников. – 2014. – Т. 48. – № 10. – С.1405-1408.
8. Биленко Д.И., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Мысенко И.Б., Терин Д.В., Хасина Е.И. Особенности фотоэлектрических свойств структур на основе мезопористого кремния с наночастицами серебра // Письма в журнал технической физики. 2015. – Т. 41. – Вып. 21. – С.80–87.
9. Биленко Д.И., Галушка В.В., Жаркова Э.А., Сидоров В.И., Терин Д.В. Хасина Е.И. Влияние гамма-излучения малых доз на электрофизические свойства мезопористого кремния// Письма в журнал технической физики. – 2017. – Т.43. – Вып. 3. – С.57–63.
10. Галушка В.В., Жаркова Э.А., Терин Д.В. Сидоров В.И., Хасина Е.И. Емкостные свойства структур на основе мезопористого кремния, облученного малыми дозами

- гамма-излучения// Письма в журнал технической физики. – 2017. – Т.43. – Вып. 21. – С. 72–77.
11. **Galushka V.V.**, Belobrovaya O.Y., Bratashov D.N., Kondrateva O.Yu., Polyanskaya V.P., Sidorov V.I., Yagudin I.T. & Terin D.V. Gamma-Radiation Monitoring of Luminescent Porous Silicon for Tumor Imaging // BioNanoScience. – 2018. – Т. 8. – №. 3. – С. 818–822.
  12. Биленко Д.И., Белобровая О.Я., Терин Д.В., **Галушка В.В.**, Галушка И.В., Жаркова Э.А., Полянская В.П., Сидоров В.И., Ягудин И.Т. Влияние малых доз гамма-излучения на оптические свойства пористого кремния // Физика и техника полупроводников. – 2018. – Т.52. – Вып. 3. – С.349–352.
  13. Белобровая О.Я., **Галушка В.В.**, Карагайчев А.Л., Полянская В.П., Сидоров В.И., Терин Д.В. Формирование слоев наноструктурированного пористого кремния при облучении малыми дозами  $\gamma$ -радиации // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. –2019. –Т. 19.–Вып. 4. –С. 312-316.
  14. **Галушка В.В.**, Жаркова Э.А., Терин Д.В., Сидоров В.И., Хасина Е.И. Механизмы частотно-зависимой проводимости мезопористого кремния при гамма-облучении малыми дозами // Письма в журнал технической физики. – 2019. – Т. 45. – Вып. 11. – С. 6–8.
  15. Белобровая О.Я., **Галушка В.В.**, Исмаилова В.С. Полянская В.П., Сидоров В.И., Терин Д.В., Машков А.А. Влияние малых доз гамма-излучения на оптические свойства наноструктурированного кремния, полученного методом металл-стимулированного химического травления *insitu* // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Физика. – 2020. – Т. 20. – Вып. 4. – С. 288-298.

В работе Галушка В.В. не содержится материал или отдельные результаты без ссылок на авторов или источники заимствования.

#### **Общая оценка диссертации**

Диссертационное исследование «Влияние излучений и электрического поля на ионный перенос в структурах на основе иодида серебра и пористого кремния» Галушка Виктора Владимировича представляет собой цельную, логически выстроенную научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной задачи в области микро- и нанoeлектроники, заключающейся в установлении возможности обратимого управления проводимостью структур металл-изолятор-металл за счет массопереноса в слоях с ионной проводимостью и влияния внешних воздействий на ионный перенос в наноструктурах, а

также возможности учета и управления процессом осаждения углерода электронным лучом.

Основные положения и результаты диссертации в полной мере опубликованы в научных статьях и материалах конференций. Тема и содержание диссертации соответствуют специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств. Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемых к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Влияние излучений и электрического поля на ионный перенос в структурах на основе иодида серебра и пористого кремния» Галушка Виктора Владимировича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2. – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств как удовлетворяющая критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», для кандидатских диссертаций.

Заключение принято на расширенном заседании кафедры материаловедения, технологий и управления качеством Института физики СГУ и Образовательно-научного института наноструктур и биосистем СГУ.

Присутствовало на заседании 7 докторов наук и 11 кандидатов наук по профилю диссертации. Результаты открытого голосования: «за» - 18 чел.; «против» - нет, «воздержались» - нет. (протокол № 2 от 06 октября 2021 г.).

Председательствующий  
кандидат физико-математических наук, доцент  
доцент кафедры материаловедения, технологий  
и управления качеством  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»,

410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83

Тел.: +7 (927) 102-97-46

e-mail: sineviv@gmail.com

**Синев Илья Владимирович**

