

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.2.392.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»,
МИНОБРНАУКИ РОССИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 23.06.2022 № 17

О присуждении **Галушка Виктору Владимировичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние излучений и электрического поля на ионный перенос в структурах на основе иодида серебра и пористого кремния», по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств принята к защите 8 апреля 2022 года (протокол заседания № 14) диссертационным советом 24.2.392.01, созданным на базе ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» (ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»), Минобрнауки РФ, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, приказ Минобрнауки России о создании диссертационного совета от 15.02 2013 №75/нк; приказы об изменении состава совета от 15.12 2015 № 1598/нк-9, от 28.09 2016 №1180/нк-52, от 15.02.2017 № 116/нк-38, от 26.01.2018 № 92/нк-50, от 17.04.2018 № 431/нк-26, от 23.11.2018 №301/нк-66, от 24.09.2019 № 873/нк-26; приказ об установлении полномочий совета от 03.06.2021 № 561-нк (Приложение 1/597); приказ об изменении состава совета от 15.10.2021 № 1046/нк-33.

Соискатель Галушка Виктор Владимирович, 02 февраля 1984 года рождения, в 2008 году окончил ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» с присвоением квалификации физик-микроэлектронщик по специальности «Микроэлектроника и

полупроводниковые приборы». В 2012 году освоил программу подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» по направлению подготовки 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах». Работает инженером в лаборатории «Диагностики наноматериалов и структур» Образовательно-научного института наноструктур и биосистем ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Диссертация выполнена на кафедре материаловедения, технологий и управления качеством Института физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Минобрнауки РФ.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор Вениг Сергей Борисович, ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», Институт физики, директор; кафедра материаловедения, технологий и управления качеством, заведующий кафедрой.

Официальные оппоненты:

1. Быков Виктор Александрович, доктор технических наук (05.27.01, 01.04.01), группа компаний НТ-МДТ Спектрум Инструментс, г. Москва (г. Зеленоград), почетный президент;

2. Бахтизин Рауф Загидович, доктор физико-математических наук (01.04.04), профессор, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет» (г. Уфа), Физико-технический институт, кафедра физической электроники и нанофизики, профессор;

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», г.Воронеж, в своем положительном отзыве, подписанном Серединым Павлом Владимировичем, доктором физико-математических наук (01.04.10), доцентом, заведующим кафедрой физики твердого тела и наноструктур, указала, что диссертация Галушка Виктора Владимировича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой представлены теоретические и экспериментальные исследования массопереноса в структурах, содержащих твердый электролит. Результаты, полученные соискателем, значимы для развития технологии получения тонкопленочных ионопроводящих и диэлектрических материалов.

Фундаментальный характер результатов позволяет использовать их в курсах, посвященных синтезу наноматериалов, влиянию условий на функциональные свойства наноматериалов.

Диссертация В.В. Галушка по актуальности решенных задач, объему проведенных исследований, степени научной новизны и практической значимости результатов удовлетворяет всем требованиям пп. 9-11, 13-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013, предъявляемым к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук, а её автор, Галушка Виктор Владимирович, достоин присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро - и наноэлектроники, квантовых устройств.

Соискатель имеет 162 опубликованные работы, в том числе по теме диссертации опубликовано 39 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 15 работ общим объемом 5,25 п.л. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах.

Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. **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.

2. Биленко Д.И., **Галушка В.В.**, Жаркова Э.А., Мысенко И.Б., Терин Д.В. Хасина Е.И. Особенности фотоэлектрических свойств структур на основе мезапористого кремния с наночастицами серебра // Письма в журнал технической физики. 2015. Т.41. Вып.21. С.80–87.

3. 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 мезапористого кремния // Письма в журнал технической физики. 2017. Т.43. Вып.3.С.57–63.

4. **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.

На автореферат диссертации поступило 6 положительных отзывов: из Санкт-Петербургского национального исследовательского Академического университета имени Ж.И. Алфёрова РАН от к.ф.-м.н (01.04.10) Можарова А.М.; из Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова от к.ф.-м.н (01.04.21) Заботнова С.В.; из Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого от к.ф.-м.н. (01.04.10) Винниченко М.Я.; из АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» (г. Москва) от к.т.н (05.16.08) Нескоромной Е.А., из Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А. от д.т.н. (05.09.10 и 05.16.01) Фомина А.А.; из Тамбовского государственного технического университета от к.т.н. (05.17.08 и 05.17.06) Блохина А.Н.

В отзывах на автореферат сделаны замечания о желательности отражения в автореферате: а) данных о зависимости морфологии кремниевых матриц и их электрофизических свойств от методов травления; б) данных о динамике процесса изменения сопротивления для случая с пористым кремнием и минимального времени на изменение состояния с логической «1» на «0» и обратно; в) разъяснений (при изучении структуры «AgI/Ag – туннельный зазор») выбора материала зонда (вольфрам), частотных и других функциональных характеристик структуры тонкопленочного переключателя; г) выбора AgI в качестве проводника, для которого нехарактерно прорастание усов металла, и более четкого описания процесса образования кластеров AgI на поверхности серебра и кластеров серебра на поверхности AgI; д) сравнения характеристик полученных структур с другими ионопроводящими и пористыми материалами и пояснения; е) какое отношение имеет рассматриваемое насыщение железом пористого кремния к теме работы, наблюдается ли ионный перенос в данной системе; ж) информации об использованных вычислительных средствах, з) большей информативности подписей к рисункам (в частности, 3 и 5).

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается соответствием проводимых ими исследований по теме диссертации; их высокой квалификацией в области исследования структур пористого кремния и твердых электролитов и зондовой микроскопии, позволяющей корректно оценить научную и практическую значимость

диссертационной работы. Выбор официальных оппонентов также объясняется отсутствием совместных печатных работ с соискателем. Выбор ведущей организации обосновывается наличием в её коллективе большого числа известных специалистов, работающих в направлениях, связанных с тематикой диссертации, а также отсутствием договорных отношений с соискателем. Выбор официальных оппонентов и ведущей организации удовлетворяет критериям, сформулированным в пп. 22 и 24 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработана методика и устройства для контролируемого получения структур AgI/Ag модификацией поверхности слоя серебра в парах иода;

установлено, что облучение ультрафиолетом структур пористого кремния, частично насыщенных серебром, приводит к миграции и перераспределению серебра в объеме пористого слоя, воздействие гамма излучения приводит к возрастанию проводимости слоя пористого кремния;

доказана возможность получения структур, обладающих мемристорными свойствами на основе слоев Ag/AgI – пористый диэлектрик – металл.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

изучены особенности динамики образования слоев твердого электролита AgI на поверхности Ag в процессе образования и определены оптимальные его свойства, при которых наблюдается массоперенос Ag;

применительно к проблематике диссертации с получением обладающих новизной результатов использованы современные методы прогнозирования электрофизических характеристик низкоразмерных структур;

показано, что динамика образования нанослоя AgI за счет иодизации поверхности серебра имеет нелинейный характер и с ростом толщины слоя скорость образования уменьшается; предложенная модель, хорошо описывает изменение проводимости туннельного барьера при массопереносе в структурах, содержащих слои Ag/AgI;

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

установлено, что композитный материал, состоящий из матрицы пористого кремния, поры которого заполнены иодистым серебром, обладает массопереносом ионов серебра;

установлены факторы, позволяющие замедлить скорость осаждения углерода из газовой среды электронного микроскопа, что позволит разработчикам аппаратуры в области электронной микроскопии повысить качество элементного микроанализа;

выявлено, что структуры Ag/AgI – пористый кремний – металл обладают обратимым изменением сопротивления в зависимости от направления протекающего заряда;

определены возможности создания заданного рельефа на поверхности локальным осаждением углерода при воздействии электронного луча;

результаты исследований использовались при выполнении НИОКР (№8758 р /13975 и № 10072 р /14303) и НИР поддержанных грантами РФФИ (№10-08-91219-СТА, № 18-07-00752 А, 13-08-00678 А), а также Госзадания по проекту № 3468.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

использованы современные технологии сбора и обработки информации, высокоточная аппаратура и методы измерений;

установлено качественное и количественное соответствие выводов численных расчетов экспериментальным результатам.

Личный вклад соискателя состоит в получении и исследовании свойств структур с ионным переносом и их теоретическом описании. Полученные выводы и результаты вынесены на защиту. Постановка задач, обсуждение и интерпретация результатов осуществлялись совместно с научным руководителем.

В ходе защиты диссертации были заданы вопросы и высказаны критические замечания:

1) о необходимости развернутого пояснения работы тонкопленочного переключателя (рисунок 4 автореферата);

2) о необходимости объяснения причины снижения скорости осаждения углерода при воздействии ультрафиолетового излучения (УФ) (результат , выносимый на защиту);

3) о необходимости уточнения математического описания модели (рисунок 1);

4) о необходимости пояснения причины роста тока в мемристорной структуре при снижении напряжения (материал на слайде, отображающий электрофизические свойства структуры с пористым кремнием в качестве слоя диэлектрика и Ag/AgI в роли активного электрода);

5) о необходимости более четкой физической интерпретации уравнения, характеризующего мемристивность исследуемой структуры и зависимость эффективной толщины диэлектрического слоя от прошедшего заряда;

б) о необходимости приведения данных о практическом использовании инерционных переключателей и возможностях существенно уменьшить время переключения состояния.

Соискатель Галушка В.В. ответил на замечания, содержащиеся в отзывах ведущей организации и официальных оппонентов, и ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы, дал необходимые пояснения:

привел развернутое пояснение работы тонкопленочного переключателя; дополнил вопрос о выражении для туннельного тока, где толщина барьера зависит от предшествующей истории прошедшего заряда;

пояснил результаты роста тока при снижении напряжения на токовой зависимости мемристорной структуры с пористым кремнием и Ag/AgI;

дал пояснение влиянию УФ излучения на скорость осаждения углерода; пояснил, что наблюдение кластеров серебра на поверхности слоя AgI осуществлялось, электронной микроскопией, что приводит в процессе сканирования к их росту;

ответил что, сведений о сколь-нибудь заметном растворении серебра в пористом кремнии обнаружено не было, так как один из методов получения пористого слоя кремния основан на металлстимулированном травлении с использованием серебра и последующим его удалением из пористого слоя методами энергодисперсионного микроанализа; следов серебра в слое пористого кремния не обнаруживалось;

насыщение приповерхностного слоя серебром происходит за счет адсорбции ионов серебра на поверхности пор и металлических включений восстановленного серебра в порах;

исследования по влиянию УФ излучения на скорость образования углеродной пленки показали снижение скорости роста и начального загрязнения поверхности адсорбированными углеводородами; выдвигается предположение о десорбции их с поверхности и/или их полимеризации, что снижает в итоге их миграцию по поверхности;

при описании ВАХ структур металл-пористый кремний, подверженных гамма облучению, в известной (на момент написания диссертации) литературе данные для сравнения отсутствовали, сопоставление токовых характеристик проводилось на одном и том же образце до и после соответствующих доз облучения, так как особенности получения мезапористого кремния и формируемые контактные области существенно влияют на электрофизические свойства получаемых структур;

указал что, промышленные испытания исследуемых материалов, не проводились; привел примеры изображения СТМ и АСМ; пояснил, что получение СТМ изображений поверхности слоя твердого электролита возможно только в случае туннелирования электронов с подложки на зонд;

ответил на вопрос официального оппонента, что из себя представляет образующаяся форма углерода осаждаемая электронным лучом;

с замечанием «о затруднительном применении пористого кремния в нанопереклещателях из за их неоднородности слоев» согласен; пояснил, что в качестве материала зонда для туннельной микроскопии широко используется вольфрамовая проволока острие которой получают электрохимическим травлением;

исследования частотных характеристик тонкопленочного переключателя специально не проводились, динамику изменения сопротивления для случая с пористым кремнием на рисунке 2.31 странице 63 диссертации приводится вольт-амперная зависимость при линейно нарастающем напряжении со скоростью 0.1 В/с;

пояснил, что инструментом для численных расчетов служили как готовые программы входящие в состав измерительного оборудования, так и реализованные самостоятельно в системе Mathcad;

обосновал выбор AgI как материала обладающего стабильностью свойств, простым и воспроизводимым процессом получения нанослоев и

отсутствием сведений о использовании данного материала применительно к мемристорным структурам.

Диссертация В.В. Галушка содержит решение актуальной задачи микро- и наноэлектроники по установлению возможности обратимого управления проводимостью структур металл-диэлектрик-металл массопереносом в слоях с ионной проводимостью и влияния внешних воздействий на ионный перенос в наноструктурах.

Содержание диссертации удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 действующего «Положения о присуждении ученых степеней» (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и наноэлектроники, квантовых устройств.

Результаты диссертационной работы рекомендуются к использованию в научно-исследовательских и научно-производственных организациях (Институт радиотехники и электроники им. В.А Котельникова РАН, «Научно-производственный комплекс «Технологический центр», г. Москва, Зеленоград; Институт нанотехнологий микроэлектроники РАН, г. Москва; Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения РАН, г. Томск; Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа; Сколковский институт науки и технологий, г. Москва),), занимающихся исследованиями в области электроники на низкоразмерных структурах, а также в высших учебных заведениях при подготовке специалистов в области микро- и наноэлектроники (Национальный исследовательский университет «МИЭТ», г. Зеленоград; Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова; Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского; Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.; Казанский (Приволжский) федеральный университет, Башкирский государственный университет, г. Уфа;; Воронежский государственный университет, Волгоградский государственный университет).

На заседании 23 июня 2022 года диссертационный совет принял решение присудить Галушка В. В. ученую степень кандидата физико-

математических наук по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 24 человек (21 человек находились в месте проведения заседания, 3 человека участвовали в заседании совета в удаленном интерактивном режиме), из них 9 докторов по специальности 2.2.2 – Электронная компонентная база микро- и нанoeлектроники, квантовых устройств, участвовавших в заседании, из 30 человек, входящих в состав совета проголосовал: за – 24, против – нет, воздержавшихся – нет.

Председатель
диссертационного совета

Ученый секретарь
диссертационного совета



Аникин Валерий Михайлович


Сысоев Илья Вячеславович

23 июня 2022 г.