

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по НИР  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»



Алексей Александрович Короновский

«10» ноября 2019 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

по диссертации **Козловского Александра Валерьевича** «Фотостимуляция твердотельных сенсорных структур на основе кремния и полиэлектrolитного покрытия» на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах», выполненной на кафедре материаловедения, технологии и управления качеством факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

**Тема диссертационной работы утверждена** приказом ректора № 191-Д от 25 ноября 2015 года и переутверждена приказом ректора № 17-Д от 1 февраля 2019 года.

Козловский Александр Валерьевич в 2015 году окончил ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный университет имени Н.Г.Чернышевского» по специальности «Материаловедение и технология новых материалов» с присвоением квалификации «Инженер».

Справка об обучении № 53-019 выдана 20.06.19 Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского».

Диплом об окончании аспирантуры № 106404 0039026, регистрационный № 18 по направлению подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи» (направленность «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах») выдан 05.07.19 ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

В период подготовки диссертации соискатель обучался в аспирантуре Саратовского государственного университета по направлению подготовки 11.06.01 «Электроника, радиотехника и системы связи» (направленность

«Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и наноэлектроника, приборы на квантовых эффектах») и работает ассистентом на кафедре материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с 2016 года по настоящее время.

Научный руководитель – Стецюра Светлана Викторовна, доцент, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского», утвержденная приказом ректора СГУ № 147-Д от 9 октября 2015 г., представила положительный отзыв о диссертации и соискателе.

Научную экспертизу диссертация проходила на расширенном заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского» с приглашением специалистов по профилю работы из других структурных подразделений СГУ. На заседании присутствовали:

1. *Вениг Сергей Борисович* – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством, декан факультета нано- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

2. *Аникин Валерий Михайлович* - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерной физики и метаматериалов на базе Саратовского филиала Института радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН, декан физического факультета ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

3. *Скрипаль Александр Владимирович* - доктор физико-математических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой физики твердого тела ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

4. *Скрипаль Анатолий Владимирович* - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской физики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

5. *Михайлов Александр Иванович* - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики полупроводников ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

6. *Глухова Ольга Евгеньевна* - доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и электродинамики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

7. *Роках Александр Григорьевич* - доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики полупроводников ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

8. *Симаков Вячеслав Владимирович* - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

9. *Слепченков Михаил Михайлович* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры радиотехники и электродинамики ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

10. *Сердобинцев Алексей Александрович* – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

11. *Стецюра Светлана Викторовна* – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

12. *Глуховской Евгений Геннадьевич* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

13. *Федоренко Владимир Александрович* – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

14. *Матов Олег Рафаилович* – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

15. *Синев Илья Владимирович* – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

16. *Иноземцева Ольга Юрьевна* – кандидат химических наук, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

17. *Горбачев Илья Андреевич* – кандидат химических наук, инженер кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»;

18. *Терин Денис Владимирович* – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Рецензенты диссертации:

*Михайлов Александр Иванович*, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой физики полупроводников ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» дал положительный отзыв.

*Роках Александр Григорьевич*, доктор физико-математических наук, профессор, профессор кафедры физики полупроводников ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» дал положительный отзыв.

*Симаков Вячеслав Владимирович*, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры материаловедения, технологии и управления качеством ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского» дал положительный отзыв.

По итогам обсуждения диссертации принято следующее **заключение**:

В диссертации Козловского А.В. установлены зависимости фотоэлектронных процессов в полупроводниковой структуре с физическими параметрами полиэлектролитных функциональных слоев на её поверхности, а также этих параметров с электрофизическими, фотоэлектрическими и сенсорными характеристиками гибридной структуры, сформированной методом последовательного нанесения полиэлектролитных молекул на поверхность кремниевых подложек различного типа проводимости. Экспериментально показано улучшение чувствительности биосенсоров, работающих на полевом эффекте, на основе таких структур для распознавания и количественного определения химических веществ в биологических жидкостях.

**Научная новизна** диссертационной работы определяется следующим:

1) Показано, что толщина буферного слоя ПЭИ уменьшается от времени освещения в процессе создания гибридной структуры на основе полупроводника и это изменение происходит по экспоненциальному закону. Указанный эффект объясняется процессом туннелирования неравновесных носителей заряда (ННЗ), генерируемых в Si при освещении, через слой SiO<sub>2</sub>, стимулированного электрическим полем иммобилизованных молекул ПЭИ.

2) Показано, что освещение увеличивает степень электрической пассивации Si полиэлектролитным покрытием. Этот эффект зависит от типа проводимости Si, интенсивности освещения, длины волны оптического излучения и определяется процессами перезарядки электронных состояний при освещении и туннелировании электронов в слой SiO<sub>2</sub>, стимулированного электрическим полем адсорбируемых ионов.

3) Обнаружено, что эффект сохранения заряда на поверхностных электронных состояниях границ раздела *n*-Si/*a*-Si/ПЭИ связан с наличием изолированных оборванных связей в *a*-Si и знаком их заряда.

4) Разработанная математическая модель вольт-фарадных характеристик структуры «органическое покрытие-оксид-полупроводник», помещенной в раствор электролита, построена с учетом изменений, вносимых фотостимулированным осаждением полиэлектролитного покрытия и процессом туннелирования ННЗ через слой SiO<sub>2</sub>, стимулированного электрическим полем адсорбируемых ионов.

### **Практическая значимость диссертационной работы.**

1) Реализация режима фотостимулированного нанесения молекул GOx на поверхность структуры  $n\text{-Si/SiO}_2/\text{ПЭИ}$  приводит к значительному увеличению её чувствительности к глюкозе (в 3 раза) по сравнению с осаждением GOx в темноте, что полезно учитывать при изготовлении емкостного полевого биосенсора.

2) Увеличение длительности релаксации заряда поверхностных электронных состояний после выключения освещения, достигнутое при формировании на поверхности структуры  $n\text{-Si/SiO}_2$  наноразмерного слоя аморфного кремния позволяет проводить фотостимуляцию кремниевой подложки до погружения в раствор полиэлектролита, что актуально при необходимости локальной фотостимуляции полупроводниковой подложки.

3) Разработанная математическая модель вольт-фарадных характеристик структуры на основе монокристаллического кремния со слоем полиэтиленimina, погруженной в электролит, позволяет теоретически определить изменение чувствительности сенсора на основе гибридной структуры, полученной с применением метода фотостимулированного нанесения полиэлектролитного покрытия.

4) По результатам исследований получены 2 патента РФ на изобретения: на «Способ электрической пассивации поверхности монокристаллического кремния» и на «Способ изготовления биосенсорной структуры».

### **Апробация работы.**

Результаты работы докладывались и обсуждались на следующих международных и всероссийских конференциях и симпозиумах: Всероссийская конференция молодых учёных «Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика» (Саратов, 2013, 2014, 2016, 2018, 2019), Всероссийская научная школа-семинар "Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами" (Саратов, 2014, 2019), Международная школа-семинар «Nanoparticles, Nanostructured Coatings and Microcontainers: Technology, Properties, Applications» (Саратов, 2015), Всероссийская научная школа-семинар "Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине" (Саратов, 2013-2015), Международная научно-техническая конференция «Технологии микро- и наноэлектроники в микро- и наносистемной технике» (Москва, 2016), Международная научно-техническая конференция «Микро- и нанотехнологии в электронике» (п. Эльбрус, 2017, 2018), Симпозиум «Современная химическая физика» (п. Шепси, 2015, 2016, 2018), 5 Международная школа-конференция "Saint-Petersburg OPEN-2018" по оптоэлектронике, фотонике, нано- и биотехнологиям (Санкт-Петербург, 2018), Международная конференция «Scanning Probe Microscopy» (Екатеринбург, 2017-2019), Всероссийская молодежная конференция «Новые материалы и технологии: состояние вопроса и перспективы развития» (Саратов, 2014).

**Материалы диссертационной работы использовались при выполнении исследований в рамках проектов:**

1) гранты РФФИ № 14-02-31089-мол\_а «Создание хемо- и биосенсоров на основе гибридных структур «полупроводник-органический слой-нанообъекты»» (2014 г.); №16-08-00524-а «Формирование регулируемого освещением пространственного и потенциального рельефа на границе раздела «полупроводник-органическое покрытие»» (2016-2018 гг);

2) грант Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (У.М.Н.И.К. - 2014), проект «Разработка электрохимического биодатчика с улучшенными характеристиками» 2015–2016 гг.;

3) гранты Немецко-российского междисциплинарного научного центра (G-RISC), проект № В-2017b-5 "Fabrication of multienzymatic coatings by photo-assisted adsorption of enzyme molecules onto a silicon substrate" (2017 г.); проект № P2018a-10 "Random sequential adsorption model for describing kinetics of photo-assisted adsorption of polyelectrolyte microcapsules on silicon substrates" (2018 г.)

#### **Личный вклад автора.**

Экспериментальные исследования, построение математических моделей и компьютерное моделирование выполнены лично автором. Часть измерений были проведены совместно с научными сотрудниками Саратовского университета, что отражено в соответствующих публикациях. Обсуждение и анализ полученных результатов проводились при участии научного руководителя и соавторов работ.

**Достоверность** выполненных исследований диссертации определяется использованием в ходе работы современных методов анализа экспериментальных результатов, применением автоматизированных аппаратно-программных технологических и измерительных комплексов, согласованием теоретических и практических результатов с литературными данными других авторов, использованием статистических методов обработки полученных результатов.

#### **Публикации.**

По теме диссертационного исследования опубликовано 34 печатные работы – 5 статей опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (из них 4 в научных изданиях, входящих в международные наукометрические базы (Web of Science, Scopus)), 2 статьи в профильных изданиях, входящих в международную наукометрическую базу Scopus, и 27 работ – в трудах конференций. Получено 2 патента РФ на изобретения.

Статьи в изданиях из списка ВАК при Минобрнауки России:

1) *Стецюра С.В., Козловский А.В., Митин Д.М., Сердобинцев А.А.* Влияние слоя аморфного кремния на адсорбционные свойства полупроводниковой структуры в условиях фотостимуляции // Письма в ЖТФ, 2019, Т. 45, вып. 2, С. 14-17.;

2) *Стецюра С.В., Козловский А.В., Маляр И.В.* Влияние типа проводимости кремниевой подложки на эффективность метода фотостимулированной адсорбции полиэлектролитов // Письма в ЖТФ, 2017, Т. 43, вып. 8, С. 26-33;

3) *Стецюра С.В., Козловский А.В.* Влияние фотоэлектронных процессов в полупроводниковой подложке на адсорбцию поликатионных и полианионных молекул // Письма в ЖТФ, 2017, Т. 43, вып. 6, С. 15-22;

4) *Стецюра С.В., Буланов М.С., Козловский А.В., Маляр И.В.* Электростатический потенциал как фактор контролируемого синтеза гибридных структур // Нано- и микросистемная техника, 2017, №2, С. 85-92;

5) *Стецюра С.В., Козловский А.В., Маляр И.В.* Электрическая пассивация поверхности кремния полиэлектролитным покрытием // Письма в ЖТФ, 2015, Т. 41, вып. 4, С. 24-32;

Статьи в изданиях, индексируемых в базе Scopus:

6) *A.V. Kozłowski, S.V. Stetsyura, I.V. Malyar* The influence of photo-stimulated adsorption of polyelectrolyte molecules on electro-physical characteristics of structures based on single crystal silicon substrates // Journal of Physics: Conference Series, 2018, V.1124, 081006 (5 p.);

7) *A.V. Kozłowski, E.D. Kiseleva, A.A. Maslennikova, S.V. Stetsyura* Change in the surface density of immobilized enzyme molecules induced by photoelectron processes in a silicon substrate // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018, V. 443, 012016 (6 p.);

В сборниках трудов конференций:

8) *Козловский А.В., Стецюра С.В.* Анализ вольт-фарадных характеристик структур «электролит-диэлектрик-полупроводник», полученных при фотостимулированной адсорбции поликатионных и полианионных молекул // Микро- и нанотехнологии в электронике. Материалы X Международной научно-технической конференции — Нальчик: Каб.-Балк. ун-т., 2018. – С. 143-147;

9) *Стецюра С.В., Козловский А.В., Сердобинцев А.А., Митин Д.М.* Структуры для биосенсорики на основе Si/a-Si, полученные с помощью фотостимулированной адсорбции. // Микро- и нанотехнологии в электронике. Материалы X Международной научно-технической конференции — Нальчик: Каб.-Балк. ун-т., 2018. – С.350-354;

10) *А.В. Козловский, С.В. Стецюра* Влияние фотостимулированной адсорбции полиэлектролитных молекул на электрофизические характеристики структуры на основе монокристаллического кремния // «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: сборник трудов XIII Всерос. конф. молодых ученых. – Саратов : Изд-во “Техно-Декор”, 2018. С.106-107;

11) *А.В. Козловский, А.А. Масленникова, С.В. Стецюра* Анализ изменения плотности молекул фермента, иммобилизованных на поверхность полупроводника в условиях фотостимуляции процессов перезарядки электронных состояний // «Наноэлектроника, нанофотоника и нелинейная физика»: сборник трудов XIII Всерос. конф. молодых ученых. – Саратов : Изд-во “Техно-Декор”, 2018. С.108-109;

12) *Козловский А.В., Стецюра С.В.* Влияние электронных и фотохимических процессов на вид вольт-фарадных характеристик структур «электролит-полупроводник», полученных методом фотостимулированной адсорбции // Сборник тезисов XXX симпозиума "Современная химическая физика" (16-27 сентября 2018, г. Туапсе), С.81;

13) *Стецюра С.В., Козловский А.В.* Фотоэлектронные процессы на границах раздела a-Si / Si и полиэлектролит/ a-Si, определяющие эффективность адсорбции полиэлектролита // Сборник тезисов XXX симпозиума "Современная химическая

физика" (16-27 сентября 2018, г. Туапсе), С. 117;

14) Козловский А.В., Маляр И.В., Стецюра С.В. Фотоэлектрические процессы и процессы токопереноса при фотостимулированной адсорбции наноразмерного слоя полиэтиленimina на поверхность Si со слоем SiO<sub>2</sub> // Микро- и нанотехнологии в электронике. Материалы IX Международной научно-технической конференции. — Нальчик: Каб.-Балк. ун-т., 2017, С. 188-192. ISBN 978-5-93-681035-0;

15) Козловский А.В., Маляр И.В., Стецюра С.В. Электрические свойства и морфология гибридной структуры на основе кремния при изменении режима фотоадсорбции молекул органического пассивирующего покрытия // Микро- и нанотехнологии в электронике. Материалы IX Международной научно-технической конференции. — Нальчик: Каб.-Балк. ун-т., 2017, С. 328-332. ISBN 978-5-93-681035-0;

16) Козловский А.В., Стецюра С.В. Описание фотоэлектронных процессов на границе «полиэлектrolит - полупроводниковая подложка» при фото- и электростимуляции адсорбции полиэлектролитов // «Современная химическая физика»: тезисы докладов XXIX Симпозиума, 2017, С.188. ISBN 978-5-85493-304-3;

17) Козловский А.В., Маляр И.В., Стецюра С.В. Описание процессов токопереноса на границе структур «органическое покрытие-полупроводниковая подложка», полученных при фотостимулированной адсорбции // «Современная химическая физика»: тезисы докладов XXIX Симпозиума, 2017, С.189. ISBN 978-5-85493-304-3;

18) Козловский А.В., Маляр И.В., Стецюра С.В. Влияние фотоэлектронных процессов в полупроводниковой подложке на иммобилизацию молекул фермента // Технологии микро- и нанoeлектроники в микро- и наносистемной технике: труды 5-ой международной научно-практической конференции. — Москва, ИНМЭ, 2016, С. 203-205;

19) Козловский А.В., Стецюра С.В. Модификация интерфейсного слоя биодатчика излучением оптического диапазона разных длин волн // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: материалы Всерос. научной школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. — Саратов: изд-во Саратовский источник, 2016, С. 53-56;

20) Козловский А.В., Стецюра С.В. Воздействие оптического излучения на процесс формирование слоя глюкозооксидазы при её адсорбции на полупроводниковый трансдьюсер // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: материалы Всерос. научной школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. — Саратов: изд-во Саратовский источник, 2015, С. 104-106;

21) Стецюра С.В., Козловский А.В., Маляр И.В. Электрохимический биодатчик с улучшенными характеристиками // Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине — 2014 : материалы Всерос. школы-семинара. / под ред. проф. Д. А. Усанова. — Саратов: Изд-во Саратовский источник, 2014, С. 68-70;



- 22) Козловский А.В., Маляр И.В., Стецюра С.В. Изменение морфологии наноразмерных слоев и конформации молекул при фотостимулированной адсорбции полиэлектролитов на полупроводниковую подложку // Наноматериалы и нанотехнологии: проблемы и перспективы: сборник материалов III Международной заочной научной конференции для молодых ученых, студентов и школьников. 14 февраля – 15 мая 2014 г. – Москва.: Прондо, 2014. С. 146-152;
- 23) Козловский А.В., Маляр И.В., Стецюра С.В. Взаимное влияние полупроводниковых и органических материалов, составляющих общую гибридную структуру // III Всероссийская заочная научная конференция для молодых ученых, студентов и школьников «Актуальные вопросы биомедицинской инженерии», 21 октября - 15 декабря 2013 г. – Саратов: ООО «Издательство Научная книга», 2013. С. 208-215;
- 24) Стецюра С.В., Маляр И.В., Козловский А.В., Буланов М.С. Сглаживание электрической и топологической неоднородностей интерфейсного полимерного покрытия полупроводниковой подложки оптическим облучением из области чувствительности полупроводника // Взаимодействие сверхвысокочастотного, терагерцового и оптического излучения с полупроводниковыми микро- и наноструктурами, метаматериалами и биообъектами: материалы Всерос. научной школы-семинара / под ред. проф. Д. А. Усанова. – Саратов: изд-во Саратовский источник, 2014. С. 103-106;
- 25) Козловский А.В., Маляр И.В., Буланов М.С., Стецюра С.В. Метод оптимизации параметров биосенсора на основе структуры "полимер-полупроводник" для детекции биообъектов // «Методы компьютерной диагностики в биологии и медицине – 2013»: материалы ежегодной Всероссийской научной школы-семинара. – 2013. – Изд. Сар. Ун. С.186-190;
- 26) Kozłowski A.V., Stetsyura S.V. Photocontrolled layer-by-layer adsorption of glucose oxidase on various surfaces // The nanoparticles, nanostructured coatings and microcontainers: technology, properties and applications – Mater. 6th Int. Conf. 21-24 May 2015. Saratov State University, Russian Federation // Print. Saratov: Saratov State University, 2015, P. 50-51;
- 27) Стецюра С.В., Козловский А.В., Маляр И.В. Исследование различий параметров полиэлектролитных покрытий на полупроводниковой подложке, полученных при освещении и в темноте // Нанозлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. VII Всерос. конф. молодых ученых. Саратов, 2014. С. 68-69;
- 28) Козловский А.В., Стецюра С.В. Спектральная зависимость эффекта фотоассистированной адсорбции полимеров из раствора // «Современная химическая физика»: тез. докл. XXVIII Симпозиума. Туапсе, 2016, С. 97;
- 29) Козловский А.В., Стецюра С.В. Влияние типа проводимости полупроводниковой подложки и фотоэлектронных процессов в ней на адсорбцию полиэлектролитных молекул // Нанозлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: докл. XI Всерос. конф. молодых ученых. – Саратов : Изд-во “Техно-Декор”, 2016, С. 91-92;
- 30) Козловский А.В., Стецюра С.В. Зависимость параметров полимерного слоя от длины волны и интенсивности освещения при его адсорбции на

полупроводниковую подложку // Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: докл. XI Всерос. конф. молодых ученых. – Саратов : Изд-во “Техно-Декор”, 2016, С. 92-93;

31) Стецюра С.В., Козловский А.В., Маляр И.В. Зависимость эффективности адсорбции полиэлектролитов от типа проводимости кремниевой подложки // Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. VII Всерос. конф. молодых ученых. Саратов, 2014. С. 66-67;

32) Козловский А.В., Александров В.А., Маляр И.В., Стецюра С.В. Влияние наноразмерного слоя полиэтиленimina на электрофизические характеристики МДП-структуры на основе монокристаллического кремния // Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. VIII Всерос. конф. молодых ученых. Саратов, 2013. С. 124-125;

33) Козловский А.В., Стецюра С.В. Фотостимулированная адсорбция полиэлектролитов на полупроводниковую подложку // XXVII Всероссийская конференция Современная химическая физика (21 сентября – 1 октября) 2015 года. Туапсе, 2015. С. 241;

34) Козловский А.В., Александров В.А., Маляр И.В., Стецюра С.В. Эффективность пассивации поверхности кремния полиэлектролитным покрытием, полученным при освещении // Нанoeлектроника, нанофотоника и нелинейная физика: тез. докл. VIII Всерос. конф. молодых ученых. Саратов, 2013. С. 126-127.

#### **Патенты на изобретения:**

35) Патент на изобретение RU 2562991 С2, МПК H01L21/312 Стецюра С.В., Козловский А.В., Маляр И.В. Способ электрической пассивации поверхности монокристаллического кремния // Пат. RU 2562991, МПК H01L21/312, заявка 2014105510/05, опубл. 10.09.2015. Бюл. № 25. - 18 с.: ил.: Приор. от 31.01.2014

36) Патент на изобретение RU 2644979 С2, МПК H01L51/00 Стецюра С.В., Козловский А.В. Способ изготовления биосенсорной структуры // Пат. RU 2644979, МПК H01L51/00, заявка 2016126165, опубл. 15.02.2018. Бюл. № 5. - 17 с.: ил.: Приор. от 30.06.2016

**Общая оценка диссертации.** Диссертационная работа Козловского Александра Валерьевича «Фотостимуляция твердотельных сенсорных структур на основе кремния и полиэлектролитного покрытия» по структуре и содержанию является законченной научно-квалификационной работой, и содержит решение актуальной задачи твердотельной электроники и наноэлектроники, заключающейся в улучшении параметров твердотельных сенсоров на основе гибридных структур «полупроводник – органические слои» и решаемой исходя из результатов исследований фотостимулированных взаимодействий полупроводниковой подложки с адсорбируемыми органическими слоями. Диссертационная работа выполнена на высоком уровне с применением современных методов экспериментального и теоретического исследования. Основные результаты работы достаточно полно представлены в статьях.


Тема диссертации соответствует специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах». Диссертация удовлетворяет требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, предъявляемым к кандмдатским диссертациям.

Диссертация **Козловского Александра Валерьевича** «Фотостимуляция твердотельных сенсорных структур на основе кремния и полиэлектrolитного покрытия» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 – «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах», выполненной на кафедре материаловедения, технологии и управления качеством факультета nano- и биомедицинских технологий ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского».

Заключение принято на расширенном заседании кафедры материаловедения, технологии и управления качеством. Присутствовало на заседании 18 человек, из них 8 докторов наук по профилю диссертации и 10 кандидатов наук.

Результаты открытого голосования: «за» -18 чел.; «против» - **нет**, «воздержалось» - **нет** (протокол № 3 от «8» октября 2019 г.)

Председатель заседания –  
декан факультета nano- и биомедицинских технологий,  
заведующий кафедрой материаловедения, технологии и управления качеством  
ФГБОУ ВО «СГУ имени Н.Г. Чернышевского»,  
д.ф.-м.н., профессор

  
Вениг Сергей Борисович

410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83  
Тел. 8-8452-522705,  
Email: wenigsb@mail.ru

