

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.02  
ПРИ ФЕДЕРАЛЬНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ БЮДЖЕТНОМ  
УЧРЕЖДЕНИИ НАУКИ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ  
ИМ. А.Ф. ИОФФЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО  
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ  
КАНДИДАТА НАУК

Аттестационное дело № \_\_\_\_\_

Решение диссертационного совета от 15.02.2024 № 2 \_\_\_\_\_

О присуждении Давыдовской Клавдии Сергеевне, гражданину РФ, ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация «Влияние температуры облучения на образование радиационных дефектов в карбиде кремния и деградацию приборов на его основе», по специальности 1.3.11 – «физика полупроводников» принята к защите «01» июня 2023 г., протокол № 8 диссертационным советом ФТИ 34.01.02 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26, утвержденным 12 июля 2019 г. приказом директора ФТИ им. А.Ф. Иоффе № 75.

Соискатель Давыдовская Клавдия Сергеевна, 13 августа 1995 года рождения, в 2018 г. окончила Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет "ЛЭТИ" им. В.И. Ульянова (Ленина)" по специальности «Электроника и наноэлектроника». В настоящее время занимает должность младшего научного сотрудника в лаборатории физики полупроводниковых приборов ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН.

Диссертационная работа выполнена в ФГБУН Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу 194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 26.

**Научный руководитель – Лебедев Александр Александрович**

доктор физико-математических наук, профессор, руководитель отделения твердотельной электроники, заведующий лабораторией физики полупроводниковых приборов ФТИ им. А. Ф. Иоффе.

**Официальные оппоненты:**

**Михаил Михайлович Соболев**, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник лаборатории диагностики материалов и структур твердотельной электроники ФТИ им. А. Ф. Иоффе.

**Попов Владимир Павлович**, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией физических основ материаловедения кремния ФГБУН Института физики полупроводников Сибирского отделения Российской академии наук.

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» в своем заключении, подписанном профессором кафедры физики ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», доктором физико-математических наук, профессором Насрединовым

Фаритом Сабиновичем и утвержденном проректором по научной работе Ю.В. Фоминым, дала положительный отзыв и отметила, что диссертационная работа является актуальной, законченной работой, которая выполнена на высоком научном уровне и соответствует профилю диссертационного совета ФТИ 34.01.02 (специальность 1.3.11 – «физика полупроводников»).

В отзыве приведены 3 замечания, которые носят частный характер.

**Выбор официальных оппонентов и ведущей организации** обуславливается их высокой квалификацией, а также сходством тематик работ, проводимых ведущей организацией и оппонентами, с тематикой диссертационной работы. На защите на все замечания соискателем даны исчерпывающие квалифицированные ответы.

**Отзывы на автореферат:** поступило 7 отзывов, все они положительные.

**Отзыв д.т.н. Растворовой Ирины Ивановны**, заведующей кафедрой электронных систем, доцента ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2).

Замечаний нет.

**Отзыв к.т.н. Добуш Василия Степановича**, доцента кафедры общей электроники ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II» (199106, г. Санкт-Петербург, 21-я линия В.О., д. 2).

Замечаний нет.

**Отзыв к.т.н. Полякова Александра Яковлевича**, профессора кафедры «Полупроводниковая электроника и физика полупроводников», зав. лаб. ультраширокозонных полупроводников НИТУ МИСИС (119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4).

Замечаний нет.

**Отзыв к.т.н. Зубова Александра Викторовича**, генерального директора ООО «Эпиграф».

Замечаний нет.

**Отзыв д.ф.-м.н. Романова Алексея Евгеньевича**, профессора, директора Института перспективных систем передачи данных, Университета ИТМО (197101, Кронверкский пр. 49).

Замечаний нет.

**Отзыв д.ф.-м.н. Бондаренко Геннадия Германовича**, профессора департамента электронной инженерии, Московского института электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики» (123458, Москва, ул. Таллинская, 34).

Замечания:

1. Цель работы («Исследование процессов...») сформулирована, на мой взгляд, неудачно; она должна заключаться не просто в исследовании процессов, а в получении новых научных данных, установлении новых закономерностей, решении задачи, имеющей значение для развития физики полупроводников.
2. В автореферате имеется некоторая путаница с обозначением физических величин. Так, на стр. 10  $S$  – это площадь барьера (очевидно, в  $\text{см}^2$ ), а на стр. 12  $S$  – это уже безразмерная величина (отношение емкостей, измеренных в разные моменты времени, к стационарному значению емкости  $C_0$ ). Кроме того, на графике рис. 1 (стр. 13) по оси ординат отложено значение  $(C/S)$  и нигде – ни в

тексте, ни в подрисуночной подписи – не указано, что же такое здесь  $S$ , хотя по смыслу и размерности можно догадаться, что речь идет о величине площади.

3. В автореферате нет обоснования, почему для исследования использованы энергии 0,9 МэВ и 15 МэВ (соответственно для электронов и протонов), где именно эти энергии частиц и дозы облучения имеют важное значение. Вообще не указаны значения плотности потока (флакса) электронов и протонов, определяющие скорость введения в материал радиационных дефектов (РД), хотя величина флакса может существенно повлиять на отжиг РД как в процессе облучения, так и после воздействия.

**Отзыв д.ф.-м.н. Зубкова Василия Ивановича**, профессора кафедры микро- и наноэлектроники, руководителя Ресурсного центра «Физика твердого тела» Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (197022, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 5, литера Ф).

Замечания:

1. Есть замечание по схеме расположения основных глубоких уровней в запрещенной зоне 4Н-SiC (Рис. 12 автореферата). Цитирую с. 22 «Уровень А3 расположен в нижней половине зоны, и энергия его ионизации еще больше, чем энергия ионизации уровня А2». На самом деле оба уровня (А2 и А3) являются акцепторными, и для них под энергией ионизации понимается энергия высвобождения дырки в валентную зону. Эта энергия меньше для уровня А3.

#### **Публикации. Личный вклад автора.**

Все результаты, приведенные в диссертации, получены самим автором или при его непосредственном участии. Личный вклад соискателя состоит в проведении вольт-фарадных и DLTS измерений JBS диодов на основе 4Н-SiC, а также в обработке результатов в виде расчетов концентраций нескомпенсированных носителей заряда, параметров глубоких центров и скоростей удаления носителей зарядов. Соискателем были построены все вытекающие из них зависимости, а также проведено сравнение с имеющимися литературными данными.

Также соискателем были рассчитаны концентрации свободных носителей заряда из вольт-амперных характеристик (ВАХ), измеренных коллегами, и совместно с научным руководителем выведена качественная модель образования в карбиде кремния глубоких центров.

Соискатель принимала участие в апробации работ на конференциях, семинарах и подготовке результатов исследований к публикациям. Постановка задач и целей осуществлялась совместно с научным руководителем.

По результатам исследований, составляющих содержание диссертации, опубликовано 15 статей, индексируемых в базах данных Web of Sciences и Scopus. Основные результаты диссертационной работы изложены в 10 статьях, опубликованных в рецензируемых журналах:

1. В. В. Козловский, А. А. Лебедев, А. М. Стрельчук, К. С. Давыдовская, А. Э. Васильева, Л. Ф. Макаренко. // Влияние энергии бомбардирующих электронов на проводимость эпитаксиальных слоев n-4Н-SiC (CVD). // 2017, ФТП, т. 51, 3 стр.: 331-316.

Личный вклад - проведение CV измерений, обработка результатов.

2. А. А. Лебедев, К. С. Давыдовская, А. Н. Якименко, А. М. Стрельчук, В. В. Козловский. // Исследование воздействия электронного и протонного облучения на приборные структуры на основе 4H-SiC. // 2017, Письма в ЖТФ, т. 43, 22 стр. 63-67.

Личный вклад - обработка результатов CV измерений.

3. В. В. Козловский, А. А. Лебедев, К. С. Давыдовская, Ю. В. Любимова. // Гальванические и емкостные эффекты при компенсации проводимости n-SiC радиационными дефектами // 2018, ФТП, т.52, 12 стр.: 1532 – 1534.

Личный вклад - проведение CV измерений, обработка результатов.

4. В. В. Козловский, А. Э. Васильев, К. С. Давыдовская, А. А. Лебедев. // Роль подрешетки углерода в компенсации проводимости n-SiC. // 2019, Поверхность, т. 2 стр. 82-88.

Личный вклад - проведение CV измерений, обработка результатов.

5. В. В. Козловский, О. Корольков, К. С. Давыдовская, А. А. Лебедев, М. Е. Левинштейн, Н. Слепчук, А. М. Стрельчук, J. Toompuu. // Влияние температуры протонного облучения на характеристики мощных высоковольтных карбид-кремниевых диодов Шоттки // 2020, Письма ЖТФ, т.46, 6 стр.: 35-37.

Личный вклад - проведение CV и DLTS измерений, обработка результатов.

6. А. А. Lebedev, V. V. Kozlovski, K. S. Davydovskaya, M. E. Levinshtein. // Radiation hardness of silicon carbide upon high-temperature electron and proton irradiation. // 2021, Materials, v.14, 17 ArtNo: #4976.

Личный вклад - проведение CV измерений, обработка результатов.

7. А. А. Lebedev, V. V. Kozlovski, M. E. Levinshtein, A. E. Ivanov, K. S. Davydovskaya // Effect of high temperature irradiation with 15 MeV protons on characteristics of power SiC Schottky diodes. // 2021, Solid-State Electronics, v. 181–182, ArtNo: # 108009.

Личный вклад - обработка результатов CV измерений.

8. А. А. Lebedev, V. V. Kozlovski, M. E. Levinshtein, A. E. Ivanov, K. S. Davydovskaya, V. S. Yuferev, A. V. Zubov // Impact of high temperature electron irradiation on characteristics of power SiC Schottky diodes. // 2021, Radiat. Phys. Chem., v.185, ArtNo: # 109514.

Личный вклад - обработка результатов CV измерений.

9. А. А. Лебедев, В. В. Козловский, М. Е. Левинштейн, Д. А. Малевский, Г. А. Оганесян, А. М. Стрельчук, К. С. Давыдовская. // Отжиг высоковольтных 4H-SiC диодов Шоттки, облученных электронами при высокой температуре. // 2022, ФТП, т.56, 4 стр.: 441-445.

Личный вклад - проведение CV и DLTS измерений, обработка результатов.

10. А. А. Lebedev, V. V. Kozlovski, K. S. Davydovskaya, R. A. Kuzmin, M. E. Levinshtein, A. M. Strelchuk. // Features of the Carrier Concentration Determination during Irradiation of Wide-Gap Semiconductors: The Case Study of Silicon Carbide. // 2022, Materials, v.15, 23, ArtNo: #8637.

Личный вклад - обработка результатов CV и DLTS измерений, разработка четырехуровневой модели образования глубоких центров в SiC под воздействием облучения.

Диссертационный совет отмечает, что рассмотренная диссертация является

законченной работой, полученные соискателем результаты имеют как фундаментальное, так и прикладное значение, и на своем заседании 15 февраля 2024 г. принял решение присудить Давыдовской Клавдии Сергеевне ученую степень кандидата физико-математических наук.

При проведении голосования диссертационного совета в количестве 19 человек из 25 членов совета, из них 13 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, очно проголосовали 12:

За присуждение Давыдовской Клавдии Сергеевне ученой степени кандидата физико-математических наук подано голосов – 11.

Против – 0.

Недействительных бюллетеней – 1.

Не проголосовал: 0.

Из 7 членов совета, участвовавших дистанционно, за присуждение Давыдовской Клавдии Сергеевне ученой степени кандидата физико-математических наук проголосовали:

«за» – 6.

«против» - 0.

«воздержались» - 1.

«не голосовал» – 0.

Итого: из 19 членов совета, участвовавших в очно-заочном голосовании –

«за»: -17

«против»: - 0

«испорченных бюллетеней»: - 1

«воздержались»: - 1

«не проголосовал»: - 0

Зам. председателя диссертационного совета,  
академик РАН

Ивченко Еугениус Левович

Ученый секретарь диссертационного совета,  
д. ф.-м. н.

Сорокин Лев Михайлович

15 февраля 2024 г.