

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ**

по защите диссертации Салогуб Татьяны Олеговны на тему «Разработка основ технологии получения гетероструктур на основе галогенидных перовскитов для повышения мощности фотопреобразователей в условиях низкой освещенности», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники и состоявшейся в НИТУ МИСИС 18.03.2026 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 15.12.2025 г., протокол № 35.

Диссертация выполнена на кафедре полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ МИСИС.

Научный руководитель – Саранин Данила Сергеевич, доктор технических наук, профессор кафедры полупроводниковой электроники и физики полупроводников НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 35 от 15.12.2025 г.) в составе:

1. Калошкин Сергей Дмитриевич - д.ф.-м.н., директор института новых материалов и нанотехнологий НИТУ МИСИС - председатель комиссии;
2. Костишин Владимир Григорьевич - д.ф.-м.н., заведующий кафедрой технологии материалов электроники НИТУ МИСИС;
3. Теруков Евгений Иванович - д.т.н., заведующий лабораторией физико-химических свойств полупроводников федерального государственного бюджетного учреждения науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук;
4. Лагов Петр Борисович - д.т.н., начальник отдела Научного центра сертификации элементов и оборудования АО «Российские космические системы»;
5. Якимов Евгений Борисович - д.ф.-м.н., заведующий лабораторией локальной диагностики полупроводниковых материалов Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований показано, что:

– Разработана методика жидкофазного синтеза компактных слоев оксида никеля (с-NiO) для формирования стабильных гетероструктур с перовскитным слоем. Установлено, что оптимальная температура пиролиза позволяет достичь меньшего контактного сопротивления, чем у известных аналогов. Показано, что использование сплошных слоев NiO в инвертированной p-i-n архитектуре обеспечивает отсутствие гистерезиса вольт-амперных характеристик при низкой освещенности.

– Выявлена и количественно оценена зависимость эффективности преобразования энергии перовскитных солнечных элементов от цветовой температуры LED-освещения для материалов с шириной запрещенной зоны 1,60–1,97 эВ. Доказано, что максимальный КПД (36,1 %) достигается при цветовой температуре 1700 К для перовскита с  $E_g = 1,72$  эВ, что обусловлено минимизацией спектрального рассогласования между излучением источника и краем поглощения фотоактивного слоя.

– Определена оптимальная толщина перовскитного поглотителя для работы в условиях низкой освещенности. Разработанная инвертированная структура с неорганическим транспортным слоем NiO обеспечила рекордную выходную мощность до 98,4 мкВт/см<sup>2</sup> при освещенности 1000 люкс, что превышает показатели аналогов с нанопористым NiO.

– Впервые проведен комплексный анализ пределов Шокли-Квайссера для LED-освещения с различной цветовой температурой. Теоретически обосновано и экспериментально подтверждено, что перовскиты с  $E_g = 1,72$  эВ имеют минимальные электрические потери при преобразовании искусственного света, достигая 72 % от теоретического предела эффективности.

**Ценность научной работы** заключается в разработке научно-технологических основ создания высокоэффективных перовскитных фотопреобразователей для автономного энергообеспечения устройств интернета вещей (IoT) и носимой электроники в условиях низкой искусственной освещенности. Предложенные подходы к формированию гетероструктур ДТС/перовскит и оптимизации состава фотоактивного слоя позволяют целенаправленно управлять оптоэлектронными свойствами устройств для достижения максимальной эффективности при работе под светодиодным освещением с различной цветовой температурой. Установленные корреляции между шириной запрещенной зоны перовскита, цветовой температурой источника и выходными параметрами фотопреобразователей создают основу для проектирования специализированных материалов, адаптированных к конкретным условиям эксплуатации (жилые, офисные или промышленные помещения).

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

– Разработана технология жидкофазного синтеза NiO-слоев, позволяющая создавать стабильные перовскитные элементы для IoT-устройств с КПД до 36 % при низкой освещенности. Метод исключает дорогостоящие вакуумные процессы, снижая себестоимость производства, и обеспечивает воспроизводимость параметров при масштабировании.

– Созданы прототипы перовскитных фотопреобразователей с КПД до 36 % при LED-освещении (1700 К), что на 20–28 % превышает показатели коммерческих аналогов, используемых в настоящее время для применения внутри помещений.

– Разработаны научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных параметров перовскитных структур ( $E_g = 1,72\text{--}1,82$  эВ, толщина активного слоя 350–600 нм) для различных сценариев применения в системах сбора рассеянной энергии.

– Результаты диссертационной работы внедрены в АО «НИИП» (г. Лыткарино) и использованы при проведении исследований стойкости к воздействию специальных факторов перспективных солнечных элементов в рамках ОКР по разработке космических аппаратов «Луч-5ВМ», «Глонасс-К2», «Марафон», что подтверждено соответствующим актом о внедрении.

**Достоверность** научных результатов базируется на применении современного аналитического оборудования для исследования структурно-морфологических, оптических и электрофизических свойств материалов при использовании взаимодополняющих экспериментальных методов: сканирующая электронная микроскопия, просвечивающая электронная микроскопия высокого разрешения, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, рентгеноструктурный анализ, УФ-видимая спектрофотометрия, спектроскопия внешней квантовой эффективности. Достоверность подтверждается достаточным объемом экспериментальных данных, их статистической обработкой, воспроизводимостью результатов на сериях образцов.

**Личный вклад соискателя** состоит в планировании и проведении лабораторных экспериментов, разработке методик синтеза и нанесения функциональных слоев, изготовлении всех исследуемых перовскитных структур, проведении измерений их фотоэлектрических характеристик, структурных и морфологических исследований, обработке и интерпретации полученных данных, оформлении и подготовке докладов на научных конференциях, а также научных статей в высокорейтинговые научные журналы.

Соискатель представил 3 печатные работы в рецензируемых научных изданиях, входящих в международные базы Web of Science и Scopus, а также 4 тезиса докладов на международных конференциях.

Пункт 2.6 Положения о присуждении ученой степени кандидата наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени **не нарушен**.

Диссертация Салогуб Татьяны Олеговны полностью соответствует критериям п.2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований разработаны научно-технологические основы создания гетероструктур на основе галогенидных перовскитов для повышения мощности фотопреобразователей в условиях низкой освещенности. Предложенные технологические решения обеспечивают возможность создания высокоэффективных энергоавтономных источников питания для устройств интернета вещей и носимой электроники, что является значимым для развития технологии и оборудования производства материалов и приборов электронной техники.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Салогуб Татьяне Олеговне ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии



Калошкин Сергей Дмитриевич

18.03.2026