

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Ермановой Инги Олеговны на тему «**Модификация поверхности NiOx тонких пленок и многоступенчатая кристаллизация фотоактивных слоев для высокоэффективных p-i-n перовскитных солнечных элементов**», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники, состоявшейся в НИТУ МИСИС 19.06.2023 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 10.04.2023 г., протокол № 10.

Диссертация выполнена в лаборатории перспективной солнечной энергетики (ПСЭ) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» (НИТУ МИСИС), Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – Ph.D., профессор Альдо Ди Карло, заведующий лабораторией перспективной солнечной энергетики НИТУ МИСИС.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 10 от 10.04.2023 г.) в составе:

1. Ховайло Владимир Васильевич – д.ф.-м.н., доцент, профессор кафедры функциональных наносистем и высокотемпературных материалов НИТУ МИСИС – председатель комиссии;
2. Мухин Сергей Иванович – д.ф.-м.н., профессор, заведующий кафедрой теоретической физики и квантовых технологий НИТУ МИСИС;
3. Лагов Петр Борисович – д.т.н., доцент, начальник отдела Научного центра сертификации элементов и оборудования Акционерного общества «Российская корпорация ракетно-космического приборостроения и информационных систем»;
4. Тамеев Алексей Раисович – д.ф.-м.н., главный научный сотрудник Лаборатории электронных и фотонных процессов в полимерных материалах Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук;
5. Якимов Евгений Борисович – д.ф.-м.н., заведующий лабораторией локальной диагностики полупроводниковых материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов Российской академии наук.

В качестве ведущей организации утверждено Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования и науки Санкт-Петербургский Национальный Исследовательский Академический Университет имени Ж.И. Алфёрова российской академии наук, г. Санкт-Петербург.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

Было определено, что тройное последовательное нанесение гидрофобного слоя NiO_x позволяет адаптировать метод двухстадийной кристаллизации перовскитов в планарной p-i-n конфигурации для достижения высоких значений КПД устройств.

Было определено, что использование метакрилатных, полиэтилен оксидных прослоек органических изоляторов на гетеропереходах $\text{NiO}_x/\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ снижает вклад процессов безызлучательной рекомбинации при захвате фотоносителей, повышает внешнюю квантовую эффективность во всем спектре поглощения для фотопоглощающих слоёв, а также повышает КПД устройств до 18,61 % для PMMA и до 18,32 % для PEO пассивированных устройств.

Было определено, что использование тонких полимерных прослоек PMMA, PEO между дырочно-транспортным слоем NiO_x и перовскитом $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$ ведет к увеличению стабильности устройства под длительным освещением.

Была определена временная динамика процессов рекомбинации носителей заряда методами измерения переходных характеристик по току и напряжению.

Теоретическая и практическая значимость исследования обоснована тем, что:

- разработана технология двухстадийного нанесения перовскита с однокатионным и мультикатионным составами на воздухе для создания p-i-n планарных солнечных элементов на основе NiO_x транспортного слоя с эффективностью (14 % для MAPbI_3 , 15,6 % для мультикатионного).
- разработана технология нанесения пассивирующей прослойки на основе полиметилметакрилата (PMMA) и полиэтиленоксида (PEO) на интерфейсе NiO_x /перовскит для лучшей эффективности устройств и снижения уровня рекомбинации на интерфейсе ДТС/перовскит. Были достигнуты эффективности, равные 18,6 % и 18,3 % на подложках с активной площадью равной 0,09 cm^2 .
- подтверждены технологические возможности масштабирования перовскитных солнечных элементов с тонкопленочными прослойками органических диэлектриков при изготовлении модулей путем последовательного соединения 5 подъячеек площадью 2 cm^2 .
- подтверждено, что пассивация полимерами приводит к меньшей концентрации дефектов на границе раздела, что соответствует более высоким значениям параметров и меньшей динамике деградации.

- Подтверждено, что стабильность работы устройств после пассивации выросла в 14 раз (потеря 20 % от начальной эффективности случилась через 140 часов) по сравнению с исходным образцом (10 часов).

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

Достоверность научных результатов подтверждается использованием современных методик исследования, аттестованных измерительных установок и приборов, согласованностью результатов, полученных различными методами.

Личный вклад автора в настоящую работу состоит в определении и постановке целей и задач, проведения полного цикла изготовления всех исследуемых устройств и структур, участие в проведении измерений, разработка методик и технологий нанесения, а также анализ и интерпретация полученных данных.

По теме диссертации опубликовано три печатные работы, рецензируемые в научных журналах, входящих в базы Scopus и Web of Science.

Пункт 2.6 Положения присуждения ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Ермановой Инги Олеговны соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС, так как в ней на основании выполненных автором исследований содержится решение задачи повышения стабильности и эффективности планарных p-i-n перовскитных солнечных элементов двухстадийной кристаллизации слоев металлоорганического перовскита на воздухе и пассивацией интерфейса дырочно-транспортный слой/перовскит тонкими пленками полимеров.

Полученные в работе результаты имеют важное научное значение и являются перспективными в решении практических задач.

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

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

Председатель Экспертной комиссии



В.В. Ховайло

19.06.2023