

ОТЗЫВ

**на автореферат диссертации
Саранина Даниила Сергеевича**

**«Технология жидкофазного получения и легирования тонкопленочных перовскитов
для повышения эксплуатационных характеристик солнечных батарей на их основе»,
представленной на соискание учёной степени**

доктора технических наук по специальности

2.2.3 Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники

Современные тенденции развития фотовольтаики всё более смещаются к новым материалам, обладающим как высоким коэффициентом преобразования, так и потенциалом снижения себестоимости производства. Среди таких материалов особо выделяются гибридные галогенидные перовскиты. Их масштабное внедрение, тем не менее, сопряжено со значительными технологическими трудностями: низкой стабильностью структур, наличием большого числа дефектов, сложностью адаптации промышленных методов нанесения тонких плёнок и другими факторами. Таким образом, научная проблема, связанная с разработкой жидкофазных методов получения перовскитных солнечных элементов с улучшенными эксплуатационными свойствами, представляется крайне актуальной.

В автореферате диссертационной работы **Саранина Д.С.** подробно освещены вопросы создания и легирования тонкоплёночных перовскитов, способных обеспечивать повышенный ресурс и конкурентный уровень КПД в сравнении с классическими солнечными элементами на основе поликристаллического кремния или традиционных тонкоплёночных технологий (CdTe, CIGS). Предложенные технологии учитывают требования промышленного масштабирования и применяют экструзионные способы нанесения, а также комплекс лазерных операций по структурированию модулей. Подобный комплексный подход отражает как фундаментальную, так и прикладную значимость представленного исследования.

Содержание диссертации, судя по автореферату, охватывает широкий круг научных и технологических вопросов, связанных с:

1. **Обоснованием актуальности и научной новизны** гибридных перовскитных структур, способных повысить эффективность солнечных батарей и упростить производственный цикл за счёт жидкофазных методов нанесения.
2. **Исследованием механизмов дефектообразования** (антиструктурных дефектов, междоузельных атомов, вакансий) в перовскитных плёнках, влияющих на

деградационные процессы. Автор акцентирует внимание на сочетании спектроскопических методов (РСГУ, обратное РСГУ, PIVTS и др.) для получения количественных параметров дефектов.

3. **Разработкой способов легирования и пассивации** с помощью наноматериалов на основе Ti_3C_2 (м-ксены), органических пассивационных слоёв, а также путём катионной и анионной модификации перовскитной матрицы (CsFAPbI_3) хлоридными добавками. Показано, что корректный выбор легирующих агентов позволяет повысить КПД и увеличить время стабильной работы перовскитных модулей.
4. **Технологическим решением задач масштабирования** (slot-die методы, вакуумная обработка, лазерное скрайбирование P1–P3), где особое внимание уделяется однородности нанесения и перспективам снижения производственных затрат.
5. **Практическими опытно-промышленными испытаниями** созданных модулей и полноразмерных панелей в сотрудничестве с профильными предприятиями. Автор демонстрирует стабильность работы и возможность эксплуатации таких модулей при низкой освещённости — критичный аспект для реальных условий эксплуатации.

Таким образом, автореферат даёт целостное представление о структуре выполненных работ: от исходных фундаментальных обоснований и постановки научной задачи до конкретных технологий, патентов и опытной промышленной апробации.

Научная новизна обосновывается рядом утверждений, которые демонстрируют вклад работы в науку о материалах и технологию фотовольтаики:

- Предложена концепция **жидкофазного легирования** тонкоплёночных перовскитов путём интеграции низкоразмерных наноматериалов (Ti_3C_2) в поглощающий и селективные слои ($n\text{-p}^+$, $p\text{-p}^+$), что повышает стабильность и оптоэлектронные характеристики гетероструктуры.
- Разработаны **методы пассивации** дефектов в перовскитных плёнках, обусловленные введением органических самоорганизующихся прослоек (O-CMC), позволяющих достичь более однородного кристаллического строения и подавить процессы безызлучательной рекомбинации.
- Выявлены закономерности **выделения различных типов заряженных дефектов**, подтверждённые адмиттансной и релаксационной спектроскопией, что даёт возможность надёжно оценивать механизмы деградации ионами йода и путями их миграции.

- Показана работоспособность сквозного **промышленного цикла**: от печати (slot-die) и вакуумной пост-обработки до многоступенчатого лазерного скрайбирования при создании полноформатных перовскитных модулей с высокими фотоэлектрическими параметрами.

Практическая значимость работы отражена в многочисленных патентах и ноу-хау, подтверждающих технологическую применимость предложенных решений. Отдельного внимания заслуживают:

- **Опытные образцы** перовскитных модулей формата 100×100 мм и 500×500 мм, реализованные с применением лазерного скрайбирования на профильных предприятиях (АО «ИСТОК», ООО «НТЦ ТПТ»).
- **Апробация** натуральных солнечных батарей, работающих в условиях пониженной освещённости, и показ (на примере раскладных пеналов, индивидуальных источников питания) преимуществ гибридных перовскитов для автономных малогабаритных систем.

Замечания

1. **Описательная часть лазерного скрайбирования** в автореферате представлена в общем виде. Было бы целесообразно более детально указать параметры (частота, длительность импульса, плотность мощности) и характер взаимодействия луча с многослойной структурой, поскольку успех «чистого» разделения плёнок принципиально важен для снижения потерь мощности и повышения КПД модулей.
2. **Обширный патентный пул** подчёркивает технологическую направленность работы, однако в автореферате следовало бы системнее сгруппировать объекты ИС (изобретения, секреты производства) по конкретным технологическим блокам (легирование, пассивация, методы лазерной обработки), чтобы рецензентам было проще ориентироваться.

Заключение

В целом, автореферат свидетельствует об успешной реализации автором фундаментальных и прикладных исследований, направленных на создание и оптимизацию технологий жидкофазного получения перовскитных солнечных элементов. Полученные **результаты** демонстрируют существенный вклад в развитие материаловедения и приборостроения электронной техники, открывают перспективы промышленной реализации модулей на основе галогенидных перовскитов и расширяют область

применения таких устройств (низкоинтенсивная засветка, автономные источники питания и пр.).

Диссертация **Саранина Д.С.** в полной мере отвечает критериям, предусмотренным **Положением ВАК о присуждении учёных степеней**. Автореферат соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Считаю, что **Данила Сергеевич Саранин** заслуживает присуждения учёной степени **доктора технических наук** по специальности 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Зольников Владимир Константинович

31.01.25

Доктор технических наук (Шифр специальности, по которой защищена диссертация: 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования), профессор, лауреат Государственной премии РФ, лауреат премии Правительства РФ, заслуженный деятель науки РФ,

директор института цифровых и интеллектуальных систем

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»



Адрес организации: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8,

Телефон организации: 8-(473)-253-84-11

Рабочий телефон: 8 (473) 253-67-08

Адрес электронной почты: wkz@rambler.ru