

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

Развитие отечественной фотовольтаики во многом определяется внедрением новых материалов и технологических процессов, обеспечивающих снижение себестоимости и повышение эффективности преобразования солнечной энергии. В последние годы особенно актуальными становятся тонкопленочные технологии, среди которых гибридные перовскитные солнечные элементы выделяются благодаря высокому потенциалу быстрого масштабирования и высоким фотоэлектрическим параметрам, сопоставимым с традиционными кремниевыми решениями. Одновременно комплексные проблемы коррозии, нестабильности фазового состава, возрастания доли дефектных состояний в гибридных перовскитах, особенно при увеличении площади модулей, требуют глубоких исследований и разработки способов пассивации и легирования.

Представленная авторефератом диссертация Саранина Д.С. посвящена одной из ключевых научно-технологических задач: разработке эффективных методов и аппаратурно-технологических решений для жидкофазного получения тонкопленочных перовскитных структур, а также способов введения легирующих агентов, повышающих ресурс и КПД солнечных батарей. Актуальность темы не вызывает сомнений: гибридные перовскиты демонстрируют рекордные темпы роста эффективности на лабораторном уровне, однако переход к промышленному формату (масштабированию) пока осложнён рядом методических и технологических препятствий. В работе подробно проанализированы современные тенденции в области фотовольтаики нового поколения, сформулирована научная проблема, связанная с недостаточной воспроизводимостью структуры микрокристаллических перовскитных слоёв, сложностями управления ионными дефектами и проблемами масштабируемых жидкофазных технологий.

Если судить по перечню научных трудов, представленных в автореферате, Д.С. Саранин длительное время занимается исследованием гибридных перовскитов, оптоэлектронных процессов в них и методами стабилизации. Многолетнее накопление экспериментального материала позволило автору выявить закономерности, определяющие влияние хлорсодержащих добавок (Cl-замещения), наноматериалов семейства Ti_3C_2 (м-

ксены), а также органических самоорганизующихся слоёв на структурное совершенство и устойчивость перовскитных тонкоплёночных систем под воздействием тепловых, световых и электрических полей. Физическая природа ионных дефектов, важная для понимания деградиационных явлений, раскрывается в работе на основе комплексных методов диагностики (спектроскопия глубоких уровней, Оже-профилирование и др.), что свидетельствует о существенном вкладе автора в развитие теории и практики перовскитной фотовольтаики.

Практическая значимость диссертации подтверждается разработкой конкретных технологических карт (slot-die печать, вакуумная постобработка, лазерное скрайбирование) и опытным изготовлением полноформатных модулей и панелей на основе галогенидных перовскитов. Показана масштабируемость предложенных методов и переход от лабораторных ячеек площадью менее 1 см² к модулям и панелям габаритов 100×100 мм и 500×500 мм. Автором обоснована технологическая последовательность промышленной сборки (включая процессы ламинирования и герметизации). Экспериментальные натурные испытания, проведённые на базе профильных предприятий (АО «ИСТОК», ООО «НТЦ ТПТ»), подтвердили возможность применения таких солнечных батарей, в том числе в условиях низкой освещённости.

Текст автореферата изложен чётко и логично, в нём наглядно представлены результаты (таблицы, графики, микрофотографии, схемы лазерного скрайбирования, способы экструзионной печати). Научные выводы соответствуют поставленным в работе целям и задачам. Материал в целом отражает большой объём экспериментальных данных и даёт представление о комплексном характере выполненной работы.

Замечания:

1. В автореферате не приведены достаточно подробно сведения об оптимальных концентрациях легирующих агентов (Ti₃C₂ и органических прослоек), особенно при переходе к формату модулей площадью более 100 см². Было бы полезно сформулировать технологические «окна» допустимых параметров, чтобы воспроизводимо получать требуемое структурное совершенство.
2. При описании лазерного скрайбирования (P1–P3) не всегда ясно, каким образом контролировались остаточные напряжения и механическая целостность перовскитной плёнки по краям зоны абляции, особенно при переходе к подложкам большой площади.

3. В разделе, связанном с анализом дефектов, упоминаются различные модели (PCГУ, обратное PCГУ, PIVTS), но остаётся открытым вопрос унификации методик измерения при массовых проверках качества модулей в заводских условиях.

Оценивая работу в целом, можно заключить, что диссертация Д.С. Саранина является крупным вкладом в область разработки промышленно ориентированных жидкофазных технологий перовскитных солнечных батарей. Научная новизна работы подтверждается как оригинальными подходами к легированию тонкоплёночных структур и пассивации дефектов, так и комплексным характером экспериментальных исследований, ориентированных на практическое производство. Указанные замечания не снижают общего высокого уровня и значимости работы.

Считаю, что автор — Саранин Данила Сергеевич — заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».

Отзыв составил:

Профессор-консультант отделения экспериментальной физики

Инженерной школы ядерных технологий

Национального исследовательского Томского

политехнического университета

доктор технических наук

(специальность: 01.04.10 – Физика полупроводников)

А.В. Градобоев

Даю согласие на обработку персональных данных.

ФИО: Градобоев Александр Васильевич

Телефон: +7-913-866-8405

Email: gradoboev_av@niipp.ru

Адрес: 634012, г. Томск, переулок Нахимова, д.10/1, кв. 52

Дата: 03 февраля 2025 года

А.В. Градобоев

Подпись Градобоева Александра Васильевича удостоверяю

И.о. Ученого секретаря Ученого совета

Национального исследовательского Томского

политехнического университета



В.Д. Новикова