

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**

1. Общая характеристика работы и её актуальность

Развитие гибридных полупроводниковых материалов на основе галогенидных перовскитов в значительной степени сопряжено с использованием органических компонентов и самоорганизующихся молекул, в том числе SAM-покрытий (self-assembled monolayers). Такие материалы формируют принципиально новую площадку для исследования ионной и электронной проводимости, а также стабильности приборных структур, поскольку органические прослойки могут значительно влиять на кристаллизацию плёнок, пассивацию дефектов и управление межфазным взаимодействием.

Представленная диссертация посвящена комплексной задаче — разработке технологических (жидкофазных) методов получения перовскитных плёнок и их легирования, в том числе органическими и наноструктурными добавками, обеспечивающими повышение эксплуатационных характеристик солнечных батарей. Применение органических интерфейсных слоев (SAM и другие аналогичные материалы) в перовскитной фотовольтанке рассматривается сегодня как один из эффективных путей решения проблем нестабильности фаз, подвижности ионных дефектов и деградации гетероструктур.

Актуальность работы подтверждается большим количеством исследований, демонстрирующих повышенный интерес к перовскитам, легированным или пассивированным органическими или полимерными молекулами. Растворные методы получения перовскитных солнечных батарей здесь являются важным преимуществом, позволяющим тонко контролировать композиционный состав и обеспечивать необходимую совместимость с органическими добавками. Актуальность исследования также подтверждается тем, что солнечные батареи на основе перовскитов обещают сравнительно невысокую себестоимость, особенно если использовать при их изготовлении вместо

энергозатратных физических методов (вакуумное напыление и т.п.), требующих сложного и дорогостоящего оборудования, современные способы послойной печати.

2. Научная новизна и значимость результатов

В работе показано, что методы щелевой экструзии (slot-die) и вакуумной обработки «мокрого» слоя (ОМПВ) могут быть синхронизированы с введением органических пассивационных прослоек, самоорганизующихся молекул и низкоразмерных наноматериалов. Это обеспечивает точную настройку энергетических уровней на межфазных границах и способствует формированию перовскитных структур с улучшенной стабильностью.

Автор демонстрирует, как введение $TiCl_3$ и других допантов способствует оптимизации межфазных переходов в структуре перовскитных солнечных батарей, при этом особо подчёркивается роль слоёв органических полупроводниковых материалов, используемых для пассивации (p-p⁺ и n-p⁺ гетероструктур). Такие прослойки по данным автора повышают стабильность перовскитных модулей сверх 3000 часов, что важно для практического использования солнечных батарей.

При исследовании эволюции дефектов с учётом органических компонентов подробно рассмотрены механизмы миграции заряженных дефектов в присутствии органических пассивирующих материалов. Органические покрытия и SAM-слои снижают плотность безызлучательной рекомбинации за счёт блокировки или нейтрализации ловушек и локальных центров коррозии, что вносит существенный вклад в повышение КПД.

3. Практическая значимость

1. Диссертантом разработаны методики масштабируемого нанесения органических и перовскитных плёнок, включающие щелевую экструзию, вакуумную обработку и последующее формирование защитных SAM- или полимерных интерфейсных слоев. Такой подход решает критически важную задачу адаптации органической и неорганической составляющих для производственных линий по промышленному выпуску солнечных модулей.
2. В работе диссертанта убедительно показано, что применение интерфейсных слоев органических полупроводников и самоорганизующихся покрытий на их основе позволяет существенно снизить темпы деградации гетероструктуры и увеличить срок службы устройств. В автореферате описаны конкретные решения, подтверждённые патентами и актами внедрения.

3. Показано, что органические слои сохраняют свои пассивационные свойства при стандартных режимах многоступенчатого лазерного скрайбирования и термокомпрессионной ламинации, что облегчает трансфер технологий в промышленное производство.

Данные результаты важны для дальнейшего развития тонкоплёночной фотовольтаики, в том числе направлений, связанных с органическими солнечными элементами и гибридными системами — за счёт возможности быстрого переноса отработанных решений (легирования, пассивации) на новые композиции.

4. Методология и эксперимент

В работе применён комплекс современных методов, традиционно используемых при изучении как неорганических, так и органических полупроводников:

- Стандартные исследования структуры и состава (РФА, РЭС, Оже-спектроскопия);
- Спектроскопия проводимости и релаксационная спектроскопия глубоких уровней (DLTS, R-DLTS) для анализа дефектов;
- Методы оценки поверхностной морфологии (Электронная микроскопия, АСМ) и испытания полупроводниковых приборов в условиях непрерывного облучения.

Комплексный характер методологического блока подтверждается публикациями автора и патентами, в которых приводится обоснование и детальная проверка воспроизводимости. Учитывая, что традиционная органическая электроника и гибридная фотовольтаика опираются на похожий набор аналитических инструментов, предложенный подход обеспечивает корректную валидацию результатов.

5. Замечания по автореферату диссертации

1. При лазерном скрайбировании для модулей крупного формата упомянуты разные режимы, но в тексте есть только обобщённые параметры лазера (например, «длина волны 355 нм, скорость 5–10 мм/с, мощность 0,45–0,3 Вт»). Возможно, стоило бы дополнительно сравнить полученную морфологию края реза с обычной механической «шаберной» резкой для более полного понимания химической чистоты самого края. В разделе, связанном с технической реализацией лазерного скрайбирования, лишь кратко говорится о стабильности органических покрытий при лазерном воздействии.

2. В тексте автореферата имеются только краткие упоминания о спектроскопических данных, характеризующих органические интерфейсные слои (например, ИК-Фурье), хотя детальное рассмотрение этих результатов (взаимодействие органических цепей с поверхностью перовскита) могло бы дополнительно раскрыть механизмы стабилизации.

Отмеченные замечания не снижают высокой ценности работы. Скорее, они касаются детального химического анализа, который в данном исследовании (несмотря на обилие экспериментов) иногда сжат до основных технических выводов.

6. Заключение

Представленные в диссертации результаты позволяют существенно продвинуться в области гибридных перовскитных солнечных элементов, а именно: успешно адаптировать жидкофазные технологии к интеграции органических и низкоразмерных материалов.

Отдельные замечания, связанные с детализацией технологических параметров и ресурсных испытаний, не снижают ценности представленных результатов. Работа полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842. Считаю, что Саранин Данила Сергеевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по заявленной специальности.

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

Отзыв составил:

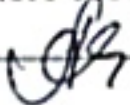
Агина Елена Валериевна
доктор химических наук
(специальность 02.00.06 – Высокомолекулярные соединения, Химические науки)
Заведующий лабораторией молекулярных сенсорных технологий и устройств,
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт синтетических полимерных материалов
им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук
г. Москва, ул. Профсоюзная 70, 117393,

email: agina@ispm.ru

тел. +7(495)3325847

Я, Агина Елена Валериевна, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

7 февраля 2025

 / Агина Е.В.

Подпись д.х.н., в.н.с. Агиной Елены Валериевны заверяю,
ученый секретарь ИСПМ РАН

к.х.н.

email: getmanovae@ispm.ru

тел. +7 (495) 332-58-27; www.ispm.ru

