

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Ермановой Инги Олеговны «Модификация поверхности  $\text{NiO}_x$  тонких пленок и многоступенчатая кристаллизация фотоактивных слоев для высокоэффективных p-i-n перовскитных солнечных элементов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 — «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники»

Перовскитная фотовольтаика является одним из перспективных источников альтернативной энергетики, проявившим себя за последнее десятилетие. Тонкопленочные солнечные элементы на металлоорганической основе достигли эффективности фотопреобразования более 26 % на однокаскадном устройстве и 28 % в тандемной структуре, что говорит о высокой конкурентоспособности с традиционными источниками и актуальности выбранной тематики. Для дальнейшего развития технологии и последующей коммерциализации продукта важно масштабировать устройства, уходя от лабораторных размеров к полноценным солнечным панелям. Таким образом, важно контролировать химические и физические процессы в устройстве (генерация и рекомбинация носителей зарядов, деградация материала), повышать долговременную стабильность без значительных потерь эффективности в условиях эксплуатации. В данной работе представлены разработки технологии двухстадийного нанесения перовскита с однокатионным и мультикатионным составами на воздухе для создания p-i-n планарных солнечных элементов на основе  $\text{NiO}_x$  транспортного слоя, а также разработка технологии нанесения пассивирующей прослойки на основе полиметилметакрилата (ПММА) и полиэтиленоксида (ПЕО) на интерфейсе  $\text{NiO}_x$ /перовскит для лучшей эффективности устройств и снижения уровня рекомбинации на интерфейсе ДТС/перовскит.

Достоинством диссертационной работы является научная новизна, заключающаяся в адаптации метода двухстадийной кристаллизации перовскитов ( $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  ( $\text{MAPbI}_3$ ) и  $\text{Cs}_{0,05}\text{MA}_{0,1425}\text{FA}_{0,8075}\text{PbI}_{2,7}\text{Br}_{0,3}$  (мультикатионный)) в планарной p-i-n конфигурации на тройном дырочно-транспортном слое гидрофобного слоя  $\text{NiO}_x$ , что позволило достичь высоких значений КПД устройств. Также применение стратегии пассивации тонкими слоями на основе высокомолекулярных органических полимеров (ПММА, ПЕО), которая позволила повысить КПД пассивированных устройств и увеличить стабильность работы устройств под действием длительного освещения.

1. Практическая значимость диссертации заключается в достижении КПД более 14 % для  $\text{MAPbI}_3$  и 15,6 % для мультикатионного устройств, нанесенных двухстадийным

методом кристаллизации на воздухе в планарной p-i-n конфигурации. И достигший эффективности солнечных элементов после пассивации РММА и РЕО, равных 18,6 % и 18,3 % на подложках с активной площадью равной 0,09 см<sup>2</sup>, и эффективности на пассивированных РММА устройствах с увеличенной активной площадью: 15,2 % (S = 1 см<sup>2</sup>), 14,4 % (S = 2,3 см<sup>2</sup>) и 8 % (S = 10 см<sup>2</sup>). Подтверждены технологические возможности масштабирования перовскитных солнечных элементов с тонкопленочными прослойками органических диэлектриков при изготовлении модулей путем последовательного соединения 5 подъячеек площадью 2 см<sup>2</sup> (5×40 мм<sup>2</sup>). Также стабильность работы пассивированных устройств выросла в 14 раз (потеря 20 % от начальной эффективности случилась через 140 часов) по сравнению с исходным образцом (10 часов).

В качестве замечаний по автореферату диссертации необходимо отметить следующее: в данной работе были рассмотрены два полимера, однако только один был использован при создании перовскитных солнечных элементов с активной площадью 10 см<sup>2</sup>. Исследование стабильности проводилось только на устройствах малой площади (0,09 см<sup>2</sup>). Также в тексте автореферата и на рисунках используются английские обозначения.

Отмеченные замечания не снижают ценности проделанной работы, значимости представленных результатов и общую положительную оценку.

Диссертация по уровню и объему выполненных исследований, научной новизне и практической ценности в полной мере соответствует требованиям НИТУ МИСИС, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор Ерманова Инга Олеговна заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 – Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники.

к.ф.-м.н. Александров Алексей  
Евгеньевич

Дата «01» июля 2023 г.

Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт физической химии и  
электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской  
академии наук  
119071, Москва, Ленинский проспект, 31, корп. 4,  
<https://phycche.ac.ru>

Подпись Александрова А.Е. заверяю.  
Начальник отдела кадров ИФХЭ РАН

