

## Отзыв

научного консультанта к.ф.-м.н., доцента Валиева Д.Т.  
на диссертацию Тажибаева Сержана Кожанулы  
«Влияние наноструктур фталоцианиновых комплексов на эффективность  
транспорта дырок в перовскитных солнечных элементах»,  
представленную на соискание степени доктора философии (PhD)  
по образовательной программе 8D05302 - «Физика»

Диссертационная работа посвящена актуальной и важной научной задаче – исследованию влияния наноструктур фталоцианиновых комплексов на эффективность транспорта дырок в перовскитных солнечных элементах. Научная тематика исследования является современной и востребованной, поскольку разработка новых органических и гибридных материалов для повышения эффективности и стабильности перовскитных фотопреобразователей занимает одно из ключевых мест в области альтернативной энергетики.

Создание экологически безопасных источников энергии и полимерных материалов, повышающих характеристики органических солнечных элементов, а также оптимизация существующих технологий представляют собой важные направления исследований современной фотовольтаики. Высокая устойчивость и эффективность перовскитных солнечных элементов обеспечивают их значительный вклад в развитие возобновляемых источников энергии, что способствует снижению зависимости от ископаемого топлива и формированию устойчивого экономического роста.

В диссертационной работе Тажибаева С.К. проведено комплексное исследование, направленное на оптимизацию структур дырочно-транспортных слоев и повышение фотовольтаических характеристик перовскитных солнечных элементов. Особое внимание уделено анализу механизмов деградации, что позволило обосновать пути их подавления и, как следствие, обеспечить более длительную и эффективную работу перовскитных солнечных элементов.

В работе определены технологические условия получения нанолент фталоцианинов методом физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы. Тажибаевым С.К. установлена взаимосвязь между их фазовыми состояниями и оптическими свойствами, выявлена роль структурных особенностей молекулярных кластеров в формировании вольтамперных характеристик и эффективности генерации и транспорта носителей заряда. Показано, что модуляция внешним магнитным полем снижает вероятность образования биполяронов и усиливает эффект «спиновой блокировки» при уменьшении размерности системы, а также влияет на фототок в композитных фуллереновых и безфуллереновых ячейках, блокируя отдельные каналы транспорта заряда. Кроме того, установлено влияние фазовых состояний наноструктур металлофталоцианинов на эффективность работы композитных солнечных элементов, что позволяет оптимизировать процессы переноса заряда и повысить стабильность устройств.

Анализ выполненной диссертационной работы Тажибаева С.К. показывает, что поставленные цели были полностью достигнуты. Исследование отличается высоким научным уровнем, новизной подходов и обладает значительным потенциалом для практического применения.

В диссертационной работе путем комплексных исследований плёнок на основе Spiro-OMeTAD были выявлены закономерности формирования их морфологии, оптических и электрических свойств, а также определить влияние толщины слоя на характеристики перовскитных солнечных элементов. Согласно данным атомно-силовой микроскопии, плёнки, полученные при минимальной скорости вращения, отличаются высокой однородностью и гладкостью поверхности с единичными порами, возникающими в результате испарения растворителя. При увеличении скорости вращения формируются структуры с характерным размером областей порядка сотен нанометров, что обусловлено морфологией подложки FTO. Анализ спектров поглощения показал наличие трёх максимумов, при этом уменьшение толщины плёнки сопровождается смещением края полосы поглощения в коротковолновую область и увеличением ширины запрещённой зоны от 2.97 до 3.01 эВ, что связано с изменением молекулярной ориентации и перестройкой надмолекулярной организации материала. Исследование вольт-амперных характеристик продемонстрировало, что оптимальная толщина слоя составляет 260 нм, при которой достигается максимальный КПД (9 %), тогда как увеличение толщины до 440 нм снижает эффективность до 6 % вследствие усиления рекомбинационных процессов. Данные импедансной спектроскопии подтвердили, что сопротивление рекомбинации ( $R_k$ ) также достигает максимального значения при толщине 260 нм (2405.4 Ом), а при дальнейшем увеличении толщины наблюдается его последовательное снижение, коррелирующее с ослаблением подавления рекомбинации. Дополнительно установлено, что распределение тока на поверхности перовскитного слоя является неоднородным: выявленные области с повышенной проводимостью интерпретированы как квантовые точки перовскита, обладающие улучшенными фотовольтаическими характеристиками.

Личный вклад в данную диссертационную работу, а также достигнутые результаты и глубина понимания исследуемых научных вопросов без сомнения демонстрируют высокий уровень подготовки. Это подтверждает отличную профессиональную компетенцию соискателя, благодаря которой стало возможным успешное получение экспериментальных данных с применением современного оборудования, их последующий анализ и правильная интерпретация.

Тажибаевым С.К. проведено разностороннее и детализированное исследование с использованием современных экспериментальных методов, включая сканирующую электронную и атомно-силовую микроскопию, оптическую и импедансную спектроскопию, а также вольтамперометрию. Полученные результаты подвергнуты тщательному анализу и внесли существенный вклад в развитие исследований в данной области.

Автор диссертационной работы проявил оригинальный подход к постановке и решению ряда экспериментальных задач, представленных в

исследовании. Им был осуществлён обоснованный выбор наиболее информативных спектрально-оптических методов для измерения ключевых характеристик синтезированных композитных наноструктур. Работа также отличается эффективным использованием взаимодополняющих методов, включая абсорбционные и люминесцентные исследования, что обеспечило возможность проведения глубокого анализа структуры и свойств полученных материалов.

По результатам исследований, представленных в диссертационной работе, Тажибаевым С.К. опубликовано 8 научных трудов, среди которых: 2 статьи опубликованы в рецензируемых зарубежных журналах, входящих в базы данных Scopus и Clarivate Analytics (1 статья в *Materials Chemistry and Physics*, 2023, IF – 4.3, Q2, процентиль – 88; 1 статья в *Synthetic Metals*, 2025, IF – 4.6, Q1, процентиль – 87; 2 статьи опубликованы в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК и 4 публикации, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций. Таким образом, достоверность выносимых на защиту результатов не вызывает сомнения и подтверждается научным сообществом.

Содержание диссертации и список публикаций автора по теме исследования позволяют считать, что диссертационная работа Тажибаева С.К. является законченным научным исследованием и удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а его автор заслуживает присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 8D05302 – Физика.

кандидат физико-математических наук,  
доцент Отделения материаловедения,  
Инженерной школы новых производственных технологий,  
Национальный исследовательский  
Томский политехнический университет  
г. Томск, ул. Тимкова 12, кор. 16Б, офис 124

e-mail: [rubinfc@tpu.ru](mailto:rubinfc@tpu.ru)  
контактный тел.: 8 (3822) 60-63-10

Валиев Дамир Талгатович

Подпись Валиева Дамира Талгатовича  
удостоверяю,  
И.о. ученого секретаря ученого совета  
Томского политехнического университета



Новикова В.Д.