

## ОТЗЫВ

**официального рецензента на диссертационную работу Завгороднего Алексея Владимировича на тему: «Фотоэлектрические процессы в композитных наноструктурированных пленках полупроводниковый полимер–фталоцианин», представленную на соискание доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D060400 – Физика**

№ п/п	Критерии	Соответствие критериям (необходимо отметить один из вариантов ответа)	Обоснование позиции официального рецензента
1.	Тема диссертации (на дату ее утверждения) соответствует направлениям развития науки и/или государственным программам	<p>1.1 Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:</p> <p>1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого (ой) из государственного бюджета (указать название и номер проекта или программы)</p> <p>2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы (указать название программы)</p> <p>3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)</p>	<p>Диссертация на тему «Фотоэлектрические процессы в композитных наноструктурированных пленках полупроводниковый полимер–фталоцианин» (на дату ее утверждения в 2020 г.) соответствует приоритетным направлениям науки «Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология. Переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции»:</p> <p>Диссертация выполнена в соответствии с планами научно-исследовательской работы по Программам фундаментальных исследований, координируемых Министерством образования и науки Республики Казахстан:</p> <p>1) «Разработка фотопреобразователя солнечной энергии на основе полупроводникового полимера и металлофталоцианинов» (№ 544-Ф-19, 2019 г.),</p> <p>2) «Разработка фотопреобразователя солнечной энергии на основе органических полупроводниковых нанокомпозитов» (ИРН АР08856176, 2020 г.).</p>
2.	Важность для науки	Работа <u>вносит</u> существенный вклад в науку, а ее важность хорошо <u>раскрыта</u> .	Работа вносит существенный вклад в развитие прикладной науки, а важность диссертационного исследования хорошо раскрыта автором. Автором проведены исследования, результаты которых позволяют

			<p>решить конкретную практически значимую научную проблему – получение нанолент фталоцианинов методом физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы. Эффективность данного метода подтверждается научными результатами, которые были опубликованы в различных изданиях, рекомендуемых ККСОН МОН РК, а также зарубежных научных журналах, индексируемых в наукометрических базах данных Web of Science и Scopus. Диссертационная работа связана с актуальнейшей темой разработки новых материалов для фотовольтаических устройств, имеющих высокий потенциал в зеленой энергетике.</p>
3.	Принцип самостоятельности	<p>Уровень самостоятельности: 1) <u>Высокий</u></p>	<p>Диссертация А.В. Завгороднего является законченным научным исследованием с высоким уровнем самостоятельности. Самостоятельность автора заключается в поиске и анализе литературной периодики, посвященной теме диссертационного исследования, а именно вопросам, связанным с генерацией и транспортом носителей заряда в органических полупроводниках. Соискатель также участвовал в определении цели и задачи исследования, выборе параметров метода по получению наноструктур фталоцианина и конструированию нанокомпозитных солнечных ячеек. Автор диссертации непосредственно принимал участие в работах по получению наноструктур фталоцианина и конструированию нанокомпозитных солнечных ячеек, проведению спектрально-оптических рентгенофазовых измерений. Им проведена работа по исследованию морфологии поверхности полученных наноструктур и пленок на атомно-силовом микроскопе, исследованы спектры импеданса, ВАХ и квантовая эффективность солнечных ячеек, проведена компьютерная обработка результатов экспериментальных измерений.</p>
4.	Принцип внутреннего единства	<p>4.1 Обоснование актуальности диссертации: 1) <u>Обоснована</u></p>	<p>Актуальность темы диссертационной работы обоснована, так как работа по содержанию тесно связана с приоритетными направлениями развития науки РК. Задача современных исследований заключается в расширении существующих знаний о об упорядоченных молекулярных ансамблей,</p>

			<p>базирующихся на ароматических и гетероароматических соединениях с электронодонорными и электроноакцепторными свойствами, способных к образованию комплексов с переносом заряда, интенсивно поглощающих излучение ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов спектра. Одним из перспективных классов макрогетероциклических соединений являются металлофталоцианины, которые обладают высокой фотопроводимостью, каталитической активностью, химически и термически стабильны, большинство из них легко образуют упорядоченные тонкие пленки. В связи с этим работа является актуальной, и она посвящена экспериментальным и теоретическим исследованиям влияния структурных особенностей донорно-акцепторных систем на эффективность генерации и транспорта носителей заряда в нанокompозитных полимерных солнечных ячейках.</p>
		<p>4.2 Содержание диссертации отражает тему диссертации: 1) <u>Отражает</u></p>	<p>Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения. Первая глава «Генерация и транспорт носителей заряда в органических полупроводниках» посвящена литературному обзору по современному методам получения, исследованию свойств различных органических материалов для фотовольтаических устройств, в обзоре проанализированы научные материалы из 210 источников, связанных с темой диссертационного исследования и опубликованных в том числе в зарубежных научных изданиях, входящих в наукометрические базы данных Web of Science и Scopus за последние 15 лет. Во второй главе автор приводит подробное описание исследуемого материала, современных, апробированных экспериментальных и теоретических методов исследования. Третья часть диссертации «Оптические и фотоэлектрофизические свойства наноструктур комплексов фталоцианина» и четвертая часть «Генерация и транспорт носителей заряда в нанокompозитных полимерных солнечных элементах» отражают основные результаты</p>

			работы в обоснование выносимых на защиту положений. Таким образом, содержание диссертации полностью отражает тему диссертации.
		4.3 Цель и задачи соответствуют теме диссертации: 1) <u>соответствуют</u>	Цель и задачи, сформулированные соискателем, соответствуют теме диссертационной работы. Целью диссертационной работы является исследование влияния структурных особенностей донорно-акцепторных систем на эффективность генерации и транспорта носителей заряда в нанокompозитных полимерных солнечных ячейках, для достижения поставленной цели решены основные шесть задач. Они полностью соответствуют теме диссертационной работы.
		4.4 Все разделы и положения диссертации логически взаимосвязаны: 1) <u>полностью взаимосвязаны</u>	Следует отметить, что разделы и положения диссертации характеризуются полной взаимосвязанностью между собой, предоставленные научные результаты логически связаны между собой, а сама рукопись хорошо построена и структурирована. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников и одного приложения.
		4.5 Предложенные автором новые решения (принципы, методы) аргументированы и оценены по сравнению с известными решениями: 1) <u>критический анализ есть</u>	Автором предложен модифицированный метод внедрения нанолент фталоцианинов в фотоактивный слой для повышения степени кристаллизации пленки, усилению поглощения света и инжекции дырок на токосъемный электрод СЭ, а также методика модуляции внешним магнитным полем тока короткого замыкания нанолент МРс с усилением эффекта «спиновой блокировки». Эти технические решения отражены в статьях, опубликованных в международных научных изданиях, входящих в базу данных Scopus, автором был проведен критический анализ, основанный на сравнении с известными решениями, предложенными ранее в других международных и отечественных научных публикациях.
5.	Принцип научной новизны	5.1 Научные результаты и положения являются новыми? 1) <u>полностью новые</u>	Полученные научные результаты и выносимые положения обладают высокой степенью новизны, так как определены технологические условия получения нанолент фталоцианинов методом физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы. Установлена связь между наблюдаемыми спектрами поглощения твердых пленок и нанолент фталоцианина, впервые исследовано влияние размерных

			ограничений на эффективность генерации и транспорта носителей заряда во фталоцианинах. Научные результаты и положения являются полностью новыми, что подтверждается 5 статьями в международных изданиях, индексируемых в наукометрических системах Web of Science и Scopus.
		<p>5.2 Выводы диссертации являются новыми?</p> <p>1) <u>полностью новые</u></p>	<p>Научные результаты, выводы и заключение, сформулированные в диссертации являются новыми. Выводы полученных научных результатов по 3 положениям выносимым на защиту:</p> <p><i>Результат 1:</i> Получены тонкие пленки фталоцианина и его металлокомплексов методами термического вакуумного осаждения и физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы (TG-PVD). Наблюдаемые уширения спектров поглощения нанолент связаны с тем, что в нанолентах молекулы плотно упакованы, в результате чего их оптические свойства осложняются межмолекулярными взаимодействиями. Все фотопроцессы в этом случае протекают в супрамолекулярных системах: молекулярных и агрегированных формах.</p> <p><i>Результат 2:</i> Впервые установлено, что в нанолентах из-за образования большой плотности носителей заряда при поглощении света по сравнению с твердыми пленками возрастает максимальное значение тока ВАХ. В нанолентах благодаря тому, что молекулы группируются вдоль молекулярной оси образуются одномерные проводящие ламельные структуры, в которых возрастает проводимость, сокращается время нахождения носителей заряда в ловушках. Возрастание эффективной скорости рекомбинации носителей заряда в лентах связано с увеличением плотности носителей заряда при поглощении света, так как в лентах при плотной упаковке молекул растет удельная поверхность.</p> <p><i>Результат 3:</i> Впервые установлено, что допирование фотоактивных слоев РЗНТ:РСВМ и РТВ7-Th:ITIC нанолентами фталоцианина приводит к возрастанию поглощения света, степени кристаллизации, уменьшению шероховатости поверхности фотоактивного слоя, возрастанию параметров ВАХ и электротранспортных характеристик.</p> <p><i>Результат 4:</i> В нанолентах по сравнению с твердыми пленками структурная</p>

			<p>самоорганизация молекул фталоцианина способствует увеличению каналов образования биполярнов, в результате чего сильнее проявляется эффект «спиновой блокировки».</p> <p><i>Результат 5:</i> Впервые установлено, что магнитное поле оказывает влияние на канал транспортировки дырок в нанокompозитах полимерных солнечных ячейках. В объеме фотоактивного слоя наноленты фталоцианина образуют дополнительный канал транспортировки дырок «донор-NWs-Pedot:PSS». Усиление отрицательного магнитного эффекта обусловлено воздействием магнитного поля на каналы транспортировки дырок «донор-Pedot:PSS» и «донор-NWs-Pedot:PSS».</p>
		<p>5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными: 1) <u>полностью новые</u></p>	<p>Технологические решения, используемые для достижения поставленной задачи, являются новыми, поскольку позволили получить тонкие пленки фталоцианина и его металлокомплексов методами термического вакуумного осаждения и физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы (TG-PVD) с улучшенными свойствами, что подтверждено публикациями результатов диссертационного исследования в отечественных и зарубежных рецензируемых научных изданиях.</p>
6.	Обоснованность основных выводов	<p>Все основные выводы основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы</p>	<p>Полученные соискателем научные результаты, а также сделанные выводы, имеют как теоретическую, так и практическую значимость. На основании этого можно констатировать, что поставленные соискателем в диссертационном исследовании цели достигнуты, а задачи полностью выполнены. Выводы, сделанные диссертантом на основе полученных научных результатов, логически построены и с научной точки зрения могут быть признаны обоснованными.</p>
7.	Основные положения, выносимые на защиту	<p>Необходимо ответить на следующие вопросы по каждому положению в отдельности:</p> <p>7.1 Доказано ли положение? 1) <u>доказано</u></p> <p>7.2 Является ли тривиальным? 2) <u>нет</u></p> <p>7.3 Является ли новым?</p>	<p>7.1 Соискатель на защиту выносит 3 основных положения:</p> <p>1. Размерные ограничения оказывают влияние на эффективность генерации и транспорта носителей заряда во фталоцианинах. Положение доказано результатами экспериментальных исследований, которые были опубликованы в отечественных и зарубежных научных журналах.</p> <p>2. Внедрение нанолент фталоцианинов в</p>

		<p>1) <u>да</u></p> <p>7.4 Уровень для применения:</p> <p>3) <u>широкий</u></p> <p>7.5 Доказано ли в статье?</p> <p>1) <u>да</u></p>	<p>фотоактивный слой способствует повышению степени кристаллизации пленки, усилению поглощения света и инжекции дырок на токосъемный электрод СЭ Положение является новым, основанным на результатах экспериментальных исследований. Положение подтверждается публикациями соискателя, опубликованные в научных журналах рекомендованных ККСОН МОН РК и зарубежных научных журналах, индексируемых в наукометрических базах Web of Science и Scopus, такие как «Materials Chemistry and Physics» и «Optic Materials», имеющих квартиль – Q2, также в материалах международных конференций.</p> <p>3. При модуляции внешним магнитным полем тока короткого замыкания нанолент МРс сильнее проявляется эффект «спиновой блокировки». Наблюдаемый отрицательный магнитный эффект в полимерных нанокompозитных СЯ связан с блокированием каналов транспорта дырок «донор-Pedot:PSS» и «донор-NWs-Pedot:PSS»</p>
8.	<p>Принцип достоверности</p> <p>Достоверность источников и предоставляемой информации</p>	<p>8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана</p> <p>1) <u>да</u></p>	<p>Диссертационное исследование было проведено соискателем с использованием современных технологических и аналитических методов. Выбранные автором методы качественно и подробно описаны во второй методологической главе диссертации. Методология диссертационной работы основана на широко известных и апробированных научных подходах, при этом характеризуется высокой степенью новизны в сравнении с известными отечественными и зарубежными аналогами.</p>
		<p>8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий:</p> <p>1) <u>да</u></p>	<p>При выполнении данной диссертационной работы были использованы следующие современные, апробированные экспериментальные и теоретические методы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- фазовый состав, структура и параметры решетки анализировались методами рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа;</li> <li>- морфология поверхности полученных образцов осуществлялись методами атомно-силовой микроскопии;</li> <li>- исследования оптических характеристик и спектров фотолюминесценции пленок проводились на спектрометре Avantes AvaSpec-ULS2048CL-EVO;</li> <li>- исследование поверхности и приповерхностного слоя производили с помощью атомно-силовой микроскопии (АСМ);</li> </ul>

			<p>- измерения вольтамперных характеристик полученных образцов солнечных ячеек проводились при помощи потенциостата-гальваностата P20X (Elins) в режиме линейной развертки;</p> <p>- измерения коэффициентов диффузии, констант скоростей переноса электрона, исследования механизмы адсорбции, сопротивления переноса заряда, емкости проводились методами электрохимической импедансной спектроскопии.</p>
		<p>8.3 Теоретические выводы, модели, выявленные взаимосвязи и закономерности доказаны и подтверждены экспериментальным исследованием (для направлений подготовки по педагогическим наукам результаты доказаны на основе педагогического эксперимента):</p> <p>1) <u>да</u></p>	<p>Теоретические выводы и выявленные закономерности доказаны и подтверждены следующими основными экспериментальными исследованиями:</p> <p>- Получены тонкие пленки фталоцианина и его металлокомплексов методами термического вакуумного осаждения и физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы (TG-PVD).</p> <p>- Исследованы их морфология, структура, фазовый состав, спектральные и фотовольтаические характеристики.</p> <p>- Изучено влияние размерных ограничений на эффективность генерации и транспорта носителей заряда во фталоцианинах.</p>
		<p>8.4 Важные утверждения <u>подтверждены</u> ссылками на актуальную и достоверную научную литературу</p>	<p>На материалы, использованные соискателем в процессе исследования, имеются ссылки в диссертации. Полученные результаты анализируются в сравнении с известными данными, которые опубликованы международных научных изданиях, индексируемых в наукометрических системах Web of Science Core Collection и Scopus (Q1, Q2).</p>
		<p>8.5 Используемые источники литературы достаточны для литературного обзора</p>	<p>В первой главе диссертации представлен качественный литературный обзор научной литературы по теме исследования, использовано 210 источников, в т.ч. – 35 за последние 3 года, которые в основном опубликованы в рейтинговых отечественных журналах рекомендованных ККСОН МОН РК и зарубежных научных журналах, входящих в базу данных Web of Science и Scopus.</p>
9.	Принцип практической ценности	<p>9.1 Диссертация имеет теоретическое значение:</p> <p>1) <u>да</u></p>	<p>Диссертация имеет теоретическое значение, поскольку полученные результаты дают более глубокое понимание процессов, происходящих при формировании тонких пленок фталоцианина и его металлокомплексов методами термического вакуумного осаждения и физического</p>



			<p>градиентно-температурного осаждения из паровой фазы (TG-PVD). Установлено, что оптимальные положения верхних уровней валентной зоны фталоцианинов способствуют более низкому положению квази-уровня ферми дырок в РТВ7-Th, что приводит к увеличению фотонапряжения. Также показано, что дополнительное электрическое поле на границе РТВ7-Th/фталоцианин извлекает дырки с РТВ7-Th в наноленты фталоцианина, тем самым минимизируя вероятность рекомбинации зарядов и благодаря наноструктурированию фталоцианина дырки более эффективно транспортируются в PEDOT:PSS, что должно приводить к увеличению фототока.</p>
		<p>9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике: 1) Да</p>	<p>Практическая ценность диссертационной работы состоит в том, что полученные результаты являются научной основой для выбора оптимальных технологических режимов формирования тонких пленок фталоцианина и его металлокомплексов термическим вакуумным осаждением и физическим градиентно-температурным осаждением из паровой фазы с оптимизированными структурными и фотоэлектрическими свойствами. Результаты диссертационного исследования могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистров при изучении курсов: "Nanophotonics", "Semiconductors electronics", "Введение в физику наноматериалов", "Теория электрических цепей", а также при выполнении проектных и дипломных работ бакалавров, специалистов и магистров. Рекомендовано ходатайствовать перед КОКСОН МОН РК для присуждения докторанту степени доктора философии (PhD).</p>
		<p>9.3 Предложения для практики являются новыми? Полностью новые</p>	<p>Полученные научные результаты обладают высокой степенью новизны, так как отработан новый способ модуляции внешним магнитным полем, что уменьшает вероятность образования биполярных, и с уменьшением размерности системы за счет высокой вероятности столкновения поляронов, значительно проявляется эффект «спиновой блокировки» при модулировании внешним магнитным полем. Разработка композитных солнечных элементов имеет перспективу для создания легких, технологичных и дешевых в массовом производстве автономных</p>

			источников электроснабжения широкого круга электронных приборов и устройств. Таким образом, результаты диссертационного исследования, показывают существенную практическую новизну и отличный потенциал дальнейшего использования.
10.	Качество написания и оформления	Качество академического письма: 1) <u>высокое</u>	Диссертационная работа характеризуется высоким качеством академического письма. Оформление работы соответствует общим требованиям, относящимся к диссертационным работам. Диссертация представляет собой законченный научный труд, который по достигнутым научным результатам, теоретической и практической значимости, качеству написания и оформления соответствуют требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание степени «доктора философии» (PhD).

Рецензент:

профессор научно-образовательного центра Н.М. Кижнера Томского политехнического университета,  
доктор химических наук

03.09.2021 2

В.В. Ан

Подпись В.В. Ана заверяю  
Ученый секретарь ТПУ, к.т.н.

Е.А. Кулинич

