

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Сафаргалина Идриса Нарисовича «Физико-химические и электронные свойства пленочных материалов на основе новых производных полианилинов и фуллеренов», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.4 Физическая химия

1. Актуальность темы диссертации

В настоящее время заметно возрос интерес к органической электронике, являющихся доступными, экологичными и более экономичными при производстве различного рода устройств. Благодаря современным инновационным технологиям, появилась возможность улучшения полупроводниковых, проводящих и светоизлучающих свойств органических материалов с помощью новых методов синтеза. По сравнению с электроникой на основе кремния, органические материалы обладают многими уникальными свойствами, например, большой коэффициент молярной экстинкции и высокая интенсивность люминесценции, механическая гибкость, смешанная ионная и электронная проводимость. Для создания органической электроники применяются соединения на основе сопряженных молекул, полимеров и гибридных материалов, обладающих стабильностью на воздухе и высокой подвижностью носителей зарядов, что позволяет работать при более низких напряжениях. Одними из перспективных материалов для создания современных органических и нанoeлектронных устройств являются полианилины, фуллерены и их производные. Однако эти материалы обладают плохой растворимостью, что не позволяет получать полимерные слои с контролируемой толщиной и заданной морфологией, чтобы обеспечить функциональность этих электронных устройств.

Для применения тонких пленок на основе полианилинов и фуллеренов, в органических электронных устройствах эти материалы должны обладать хорошими транспортными свойствами. Поэтому изучение электрофизических свойств, механизмов переноса носителей заряда, разработка технологий нанесения полимерных слоев методами вакуумного напыления и центрифугирования новых растворимых форм полианилинов, фуллеренов и их производных является весьма актуальной.

2. Новизна полученных результатов, выводов и рекомендаций

В ходе выполнения диссертационной работы получены тонкопленочные структуры с применением новых производных форм полианилинов и фуллеренов, исследованы их электрофизические свойства и выявлены особенности механизмов переноса заряда через границу металл – полимер в этих структурах. Созданы и исследованы электрофизические характеристики фототранзисторов на основе пленочных структур, состоящих из спиропирана и фуллерена C₆₀. Впервые на основе поли-2-(1-циклопент-2-ен-1-ил) анилина созданы

лабораторные датчики относительной влажности воздуха в виде тонкопленочных резистивных и транзисторных структур.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Достоверность сделанных в диссертации выводов и положений обеспечивается использованием в работе комплекса современного сертифицированного измерительного оборудования, эталонированных средств измерения, а также достаточным объемом экспериментальных исследований, сопоставлением их с теоретическими данными и воспроизводимостью экспериментальных данных. Выводы, сделанные диссертантом, вытекают из основных результатов и полностью отражает суть работы. Полученные результаты докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях, опубликованы в высокорейтинговых отечественных и зарубежных рецензируемых журналах.

4. Практическая значимость результатов

Полученные в диссертационной работе результаты, могут быть применены для создания органических фототранзисторов и датчиков влажности воздуха. Разработанные методики и способы получения тонких пленок, анализ результатов исследований могут быть применены для подготовки лекционного материала, проведения практических занятий при подготовке специалистов по органической электронике.

5. Оценка содержания диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения, выводов и списка цитируемой литературы. Работа изложена на 110 страницах машинописного текста, включая 46 рисунков, 2 таблиц и библиографический список, содержащий 177 наименований. По материалам диссертационной работы опубликовано 15 научных работ, в том числе 6 статей рекомендованных ВАК РФ и включенных в базу данных Web of Science и Scopus. Основные результаты докладывалось и обсуждалось на всероссийских и международных конференциях.

Во введении отражена актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследования, описана практическая значимость работы, указаны основные положения, выносимые на защиту, обоснована достоверность полученных результатов и выводов по работе, представлены сведения о публикациях и апробации работы.

Первая глава представляет собой литературный обзор по теме диссертации. Обобщены имеющиеся данные по физико-химическим свойствам существующих ПАНИ, фуллеренов и их производных, рассмотрены особенности морфологии поверхности тонких пленок на их основе и проанализированы примеры их использования в электронике.

Во второй главе описывается методика получения полимерных пленок на основе ПАНИ и С60, полевых транзисторов, фототранзисторов, а также датчиков влажности.

Представлены установки и оборудование необходимые для изготовления соответствующих органических устройств

В третьей главе представлены и обсуждены результаты исследований электрофизических свойств пленок на основе производных ПАНИ и C60. Показано, что основным механизмом транспорта заряда через границу металлической подложки и полимерной пленки является термоэлектронная эмиссия Шоттки. Обосновывается возможность надбарьерного переноса заряда высота, которой определяется разностью работы выхода металла и электронного сродства полимера. Рассчитаны величины барьеров Шоттки для пленок поли-2-(1-циклопент-2-ен-1-ил) анилина, для аминотетрагидропиридино-C60-фуллеренов. Определена чувствительность тонкой пленки полианилина на пары воды. Полученные данные были использованы в качестве основы при создании резистивного и транзисторного датчиков относительной влажности воздуха. Установлено влияние морфологии поверхности полимерных пленок на сенсорные свойства тонкопленочных структур на основе новых производных ПАНИ.

В четвертой главе подробно описаны результаты, проведенных измерений электрофизических параметров, полученных экспериментальных образцов фототранзисторов, транзисторов и сенсоров. Показано, что органические полевые транзисторы с активным слоем на основе гибридной молекулы фуллерена C60 и спиропирана обладают высокой подвижностью носителей в канале и относительно высокой чувствительностью и светочувствительностью. Основным преимуществом таких гибридных структур является их высокая стабильность, что было подтверждено во время высокоскоростных испытаний с многократным включением (ВКЛ и ВЫКЛ), отражающим производительность устройства. Создана тонкопленочная транзисторная структура на основе поли-2-(1-циклопент-2-ен-1-ил) анилина, исследованы основные параметры (выходные и передаточные характеристики). Рассчитаны значения подвижностей носителей заряда, которые сопоставимы с аналогичными данными, полученными для пленок ПАНИ и их производных, используемых в органической электронике.

В заключении приводится точка зрения автора на основные результаты работы общий анализ экспериментальных данных, и формулируются выводы из нее. Выводы соответствуют цели и задачам, поставленным в диссертации и свидетельствуют о их достижении.

Автореферат должным образом отражает основное содержание диссертационной работы.

В тоже время работе имеется **ряд вопросов и пожеланий**, которые носят, прежде всего, уточняющий характер и не влияют на выводы диссертационной работы:

1. На мой взгляд, в выводах к главе 1 (литературный обзор) не хватает обобщающего заключения (1-2 предложения), а именно что не было изучено ранее, на что нужно обратить основное внимание для дальнейшего развития данной области? (То есть из анализа литературы по факту должны вытекать соответствующая цель и задачи).

2. По рис. 1 не понятно, какой из спектров относится к чистому CdO?
3. В работе полимерные пленки получались в основном двумя способами: центрифугированием и методом термического напыления. Однако, в тексте мало описано преимущество и принципиальная разница того или иного способа нанесения пленки. В каких случаях, при изготовлении органических устройств (особенно в данной диссертационной работе), перспективнее нанесение центрифугированием, в каких термическим напылением?
4. При сборе данных из изготовленного датчика влажности диссертант пишет: *...обрабатывались через USB и отправлялись в ноутбук*. Как понять, что значит, обрабатывались через USB? Необходимо более детально пояснить.
5. В тексте диссертации отсутствует информация об измерениях влажности с помощью разработанного датчика при разных температурах окружающей атмосферы и с чем связано выбор окружающей $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$?
6. Почему для светорегулируемых и полевых транзисторов на основе фуллеренов и т.д. применяется метод многослойной структуры органических полевых транзисторов, в чем преимущество такого метода?
7. В тексте диссертации отсутствует пояснение, почему обратимые процессы под действием света лучше в растворах, чем в пленках?
8. Почему полученные гибридные слои оказались более устойчивыми к УФ излучению в отличие от отдельно нанесенных C60 и спиропирана?
9. В тексте также отсутствует информации, с какой скоростью вращения наносили пленки с помощью центрифуги. Указана только максимальная скорость вращения 3500 об/мин, однако на данном оборудовании имеется возможность сверхточного регулирования скорости вращения ротора. В связи с этим, как зависит толщина полимерного слоя от скорости вращения ротора?

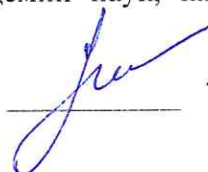
Также в диссертации и автореферате есть технические ошибки, неточности и опечатки. В автореферате (*Объем и структура диссертационной работы*) не указано количество таблиц (2 шт) и ссылки на литературу (177 шт), количество рисунков в диссертации 46, однако указано 47. Стр. **28 -30, 31-33** ссылки на источники начинаются с [1] и т.д., не соответствуют списку литературы. В тексте встречаются неудачные предложения, например **стр. 36.** *«Из 88 производных фуллерена, рассмотренных [101], ни один из производных фуллерена не имел подвижности выше, чем у обычного фуллерена, и только одно производное фуллерена имело более высокую подвижность.»*, **стр. 40** *«Поглощение C60 кварцевым стеклом показано на рис. 14»* и т.д. **Стр 50** рис. 19b, **стр. 52** рис 15a, не соответствуют ссылке. **стр. 89** вывод 4 *...с остальными видами чего?* Список использованных источников необходимо было привести в единообразный формат, некоторые ссылки оформлены не по ГОСТу.

Высказанные замечания являются частными, не влияют на общую положительную оценку и не снижают высокий уровень диссертационной работы.

Заключение. Таким образом, диссертационная работа Сафаргалина Идриса Нарисовича имеет законченный характер, прошла необходимую апробацию основных, вынесенных на защиту положений и опубликованы в высокорейтинговых отечественных и зарубежных научных журналах, входящих в перечень ВАК. По объему и качеству выполненных исследований, актуальности, новизне, достоверности и научной обоснованности полученных результатов и выводов представленная работа полностью соответствует паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия по п. п.5 – изучение физико-химических свойств изолированных молекул и молекулярных соединений при воздействии на них внешних электромагнитных полей, потока заряженных частиц, а также экстремально высоких/низких температурах и давлениях, а также п.12 – Физико-химические основы процессов химической технологии и синтеза новых материалов, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Сафаргалин Идрис Нарисович – заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Официальный оппонент:

Старший научный сотрудник лаборатории химии высоких энергий и катализа Института нефтехимии и катализа – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, кандидат физико-математических наук (02.00.04 – Физическая химия)


Тухбатуллин Адис Анисович

Я, Тухбатуллин Адис Анисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

Институт нефтехимии и катализа – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук
450075, Российская Федерация, Республика Башкортостан, г. Уфа, проспект Октября, д. 141.
Тел. +7(347)284-27-50; E-mail adis0501@mail.ru

Дата составления отзыва « 08 » 09 2023 г.

Подпись Тухбатуллина А.А. заверяю,

Ученый секретарь ИНК УФИЦ РАН,
к.х.н.

