

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертацию Маннанова Артура Линаровича на тему: «Органические солнечные элементы на основе звездообразных и линейных донорно-акцепторных сопряженных молекул», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния

Актуальность работы обусловлена перспективностью применения органических полупроводников в качестве активных слоёв солнечных элементов (СЭ). В настоящее время ведутся интенсивные исследования с целью повышения КПД и других характеристик солнечных элементов, в связи с чем исследуются различные органические материалы. Эффективность однокомпонентных СЭ (т.е. не содержащих гетеропереходов) все еще низкая, причины низкой эффективности и способы ее повышения остаются малоизученными. Поэтому диссертация А.Р. Маннанова, в которой выработаны рекомендации по достижению оптимальной структуры донорно-акцепторных (Д-А) молекул, безусловно актуальна.

Обоснованность и достоверность выводов диссертации основана на том, что измерения, на которых основаны её выводы, проведены с использованием современного оборудования и методик обработки экспериментальных данных. Результаты работы опубликованы в шести ведущих научных журналах из первого квартиля, прошли проверку в ходе рецензирования, а также в ходе обсуждения 9-ти докладов на международных научных конференциях.

Общая характеристика работы. В диссертации экспериментальными методами проведено определение влияния молекулярной структуры звездообразных и линейных Д-А сопряженных молекул (донорная и акцепторная группы содержатся в одной молекуле) на фотоэлектрические характеристики СЭ на их основе, а также выявление механизмов

фотогенерации и рекомбинации зарядов в СЭ. Работа состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы. В первой главе представлен обзор научной литературы, описано устройство и принцип работы органически СЭ, и описан их принцип работы, рассмотрены основные классы применяемых материалов и теоретические модели процессов фотогенерации носителей заряда. Во второй главе представлена спектральная методика точного измерения эффективности СЭ с возможностью оценки погрешности ее измерения. В третьей главе изложены результаты по выявлению оптимальной архитектуры ОСЭ на основе звездообразных молекул. Показано, что оптимальной является нормальная (не инвертированная) архитектура. Была исследована эффективность трех различных звездообразных молекул в качестве донорных материалов для ОСЭ, которые основаны на трифениламиноновом ядре и различаются солубилизирующими группами и длиной олиготиофенового π -спейсера. Четвёртая глава посвящена однокомпонентным СЭ на основе звездообразных Д-А сопряженных молекул и выявлению механизмов фотогенерации и рекомбинации зарядов в таких ОСЭ. Показано, что молекулярная структура материалов для однокомпонентных ОСЭ должна быть оптимизирована для обеспечения благоприятной упаковки с эффективной межмолекулярной делокализацией заряда. В пятой главе представлены результаты экспериментального исследования шести звездообразных Д-А молекул с концевыми гексилдициановинильными акцепторными блоками, связанными через битиофеновый сопряженный π -спейсер с различными донорными ядрами. Исследование выявило влияние типа донорного ядра на взаимосвязи структура-свойства. Также исследовано влияния длины олиготиофенового π -спейсера в серии молекул с определёнными Д- центром и А- группой на транспорт зарядов и фотоэлектрические характеристики однокомпонентных и гетеропереходных ОСЭ. Установлено, что чем длиннее π -спейсер (до определённого предела), тем эффективнее происходит генерация свободных зарядов. В шестой главе исследованы и сравнены фотовольтаические свойства

устройств на основе Д-А олиготиофенов в смесях с нефуллереновыми акцепторами IDIC и Y6. Результаты позволили выявить влияние длины сопряжения и типа акцепторной группы на свойства и характеристики олиготиофенов в нефуллереновых ОСЭ.

Научная новизна работы. В диссертации впервые представлена и опробована на различных образцах СЭ спектральная методика для точных измерений эффективности СЭ. Изготовлены и охарактеризованы однокомпонентные ОСЭ на основе новых звездообразных Д-А сопряженных молекул на основе трифениламинового ядра и алкил- или фенилдициановинильных концевых групп с эффективностью более 1%. Фотогенерация зарядов в однокомпонентных ОСЭ на основе звездообразных Д-А сопряженных молекул впервые описана моделью Онзагера диссоциации зарядовых пар. Систематически исследовано влияние типа центра и длины олиготиофенового π -спейсера в звездообразных Д-(π -А)₃ молекулах на эффективность однокомпонентных и гетеропереходных ОСЭ на их основе. Исследовано влияние длины сопряжения и типа акцепторной группы линейных Д-А олиготиофеновых молекул на фотоэлектрические характеристики гетеропереходных нефуллереновых ОСЭ.

Теоретическая и практическая значимость работы Разработанная спектральная методика для точного измерения эффективности СЭ облегчит сравнение результатов для разных научных групп и между различными технологиями СЭ, способствуя достоверности исследований и разработок в области фотовольтаики. Было показано, что полевой механизм фотогенерации носителей заряда является “узким местом” в работе однокомпонентных ОСЭ на основе звездообразных Д-А сопряженных молекул. Было обнаружено, что тип донорного центра, акцепторной концевой группы и длина сопряжения в Д-А звездообразных и линейных молекулах сильно влияет на транспорт зарядов и эффективность однокомпонентных и гетеропереходных ОСЭ. Полученные результаты дают представление о том, как настраивать и предсказывать свойства таких материалов и фотоэлектрические

характеристики ОСЭ на их основе. Выяснение взаимосвязей структурасвойства для исследованных молекул будет полезно для дальнейшего молекулярного проектирования эффективных молекул как для ОСЭ, так и для других связанных с ними оптоэлектронных применений.

Замечания к диссертационной работе не снижают её общей положительной оценки.

1. Как отмечено в диссертации, большинство исследуемых материалов являются аморфными, то есть имеют неупорядоченную структуру. Известно, что беспорядок в органических материалах приводит к прыжковому характеру транспорта электронов и дырок, и масштаб (особенно энергетического беспорядка) существенно влияет, в частности, на зависимости подвижности и эффективности фотогенерации от температуры и напряжённости электрического поля. Однако, анализ влияния беспорядка на эти зависимости в диссертации отсутствует.

2. Не отрицая вывод работы о применимости модели Онзагера для описания квантовой эффективности фотогенерации, надо заметить, что измеренная линейная (приближённо) зависимость фототока от напряжённости поля обоснована не слишком убедительно.

3. Также надо заметить, что рассмотрена простейшая версия модели Онзагера (для бесконечной среды). Вместе с тем, разумно учесть, что в действительности геминальная пара разделяется на конечном расстоянии, которое не сильно превышает радиус Онзагера – вследствие выхода носителей на электроды или на акцептор. Это обстоятельство может привести к завышению параметра r_0 (начальное разделение пары), который вводится чисто феноменологически.

Вывод. Содержание диссертации Маннанова Артура Линаровича соответствует специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния. Диссертационная работа полностью соответствует критериям, определенным

пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова.

Таким образом считаю, что данная диссертация является законченной научной работой высокого уровня, а её автор, Маннанов Артур Линарович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8 – Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук

профессор Отделения нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике Офиса образовательных программ Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

Никитенко Владимир Роленович.

Контактные данные:

Тел. +7 (495) 788 56 99 доб. 8092; e-mail: VRNikitenko@mephi.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 31, Национальный Исследовательский Ядерный Университет «МИФИ».

Дата *12.09.23* Подпись

Подпись д.ф.-м.н. Никитенко Владимира Роленовича заверяю