

АННОТАЦИЯ

диссертационного исследования на соискание степени
доктора философии (PhD)
6D060400-Физика

ЗАВГОРОДНИЙ АЛЕКСЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Фотоэлектрические процессы в композитных наноструктурированных пленках полупроводниковый полимер–фталоцианин

Фотопроводящие органические материалы, используемые в настоящее время в фотовольтаических системах, чрезвычайно многообразны по химической природе. Цель многочисленных исследований в этом перспективном научном направлении заключается в создании упорядоченных молекулярных ансамблей, 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. Именно они являются основой материалов молекулярной электроники, фотоэлектрических преобразователей с достаточно высокими электрофизическими и оптическими характеристиками и длительными сроками эксплуатации.

Разработка полимерных нанокомпозитных солнечных ячеек является одним из способов повышения эффективности преобразования солнечной энергии в электрическую. В таких пленках допирование полимерной матрицы наноразмерными органическими материалами позволяет создать гибридный слой, в котором проводимость полимерного материала будет сочетаться с высокими оптическими и электрическими свойствами органических наноструктур. Следует отметить, что преимуществом данных композитных материалов является упрощенный процесс изготовления солнечного элемента.

Одним из перспективных классов макрогетероциклических соединений являются металлофталоцианины, которые обладают высокой подвижностью носителей заряда, эффективностью преобразования световой энергии, каталитической активностью, химически и термически стабильны, большинство из них легко образуют упорядоченные тонкие пленки. Также стоит отметить, что металлофталоцианины, при их допировании оказывают сильное влияние на степень кристалличности полимерной пленки. Они широко применяются в качестве перспективных материалов для композитных фотоэлектрических преобразователей.

Сильное влияние на эффективность органических фотопреобразователей оказывает образование отдельных фаз донорного и акцепторного компонентов

активного слоя, а также взаимное упорядочивание этих фаз. Принято считать, что оптимальным является размер доменов, близкий к длине свободного пробега экситонов в данном материале. При меньшем размере доменов эффективность разделения зарядов может даже возрасти, но будет затруднен транспорт зарядов к электродам. Склонность к агрегации, образование поликристаллических доменов донорно-акцепторной системы характеризуются нежелательной зернистостью и неоптимальным кристаллическим упорядочиванием. Эти факторы влияют на показатели пленочных фотопреобразователей, такие как эффективность электронного транспорта носителей заряда и КПД.

Таким образом, исследование влияния структурных особенностей донорно-акцепторных систем в нанокompозитных солнечных ячейках представляет, как фундаментальный, так и практический интерес. Во-первых, изучение оптических и электрофизических свойств наноструктур позволят оценить влияние (дефектность, изменение степени кристаллизации, изменение оптических свойств и др.) на активный слой полимера при допировании. Во-вторых, позволят оптимизировать электротранспортные, а также фотовольтаические показатели нанокompозитных солнечных ячеек.

Целью диссертационного исследования является исследование влияния структурных особенностей донорно-акцепторных систем на эффективность генерации и транспорта носителей заряда в нанокompозитных полимерных солнечных ячейках.

Для достижения поставленной цели в процессе выполнения работы решались следующие **задачи**:

- получение твердых пленок фталоцианинов методом вакуумно-термического напыления;
- синтез нанолент фталоцианина и его металлокомплексов методом физического градиентно-температурного осаждения из паровой фазы;
- исследование влияния размерного эффекта на генерацию и транспорт носителей заряда фталоцианинов;
- получение нанокompозитных солнечных ячеек на основе фуллерена РЗНТ:PCBM и бесфуллереновых производных РТВ7-Th:ITIC, допированных нанолентами;
- исследование процессов транспорта и рекомбинации носителей заряда в полимерных солнечных ячейках, допированных нанолентами;
- изучение влияния воздействия внешнего магнитного поля на ток короткого замыкания органических и нанокompозитных полимерных солнечных ячеек.

Объектами исследования являлись твердые пленки и наноленты фталоцианина и его металлокомплексов. Нанокompозитные полимерные солнечные ячейки РЗНТ:PCBM и РТВ7-Th:ITIC, допированные нанолентами.

Методы исследования. Экспериментальные исследования проводились методами оптической спектроскопии, атомно-силовой микроскопии, вольтамперометрии, импедансной спектроскопии и рентгеновской дифракции.

Научная новизна включает следующее:

1. 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.

2. Впервые показано влияние размерного эффекта на эффективность генерации и транспорта носителей заряда во фталоцианинах.

3. Впервые установлено, что модуляция внешним магнитным полем уменьшает вероятность образования биполяронов, и с уменьшением размерности системы за счет высокой вероятности столкновения поляронов, значительнее проявляется эффект «спиновой блокировки» при модулировании внешним магнитным полем.

4. Впервые определена роль нанолент фталоцианинов на эффективность генерации и транспорта носителей заряда в композитной ячейке на основе фуллереновых (PЗНТ:PCBM) и бесфуллереновых (PTB7-Th:ITIC) акцепторов.

5. Исследовано влияние магнитного поля на фототок в композитных фуллереновых и бесфуллереновых ячейках. Установлено, что модуляция магнитным полем блокирует каналы транспорта заряда «донор-Pedot:PSS» и «донор-NWsMPC-Pedot:PSS» полимерного солнечного элемента.

Положения, выносимые на защиту:

1. Размерные ограничения оказывают влияние на эффективность генерации и транспорта носителей заряда во фталоцианинах.

2. Внедрение нанолент фталоцианинов в фотоактивный слой способствует повышению степени кристаллизации пленки, усилению поглощения света и инжекции дырок на токосъемный электрод СЭ.

3. При модуляции внешним магнитным полем тока короткого замыкания нанолент MPC сильнее проявляется эффект «спиновой блокировки». Наблюдаемый отрицательный магнитный эффект в полимерных нанокомпозитных СЯ связан с блокированием каналов транспорта дырок «донор-Pedot:PSS» и «донор-NWs-Pedot:PSS».

Личный вклад диссертанта. Автором выполнены работы по получению наноструктур фталоцианина и конструированию нанокомпозитных солнечных ячеек. Выполнены оптические и рентгенофазовые измерения. Исследована морфология поверхности полученных наноструктур и пленок на атомно-силовом микроскопе. Измерены спектры импеданса, ВАХ и квантовая эффективность солнечных ячеек. Проведена компьютерная обработка результатов экспериментальных измерений. Анализ полученных результатов и выводы работы в целом, а также подготовка и написание статей выполнены совместно с научными консультантами.

Связь работы с научно-исследовательскими программами. Диссертация выполнялась в соответствии с планами научно-исследовательской работы по Программам фундаментальных исследований, координируемых Министерством образования и науки Республики Казахстан: «Разработка фотопреобразователя солнечной энергии на основе полупроводникового полимера и металло-фталоцианинов» (№ 544-Ф-19, 2019 г.), «Разработка фотопреобразователя солнечной энергии на основе органических полупроводниковых нанокомпозитов» (ИРН AP08856176, 2020 г.).

Структура и объем диссертации. Структура диссертационной работы определена поставленными задачами и состоит из введения, 4 разделов, заключения, библиографии и приложения. Она изложена на 109 страницах машинописного текста, иллюстрируется 55 рисунками, 12 таблицами, содержит список использованной литературы из 210 наименований.

Научно-практическая значимость работы:

Определены оптимальные параметры органического фотопреобразователя (структурные особенности, технология получения), обеспечивающие высокий показатель КПД и квантовой эффективности. Разработка композитных солнечных элементов имеет перспективу для создания легких, технологичных и дешевых в массовом производстве автономных источников электроснабжения широкого круга электронных приборов и устройств.

Апробация работы и публикации. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на конференциях: VIII международная конференция по фотонике и информационной оптике (НИЯУ МИФИ, 2019); 18th IUPAC International Symposium on Macromolecular-Metal Complexes (Russia, Moscow, June 10-13, 2019); Материалы 11-й Международной научной конференции «Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент» (Караганда, 2019); IX международная конференция по фотонике и информационной оптике: (НИЯУ МИФИ, 2020); Труды международной научно-практической конференции «Ауэзовские чтения – 18: духовное наследие великого Абая» к 175-летию Абая Кунанбаева (Шымкент, 2020); Материалы международной научно-практической конференции «Аль-Фараби в современном казахстанском контексте», посвященной 1150-летию Абу Насра аль-Фараби (Караганда, 2020)

Публикации. По теме диссертации опубликовано 15 научных работ, в том числе 4 работы в журналах, индексируемых в базах Clarivate Analytics, 1 работа в Scopus, и в 4 изданиях, рекомендуемых ККСОН РК.