

ОТЗЫВ  
научного консультанта на диссертационную работу  
Ахатовой Жаннур Жанарбековны  
«Транспорт и рекомбинация носителей заряда в органических  
полупроводниковых нанокompозитах»,  
представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по  
образовательной программе 8D05302 - «Физика»

Диссертация Ахатовой Ж.Ж. «Транспорт и рекомбинация носителей заряда в органических полупроводниковых нанокompозитах» представляет собой научно обоснованный и технологически реализуемый подход к повышению эффективности органических солнечных элементов за счёт использования наночастиц дихалькогенидов переходных металлов. Исследование позволяет глубже понять влияние концентрации компонентов на процессы переноса и рекомбинации зарядов, а также охватывает анализ выпрямляющих характеристик органических электрохимических транзисторов.

Работа выполнена на высоком научно-экспериментальном уровне и содержит результаты, представляющие ценность для дальнейших разработок в области фотоэлектрических материалов и устройств.

Органические солнечные элементы, относящиеся к солнечным элементам третьего поколения, в последние годы привлекают значительное внимание благодаря таким преимуществам, как низкая себестоимость, лёгкость, простота изготовления и возможность масштабного производства. Вместе с тем, их относительно низкий коэффициент полезного действия и ограниченная долговременная стабильность сдерживают широкое промышленное внедрение и коммерциализацию. Ключевыми факторами, ограничивающими эффективность ОСЭ, остаются низкая подвижность носителей заряда в активных слоях, высокая степень рекомбинации и недостаточное поглощение солнечного излучения.

На сегодняшний день предложено множество подходов к оптимизации характеристик ОСЭ, среди которых особый интерес представляет внедрение металлических и двумерных наноматериалов в структуру устройства. Последние находят широкое применение в качестве третьего компонента активного слоя, способствуя улучшению оптоэлектронных свойств. Благодаря настраиваемой энергетической структуре, стабильным физико-химическим характеристикам и высокой эффективности, двумерные слоистые материалы, такие как дихалькогениды переходных металлов, считаются одними из самых перспективных в данной области.

В рамках диссертационной работы автор синтезировал наночастицы  $\text{MoS}_2$  и  $\text{WSe}_2$  методом лазерной абляции и исследовал их оптические свойства. На основе этих наночастиц были изготовлены нанокompозитные органические солнечные элементы с использованием РЗНТ:РС<sub>61</sub>ВМ. Проведён анализ влияния внедрения  $\text{MoS}_2$  и  $\text{WSe}_2$  на процессы переноса и рекомбинации носителей заряда в ОСЭ. Кроме того, детально исследованы переходные процессы в органических электрохимических транзисторах (ОЕСТ) на основе

ОМЕС-материалов, включая асимметрию токовой релаксации, влияние электрических режимов затвора (обогащения, обеднения, нейтрального состояния) и закономерности переходных процессов.

Оценена применимость существующих моделей, учитывающих особенности распределения потенциала вдоль канала, стоковый потенциал и продольную ионную диффузию. Построено аналитическое описание переходных процессов, подтверждённое экспериментально. Установлены зависимости параметров переходного отклика от напряжения на стоке и продолжительности обеднённого состояния. Разработана и верифицирована модель органического электрохимического выпрямителя (ОЕСР), определены режимы работы при низких напряжениях и критерии возникновения отрицательного дифференциального сопротивления.

Результаты работы показали, что внедрение наночастиц  $\text{MoS}_2$  и  $\text{WSe}_2$  в фотоактивный слой способствует повышению степени кристалличности плёнки и снижению плотности поверхностных дефектов. Оптимальные концентрации, обеспечивающие максимальную эффективность ОСЭ, составляют 0,5 мас.% для  $\text{MoS}_2$  и 0,35 мас.% для  $\text{WSe}_2$ . Асимметрия переходных процессов в ОЕСР определяется режимом работы затвора: при его заземлении происходит допирование или дедопирование канала в зависимости от разности потенциалов, тогда как в разомкнутом состоянии канал остаётся в нейтральном режиме. В органическом электрохимическом выпрямителе выпрямление тока обусловлено электрохимическим допированием канала при положительном смещении на стоке и дедопированием — при отрицательном смещении.

Таким образом, диссертационная работа делает весомый вклад в развитие органических солнечных элементов и может служить основой для дальнейших исследований в смежных направлениях.

Достоверность выносимых на защиту результатов подтверждена публикацией научных статей: две статьи опубликованы в международных рецензируемых журналах, входящих в базы данных Thomson Reuters и Scopus (в том числе *Physica B: Condensed Matter* (2023), IF – 2.8, Q3, 68%; *Materials Science: Materials in Electronics* (2025), IF – 2.8, Q2, 70%), две статьи — в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК, а также два тезиса в материалах международных конференций.

Полученные результаты и сделанные выводы являются обоснованными и не вызывают сомнений. Диссертационная работа Ж.Ж. Ахатовой представляет собой завершённое самостоятельное научное исследование, отвечает всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения степени философии доктора (PhD) по образовательной программе 8D05302 – «Физика».

PhD., ассоциированный профессор,  
И.о. директора школы  
Интеллектуальных систем  
Astana IT University



Ильясов Б.Р.