ОТЗЫВ

научного консультанта к.ф.-м.н., доцента Валиева Д.Т.
на диссертационную работу Мұсабековой Әсел Қанатқызы на тему:
«Влияние модификации структуры пленок SnO_2 на электронный транспорт в полимерных солнечных элементах», представленную на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе 8D05302 - «Физика»

Оксид олова (SnO_2) вызывает значительный интерес благодаря высокой прозрачности и проводимости, что делает его перспективным материалом для прозрачных электродов в солнечных элементах и дисплеях. Он также широко применяется в газовых сенсорах из-за чувствительности проводимости к молекулам газа на поверхности. Однако при осаждении SnO_2 неизбежно формируются дефекты, влияющие на его оптические и электрические свойства. Параметры осаждения играют ключевую роль в контроле дефектности, особенно на этапах роста пленки. Это особенно важно для органических солнечных элементов, где качество интерфейса SnO_2/фотоактивный слой напрямую влияет на эффективность устройства. В диссератционной работе исследуется, как изменение структуры и морфологии SnO_2 влияет на уровень дефектов и электротранспортные свойства.

Актуальность и научная новизна выбранной темы Мұсабековой Әсел Қанатқызы, заключается в проведении исследований по влиянию модификации морфологии и структуры пленок SnO_2 на электротранспортные свойства полимерных солнечных элементов. В диссертационной работе Мұсабековой Ә.Қ. исследовано влияние температуры отжига на структурные, оптические и электротранспортные свойства пленок SnO_2, полученных методом термического вакуумного осаждения. Установлено, что повышение температуры отжига до 500 °C приводит к улучшению кристалличности, росту подвижности носителей и снижению сопротивления в 3,5 раза. Также наблюдается снижение рекомбинационных потерь, что указывает на улучшение интерфейса пленки. Продемонстрировано, что органические солнечные элементы на основе электронно-транспортных слоев (*англ.* ETL) SnO_2 при термическом отжиге 500 °C, обладают повышенными фотоэлектрическими характеристиками.

В диссертационной работе исследовано влияние структурных дефектов в пленках SnO_2, синтезированных с использованием различных спиртовых растворителей, на электронный транспорт в полимерных солнечных элементах. Автором выполненной диссертационной работы было показано, что температура кипения растворителя влияет на морфологию поверхности и качество интерфейса SnO_2. Установлено, что ширина запрещённой зоны (Eg) и энергия Урбаха зависят от природы используемого спирта. Анализ Рамановских и фотолюминесцентных спектров выявил наличие трёх центров свечения, обусловленных дефектами, такими как междоузельный Sn и кислородные вакансии. Экспериментально подтверждено, что в

органических солнечных элементах дефектность SnO_2 существенно влияет на электронный транспорт. Наиболее высокие фотоэлектрические параметры продемонстрировали устройства с электронно-транспортными слоями на основе SnO_2, полученные с использованием бутилового спирта, за счёт снижения рекомбинации на границе P3HT:PCBM/ SnO_2.

Автором было исследовано влияние наночастиц Al_2O_3 на электронный транспорт в ETL на основе SnO_2 для полимерных солнечных элементов. Комплексные исследования морфологии, оптических и электрофизических свойств показали, что допирование Al_2O_3 снижает шероховатость поверхности и увеличивает толщину пленок. С увеличением концентрации наночастиц до 15% наблюдается уменьшение оптической ширины запрещённой зоны и снижение энергии Урбаха за счёт пассивации дефектов. При концентрациях выше 15% возрастает структурная беспорядочность и дефектность, что ухудшает свойства пленок. Оптимальная концентрация Al_2O_3 (15%) обеспечивает максимальное улучшение электронного транспорта и повышение КПД органических солнечных элементов до 2,5%. Превышение этой концентрации ведёт к росту рекомбинации и снижению эффективности устройств.

Личный вклад Мұсабековой Ә.Қ. в диссертационную работу подтверждает высокий уровень профессиональной подготовки и глубокое понимание исследуемых вопросов. Благодаря её компетенции были успешно получены, проанализированы и интерпретированы экспериментальные данные с использованием современного аналитичекого оборудования.

Автор провела комплексное исследование с применением таких методов, как сканирующая электронная и атомно-силовая микроскопия, оптическая и импедансная спектроскопия, вольтамперометрия. Результаты были тщательно проанализированы и внесли значимый вклад в развитие темы.

Отмечается оригинальность подхода к постановке экспериментальных задач и грамотный выбор спектрально-оптических методов для изучения ключевых характеристик синтезированных пленок. Эффективное сочетание люминесцентных исследований позволило глубоко проанализировать структуру и свойства материалов.

Результаты исследований, полученные автором диссертации, имеют важное значение в общем контексте развития прозрачных материалов для солнечной энергетики. По результатам исследований, опубликовано 6 научных трудов, среди которых: 2 статьи опубликованы в рецензируемых зарубежных журналах, входящих в базы данных Scopus и Clarivate Analytics (1 статья в Physica B, 2023, IF – 2.8, Q2, процентиль – 68; 1 статья в Synthetic Metals, 2025, IF – 4.6, Q1, процентиль – 87; 1 статья опубликованы в журналах, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК и 3 публикации, опубликованные в материалах международных конференций. Таким образом, достоверность выносимых на защиту результатов не вызывает сомнения и подтверждается научным сообществом.

Считаю, что по объему, уровню исполнения, достоверности и научно-практической значимости полученных результатов, диссертационная работа Мұсабековой Ә.Қ. отвечает всем требования, предъявляемым Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНВО РК. Докторант Мұсабекова Ә.Қ. достойна присуждения степени доктора философии (PhD) по образовательной программе «8D05302 – Физика».

кандидат физико-математических наук,
доцент Отделения материаловедения,
Инженерной школы новых производственных технологий,
Национальный исследовательский
Томский политехнический университет
г. Томск, ул. Тимакова 12, кор. 165, офис 124

e-mail: rubinfc@tpu.ru
контактный. тел.: 8 (3822) 60-63-10

Валиев Дамир Талгатович

Подпись Валиева Дамира Талгатовича
удостоверяю,
И.о. ученого секретаря ученого совета
Томского политехнического университета

Новикова В. Д.