

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Ней Вин Аунг
«Электрофоретические композиционные нанопленки из модифицированных
оксидом меди углеродных наночастиц: синтез, структура, свойства»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного
состояния

1. Актуальность темы исследования

Разработка новых функциональных наноматериалов для экологического мониторинга и зеленой химии представляет значительный научный и практический интерес. Метод электрофоретического осаждения является перспективным подходом для создания композиционных структур с управляемыми свойствами. Особую значимость приобретают наноматериалы на основе углеродных наночастиц, модифицированных оксидами переходных металлов, а также исследование их функциональных свойств, что и составляет основу диссертационного исследования соискателя. Таким образом, представленная работа является актуальной и соответствует современным тенденциям развития нанотехнологий.

2. Структура и объем диссертации

Диссертация представляет собой законченный научный труд, изложенный на 145 страницах. Работа содержит введение, 4 главы, заключение, список сокращений и обозначений и список литературы из 159 источников. Иллюстративный материал включает 70 рисунков и 2 таблицы. Диссертация соответствует паспорту специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Во введении соискателем всесторонне обоснована актуальность темы, соответствующая приоритетным направлениям развития современной нанофотоники и материаловедения. Четко сформулирована цель работы, заключающаяся в разработке электрофоретического метода синтеза композиционных нанопленок CNPs/CuO с управляемыми функциональными свойствами. Конкретизированный комплекс задач исследования полностью соответствует поставленной цели. Грамотно определены объект исследования – композиционные нанопленки CNPs/CuO, и предмет исследования – их структурные, оптические и электрокаталитические характеристики. Системно представлены элементы научной новизны, включая обнаружение размерного фотоэффекта и разработку оригинальной методики синтеза. Практическая значимость работы подтверждена патентами и перспективами применения в сенсорных устройствах и системах очистки воздуха.

В первой главе представлен фундаментальный литературный анализ современных достижений в области углеродных наноматериалов и композиционных структур. Детально проанализированы электрофизические и оптические свойства углеродных наночастиц и нанотрубок, а также полупроводниковых оксидов переходных металлов. Особое внимание уделено особенностям протекания физико-химических процессов в гибридных системах CNPs/CuO. Критически оценены современные методы синтеза нанокompозитов, с обоснованием преимуществ электрофоретического осаждения. Систематизированы данные о взаимосвязи структуры и функциональных свойств нанокompозитных материалов для сенсорных приложений.

Во второй главе разработана и детализирована оригинальная методика получения композиционных нанопленок. Оптимизированы параметры ультразвукового диспергирования для достижения стабильных коллоидных систем. Установлены корреляционные зависимости между режимами центрифугирования ($70-12000 \times g$) и дисперсностью углеродных наночастиц. Разработаны методики электрофоретического осаждения, обеспечивающие формирование многослойных структур с заданной толщиной. Созданы специализированные экспериментальные установки для исследования сенсорных и электрокаталитических свойств.

В третьей главе методами электронной микроскопии и атомно-силовой микроскопии установлены количественные зависимости морфологических характеристик от параметров синтеза. Показано, что увеличение скорости центрифугирования с 70 до $12000 \times g$ приводит к уменьшению среднего размера частиц с 65 до 23 нм. Комплексом спектроскопических методов (ИК-Фурье, РФА, комбинационное рассеяние) доказана модификация поверхности углеродных наночастиц оксидом меди.

В четвертой главе проведено комплексное исследование функциональных свойств синтезированных материалов. Установлены значения fotocувствительности пленок в УФ ($40 \text{ мВ/Вт} \cdot \text{см}^2$), видимом ($130 \text{ мВ/Вт} \cdot \text{см}^2$) и ИК ($200 \text{ мВ/Вт} \cdot \text{см}^2$) диапазонах. Обнаружен и количественно охарактеризован эффект резонансного усиления фото-ЭДС при толщине пленок, соизмеримой с длиной волны ИК-излучения. Доказана высокая электрокаталитическая активность в процессах разложения изопропилового спирта и бутилацетата с эффективностью свыше 90%. Экспериментально подтверждена адекватность разработанной теоретической модели электропроводности.

3. Новизна проведенных исследований и полученных результатов

На основании выполненных экспериментальных исследований соискателем получен ряд значимых новых результатов, в том числе:

– обнаружен размерный фотоэффект на резонансном поглощении при переотражении ИК излучения (1.06 мкм) на гетерогенных границах раздела фаз воздух/пленка/подложка, сопровождаемый ростом фото-ЭДС от $17\pm 2\text{ мВ}$ до $122\pm 2\text{ мВ}$ при изменении толщины пленок от $200\pm 10\text{ нм}$ до $2000\pm 100\text{ нм}$;

– доказано, что высокая скорость деградации молекулярных газов изопропилового спирта и бутилацетата на поверхности композиционных нанопленок CNPs/CuO обусловлена механизмом электрокаталитического разложения.

4. Степень обоснованности и достоверности полученных положений, основных результатов и выводов

Результаты работы являются достоверными и обоснованными, что подтверждается применением современных аналитических методов (СЭМ, АСМ, РФА, ИК-Фурье спектроскопия), воспроизводимостью экспериментальных данных и их соответствие теоретическим моделям.

5. Практическая значимость

Проведенное диссертационное исследование Ней Вин Аунг обладает существенной практической значимостью, которая проявляется в разработке новых функциональных материалов для сенсорной техники и экологических применений. Созданные композиционные нанопленки CNPs/CuO демонстрируют уникальное сочетание оптических, электрических и каталитических свойств, что подтверждается высокой чувствительностью в инфракрасном диапазоне (до $200\text{ мВ/Вт}\cdot\text{см}^2$) и электрокаталитической активностью в процессах разложения органических загрязнителей. Разработанная технология синтеза позволяет получать материалы с заданными характеристиками, что открывает перспективы для создания нового поколения сенсорных устройств и систем очистки воздуха.

6. Автореферат диссертации

Автореферат диссертационной работы полностью соответствует установленным нормативным требованиям и адекватно отражает содержание диссертации. В автореферате системно и полно изложены основные положения и результаты исследования, четко сформулированы научная новизна и практическая значимость работы. Логически выстроенное изложение материала обеспечивает последовательное представление теоретических и экспериментальных результатов, демонстрируя обоснованную взаимосвязь между задачами исследования и полученными результатами. Приведенные количественные данные и характеристики, ключевые экспериментальные зависимости и графики дают полное представление о проведенной работе. Соблюдение требований к научному

стилю изложения, использование корректной научной терминологии и обеспечение четкости формулировок позволяют научному сообществу адекватно оценить вклад соискателя в развитие данной области знаний. Автореферат соответствует всем формальным требованиям ВАК по объему, структуре и содержанию представленных сведений.

7. Апробация работы

Основные результаты работы были представлены на 10 российских и международных конференциях. По материалам диссертации опубликовано 17 печатных работ, в том числе 7 статей в рецензируемых журналах (3 – в изданиях, индексируемых в WOS и Scopus, 4 – в журналах Перечня ВАК) и 1 патент на изобретение.

8. Замечания

Несмотря на высокий уровень выполненной работы, можно отметить некоторые частные замечания, не умаляющие ее общей ценности::

1. В представленной диссертационной работе важно было бы подробно осветить влияние ультразвукового диспергирования на структурные изменения в углеродных наночастицах. Это позволило бы судить о формировании структурных дефектов в углеродных частицах, которые могут влиять на свойства полученных образцов

2. В разделе 3.3, посвященном механизму модификации поверхности углеродных частиц оксидом меди (стр. 97), представлена достаточно убедительная теоретическая модель, описывающая электрофизические процессы в композиционных пленках. Однако, для более глубокого понимания возможных явлений, требовалось бы учитывать и теплофизические процессы, которые неизбежно должны возникать при электрофоретическом синтезе.

3. В проведенном исследовании доказывается формирование двухфазной системы (CNP/CuO), однако количественной оценки толщины оксидного слоя не приводится. Ее определение, к примеру, методом просвечивающей электронной микроскопии высокого разрешения, могло бы дополнительно подтвердить предложенный механизм модификации углеродных частиц.

4. Было бы полезно определить тип углеродных трубок, которые могут характеризоваться различной хиральностью (металлические и полупроводниковые), а также определить их влияние в общую проводимость композиционных пленок.

9. Заключение

Указанные замечания не уменьшают ценности выполненных автором исследований и не влияют на основные выводы работы и защищаемые положения. Таким образом, диссертация Ней Вин Аунг по актуальности, новизне, масштабу выполненных исследований и совокупности полученных результатов отвечает требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Министерства образования и науки РФ, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 29.04.2013 (со всеми последующими изменениями), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Ней Вин Аунг, заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Официальный оппонент:

доктор физико-математических наук
(научная специальность 1.3.8. Физика
конденсированного состояния), доцент,
профессор департамента ядерных
технологий института наукоёмких
технологий и передовых материалов
федерального государственного
автономного образовательного учреждения
высшего образования «Дальневосточный
федеральный университет» (ФГАОУ ВО
«ДФВУ»), г. Владивосток

Дмитрий Сергеевич Штарев

«28» 11 2025 г.

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация: 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Адрес: 690922, г. Владивосток, о. Русский, кампус ДВФУ, корп. L, каб. L552

Тел.: 8 (423) 265-24-29

E-mail: shtarev.ds@dvfu.ru

Подпись профессора департамента ядерных технологий института наукоёмких технологий и передовых материалов ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет» Штарева Дмитрия Сергеевича удостоверяю:

Начальник отдела кадров
делопроизводства
«28» 11 2025 г.

А. А. Ветчинин