

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы **Красникова Дмитрия Викторовича**

«Новые методы создания и модификации углеродных наноматериалов»,
представленной на соискание ученой степени доктора химических наук
по специальности 1.4.15 – химия твердого тела

Тематика представленной диссертации обладает актуальностью, отражая магистральные направления современного материаловедения наноуглеродных систем. Углеродные наноматериалы — прежде всего однослойные углеродные нанотрубки (ОУНТ) и однослойный графен — за последние два десятилетия прошли путь от лабораторных курьёзов к реальным компонентам устройств в оптике, электронике, медицине и телекоммуникациях. Тем не менее принципиальным сдерживающим фактором остаётся разрыв между теоретически предсказанными и реально достижимыми эксплуатационными характеристиками материала; именно этот разрыв и является центральным объектом исследования в представляемой диссертации.

Диссертация содержит весомый массив новых результатов и методов, оправдывая свое название. В частности, впервые построена кинетическая кривая для наноразмерного аэрозольного катализатора синтеза ОУНТ. Ранее принципиальная трудность состояла в невозможности «зафиксировать» наночастицу, движущуюся в неизотермическом реакторе. Разработанный приём варьирования времени контакта при сохранении условий активации обошёл это ограничение и установил взаимосвязь между скоростью роста нанотрубок и дезактивацией катализатора. Обнаруженная смена скорость-лимитирующей стадии при переходе через температуру фазового перехода $\alpha\text{-Fe} \rightarrow \gamma\text{-Fe}$ (~ 900 °C) — результат, выводящий понимание особенностей роста ОУНТ на качественно новый уровень.

Концепция тандемных аэрозольных реакторов, подробно разработанная в диссертации, представляет собой элегантное инженерно-химическое решение, позволяющее модифицировать аэрозоль ОУНТ непосредственно в потоке. Три реализованных режима — селективное окисление металлических ОУНТ закисью азота, высокотемпературное адсорбционное легирование NO_2 и смешение с аэрозолем катодного NMC материала — охватывают принципиально разные типы химического воздействия. Особо выделяется метод легирования NO_2 , впервые объединивший высокую эффективность снижения сопротивления, долгосрочную стабильность и сохранение оптической прозрачности плёнок

— три характеристики, которые ни один из ранее предложенных агентов не обеспечивал одновременно. Интеграция нейронных сетей и метода опорных векторов в полупромышленный аэрозольный CVD-процесс — методически зрелый результат. Продемонстрированная точность оценки ключевых параметров синтеза на малых обучающих выборках (до 400 точек), сравнимая с экспериментальной погрешностью, убедительно подтверждает применимость подхода. Достигнутое значение эквивалентного поверхностного сопротивления 39 Ом/кв. при 90%-ной прозрачности является одним из наилучших в мировой практике для плёнок на основе легированных ОУНТ.

Наконец, получение графена по реакции Будуара — представляет собой концептуально новый метод синтеза. Применение реакции диспропорционирования СО при атмосферном и повышенном давлении для синтеза однослойных монокристаллов графена на медной подложке является оригинальным и не имеющим прямых аналогов в литературе. Детальный кинетический анализ, выявивший скорость-лимитирующую стадию и объяснивший роль СО₂ в подавлении зародышеобразования, представляет собой пример крепкого фундаментального исследования.

Сильной стороной диссертации является полнота цикла исследований: от механизма катализа до реальных устройств, многие из которых реализованы в сотрудничестве с ведущими научными центрами (прозрачные электроды, полевые транзисторы, ТГц-оптика, мембраны для EUV-литографии и т.д.). Также важно, что ряд работ представляет собой многоуровневое исследование, где достигается сочетание термодинамического, кинетического и CFD-анализа с экспериментальными данными, что, в свою очередь, обеспечивает достоверность и внутреннюю непротиворечивость выводов.

Отдельно следует отметить высокую продуктивность диссертанта. Являясь, согласно Scopus, автором более 130 работ, в диссертацию вошли 40 Q1 статей с импакт-факторами от 3,6 до 26,8 (Carbon, Chemical Engineering Journal, Advanced Materials, Advanced Science и др.), которые хорошо цитируются (например, статья в Advanced Materials всего за год набрала более 40 цитирований), что лишний раз подтверждает их значимость. Также в автореферате упоминаются патенты и приглашенные доклады на ряде ведущих профильных отечественных и международных мероприятий.

Автореферат диссертации соответствует паспорту специальности 1.4.15 «Химия твёрдого тела» по пп. 1-3. Основными объектами исследования являются твёрдофазные наноуглеродные материалы — ОУНТ и графен, — а центральным предметом — механизмы их синтеза, закономерности структурообразования, взаимосвязь строения и свойств, а также методы целенаправленного изменения этих свойств. Все перечисленные аспекты относятся к ядру специальности (разработка и создание методов синтеза, конструирование новых видов и типов, а также изучение химических реакций твердофазных соединений и материалов).

Автореферат диссертации отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.4.15. Химия твердого тела (по химическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова. Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, а её автор Красников Д.В. заслуживает присуждения учёной степени доктора химических наук по специальности 1.4.15 - Химия твердого тела".

доктор физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика конденсированного состояния, профессор РАН, заместитель директора по научной работе, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН)

Адрес: 450001, Россия, г. Уфа, ул. Ст. Халтурина, д. 39,

E-mail ; тел.:

7 мая 2026 _____/Баимова Юлия Айдаровна

Подпись Ю.А. Баимовой заверяю:

Начальник отдела кадров ИПСМ РАН

Соседкина Т.П.