

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО «Челябинский
государственный университет»,

доктор физико-математических
наук, профессор

Игорь Валерьевич Бычков



« 28 » августа 2024 г

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет» о диссертации Живулина Дмитрия Евгеньевича «Структура и физико-химические свойства допированных азотом графитоподобных материалов», представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия

Актуальность темы диссертационного исследования

Диссертационное исследование Живулина Дмитрия Евгеньевича посвящено разработке нового подхода для получения допированных атомами азота углеродных материалов со структурой графита, а также изучению свойств полученных продуктов синтеза. Углеродные материалы, допированные азотом, являются перспективным материалом для применения их в качестве электродов двойнослойных конденсаторов (суперконденсаторов). Характеристики суперконденсаторов в значительной мере зависят от материалов, применяемых в качестве анодов, на поверхности которых формируется двойной электрический слой. Анодные материалы должны обеспечивать высокую химическую стойкость, высокую удельную поверхность, иметь низкое электрическое сопротивление, обеспечивать высокую смачиваемость поверхности электролитом, а также иметь низкую стоимость. Допирование углерода атомами азота позволит получить

углеродные материалы с свойствами, превосходящими свойства применяемых на сегодняшний день материалов, например, активированных углей.

Для получения углеродных материалов со структурой графита были применены материалы, применяемые для получения графита, а именно пеки. Для получения материалов с заведомо аморфной структурой был применен фенолфталеин, продуктом термоллиза которого является стеклоуглерод. В качестве источника азота был применен меламин. В процессе совместного термоллиза пека или фенолфталеина и меламина получены материалы с высоким, до 22 массовых %, содержанием азота.

Полученные материалы были изучены структурно чувствительными физико-химическими методами. На основе полученных экспериментальных данных предложена модель структуры углерод-азотных материалов. Проведены испытания полученных материалов в качестве анодов двойнослойных конденсаторов, даны рекомендации относительно оптимального состава и метода синтеза углерод-азотных материалов.

Разработка новых материалов для увеличения эффективности работы двойнослойных суперконденсаторов является актуальной задачей, так как неразрывно связана с развитием таких сфер деятельности человека, как возобновляемая энергетика, требующая все более и более эффективных устройств для накопления и хранения полученной энергии.

Научная новизна и практическая значимость результатов работы

Новизна научной работы:

1. Впервые для получения углерод-азотных материалов с переменным содержанием азота применен метод термоллиза гомогенного расплава различных видов пека или фенолфталеина и меламина.

2. На основе разработанного метода синтеза получены однофазные материалы с концентрацией азота до 22 масс. %.

3. Разработана и протестирована новая методика измерения концентрационных и температурных зависимостей электрического сопротивления для порошкообразных углеродных материалов.

Результаты исследования могут быть использованы для научных и производственных целей. Получен патент на изобретение, описывающий способ получения углерод-азотных материалов.

Оценка содержания и оформления диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка. Общий объем работы с приложениями составляет 146 страниц, 60 рисунков, 14 таблиц. Список литературы содержит 203 наименования.

Во введении описывается значимость работы, формулируются цель и задачи исследования, определяется научная новизна и практическая значимость полученных результатов, уточняются положения, предусмотренные для защиты, описываются методология и методы исследования, приводится актуальность работы и личный вклад автора.

В **первой главе** представлен обзор литературы, посвященный методам получения, структуре, дефектам структуры, физическим свойствам, классификации, а также применению углерод-азотных материалов. Приведен обзор методов изучения подобных материалов, а также интерпретации полученных экспериментальных данных. На основе литературного обзора сформулирована цель и поставлены задачи, которые являются предметом диссертационного исследования.

Во **второй главе** описаны методы и подходы проведения исследований, использованные в работе. Приведены основные технические характеристики и режимы работы оборудования, используемого для изучения полученных материалов. Приведено описание разработанных соискателем и адаптированных под конкретные материалы стандартных методов изучения электропроводности, плотности, электрофизических свойств. Приведено описание обработки полученных данных, а также

результаты валидации применяемых методов. Описаны методы, применяемые для моделирования структуры полученных материалов.

В третьей главе описаны методики синтеза углерод-азотных материалов. На основе данных потери массы образцов определены оптимальные условия получения углерод-азотных материалов. На основе литературных данных о строении и химическом составе исходных компонентов предложен механизм реакции, а также модель формирования углерод-азотных материалов.

В четвертой главе приведены результаты изучения фазового состава, морфологии поверхности исследуемых образцов, химического состава, синхронного термического анализа, масс-спектрометрии, изучение локальной структуры методом инфракрасной и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Представлены результаты обобщения полученных экспериментальных данных, на основе которых сформирован и предложен вариант структуры изучаемых материалов. Проведено молекулярно-механическое моделирование и сделаны выводы об адекватности предложенной модели.

В пятой главе представлены результаты изучения физических свойств, а именно плотности, удельного электрического сопротивления, температурных зависимостей сопротивления, электрохимических характеристик. Полученные результаты сопоставлены с результатами, представленными в главе четыре. Сделаны выводы о влиянии концентрации азота на структуру, морфологию и физические свойства полученных материалов.

В заключении делаются выводы и обобщаются результаты, полученные в ходе диссертационной работы.

Достоверность и обоснованность результатов работы

Достоверность полученных результатов подтверждается применением современных физико-химических методов исследования и согласованием некоторых экспериментальных данных с литературными данными.

Опубликованные работы в полной мере отражают содержание и основные выводы диссертационного исследования.

Замечания по работе

1. В диссертационной работе в качестве источника азота выбран меламин, однако далее из текста не понятно, по каким критериям выбран именно меламин, а не другие богатые азотом предшественники.
2. В диссертационной работе, помимо серии образцов, приготовленных из различных видов пека, есть серия образцов, приготовленных с применением фенолфталеина, однако основной упор в рассуждениях направлен на образцы, приготовленные из различных видов пека. Чем обусловлено отсутствие интереса к образцам, приготовленным с использованием фенолфталеина?
3. В диссертационной работе отсутствует информация о том, проводился ли повторный синтез образцов для контроля воспроизводимости результатов.
4. В диссертации отсутствуют данные о влиянии времени термической обработки на свойства полученных материалов.
5. В описании методики отсутствует информация о приборе, при помощи которого проводили измерение электропроводности, и его метрологических характеристиках. А также непонятно, на переменном или постоянном токе проводили измерения.

Указанные замечания не снижают общего положительного впечатления о выполненной диссертационной работе. В работе представлен большой объем экспериментального материала. Диссертация и автореферат написаны грамотно. Автореферат диссертации в достаточной степени отражает общее содержание диссертационной работы.

Заключение

В целом, следует сделать вывод, что диссертационная работа Д.Е. Живулина выполнена на высоком научном уровне, содержит новые фундаментальные и практически значимые результаты. Диссертационная

работа Живулина Дмитрия Евгеньевича на тему «Структура и физико-химические свойства допированных азотом графитоподобных материалов» полностью соответствует требованиям п. 9-14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Диссертационная работа и отзыв одобрены на заседании кафедры «Химия твердого тела и нанопроцессов» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Челябинский государственный университет» (от 28 августа 2024г.)

Отзыв составлен:

к.х.н., доцент,
заведующий кафедрой химии твердого тела и нанопроцессов
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Челябинский государственный университет»

Белая Елена Александровна

wea.csu@gmail.com

Дата составления отзыва: « 28 » августа 2024 года

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Челябинский государственный университет».

Адрес организации: 454001, г. Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129

Телефон: +7 (351) 799-71-01

E-mail: odou@csu.ru

Официальный сайт в сети Интернет: www.csu.ru

Подпись удостоверяю

Специалист по кадрам
В.И.Акутина

