

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

о диссертанте Ситнове Михаиле Андреевиче, выполнившем диссертационную работу "Разработка основ технологии синтеза наноструктурированного углеродного материала на основе полиакрилонитрила при ИК-нагреве", представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники»

Ситнов Михаил Андреевич, 28.05.1997 г. р., в 2021 г. закончил с красным дипломом кафедру Технологии Материалов Электроники (ТМЭ) НИТУ МИСиС по направлению 11.04.04 «Электроника и нанoeлектроника». После окончания магистратуры поступил в аспирантуру той же кафедры.

В аспирантуре Ситнову М. А. были поставлены научно-технологические задачи по разработке основ метода получения наноструктурированного углеродного материала с помощью инфракрасного нагрева.

Аспирант проявил интерес к теме и подошел к вопросу серьезно и творчески. В процессе своей работы Ситнов М.А. продемонстрировал свои способности к применению научного подхода в достижении поставленных целей. Сначала им был проведен анализ более 100 публикаций, посвященных синтезу, применению и изучению материалов полученных при модификации полимеров. Результатом этой деятельности стало выделение основных особенностей, закономерностей и проблем синтеза наноструктурированного углеродного материала, а также наиболее актуальное применение получаемого материала, это способствовало по-новому взглянуть на проблему и поставить собственные эксперименты, характеризующиеся как научной новизной, так и практической ценностью.

Аспирант установил, что требуется для решения поставленной задачи и проводил исследования, направленные на изучение способа инфракрасного нагрева для получения наноструктурированного углеродного материала. Для решения поставленных задач был проведен большой объем экспериментальной работы, и использован комплексный подход это заключается в использовании современных экспериментальных и теоретических методов для исследования процессов, происходящих в сополимере акрилонитрила, и его структуре во время и после инфракрасного нагрева, а также определении свойств полученного наноструктурированного углеродного материала. В работе применялись следующие методы исследования: ультрафиолетовая (УФ) и видимая спектроскопия ("Evolution 300 UV-VIS"), ИК спектроскопия ("IFS 66v"), термогравиметрический анализ (ТГА) ("Discovery"), дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) ("Q20"), рентгенофазовый анализ (РФА) ("Дифрей-401"), четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления ВИК УС 07, сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) Hitachi S800, масс-спектрометрия "Finnigan MAT 95 XL", микроскоп МИИ-4. Также параллельно основному исследованию изучалась возможность применения синтезированного материала, были получены тонкие пленки наноструктурированного углеродного материала, которые обладают сенсорными свойствами и могут быть применены для определения влажности окружающей среды, в результате была оформлена заявка на ноу-хау.

В результате работы М.А. Ситнова получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Впервые экспериментально обоснованы основы технологии НУМ на основе СПАН, содержащим акрилонитрил ($C = 93$ масс.%), метилакрилат ($C=5,7$ мас.%) и 2-акриламид-2-метилпропансульфонат натрия ($C=1,3$ мас.%), под действием ИК-нагрева (автоматизированная установка «QНС-Р610СР»).
2. Впервые на основе изучения кинетики и механизма образования НУМ на основе СПАН при ИК-нагреве, установлено, что увеличение температуры предварительной обработки до $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к уменьшению энергии активации (E_a) и предэкспоненциального множителя (k_0) по сравнению с исходным полимером от $90,9$ до $53,3$ кДж/моль и от $3,1 \cdot 10^6$ до $1,1 \cdot 10^3$ мин⁻¹, соответственно, что подтверждает возникновение диффузионных ограничений. С увеличением температуры предварительного нагрева до $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ возрастает значение температуры пика (ТП, ТГА) на кривой термогравиметрического анализа (ТГА) от 287 до $>350\text{ }^{\circ}\text{C}$ из-за возникновения структуры “ядро-оболочка”.
3. впервые установлено, что модификация структуры СПАН при нагреве начинается с процесса циклизации, увеличение температуры нагрева до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ изменяет $D(C=N)/D(CN)$ и $D(CH_2)/D(CN)$ от 0 до $0,426$ и от $0,786$ до $1,180$, соответственно, по сравнению с исходным СПАН.
4. Впервые на основе превращений в СПАН показана эффективность ИК нагрева в результате синергетического эффекта ИК-излучения при $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 1 часа: наблюдается понижение $|\Delta H|$ от $214,4$ до $19,8$ Дж/г потери массы (Δm) от $12,79$ до $8,61\%$, отношение $D(C=N)/D(CN)$ увеличивается от $5,88$ до 21 для кондуктивного и ИК нагрева, соответственно.

Результаты диссертанта обладают практической ценностью:

1. Разработаны основы технологии НУМ на основе СПАН при ИК нагреве, что может представлять интерес для промышленного производства органических полупроводников.
2. Разработан способ получения НУМ чувствительного к влажности (ϕ , от 20 до 80%) (свидетельство о регистрации ноу-хау № 07-219-2025).
- 3 Разработан сенсор на основе НУМ для определения влажности (ϕ , от 20 до 80%) (Акт о применении сенсорного датчика влажности для контроля влажности окружающей среды на производстве ООО ФНПП «Салута-М»).

Ситнов М.А. зарекомендовал себя в качестве достойного специалиста в области технологии материалов, способного к анализу научных проблем, поиску их решений, грамотному построению гипотез и их экспериментальной проверке.

По результатам исследований опубликовано 5 печатных работ, в журналах, входящих в перечень рецензируемых журналов, рекомендованных ВАК, в том числе 3 статьи в журналах, индексируемых в Scopus, 6 тезисов и статей в сборниках материалов и докладов конференций, и 1 ноу-хау.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: международный молодежный научный форум “ЛОМОНОСОВ”, Москва, 2021, 2022, 2023, 2024 г.; всероссийская научная конференция “Перспективные научные исследования молодых ученых”, Северодвинск, 2022 г.; Юбилейная научная конференция ИНХС РАН, Москва, 2022 г.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Считаю, что диссертационная работа Ситнова Михаила Андреевича "Разработка основ технологии синтеза наноструктурированного углеродного материала на основе полиакрилонитрила при ИК-нагреве" является завершённой научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, имеет важное научное и практическое значение и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете «МИСиС».

Считаю, что диссертант Ситнов М.А. достоин присвоения ученой степени кандидата технических наук по специальности **2.2.3 «Технология и оборудование для производства материалов и приборов электронной техники».**

Научный руководитель, доктор технических наук,
профессор кафедры Технологии Материалов Электроники
НИТУ МИСИС

Козлов Владимир Валентинович



Подпись Козлова В.В. заверяю

Масленникова *отдела кадров*

И.В. Масленникова
05.06.2026

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС»

119049, г. Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.,

тел.: +7 915 210 2117; E-mail: kozlov@ips.ac.ru