

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
Государственного научно-
производственного объединения
«Научно-практический центр
НАН Беларуси по материаловедению»,
доктор физико-математических наук,
член-корреспондент НАН Беларуси



В. М. Федосюк

ОТЗЫВ

оппонирующей организации на диссертацию
РАДЮК Дарьи Владимировны
«Формирование при активировании ультразвуком и свойства
нанокompозитов на основе кислородсодержащего графена с атомами
металла и органическими комплексами»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы
(по отраслям)

Экспертиза автореферата и диссертации Радюк Д.В. выполнялась в соответствии с требованиями Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий, утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 17.11.2004 № 560 (в ред. Указа Президента Республики Беларусь от 02.06.2022 № 190), и Положения о совете по защите диссертаций, утвержденного постановлением Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 22.02.2005 № 19 (в ред. Постановления ВАК от 19.08.2022 №2)

Соответствие содержания диссертации заявленной специальности и отрасли науки

Анализ содержания диссертационной работы позволяет установить ее соответствие специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям) согласно Паспорту данной специальности (Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 9 февраля 2024 № 34 (С изменениями, внесенными приказом Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь от 20 октября 2025 № 218)) в части следующих областей выполненных исследований:

п. 3.2 – материаловедение и физико-химия наноматериалов. Строение и свойства наноструктур и наноматериалов, фазовые и структурные превращения в них. Взаимосвязь химического и фазового составов, структурной организации с физическими, химическими, технологическими, эксплуатационными и другими свойствами наноструктур и наноматериалов;

п. 3.3 - процессы формирования нанодисперсных частиц. Золь-гель технология. Технологии перемешивания и гомогенизации систем с нанодисперсными частицами. Синтез и разделение наночастиц в газообразных и жидких средах. Поведение наночастиц в растворах, эмульсиях, коллоидных системах и суспензиях.

п. 3.6 - новые технологические процессы с участием наноструктурированных сред и наноматериалов. Производство, обработка и переработка наноматериалов. Использование нанотехнологий и наноматериалов для создания новых материалов и изделий.

В связи с тем, что выполненная научно-исследовательская работа связана с изучением микроструктуры, оптических и электрических свойств, синтезированных нанокompозитов, а также аспектами создания физико-математических моделей, алгоритмов и программных средств для моделирования электромагнитных свойств нанокompозитов и оценки каталитических свойств, а также их биофункциональности, то представленная диссертационная работа соответствует физико-математической отрасли наук.

Научный вклад соискателя в разработку научной проблемы с оценкой его значимости

В диссертационной работе обобщены результаты научных исследований, выполненных непосредственно Радюк Д.В. и направленных на изучение закономерностей формирования нанокompозитов на основе кислородсодержащего графена с атомами металла и органическими комплексами методами жидкофазных процессов при активировании ультразвуком и исследование их морфологии, состава, структуры и свойств (оптических, электрических, каталитических и биофункциональных) для создания новых материалов электроники и фотоники.

Научный вклад соискателя состоит в проведении литературного, патентно-информационного поиска и систематизации полученных данных, послуживших основой для формирования общего направления исследования, постановке его цели и ключевых задач, обосновании условий проведения экспериментов, выборе методов изучения свойств синтезируемых материалов. Непосредственно самим соискателем определены условия формирования кислородсодержащего графена с контролируемой и стабильной структурой, металлографеновых наноструктур, разработана методология получения нанокompозитов на основе кислородсодержащего графена с атомами металла и органическими комплексами с использованием ультразвуковой технологии, выполнены теоретические расчеты с проведением математического моделирования. Совместно с соавторами научных публикаций Радюк Д.В. проведены исследования и анализ физических свойств полученных материалов, что позволило интерпретировать механизмы, обуславливающие закономерности формирования и обнаруженные свойства нанокompозитов.

Высокая значимость научного вклада соискателя ученой степени подтверждается опубликованными 42 печатными работами, в том числе: 2 единоличные монографии, 1 глава в книжном издании, 22 статьи,

соответствующие п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении научных званий, 10 статей в сборниках материалах научных конференций и 7 тезисов докладов на международных научных конференциях.

Конкретные научные результаты, за которые соискателю может быть присуждена искомая ученая степень

Диссертация Радюк Д.В. представляет собой законченное, логически обоснованное и выполненное на высоком научном уровне исследование с применением современных экспериментальных и теоретических методов.

Анализ содержания диссертационной работы позволяет сделать вывод о том, что соискателю Радюк Д.В. может быть присуждена ученая степень доктора физико-математических наук по специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям) за концептуальное развитие актуального научного направления в области функциональных наноматериалов и нанотехнологий, а также получение принципиально новых результатов при разработке научной и технологической базы формирования металлографеновых нанокомпозитов с органическими комплексами при активировании ультразвуком для электроники и фотоники:

1. Исследование влияния условий жидкофазного окисления графита на формирование кислородсодержащего графена (<500 нм) и его элементный состав, а также термического воздействия (70–700 °С) на стабильность его структуры до и после ее легирования атомами азота и серы, используя динамическую модель Лерфа–Клиновски с учетом варьирования атомного С/О отношения (1,1–6,2), интенсивности и продолжительности ультразвукового воздействия (7–36 Вт/см², 1–120 мин).

2. Определение закономерностей получения графеновых нанокомпозитов, модифицированных металлами и их оксидами (серебро, куприт, тенорит, магнетит, вюрцит), применяя ультразвук (20 кГц, 7–27 Вт/см², 1–5 мин) в сочетании с методами жидкофазного восстановления, гидротермального и дегидратационного осаждения на базе карбоновых и салициловой кислот, что обеспечивает формирование гомогенных структур заданной формы (кубической, сферической, конусообразной или эллипсоидной) в двух размерных диапазонах: 10–80 нм и 300–580 нм без посторонних фазовых примесей.

3. Изучение закономерности получения нанокомпозитов на базе кислородсодержащего графена с атомами металлов, используя методы жидкофазного восстановления, гидротермального растворения-осаждения и дегидратационного осаждения, протекающие за счет одностадийного комплексообразования производных карбоновых кислот под действием ультразвукового излучения (20 кГц, 7–27 Вт/см², 1–5 мин), что позволяет регулировать форму частиц (сфера, конус и куб), размер (10–80 и 300–580 нм) и внутреннюю архитектуру (гомогенная или «ядро/оболочка») при сохранении кристаллических фаз серебра, вюрцита, магнетита, тенорита или куприта.

4. Исследование зависимости поглощения света нанокомпозитами из оксида графена и органических комплексов от вида, входящего в них металла (серебро, медь, железо, цинк) и кислоты (уксусная, пропионовая, салициловая),

что позволяет определить электронные и межзонные переходы (в оксидах металлов и графене), охарактеризовать химические связи (водородные, ионные, ковалентные), а также выявить ступенчатую ионизацию кислот и продукты их окисления в составе синтезированных материалов.

5. Разработку модели формирования электрического тока в поверхностном слое сферических нанокомпозитов на основе оксида графена с атомами металлов и комплексами пропионовой или салициловой кислот при динамическом изменении потенциала, позволяющая рассчитывать плотность индуцированных поляризационных токов в слоях частиц диаметром 1–100 нм с учетом типа металла и подтвердить селективную электромагнитную активацию органических молекул при оптическом возбуждении.

6. Выявление закономерности, согласно которой металлографеновые нанокомпозиты с органическими комплексами производных пропионовой или уксусной кислоты ускоряют одноэлектронный обмен между аквакомплексами и гидратированными соединениями в водных растворах окислителя (гексацианоферрата) от одного до нескольких порядков, а максимальный каталитический эффект зафиксирован при использовании кластеров серебра, которые превосходят по эффективности традиционные наночастицы.

7. Разработку модели электрохимического разложения воды на металлографеновых катализаторах со структурой «ядро/оболочка», модифицированных пропионовой или салициловой кислотами, и определение влияния концентрации органических комплексов ($2,8 \times 10^{-5} - 2,0 \times 10^{-1}$ моль/л) на генерацию ионов водорода, что позволяет при введении аскорбиновой кислоты обеспечить контроль антиоксидантных свойств наноматериалов, так как за счет связывания ионов трехвалентного железа и дезактивации двухвалентного железа скорость образования гидроксильных радикалов снижается на один–три порядка.

8. Доказательство, что металлографеновые нанокомпозиты с комплексами производных салициловой кислоты эффективны как бактериостатические покрытия, так как их действие основано на взаимодействии с клеточной мембраной, опосредованном ковалентными и водородными связями с атомами металла, углерода и кислорода, и защитный эффект достигается благодаря амфифильности кислородсодержащего графена и ингибированию гидроксильных радикалов.

Рекомендации по практическому использованию результатов диссертации

Синтезированные металлографеновые нанокомпозиты с органическими комплексами в зависимости от их типа и характеристик могут быть рекомендованы по использованию на предприятиях электронной промышленности как фотокаталитический наноматериал для расщепления воды, струйная печать гибридных проводящих чернил, оптический преобразователь энергии, наноматериалы для защиты от ультрафиолетового излучения и Фентон-катализа. Данная возможность подтверждается уже имеющимися актами внедрения и апробирования результатов исследования.

Полученные теоретические сведения и выявленные механизмы формирования и биофункциональности рекомендуются к использованию в научно-исследовательских организациях с целью дальнейшего развития ультразвуковой технологии и разработки методологии формирования новых функциональных наноматериалов (в том числе – ее применению для создания востребованных типов устройств), а также внедрению в образовательный процесс на кафедре микро- и наноэлектроники в БГУИР, что подтверждается соответствующим актом. Полученные результаты можно также использовать как справочные данные в области физики и техники функциональных наноматериалов.

Замечания по диссертации

1. Литературный обзор проведен в основном по зарубежным источникам, мало внимания уделено публикациям из стран СНГ за последние 5 лет.

2. При описании метода спектроскопии комбинационного рассеяния света не указаны критически важные параметры: мощность лазерного излучения и диаметр пятна фокусировки.

3. Отсутствуют данные по расчету параметров кристаллической решетки, синтезированных наноматериалов и их сравнение с литературными данными.

4. В диссертации не приведены данные о временной и температурной стабильности электрических характеристик металлографеновых наноструктур с органическими комплексами.

5. В автореферате не уделено внимание химическому составу и рентгеноструктурным характеристикам синтезированных наноматериалов.

6. Техническое замечание: в списке публикаций соискателя пропущены номера страниц в ссылках на некоторые тезисы докладов 39-А – 42-А.

Приведенные замечания не затрагивают основных положений и выводов, содержащихся в диссертации, и не снижают ее научной, практической, экономической и социальной значимости.

Соответствие научной квалификации соискателя ученой степени, на которую он претендует

Совокупность представленных новых достоверных и научно обоснованных результатов, подтвержденных научными публикациями в рецензируемых журналах, и докладами по теме диссертации на научных конференциях, аргументированных выводов, используемых методов исследований и интерпретации полученных результатов, качественного оформления диссертации и автореферата в соответствии с требованиями ВАК Беларуси позволяет сделать вывод о том, что научная квалификация соискателя РАДЮК Дарьи Владимировны соответствует ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.16.08 – нанотехнологии и наноматериалы (по отраслям).

Диссертация Радюк Д. В. «Формирование при активировании ультразвуком и свойства нанокомпозитов на основе кислородсодержащего

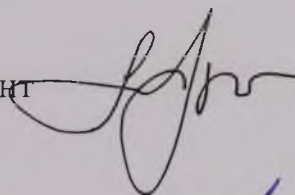
графена с атомами металла и органическими комплексами» является самостоятельно выполненной и законченной научной работой, и соответствует всем требованиям ВАК Беларуси, предъявляемым диссертациям на соискание ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв оппонирующей организации, подготовленный экспертом, доктором физико-математических наук Гременком Валерием Феликсовичем, назначенным приказом от 16 сентября 2026 г. № 101, рассмотрен и утвержден на расширенном научном семинаре ГО «НПЦ НАН Беларуси по материаловедению» (протокол от 29 сентября 2026 г. № 7), на котором соискатель ученой степени доктора физико-математических наук РАДЮК Дарья Владимировна выступила с докладом. На заседании присутствовали:

Всего 33 человек, из них – 4 докторов наук и 11 кандидатов наук. Результаты открытого голосования присутствовавших на заседании, которые имеют ученые степени:

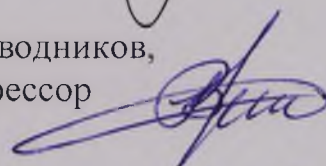
«за» – 15, «против» – нет, «воздержавшихся» – нет.

Председатель научного семинара,
заместитель генерального директора
по научной и инновационной работе,
доктор физико-математических наук, доцент



Д.В. Карпинский

Эксперт,
заведующий лабораторией физики полупроводников,
доктор физико-математических наук, профессор



В.Ф. Гременок

Секретарь научного семинара,
ведущий научный сотрудник,
кандидат физико-математических наук, доцент



Ю.В. Радюш