

## Отзыв

члена диссертационного совета Вейко Вадима Павловича  
на диссертационную работу Хайруллиной Евгении Мусаевны  
на тему «Лазерно-индуцированный синтез  
металлических наноструктурированных электродов для бесферментных сенсоров»  
представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук  
по специальности 1.4.15 - Химия твердого тела

Диссертационное исследование, проведенное Хайруллиной Е.М., посвящено лазерно-индуцированному синтезу (ЛИС) металлических структур на поверхности широкого спектра подложек, включая гибкие полимеры. Возможность локализации процессов с помощью лазерного излучения, благодаря точному контролю за пространственным распределением энергии в фокусе луча, открывает ряд уникальных преимуществ при создании функциональных материалов и элементов. ЛИС позволяет создавать наноструктурированные электроды заданной формы непосредственно на подложке, что обеспечивает высокую адгезию сенсорно-активного материала. Предложенный подход предоставляет дополнительную гибкость в производстве, позволяя изменять форму, толщину и материал электродов в соответствии с требованиями конкретной задачи.

Научная новизна работы не вызывает сомнений: в результате проведенных исследований значительно расширены границы применимости метода ЛИС для создания наноструктурированных электродов, предназначенных для бесферментных сенсоров. В ходе работы разработаны эффективные методики управляемого синтеза моно- и полиметаллических электродов, а также представлена исчерпывающая систематизация полученных данных, что позволило выработать практические рекомендации для применения результатов и дальнейшего развития работ в данном направлении.

Диссертация представлена на 155 страницах, включая 85 рисунков, 21 таблицу и 263 ссылки на литературные источники.

Во введении диссертации обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и задачи исследования, а также отмечена научная новизна и практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведены необходимые литературные данные, полученные из современных источников, которые подкрепляют научную значимость и актуальность решения поставленных в ней целей и задач. Освещены современные проблемы лазерно-индуцированного синтеза, значительное внимание уделено также текущему состоянию исследований в области бесферментных сенсоров глюкозы. Цитируемая литература отражает современное состояние мировой науки в указанных областях.

Во второй главе содержится детальное описание разработанных методик синтеза и физико-химических методов исследования, использованных в работе. Отдельно стоит отметить всестороннюю характеристику синтезированных материалов с использованием современных инструментальных методов, таких как СЭМ, РСМА и КРС, что подтверждает научную обоснованность и достоверность полученных результатов.

Третья глава посвящена описанию полученных результатов и их обсуждению. В работе акцентировано внимание на трех основных границах раздела, где происходит инициация процессов под действием лазерного излучения: подложка – воздух, подложка – жидкая реакционная среда и подложка – твердая реакционная среда. Каждая из этих систем была исследована с точки зрения оптимизации условий лазерного воздействия, что позволило выявить ключевые параметры, влияющие на морфологию и адгезию синтезируемых материалов. Кроме того, как показано в диссертации, лазерный синтез может быть легко скомбинирован с другими химическими методами, такими как химическое осаждение или электрохимическое окисление, что позволяет создавать сложные композитные электроды, которые демонстрируют улучшенные аналитические характеристики. Показано, что выбранные подходы модификации материалов позволяют получать полиметаллические электроды для бесферментных сенсоров глюкозы, пероксида водорода и дофамина, обеспечивая при этом сохранение пространственной селективности процесса и формы электрода, заданной на стадии взаимодействия лазерного излучения с реакционной средой. Изложение диссертации соответствует требуемым научным стандартам. Логика представления данных и их обсуждение позволяют получить полное представление об основных результатах работы и их ценности. Выбор методов исследования и подходов полностью отвечает поставленным целям и задачам.

Достоверность результатов также подкрепляется серьезной апробацией работы и публичным представлением полученных данных: результаты опубликованы в пяти статьях в ведущих химических журналах и представлены в виде десяти тезисов докладов на международных конференциях.

В целом, диссертация демонстрирует высокий уровень научной подготовки автора и его способность к самостоятельному исследованию. Результаты работы имеют как теоретическую, так и практическую значимость, открывая новые перспективы для разработки высокоэффективных бесферментных сенсоров.

Вместе с тем при прочтении диссертации возник ряд вопросов и замечаний, которые носят рекомендательный и дискуссионный характер и не снижают фундаментальной и прикладной ценности результатов, представленных в работе.

1. В работе говорится о проявлении некоего синергетического взаимодействия

между металлами в случае полиметаллических электродов, что приводит к усилению их сенсорных свойств. Каковы механизмы этого эффекта между благородными и переходными металлами в биметаллических системах, и можно ли его качественно объяснить и количественно оценить?

2. На рисунке 65 приведены фотографии электродов, изготовленных на поверхности полиимида при лазерном воздействии на границе подложка-твердая реакционная среда, включая изображение сенсорной платформы, где все электроды получены указанным выше способом. Проводились ли измерения с использованием данного сенсора?

Диссертация Хайруллиной Евгении Мусаевны на тему «Лазерно-индуцированный синтез металлических наноструктурированных электродов для бесферментных сенсоров» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», а соискатель Хайруллина Евгения Мусаевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.15 - Химия твердого тела. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного «порядка» в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета,

Научный руководитель международной научной лаборатории  
лазерных микро- и нанотехнологий и систем,  
Национального исследовательского университета ИТМО, Санкт-Петербург,

Заслуженный деятель науки РФ,  
Профессор, доктор технических наук,

Вейко Вадим Павлович,

28.10.2024 г.

/Вейко В.П./

*Подпись Вейко  
удостоверено  
Менеджер  
Лощацько В.*

