

## ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Семенова Валентина Георгиевича  
на диссертацию Хайруллиной Евгении Мусаевны на тему:

**«Лазерно-индуцированный синтез металлических наноструктурированных электродов для бесферментных сенсоров»**, представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по научной специальности - 1.4.15.

Химия твердого тела

Целью данной работы являлось исследование возможностей создания сенсорно активных металлических наноструктурированных материалов с применением лазерно-индуцированного синтеза (ЛИС). Электрохимические сенсоры являются бурно развивающейся областью, так как обеспечивают возможность не только экспрессного и экономически эффективного анализа широкого спектра практически значимых аналитов, но также и открывают перспективы для их непрерывного мониторинга. В этой связи разработка новых электродных материалов для рабочих электродов бесферментных сенсоров является не только **актуальной**, но и **практически значимой** задачей, которая в данной работе решалась с помощью метода лазерно-индуцированного синтеза (ЛИС) в комбинации с классическими подходами мокрой химии. Для создания бесферментных электродов были разработаны методы их получения и модификации, как с помощью непосредственно лазерного излучения, так и использованием гальванического вытеснения, электрохимического окисления и коллоидного синтеза. Такой комплексный подход позволил получить композитные электроды, эффективность которых была подтверждена при электрохимическом анализе широкого спектра аналитов, включая глюкозу, пероксид водорода и дофамин, что говорит о высокой практической значимости работы. В частности, было показано, что использование комбинаций благородных и переходных металлов позволяет значительно увеличить чувствительность сенсоров по отношению к целевым аналитам, а также снизить пределы обнаружения. Таким образом, данная работа представляет собой **значимое исследование** не только области химии твердого тела, но и также обращается к практическим вопросам материаловедения и аналитической химии.

Диссертационная работа представлена на 155 страницах, содержит 85 рисунков, 21 таблицу и 263 ссылки на литературные источники. Результаты работы представлены в 5 статьях, которые опубликованы в журналах, индексируемых в WoS и Scopus. Работа имеет классическую структуру и состоит из введения, литературного обзора, обсуждения результатов, заключения и списка литературы. Деление на разделы и порядок изложения материала в диссертационной работе логически выстроены, что способствует ясному восприятию представленных идей и результатов. **Введение** содержит четкое обоснование актуальности темы, а также



формулировку целей и задач исследования, что создает прочную основу для дальнейшего изложения. В **первой главе** диссертационной работы представлена исчерпывающая информация о лазерно-индуцированном синтезе и бесферментных сенсорах, что дает полное представление о современном состоянии исследований в данных областях. Автор подробно описывает основные принципы лазерно-индуцированного синтеза, включая механизмы взаимодействия лазерного излучения с веществом при синтезе функциональных материалов, также в данной главе подробно описываются принципы работы бесферментных сенсоров и их преимущества. Во **второй главе** описаны экспериментальные детали разработанных подходов, а также методы характеристики полученных материалов. Использование комплекса дополняющих друг друга современных инструментальных методов анализа, таких как сканирующая электронная микроскопия, спектроскопия комбинационного рассеяния света, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия, циклическая вольтамперометрия и т.д., убедительно подтверждает **достоверность** полученных результатов. **Третья глава** посвящена изложению результатов проведенных исследований, а именно рассмотрено три случая ЛИС сенсорно активных материалов на границе раздела подложка – реакционная среда, с последующим исследованием сенсорных свойств синтезированных электродов. Каждый случай характеризовался различной границей фаз: подложка – воздух/жидкая/твердая реакционная среда, что позволило провести исчерпывающее экспериментальное исследование, в рамках которого были выявлены уникальные особенности и механизмы, влияющие на процесс синтеза в каждой из указанных систем.

**Научная новизна** данной работы заключается в том, что впервые с единых позиций были описаны процессы лазерно-индуцированного синтеза сенсорноактивных материалов на границе раздела подложка – реакционная среда.

В ходе тщательного изучения диссертационной работы критических замечаний, которые бы снижали общую положительную оценку, выявлено не было, однако возникли следующие **вопросы и замечания**.

1. В работе представлен синтез коллоидных наночастиц, как один из способов модификации поверхности электродов. Данный метод позволяет получать широчайший спектр частиц с заданной формой и размером. На основании чего в данном случае был осуществлен выбор конкретной формы частиц и может ли это в существенной степени влиять на результаты анализа.
2. Чем определяется рН среды для электрохимического анализа? В представленном описании экспериментальных работ указано (с. 54, таблица 5), что детектирования пероксида водорода и дофамина был использован фосфатный буфер с нейтральным рН, однако глюкоза определялась в щелочном растворе.

