

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бондаренко Анны Витальевны

«Функциональные материалы, включающие наноструктуры меди, серебра и золота, для устройств электроники и фотоники», представленной на соискание степени доктора технических наук по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы (материалы для электроники и фотоники).

Диссертационная работа «Функциональные материалы, включающие наноструктуры меди, серебра и золота, для устройств электроники и фотоники» посвящена решению актуальной проблемы разработки наноструктур меди, серебра и золота для внедрения в МЭМС-технологии, биосенсорику и медицину, связанную в первую очередь с отсутствием надежных и доступных способов их формирования, гарантирующих долгосрочную стабильность различных параметров полученных наноматериалов. Кроме того, в случае осаждения указанных металлов на планарные участки подложек из монокристаллического кремния, остающегося одним из основных материалов микроэлектроники, фотоники и МЭМС, помимо деградации свойств покрытий из наноструктур серьезную проблему создает их плохо контролируемая адгезионная прочность.

Анализ материалов, представленных в автореферате, показывает, что для достижения поставленной в диссертации цели Бондаренко А.В. предложила использовать формообразующие подложки из частиц и слоев пористого кремния, на поверхность которых химическими и физическими методами осаждаются наноструктуры металлов. Это позволило, управляя геометрией пор и поверхностными свойствами элементов скелета пористого кремния путем варьирования условий его синтеза, достаточно точно задавать структурные параметры формируемых нанообъектов из металлов, а также обеспечивать их долговременную стабильность. Также предварительно вытравленный на планарной поверхности кремниевых пластин тонкий слой пористого кремния позволил управлять адгезией сформированных на нем наноструктурированных покрытий из металлов при изменении пористости. Впервые установленные в ходе выполнения исследований закономерности формирования и свойства наноструктур меди, серебра и золота на поверхности пористого кремния с различной морфологией не только расширило известные возможности покрытий из металлов, но и способствовало разработке новых функциональных материалов на их основе путем трансляции полученных знаний в области, требующие применения альтернативных подложек, обладающих подобными

пористому кремнию геометрией элементов поверхности и физико-химическими свойствами.

Все результаты диссертационной работы и положения, выдвинутые на защиту, отличаются новизной мирового уровня, среди которых особой научной значимостью характеризуются следующие. При помощи разработанных с непосредственным участием Бондаренко А.В. покрытий из плотно упакованных дендритов серебра на пористом кремнии впервые продемонстрирована возможность визуализации единичных молекул на твердотельной ГКР-активной подложке. С использованием методов компьютерного моделирования установлены и дифференцированы механизмы воспроизводимого усиления сигнала комбинационного рассеяния света от низкомолекулярных и высокомолекулярных соединений на поверхности покрытий из бимодально распределенных по размерам частиц серебра на пористом кремнии. Выявлено, что светостимулированному отслаиванию биопленок с поверхности покрытий из частиц серебра размером 250–450 нм на стоматологических коронках из диоксида циркония способствует не их нагрев, вызванный поверхностным плазмонным резонансом, а перенос заряда, который приводит к кратковременному изменению поляризации молекул и последующему ослаблению адгезии пленок из них по отношению к поверхности подложки. Практическая значимость результатов выполнения диссертационного исследования заключается в разработке методик изготовления массивов гибких электродов для МЭМС с использованием жертвенных слоев из наноструктур меди, серебра или золота и пористого кремния; пористых мембран из меди и золота, перспективных для создания эластичных электродов для электропорации большой площади и ГКР-активных подложек на основе макропористого негативного фоторезиста, покрытого конформными пленками из золота, для хорошо воспроизводимого анализа жидкостей, содержащих бактерии и биомолекулы.

Достоверность представленных в диссертации результатов подтверждается использованием соискателем современных методов нанотехнологий, а также наличием многочисленных публикаций в высокорейтинговых изданиях.

В качестве комментария к автореферату необходимо отметить, что измерение поверхностного потенциала подложек из диоксида циркония при химическом осаждении серебра более целесообразным представляется в случае использования брусков с планарной поверхностью, а не зубных коронок со сложной морфологией поверхности. Также при детальном изучении автореферата остался открытым вопрос предела детектирования,

который обеспечивают ГКР-активные подложки на основе бактериологической целлюлозы, покрытой наноструктурами металлов. Хочу подчеркнуть, что данные комментарии не снижают значимости исследования, выполненного Бондаренко А.В. в ходе работы над докторской диссертацией.

Ознакомление с авторефератом позволяет сделать вывод о том, что диссертационное исследование полностью соответствует требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.08 – Нанотехнологии и наноматериалы (материалы для электроники и фотоники).

Выражаю согласие на размещение отзыва в сети Интернет.

начальник Научного отдела теории  
конденсированных сред Лаборатории  
теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова  
Объединенного Института Ядерных  
Исследований  
доктор физико-математических наук



Осипов Владимир Андреевич

141980 г. Дубна, Моск. Обл. ЛТФ ОИЯИ  
Тел: +7(49621)65490, e-mail: osipov@theor.jinr.ru

Дата: 07.06.2023

Подпись Осипова В.А. заверяю

*Зам. директора ЛТФ*

*10.В. Теряев*

