

**ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата химических наук Сотничука Степана Владимировича
на тему: «Электрохимическое формирование металлических нанонитей
для задач сверхпроводниковой микроэлектроники»
по специальностям 1.4.15 – Химия твердого тела и 1.4.6 – Электрохимия**

Представленная диссертационная работа посвящена разработке технологий создания нитевидных металлических наноструктур различного состава и изготовления гибридных сверхпроводящих систем, в которых единичная нанонить выступает в качестве слабой связи между планарными электродами из ниобия. Применение нитевидных наноструктур в электронных устройствах открывает широкие перспективы для их миниатюризации. Такая геометрия является новой и, в сравнении с традиционными технологиями напыления, позволяет существенно уменьшить латеральные размеры систем, а также улучшить характеристические параметры устройств на их основе. Кроме того, в настоящее время методы получения компактных гибридных структур, сочетающих планарные элементы и анизотропные наноструктуры, исследованы в недостаточной степени. В связи с этим **актуальность** темы диссертационной работы Сотничука С.В., посвященной исследованию темплатного электроосаждения монометаллических и сегментированных нитевидных наноструктур для задач сверхпроводниковой микроэлектроники, не вызывает сомнений.

Цель работы состояла в разработке методики получения единичных металлических нанонитей, в том числе содержащих ферромагнитные материалы, для их применения в гибридных системах, где нанонить выступает в качестве слабой связи между планарными сверхпроводящими контактами. В работе рассматриваются системы на основе различных металлов: золота и кобальта. Особое внимание уделяется сегментированным нанонитям Au/Ni с тонкими ферромагнитными прослойками. Для синтеза наноструктур использован эффективный и воспроизводимый метод темплатного электроосаждения в пористые матрицы анодного оксида алюминия.

Новизну данной работы составляет системный подход к получению и аттестации компактных гибридных структур, включающий оптимизацию методик получения нанонитей, изучение их свойств и создание на их основе функциональных гибридных систем. Получены результаты, подтверждающие возможность использования iR -компенсации для определения связи между величиной перенапряжения и преимущественным направлением роста нанонитей в условиях темплатного электроосаждения. Предложен способ получения индивидуальных металлических нанонитей путем добавления стабилизатора поливинилпирролидона в щелочной раствор при растворении темплата. Детально описаны характеристики гибридных систем Nb/Au/Nb при различных температурах и магнитных полях в зависимости от морфологии и микроструктуры нанонитей золота. Представлен автоматизированный способ изготовления сегментированных нанонитей Au/Ni/Au с регулируемой толщиной ферромагнитного слоя и впервые изготовлены SFS-контакты на основе таких нанонитей, проявляющие эффект близости.

Результаты исследования характеризуются высокой степенью **достоверности и надежности**, что обусловлено применением комплексного подхода, включающего как физико-химические методы анализа материалов, так и современные теоретические подходы к моделированию физических процессов. Надежность полученных данных подтверждается возможностью их многократного воспроизведения, отсутствием внутренних противоречий в результатах и соответствием общим физико-химическим законам. **Степень обоснованности положений**, научных выводов по результатам работы и сформулированного заключения обеспечивается правильным определением цели исследования и четкими задачами, а также эффективным использованием доступных методов для их решения.

Практическая значимость работы заключается в возможном использовании предложенных методик темплатного электроосаждения (включая роботизированную установку) и формирования единичных нанонитей для изготовления металлических наноструктур различного

состава. Подход создания гибридных систем на основе нанонитей Au, Co и Au/Ni/Au перспективен для сборки компактных устройств сверхпроводниковой микроэлектроники.

Результаты диссертационной работы представлены в высокорейтинговых международных научных журналах и апробированы на российских и международных научных конференциях.

Диссертационная работа изложена на 140 страницах машинописного текста, иллюстрирована 87 рисунками и 8 таблицами. Список цитируемой литературы содержит 181 наименование. Работа состоит из введения, обзора литературы, экспериментальной части, результатов и их обсуждения, заключения, списка сокращений и условных обозначений, списка литературы, приложения и благодарностей.

Материалы автореферата и научные публикации по теме исследования полностью соответствуют основному тексту диссертации и корректно передают её содержание.

В ходе рассмотрения диссертации и автореферата Сотничука С.В. у меня возникли следующие вопросы и замечания:

1. Диаметр пор от времени выдерживания пористых плёнок в растворе травителя зависит нелинейно (рис. 4.4). В чем причина такой сложной зависимости?
2. Есть ли различия в функциональных свойствах нанонитей Co с различной кристаллографической ориентацией, которую в работе удалось контролировать с помощью потенциала осаждения?
3. Почему диаметр Ni сегмента на рис. 4.32 оказывается меньше диаметра золотых сегментов?

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальностям 1.4.15 – Химия твердого тела и 1.4.6 – Электрохимия (по химическим наукам), а также критериям, определенным

пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Сотничук Степан Владимирович заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальностям 1.4.15 – Химия твердого тела и 1.4.6 – Электрохимия.

Официальный оппонент:

доктор технических наук, профессор кафедры электро- и нанотехнологий Политехнического института ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»

Волгин Владимир Мирович

26.05.2025

Контактные данные:

Тел.: 8(4872)352452, e-mail: volgin@tsu.tula.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

05.03.01 – Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Адрес места работы:

300012, г. Тула, проспект Ленина, д. 92

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет»,

Политехнический институт,

кафедра электро- и нанотехнологий

Тел.: 8(4872)352452, e-mail: volgin@tsu.tula.ru