

Заключение диссертационного совета МГУ.014.8
по диссертации на соискание ученой степени кандидата наук
Решение диссертационного совета от «06» июня 2025 г. № 180

О присуждении Сотничуку Степану Владимировичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Электрохимическое формирование металлических нанонитей для задач сверхпроводниковой микроэлектроники» по специальностям 1.4.15. Химия твердого тела и 1.4.6. Электрохимия принята к защите диссертационным советом «18» апреля 2025 г., протокол № 178.

Соискатель Сотничук Степан Владимирович, 1996 года рождения, в 2024 году окончил очную аспирантуру факультета наук о материалах Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова» по направлению 04.06.01. Химические науки. С октября 2021 г. по настоящее время работает в должности инженера-исследователя на факультете наук о материалах МГУ.

Диссертация выполнена на кафедре электрохимии химического факультета Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова».

Научный руководитель – кандидат химических наук, **Напольский Кирилл Сергеевич**, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», химический факультет, ведущий научный сотрудник кафедры неорганической химии.

Официальные оппоненты:

Волгин Владимир Мирович – доктор технических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», профессор кафедры электро- и нанотехнологий Политехнического института,

Кецко Валерий Александрович – доктор химических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей и неорганической химии им. Н.С. Курнакова Российской академии наук, главный научный сотрудник Центра твердофазных магнитных материалов,

Колотинский Николай Васильевич – кандидат физико-математических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», физический факультет, доцент кафедры атомной физики, физики плазмы и микроэлектроники

дали положительные отзывы на диссертацию.

Выбор официальных оппонентов обосновывался их высокой квалификацией и опытом научной работы в областях химии твердого тела и электрохимии, что подтверждается наличием публикаций в высокорейтинговых журналах. Волгин Владимир Мирович является автором ряда публикаций по теме темплатного электроосаждения нанонитей. Кецко Валерий Александрович имеет большой опыт получения и исследования наноматериалов. Колотинский Николай Васильевич является специалистом в области физики сверхпроводящих материалов и микроэлектроники. Большая часть публикаций официальных оппонентов близка по своей направленности к теме рассмотренной диссертации.

Соискатель имеет 14 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации 4 работы, из них 4 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальностям 1.4.15. Химия твердого тела и 1.4.6. Электрохимия.

1. **Sotnichuk S.V.**, Skryabina O.V., Kushnir S.E., Khmelenin D.N., Bakurskiy S.V., Stolyarov V.S., Napolskii K.S. Automated manufacturing of segmented nanowires with thin ferromagnetic layers: A step towards miniature SFS Josephson junctions // Journal of Materials Chemistry C. 2025. Vol. 13, № 8. P. 4236–4245. DOI: 10.1039/D4TC04751F. JIF = 5,7 (WoS). Объем 0,63 п.л. / объем авторского вклада 60%.
2. **Sotnichuk S.V.**, Skryabina O.V., Shishkin A.G., Golovchanskiy I.A., Bakurskiy S.V., Stolyarov V.S., Napolskii K.S. Controlled electrodeposition of cobalt nanowires using *iR* compensation and their electron transport properties // Nanotechnology. 2024. Vol. 35, № 46. P. 465001. DOI: 10.1088/1361-6528/ad6d72. JIF = 2,9 (WoS). Объем 0,69 п.л. / объем авторского вклада 60%.
3. **Sotnichuk S.V.**, Skryabina O.V., Shishkin A.G., Bakurskiy S.V., Kupriyanov M.Yu., Stolyarov V.S., Napolskii K.S. Long single Au nanowires in Nb/Au/Nb Josephson junctions: Implications for superconducting microelectronics // ACS Applied Nano

Materials. 2022. Vol. 5, № 11. P. 17059–17066. DOI: 10.1021/acsanm.2c03837. JIF = 5,3 (WoS). Объём 0,50 п.л. / объём авторского вклада 60%.

4. Skryabina O.V., Schegolev A.E., Klenov N.V., Bakurskiy S.V., Shishkin A.G., **Sotnichuk S.V.**, Napolskii K.S., Nazhestkin I.A., Soloviev I.I., Kupriyanov M.Yu., Stolyarov V.S. Superconducting bio-inspired Au-nanowire-based neurons // Nanomaterials. 2022. Vol. 12, № 10. P. 1671. DOI 10.3390/nano12101671. JIF = 4,4 (WoS). Объём 0,69 п.л. / объём авторского вклада 15%.

На автореферат диссертации поступило пять дополнительных отзывов, все положительные.

Диссертационный совет отмечает, что представленная диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук является научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований:

1. Впервые показано, что методика iR -компенсации позволяет установить зависимость между перенапряжением и преимущественным направлением роста нанонитей в условиях темплатного электроосаждения.
2. Предложена методика формирования хорошо диспергируемых длинных единичных нанонитей, пригодных для транспортных измерений, при помощи добавления стабилизатора поливинилпирролидона в раствор щёлочи в процессе селективного растворения темплата.
3. Обнаружено, что джозефсоновские переходы Nb/Au/Nb на основе нанонитей золота демонстрируют высокие значения плотности критического тока вплоть до $1,6 \cdot 10^6$ А/см² при 1,2 К. Показана возможность описания экспериментально наблюдаемых полевых и температурных зависимостей транспортных характеристик в рамках модели Узалея для длинных SN-N-NS переходов с диффузным нормальным металлом. Впервые продемонстрировано влияние морфологии и микроструктуры нанонитей золота на свойства формируемых сверхпроводящих систем.
4. На примере гибридных структур Nb/Co/Nb на основе нанонитей кобальта показано, что изготовление электродов с помощью комбинации электронной литографии и магнетронного напыления не загрязняет приповерхностный слой нанонитей и позволяет обеспечить низкое сопротивление интерфейсов между нанонитью и планарными контактами. Установлено, что электронно-транспортные свойства гибридных структур Nb/Co-нанонить/Nb проявляют резистивное поведение во всём исследованном диапазоне температур (0,013–10 К) и длин слабой связи (155–310 нм).

5. Предложена методика автоматизированного изготовления сегментированных нанонитей Au/Ni/Au с возможностью варьирования толщины ферромагнитной прослойки от 7 до 50 нм. Впервые изготовлены SFS-контакты на основе единичных сегментированных нанонитей и продемонстрировано возникновение эффекта близости в таких структурах.

Практическая значимость работы Сотничука С.В. заключается в следующем:

1. Разработанные методики темплатного электроосаждения с использованием роботизированной установки и извлечения нанонитей из темплата с добавлением стабилизатора применимы для изготовления металлических нитевидных наноструктур различного состава.
2. Высокие плотности критического тока исследуемых переходов Nb/Au-нанонить/Nb в сочетании с длительной устойчивостью делают их многообещающими кандидатами для использования в сверхпроводящих гибридных устройствах и нейроморфных системах.
3. Возможность проявления эффекта близости в гибридных структурах на основе сегментированных нанонитей Au/Ni/Au открывает перспективы для реализации субмикронных инверторов сверхпроводящей фазы (π -переходов) и развития технологии создания цифровых вычислительных устройств на основе фазовой логики.
4. Найденные характеристики систем на основе нитевидных наноструктур могут использоваться для теоретического описания мезоскопических явлений в металлических нанонитях и более сложных гибридных структурах.

Диссертация представляет собой самостоятельное законченное исследование, обладающее внутренним единством. **Положения, выносимые на защиту**, содержат новые научные результаты и свидетельствуют о личном вкладе автора в науку:

1. Использование методики компенсации сопротивления электролита при потенциостатическом электрохимическом осаждении нитевидных наноструктур в пористых темплатах анодного оксида алюминия позволяет контролировать преимущественное направление роста нанонитей.
2. Роботизированная электрохимическая установка с автоматической сменой растворов электролитов и контролем прошедшего заряда является подходящим инструментом для изготовления многослойных нанонитей с узким распределением сегментов по длине и ровной границей раздела между ними.

3. Добавление стабилизатора поливинилпирролидона в раствор щёлочи в процессе извлечения нитевидных наноструктур из пористых темплатов АОО приводит к формированию хорошо диспергируемых индивидуальных нанонитей.
4. В джозефсоновских переходах на основе нанонитей золота, расположенных между планарными электродами из ниобия, крупнокристаллическая структура нитей обеспечивает высокие значения критического тока. Для поликристаллических образцов наличие межзёренных границ оказывает негативное влияние на электронный транспорт и возможность проявления эффекта близости.
5. Возникновение наведённой сверхпроводимости в SNFNS-структурах наблюдается при использовании сегментированных нанонитей золото-никель-золото с тонкой ферромагнитной прослойкой и высоким качеством интерфейсов между сегментами.

На заседании «06» июня 2025 г. диссертационный совет принял решение присудить Сотничуку С.В. ученую степень кандидата химических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 25 человек, из них 10 докторов наук по специальности 1.4.15. Химия твердого тела и 4 доктора наук по специальности 1.4.6. Электрохимия, участвовавших в заседании, из 33 человек, входящих в состав совета (дополнительно введены на разовую защиту 4 человека), проголосовали: за – 25, против – нет, недействительных бюллетеней – нет.

Заместитель председателя
диссертационного совета МГУ.014.8
д.х.н., член-корр. РАН

Гудилин Е.А.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.014.8
к.х.н.

Еремина Е.А.