



ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ЭЛЕКТРОХИМИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

ЭЛЕКТРОХИМИЯ-2023

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

23-27 октября, 2023

Россия, Москва

Организаторы



Федеральное государственное
бюджетное учреждение науки
Институт физической химии
и электрохимии
Российской академии наук
(ИФХЭ РАН)



«МКС» – организационно-
технологическое сопровождение в
планировании, организации
и проведении мероприятий



ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ЭЛЕКТРОХИМИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

ЭЛЕКТРОХИМИЯ-2023

СБОРНИК ТЕЗИСОВ ДОКЛАДОВ

23-27 октября, 2023

Россия, Москва

УДК 544.6
ББК 24.57
Э455

Утверждено к печати Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институтом физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук

Э455 Электрохимия–2023: всероссийская конференция по электрохимии с международным участием, 23 – 27 октября, 2023, Москва, Россия. *Сборник тезисов докладов.* — М.: ИФХЭ РАН, 2023. – 492 с.

ISBN 978-5-00202-420-9

В сборнике представлены материалы Всероссийской конференции по электрохимии с международным участием «Электрохимия-2023», которая проходит с привлечением ведущих экспертов в области электрохимии на должном международном уровне.

В сборнике рассмотрены новые подходы общих и теоретических вопросов электрохимии. Представлены результаты научных исследований, отражающие последние достижения в области электрохимического материаловедения, электрохимической энергетики и электроанализа. Обсуждаются актуальные проблемы биоэлектрохимии и биоэнергетики. Представлены результаты экспериментальных исследований в области органической электрохимии и электрохимии мембран. Широко представлены новые подходы в исследовании коррозионных явлений и анодных оксидных пленок.

Представлены результаты экспериментальных и теоретических исследований молодых учёных по научным направлениям конференции, сделанные на молодежной сессии.

Тезисы докладов представлены в авторской редакции.

Для широкого круга электрохимиков, химиков, физиков, экологов, инженеров, специалистов научно-исследовательских групп, организаций, аспирантов и студентов.

Научное издание

Редакционная коллегия:

проф. Воротынцев М.А., Кулькова Т.А., проф. Некрасов А.А.,
к.х.н. Некрасова Н.В.

ISBN 978-5-00202-420-9

© Авторы научных статей, 2023
© ИФХЭ РАН, 2023

УПРАВЛЕНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ОРИЕНТАЦИЕЙ НАНОНИТЕЙ КОБАЛЬТА В ПРОЦЕССЕ ТЕМПЛАТНОГО ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ

**С.В. Сотничук^{1,2,4}, О.В. Скрябина^{3,4}, В.С. Столяров^{2,3,4},
К.С. Напольский^{1,4}**

¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

² ВНИИА им. Н.Л. Духова, Москва, Россия

³ Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

⁴ Университет науки и технологий «МИСиС», Москва, Россия

sotnichuksv@my.msu.ru

Сверхпроводящие гибридные структуры на основе металлических нанонитей могут использоваться для создания нового типа логических элементов малого размера, обладающих высокой чувствительностью и малыми потерями энергии. Показано, что наведённая сверхпроводимость в таких системах может возникать не только в нанонитях из нормального металла, но и из ферромагнитных материалов [1]. Среди ферромагнетиков наибольший интерес представляют нанонити кобальта, поскольку их магнитные свойства определяются вкладом как анизотропии формы, так и магнитокристаллической анизотропии [2].

Темплатное электроосаждение нанонитей кобальта различного диаметра широко описано в научной литературе как один из самых подходящих методов формирования высокоанизотропных наноструктур. Тем не менее, многие работы используют гальваностатический режим осаждения или осаждение в двухэлектродной ячейке при постоянной разнице потенциалов. Данные режимы не позволяют контролировать потенциал осаждения в процессе роста нанонитей, а, следовательно, невозможно устанавливать его влияние на кристаллографическую ориентацию формирующихся наноструктур. В данной работе для учёта омического падения потенциала в растворе электролита было предложено проводить электроосаждение в трёхэлектродной ячейке с использованием iR -компенсации. Это помогает приблизить значение измеряемого потенциала осаждения к действительному и проследить изменение текстуры нанонитей от реального перенапряжения.

Нанонити кобальта получали осаждением из электролита, содержащего 1,3 М CoSO_4 и 0,65 М H_3BO_3 . Значение компенсируемого сопротивления равнялось 60 Ом, что составляло ~90% от сопротивления раствора, измеренного при помощи методики прерывания тока (*i-Interrupt*). Для увеличения конвективного массопереноса ионов металла, а также удаления образующихся пузырьков водорода в ходе работы была реализована циркуляция раствора электролита при помощи перистальтического насоса. Осаждение проводили при потенциалах осаждения в диапазоне $[-1,0; -0,8]$ В, в качестве рабочего электрода выступала пористая плёнка анодного оксида алюминия (АОА) с напылённым токосъёмником, вспомогательным электродом служила Pt проволока, электродом сравнения являлся насыщенный (KCl) Ag/AgCl электрод, соединённый с ячейкой через капилляр Луггина-Габера. Извлечение нанонитей из АОА проводили в 1,25 М растворе NaOH с добавлением 4 г/л поливинилпирролидона – стабилизатора, который позволяет уменьшить агрегацию нитей. На основе единичных нанонитей кобальта с помощью электронной литографии и магнетронного напыления были изготовлены планарные Co/Nb гибридные структуры со сверхпроводящими берегами из ниобия.

В ходе работы в серии потенциостатических осаджений кобальта на гладкие Si/Au подложки было установлено, что в отсутствии iR -компенсации значения потенциалов осаднения являются сильно завышенными. При потенциалах отрицательнее $-1,0$ В становится значительным вклад выделения водорода. Темплатное осаднение с компенсацией сопротивления позволяет формировать массивы нанонитей кобальта с равномерным заполнением матрицы АОА вплоть до самого верха. По данным рентгенофазового анализа наблюдается кристаллизация гексагональной фазы кобальта для всех потенциалов осаднения в диапазоне $[-1,0; -0,8]$ В. Рефлексов, соответствующих оксидным фазам, не обнаружено. Показано, что при смещении потенциала осаднения в область более отрицательных значений происходит постепенное изменение преимущественного направления роста нанонитей с $[10-10]$ на $[11-20]$. Судя по данным ПЭМ и элементного картирования, нанонити кобальта покрыты оксидной оболочкой толщиной около 3 нм, диаметр металлической центральной части составляет ~ 70 нм. Картины электронной дифракции с точечными рефлексами свидетельствуют о монокристаллической структуре нанонитей на участках длиной ~ 200 нм. При этом плоскости $(10-10)_{\text{hcp}}$ и $(11-20)_{\text{hcp}}$ оказываются перпендикулярны длинной оси нанонитей, осадённых при потенциале $-0,8$ В и $-1,0$ В, соответственно, что согласуется с результатами РФА. Тем самым, методика iR -компенсации позволяет установить зависимость между преимущественным направлением роста нанонитей кобальта и перенапряжением в условиях темплатного электроосаднения.

Результаты транспортных измерений Co/Nb гибридных структур с длиной участков Co нанонитей между Nb сверхпроводящими берегами в диапазоне от 280 до 365 нм показывают, что перехода ферромагнитного участка кобальта в сверхпроводящее состояние не наблюдается. Вольтамперные характеристики, измеренные при $T = 1,2$ К, имеют омический ход, критические токи отсутствуют. Полученные значения удельного сопротивления нанонитей согласуются с табличным значением для объёмного кобальта, равным 5,8 мкОм·см. По всей видимости, эффект близости нельзя наблюдать на таких длинных участках кобальтовых нитей, а джозефсоновское поведение SFS-структур в работе [1], возможно, связано с подпылением материала контактов в область нанонити при использовании метода FIB.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФ №22-23-00984 и НИТУ «МИСиС» К2-2022-029.

Литература

1. Wang, J.; Singh, M.; Tian, M.; Kumar, N.; Liu, B.; Shi, C.; Jain, J.K.; Samarth, N.; Mallouk, T.E.; Chan, M.H.W. Interplay between superconductivity and ferromagnetism in crystalline nanowires // Nat. Phys. 2010. vol. 6, p. 389–394.
2. Cattaneo, L.; Franz, S.; Albertini, F.; Ranzieri, P.; Vincenzo, A.; Bestetti, M.; Cavallotti, P.L. Electrodeposition of hexagonal Co nanowires with large magnetocrystalline anisotropy // Electrochim. Acta 2012. vol. 85, p. 57–65.