

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ПЕРСПЕКТИВНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНОЛОГИЙ»

ТРУДЫ

XXIX МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА»

(Севастополь, 08-13 июля 2019 г.)

под редакцией заслуженного деятеля науки РФ,
д.ф.-м.н., проф. Бондаренко Г.Г.

УДК 669.
ББК 22.38
Р15
ISBN 978-5-89671-024-0

Труды XXIX Международной конференции «Радиационная физика твёрдого тела» (Севастополь, 08 – 13 июля 2019 г.), под редакцией заслуженного деятеля науки РФ, д.ф.-м.н., проф. Бондаренко Г.Г., М.: ФГБНУ «НИИ ПМТ», 2019 г., 500с.

В рамках конференции проводилась XXIII Международная школа молодых учёных «Радиационная физика твёрдого тела».

Редакционная коллегия:

д.ф.-м.н., проф. Бондаренко Г.Г. (ответственный редактор,
Председатель Оргкомитета),
к.ф.-м.н. Дьячкова И.Г. (ученый секретарь),
Смирнова Е.В. (секретарь-координатор),
к.т.н. доцент Мамонтов А.В. (Врио директора ФГБНУ «НИИ
ПМТ»),
д.ф.-м.н., проф. Кристя В.И.,
к.ф.-м.н. Гайдар А.И.

УДК 669.
ББК 22.38
© Издательство ФГБНУ «НИИ ПМТ», 2019

ISBN 978-5-89671-024-0

© Труды XXIX Международной
конференции «Радиационная физика
твёрдого тела»

ПРОГРАММА-СОДЕРЖАНИЕ

Понедельник, 8 июля

10.00-13.00

Открытие конференции - Бондаренко Г.Г.

1. Аббасов Ж.А., Диков А.С., Иванов И.А., Калинин Б.А., Стальцов М.С., Чернов И.И. «Изменение химического состава и структуры поверхности стали X18H10T при высокодозном облучении ионами Fe ¹⁰⁺ с энергией 98 МэВ»	10
2. Рогожкин С.В., Искандаров Н.А., Никитин А.А., Хомич А.А., Хорошилов В.В., Богачев А.А., Лукьянчук А.А., Разницын О.А., Шутов А.С., Кулевой Т.В., Федин П.А., Васильев А.Л., Пресняков М.Ю., М.В. Леонтьева-Смирнова, Е.М. Можанов, А.А. Никитина «Исследование микроскопических причин радиационного упрочнения сталей ЭК-181 и ЧС-139 с помощью имитационного облучения ионами»	21
3. Овчинников В.В., Шаломов К.В., Макаров Е.В., Чолах С.О., Дрёмов В.В., Самарин С.И., Караваев А.В. «О независимости спектров свечения металлических мишеней от энергии и атомной массы имплантируемых ионов. Теория, эксперимент»	33
4. Бондаренко Г.Г., Мьо Ти Ха, Фишер М.Р., Кристя В.И. «Расчет напряжения зажигания разряда в смеси аргона с парами ртути при низких температурах»	44
5. Загорский Д.Л., Долуденко И.М., Бизяев Д.А., Бедин С.А., Черкасов Д. А., Фролов К.В., Домнина М.А. «Трековые мембраны в создании металлических нанопроволок различных типов»	51
6. Брызгин А.А., Коробейников М.В., Кондратьев С.А., С.А., Ростовцев В.И. «Эффекты дальнего действия при взаимодействии электронного пучка с кристаллическими веществами»	55

13.00-14.00 Перерыв.

14.00-16.00 Секция “Радиационная физика металлов” (заседание школы молодых ученых)

1. Долуденко И.М., Черкасов Д.А., Жигалина О.М., Хмеленин Д.Н., Иванов И.М., Бедин С.А., Бондаренко Г.Г., Загорский Д.Л., Шаталов А.С. «Электрохимическое	65
---	----

заполнение ядерных фильтров (трековых мембран) для получение нанопроволок переменного состава»	
2. Черкасов Д.А., Хайбуллин Р.И., Артёмов В.В., Долуденко И.М., Домнина М.А., Загорский Д.Л. «Аспекты электроосаждения ферромагнитных металлов и сплавов в порах трековой мембраны в присутствии магнитного поля»	73
3. Шаталов А.С., Дюжиков И.Н., Чигарев С.Г., Загорский Д.Л., Муслимов А.Э., Асваров А.Ш., Бондаренко Г.Г., Долуденко И.М., Черкасов Д.А. «Инжекция электромагнитного излучения терагерцевой частоты на массивах нанопроволок»	80
4. Панов Д.В., Бондаренко Г.Г., Бедин С.А., Долуденко И.М., Загорский Д.Л. «Трековые матрицы для получения массива конусовидных наноструктур»	84

16.00 – 17.00. Обсуждение докладов. Дискуссия.

Вторник, 9 июля

10.00-13.00 Секция “Радиационная физика неметаллических материалов”

1. Милёхин Ю.М., Коптелов А.А., Коптелов И.А., Садовничий Д.Н. «Влияние ионизирующего излучения на кинетику термического разложения энергетических материалов»	90
2. Палатников М.Н., Сидоров Н.В., Макарова О.В., Панасюк С.Л. «Пороговые эффекты и радиационно-индуцированные концентрационные аномалии физических характеристик в кристаллах LiNbO ₃ :ZnO»	99
3. Рысбаев А.С., Хужаниёзов Ж.Б., Игамов Б.Дж., Талипова Ш.А., Ибрагимова Б.В., Саидахмедова З.Р., Шомухамедова Д.С. «Структура пленок силицидов MeSi (Me: Na, Rb, Cs, Li) по данным электронной микроскопии и дифракции медленных электронов»	109
4. Ашуров Х.Б., Кутлимуротов Б.Р., Оксенгендлер Б.Л. «Влияние радиации на границу раздела кристаллический кремний/аморфный кремний»	113
5. Черкашина Н.И., Гавриш В.М., Чайка Т.В. «Исследование радиационно-защитных свойств композитных материалов»	122
6. Орлова М.Н., Юрчук С.Ю., Диденко С.И., Таперо К.И.,	130

Рабинович О.И., Сизов С.С. «Деградация А ^{III} В ^V фотоэлектрических преобразователей при ионизирующем излучении»	
7. Королев Д.С., Никольская А.А., Терещенко А.Н., Михайлов А.Н., Белов А.И., Павлов Д.А., Сушков А.А., Тетельбаум Д.И. «Новые ионно-лучевые подходы к формированию кремниевых светоизлучающих наноматериалов»	140

13.00-14.00 Перерыв.

14.00-16.00 Секция “Радиационная физика неметаллических материалов” (заседание школы молодых ученых)

1. Епифанов Н.А., Грибков В.А., Демин А.С., Латышев С.В., Масляев С.А., Морозов Е.В., Пименов В.Н., Сасиновская И.П., Сиротинкин В.П., Спрыгин Г.С. «Повреждаемость монокристалла кремния импульсными потоками ионов гелия и гелиевой плазмы»	148
2. Огородников Д.А., Жданович Д.Н., Якушевич А.С., Ластовский С.Б., Мурин Л.И., Маркевич В.П., Шпаковский С.В. «Влияние электрического поля на образование радиационно-индуцированных центров в кремнии р-типа при облучении α -частицами»	160
3. Ашуров М.Х., Нуритдинов И., Саидахмедов К.Х., Бойбобоева С.Т. «Исследование радиационно-стимулированного изменения оптических свойств в монокристаллах и нанокерамиках на основе CaF ₂ -YbF ₃ »	170
4. Андреев Д.В., Бондаренко Г.Г., Волков А.Н., Масловский В.М. «Механизмы формирования поверхностных состояний в МОП транзисторах при протонных воздействиях»	179
5. Ахмелкин Д.М., Андреев В.В., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Романов А.В. «Моделирование процессов изменения зарядового состояния МДП-структур при радиационных воздействиях в условиях протекания постоянного инжекционного тока»	189
6. Титов П.А. «Исследование воспроизводимости пьезокерамикой управляющего сигнала»	197
7. Титов П.А. «Проведение электрических испытаний пьезокерамических элементов макетов пьезонасосов»	202

16.00 – 17.00. Обсуждение докладов. Дискуссия.

Среда, 10 июля

10.00 – 13.00 Секция “Радиационная физика металлов”

1. Аверин С.А., Цыгвинцев В.А. «Влияние длительного низкотемпературного нейтронного облучения и содержания водорода на состояние и свойства сплава Zr-2,5%Nb»	209
2. Голосов О.А., Кузина Т.Л., Панченко В.Л. «Влияние высокодозного нейтронного облучения на структуру, коррозионные и электрохимические свойства ферритно-мартенситной стали ЭП-450»	219
3. Портных И.А., Козлов А.В., Исинбаев А.Р. «Прогнозирование развития радиационной пористости в аустенитной стали 07С-16СR-19NI-2МО-TI-SI-V-P-B, облученной при температурах 715-815 К до повреждающих доз 72-92 СНА»	233
4. Юрченко Е.В., Марголин Б.З., Костылев В.И., Морозов А.М., Варовин А.Я. «Механизмы низкотемпературного радиационного охрупчивания материалов опорных конструкций корпусов реакторов типа ВВЭР»	245
5. Овчаренко А.М., Чернов И.И. «К теории развития газовой пористости в металлах»	247
6. Бордулев Ю.С., Кудияров В.Н., Лаптев Р.С., Лидер А.М., Аникин М.Н., Наймушин А.Г. «Получение источника позитронов на основе изотопа МЕДИ-64 путем облучения тепловыми нейтронами для позитронной спектроскопии систем металл-водород»	255

13.00-14.00 Перерыв.

14.00-16.00 Секция «Радиационная физика полупроводников»

1. Толкачева Е.А., Мурин Л.И., Медведева И.Ф. «Образование вакансионно-кислородных комплексов VO_n ($n \geq 5$) в облученных кристаллах кремния»	261
2. Белько В.И., Гусаков В.Е. Дорожкин Н.Н. «Параметризация потенциала EDIP для германия»	270
3. Гусаков В. Е., Гусакова Ю. В., Тау Бенг Канг «Исследование из первых принципов формирования и диффузии точечных дефектов в объемном и двумерном дисульфиде»	273

молибдена»	
4. Акрамова Р.Б., Тураева Н.Н., Ашуров Р.Х., Рузиев Ш.С., Мукимов К.М, Оксенгендлер Б.Л. «Сравнительная эффективность радиационного дефектообразования в квазиодномерных системах на основе углерода и кремния»	283

16.00 – 17.00. Обсуждение докладов. Дискуссия.

Четверг, 11 июля

10.00-13.00 Секция “Физические основы радиационных технологий”

1. Пискарев М.С., Гильман А.Б., Зиновьев А.В., Кечекьян А.С., Гайдар А.И., Кузнецов А.А. «Контактные и адгезионные свойства полиэтилентерефталата, модифицированного в низкотемпературной плазме»	291
2. Виноградов А.Н., Дьячкова И.Г., Монахов И.С., Шахбазов С.Ю., Шупегин М.Л. «Исследование механических свойств алмазоподобных кремний-углеродных пленок, легированных ванадием»	297
3. Рысбаев А.А., Хужаниёзов Ж.Б., Рысбаев А.С., Нормурадов М.Т., Бекпулатов И.Р., Нормурадов Д.А., Саидахмедова З.Р. «Формирование наноразмерных пленок силицидов на поверхности Si (111) и Si (100) методом низкоэнергетической ионной имплантации»	308
4. Шаропов У.Б., Атабаев Б.Г., Джаббарганов Р., Стельмах В.Г. «Радиационное стимулирование образования дефектов на поверхности кристалла Si разными по массе ионами»	316
5. Михайлов Б.П., Никулин В.Я., Михайлова А.Б., Силин П.В., Крутских Н.А., Алибеков С.Я., Боровицкая И.В. «Воздействие механических и плазменных ударных волн на структуру и свойства сверхпроводников»	320

13.00-14.00 Перерыв.

14.00-16.00 Секция “Радиационная физика неметаллических материалов»

1. Мадатов Р.С., Алекперов А.С., Набиев А.Э., Гасанов О.М. «Влияние гамма облучения на фотопроводимость монокристаллов $Ge_{1-x}Nd_xS$ »	333
--	-----

2. Глазов С.Ю., Сыродоев Г.А. «Управление проводимостью двумерной сверхрешетки на основе графена поперечными статическим и переменным электрическими полями с учетом ионизации примеси»	338
3. Глазов С.Ю. «Плотность плазменных возбуждений в двумерной сверхрешетке на основе графена»	345
4. Ерофеев В.Т., Урбанович А.И. «решение задач экранирования круговых пучков электромагнитных волн плоским магнитодиэлектрическим экраном»	352

16.00 – 17.00. Обсуждение докладов. Дискуссия.

Пятница, 12 июля

10.00-13.00 Секция «Физические основы радиационных технологий»

1. Арутюнян В.В., Алексанян Э.М., Бадалян А.О., Петросян Л.А, Баграмян В.В., Саргсян А.А, Манукян Х. «Структура и радиационная стойкость модифицированных терморегулирующих материалов»	363
2. Асадчиков В.Е., Дьячкова И.Г., Золотов Д.А. «Коррекция характеристик р _{in} фотодиодов путем имплантации протонов с последующим отжигом»	371
3. Кривонос Ю.С., Асадчиков В.Е., Бузмаков А.В., Пантюшов В.В. «Применение рентгеновской микротомографии для IN-VITRO идентификации желчных камней холестерина типа»	381
4. Брызгин А.А., Коробейников М.В., Кондратьев С.А., Михайленко М.А., Ростовцев В.И. «Радиационно-термические процессы при обработке пирита и железосодержащих руд»	387
5. Солодуха В.А., Пилипенко В.А., Горушко В.А., Понарядов В.В., Комаров Ф.Ф., Углов В. В. «Структурно-фазовые изменения в системе платина-кремний при быстрой термообработке»	396

13.00-14.00 Перерыв.

14.00-16.00 Секция «Радиационная физика металлов»

1. Колокольцев В.Н., Масляев С.А., Боровицкая И.В., Кобелева Л.И., Дегтярев В.Ф., Силин П.В., Никулин В.Я., Гайдар А.И. «Выброс частиц тугоплавких металлов с поверхности фольг под воздействием ударных волн,	407
--	-----

генерируемых на установке плазменный фокус»	
2. Казенов К.Б. «Определение параметров нейтронного облучения мишеней из изотопов ИТТЕРБИЯ-176 и МОЛИБДЕНА-98 для наработки необходимого количества радиоизотопов ЛЮТЕЦИЙ-177 и МОЛИБДЕН-99»	419
3. Селищев П.А. ««Возмущенная» автоволна отжига дефектов»	424
4. Цепелев А.Б., Виноградова Н.А. «Размерный эффект при измерении нанотвердости облученных металлов»	436

16.00 – 17.00. Обсуждение докладов. Дискуссия.

Суббота, 13 июля

10.00

1. Боровицкая И.В., Пименов В.Н., Грибков В.А., Епифанов Н.А., Масляев С.А., Михайлова А.Б., Бондаренко Г.Г., Гайдар А.И., Демина Е.В., Прусакова М.Д. «Структурно-фазовые изменения в поверхностных слоях ферритно-мартенситных сталей под действием импульсной плазменно-пучковой обработки»	444
2. Жарков М.Ю., Вертков А.В., Люблинский И.Е., Тажибаева И.Л., Понкратов Ю.В. «Разработка прототипов литиевых внутрикамерных элементов с активной системой охлаждения для токамаков Т-15МД и КТМ»	464
3. Дьячкова И.Г., Монахов И.С., Шахбазов С.Ю., Шупегин М.Л. «Исследование электрофизических свойств металлсодержащих нанокompозитов при концентрации нанофазы до порога перколяции»	472
4. Хасаншин Р.Х., Костюк В.И., Применко Д.А. «Расчётно-экспериментальное моделирование взаимодействия электронов с натриево-калийным силикатным стеклом»	480
5. Селищев П.А., Летоба Дж., Боков П.М. «Особенности развития инициированного отжига радиационных дефектов»	490
Обсуждение докладов	
Общая дискуссия	
Заккрытие конференции	

ТРЕКОВЫЕ МАТРИЦЫ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ МАССИВА КОНУСОВИДНЫХ НАНОСТРУКТУР

Панов Д.В.^{1,2}, Бондаренко Г.Г.¹, Бедин С.А.^{2,3}, Долуденко И.М.^{1,2},
Загорский Д.Л.²

¹ Национальный исследовательский университет «Высшая школа
экономики» (101000, ул. Мясницкая, д.20, Москва, Россия)

² Федеральный научно-исследовательский центр "Кристаллография и
фотоника" РАН (119333, Ленинский пр., д.59, Москва, Россия)

³ Московский педагогический государственный университет
(119991, ул. Малая Пироговская, дом 1, строение 1, Москва, Россия
dggamer@mail.ru)

Аннотация

Данная работа посвящена применению трековых технологий для получения конусовидных наноструктур. Проведено исследование полученных структур на электронном микроскопе. В ходе работы подбирались методы получения ростовой матрицы-реплики, необходимой для получения данных структур, затем подбирался режим осаждения, после чего полученные наноструктуры исследовались на растровом электронном микроскопе. Основной задачей работы было выяснение зависимости формы этих наноконусов от условия их получения.

Введение

В настоящий момент большой интерес представляют различные наноматериалы. Существует и активно развивается большое количество методов получения различных наноструктур. Среди них матричный синтез наноструктур, включая нанопроволоки. Нанопроволоки, в свою очередь могут иметь различную форму; чаще всего это цилиндрическая форма. Однако известно, что при определённых условиях могут быть получены и нанопроволоки переменного сечения - например, имеющие коническую форму. Такие структуры могут применяться в качестве эмиттеров электронов или ионов, поскольку они обладают эффектом автоэлектронной эмиссии, а также в качестве элементов в устройствах спинтроники. Представляют интерес конические структуры, состоящие из магнитных или немагнитных металлов. Такие наноконусы могут иметь ряд интересных приложений – например, в качестве структурных элементов магнитной записи [1,2].

Методика эксперимента

На первом этапе использовалась пористая матрица с тупиковыми конусовидными порами. Для этого были взяты пленки из ПЭТФ (полиэтилентерефталат) толщиной 10 мкм, которые облучались тяжелыми ионами на ускорителе (ОИЯИ, г. Дубна). Далее эта облученная пленка подвергалась специальному травлению для получения конусообразных пор.

Известно, что для получения пор конической формы можно использовать спирто-щелочной раствор. В настоящей работе использовался двухнормальный раствор щелочи NaOH в смеси этилового спирта с водой. Были выбраны три концентрации этилового спирта - 25, 50 и 75%, четыре температурных режима – от 10°C до 60°C и пять временных промежутков травления - от 5 до 60 минут. Травление проводилось в различных режимах, с различной комбинацией описанных параметров.

На втором этапе проводилась металлизация медью пленки с коническими отверстиями. Металлизация проводилась для создания электропроводящего слоя на одной из поверхностей пленки. Этот процесс проводился методом термического распыления меди на приборе ВУП-4.

После получения шаблонов с порами и их металлизации было проведено их электронномикроскопическое исследование.

Образцы исследовались на растровом электронном микроскопе JCM-6000plus японской компании JEOL Ltd в режиме вторичных электронов, при ускоряющем напряжении 15 кВ и увеличениях 3 и 6 тысяч раз.

Пример полученной структуры (для образца, протравленного при температуре 40°C и 75%-ной концентрации этилового спирта в течение 10 минут) представлен на рис.1

На рис.1 в структуре полимерной пленки можно видеть поры с диаметром основания 800 – 900 нм.

На третьем этапе проводилось осаждение меди на металлическую поверхность полученной пленки, а также в конические отверстия.

Был подобран оптимальный потенциал для гальванического осаждения меди – он составил 0,6 В. Это связано с тем, что при повышении потенциала медь будет осаждаться быстрее, что может привести к неравномерности и к закупорке пор. При использовании меньшего потенциала процесс идет слишком медленно.

В выбранном режиме осаждение меди проводилось в течение 10 минут. Для электрохимического осаждения использовался электролит следующего состава: $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 200 г/л; H_2SO_4 - 10 г/л [3,4,5].

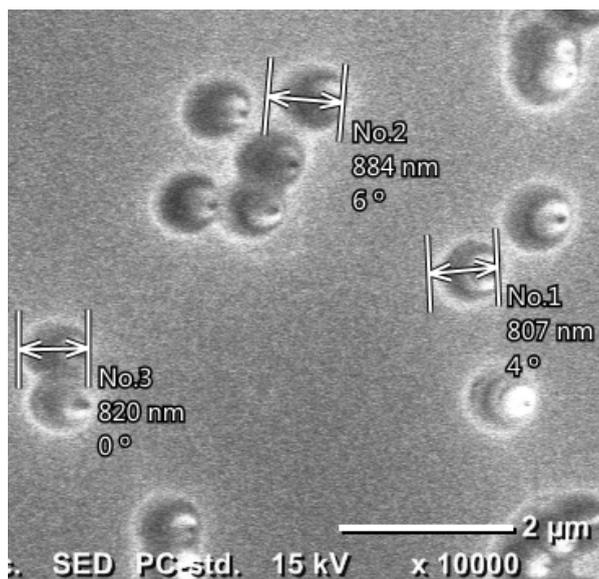


Рис.1. Микрофотография полимерной пленки с конусовидными порами

На четвертом этапе полученные образцы подвергались травлению в течение двух часов при температуре 60°C для удаления полимерной матрицы. Использовался раствор с содержанием шестинормальной щёлочи (NaOH).

На пятом этапе проводилось исследование получившихся массивов проволок конической формы на растровом электронном микроскопе.

На рис 2а представлена структура, полученная с использованием шаблона, протравленного в растворе с 50%-ной концентрацией этилового спирта при температуре 40°C в течение 10 минут. На рис 2б показана микрофотография образца, полученная при электроосаждении в поры шаблона, протравленного в растворе с 75%-ной концентрацией этилового спирта при температуре 20°C в течение 20 минут.

На рис 2а видны конусы с диаметром основания 450 нм и высотой 6 мкм, а на рис. 2б видны конусы с диаметром основания 350 нм и высотой 1 мкм.

Анализ полученных изображений показывает, что в некоторых случаях образуются медные реплики с формой близкой к конической.

Выявлено, что повышение температуры и повышение концентрации этилового спирта приводит к получению конических структур с большим углом при вершине.

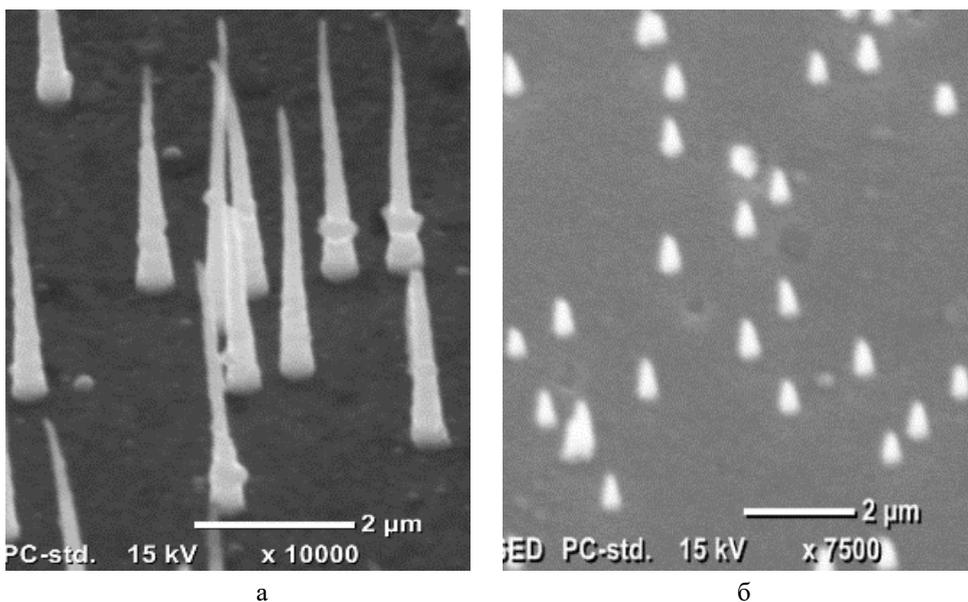


Рис2. СЭМ-изображение массивов нанопроволок

Было также выявлено, что добавление блескообразователя ЦКН-74 в сернокислый раствор для осаждения меди в поры уменьшает образующиеся кристаллы, благодаря чему образуется острое у конусов. На рис. 3 представлены микрофотографии массивов конусов как с добавлением блескообразующей добавки ЦКН-74 (рис.3а), так и без нее (рис. 3б).

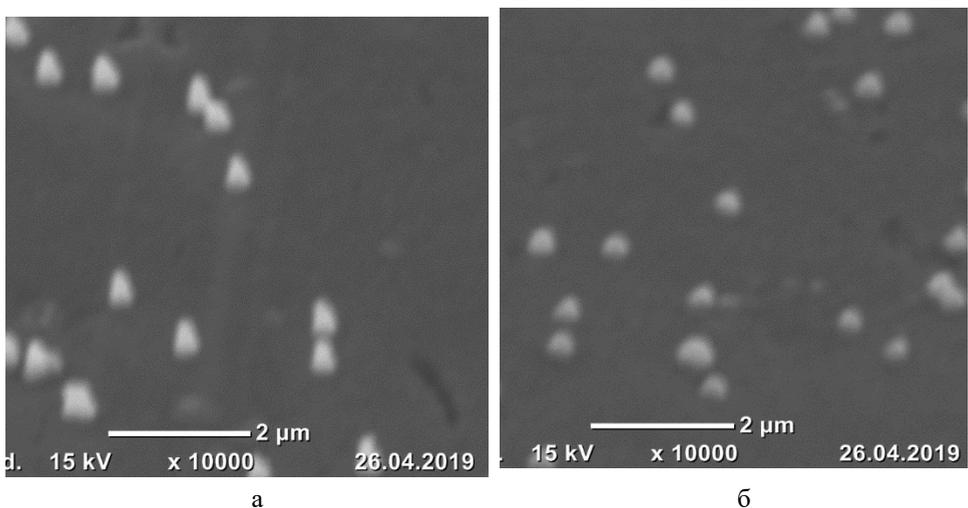


Рис3. СЭМ-изображение массивов НП: (а) с ЦКН-74; (б) чистый раствор

Далее было получено изображение массива НП методом атомно-силовой микроскопии, пример которого представлен на рис. 4б, наряду с СЭМ-изображением (рис. 4а).

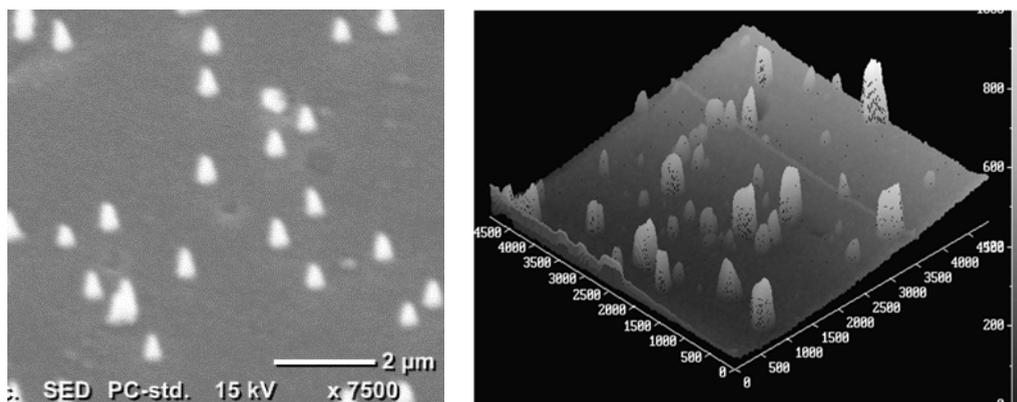


Рис4. (а) СЭМ-изображение массива НП; (б) АСМ-изображение массивов НП

Полученные изображения демонстрируют корреляцию изображений СЭМ и АСМ. Кроме того, они позволяют детально оценить топографию наконечника. Таким образом, форма наконечников, отличающихся от конуса, предполагает, что электролит не полностью заполняет «дно» конической поры во время процесса гальванического покрытия. Чтобы преодолеть этот негативный эффект, было использовано несколько типов добавок. Было показано, что использование блескообразователя дало наилучший эффект.

Заключение

Были получены образцы наноконусов, выращенные матричным синтезом, путем гальванического заполнения пор металлом. Показано, что геометрические параметры конических пор определяются условиями их травления – температурой и концентрацией.

Работа проводилась с использованием оборудования ЦКП ФНИЦ Кристаллография и фотоника РАН.

Благодарности

Работы проводилось в рамках государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН), синтез нанопроволок проводился при частичной поддержке гранта РФФИ 18-32-01066. Авторы благодарны проф. П.Ю. Апелю (ОИЯИ, г. Дубна) за предоставление образцов мембран.

Литература

1. R. Spohr and K. Bethge, Ion tracks and microtechnology: principles and applications. 1990.

2. M. E. Toimil Molares et al., Etched heavy ion tracks in polycarbonate as template for copper nanowires, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At.*, vol. 185, no. 1–4, pp. 192–197, Dec. 2001.
3. Структура и магнитные свойства нанопроволок из металлов группы железа, полученных методом матричного синтеза; Загорский Д.Л., Фролов К.В., Бедин С.А., Перунов И.В., Чуев М.А., Ломов А.А., Долуденко И.М. // *Физика твердого тела*, Т 60 выпуск 11, 2018, С 2075 – 2087.
4. Specific Features of Obtaining of Metal Nanowires by Replication of Pores of Track Etched Membranes, D. Zagorskiy, I. Doludenko, A. Shatalov, *Key Engineering Materials*, Vol. 781, pp. 170-175, 2018.
5. M. Rauber, Controlled Synthesis of Nanowire Assemblies by Ion-Track Template Electrodeposition, Dissertation, TU Darmstadt, Fachbereich Material- und Geowissenschaften, Darmstadt, Deutschland, 2012.