

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Российская академия наук  
ФГБУН «Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук»  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный химико-технологический университет»  
Российская академия естественных наук**

# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ. ЭЛЕКТРОХИМИЯ В НАСТОЯЩЕМ И БУДУЩЕМ**

**XVI ПЛЁССКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

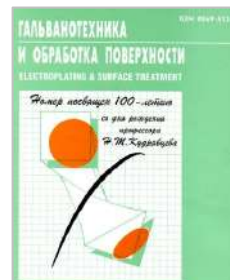
**22 – 26 сентября 2025 г.  
г. ПЛЁС, ИВАНОВСКАЯ ОБЛ., РОССИЯ**

УДК 544.6 (043.2)

Современные проблемы теоретической и прикладной электрохимии. Электрохимия в настоящем и будущем». XVI Плесская Международная научная конференция, г. Плес, Ивановская обл., 22-26 сентября 2025 г. Тезисы докладов.- Иваново: Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, 2025. - 107 с.: ил.

ISBN 978-5-905364-23-5

#### Информационные партнеры:



ХиХТ - <http://journals.isuct.ru/ctj> РХЖ - <http://journals.isuct.ru/rcj> ГиОП - <http://www.galvanotehnika.info/>

#### Спонсоры конференции

АО "Научно-производственное предприятие "Исток"  
имени А.И. Шокина

141190, г. Фрязино, Московская область, Вокзальная  
ул., д.2а, корпус 1, комната 65, этаж 2

Наш телефон: +7 (495) 465-86-80

E-mail: [info@istokmw.ru](mailto:info@istokmw.ru)

Сайт: <http://www.istokmw.ru/>



Научно-производственная компания SmartStat  
Современное оборудование для электрохимических  
измерений и испытаний SmartStat®

Изготовитель: Electrochemical Instruments

Россия, Московская область, г. Черноголовка

Телефон: 8(495)720-31-57

e-mail: Отдел продаж: [sales@smart-stat.ru](mailto:sales@smart-stat.ru)

Адрес тех. поддержки: [potentiostat@mail.ru](mailto:potentiostat@mail.ru)

Сайт: <https://smart-stat.ru/>



ОАО «Электонд»

427968, Удмуртская Республика,

г. Сарапул, ул. Калинина, д.3,

тел./факс (34147) 4-27-53, 4-32-48

e-mail: [elecond@elcudm.ru](mailto:elecond@elcudm.ru)

Сайт: [www.elecond.ru](http://www.elecond.ru)

ISBN 978-5-905364-23-5

© Институт химии растворов  
им. Г.А. Крестова РАН, 2025

## **ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ**

### **Председатель организационного комитета:**

проф. Парфенюк В.И. (ИХР РАН, Иваново)

### **Сопредседатель:**

проф. Базанов М. И. (ИГХТУ, Иваново)

### **Ученые секретари:**

к.х.н. Долинина Е.С. (ИХР РАН, Иваново)

к.т.н. Тесакова М.В. (ИХР РАН, Иваново)

### **Члены оргкомитета:**

проф. Андреев В.Н. (ИФХЭ РАН, Москва)

чл.-корр. РАН Антипов Е.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)

проф. Базанов М.И. (ИГХТУ, Иваново)

проф. Винокуров Е.Г. (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва)

проф. Волков С.С. (РВВДКУ имени В.Ф. Маргелова, Рязань)

проф. Воротынцев М.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва)

проф. Галяметдинов Ю. Г. (КНИТУ, Казань)

проф. Гордина Н. Е. (ИГХТУ, Иваново)

проф. Давыдов А.Д. (ИФХЭ РАН, Москва)

проф. Ившин Я.В. (КНИТУ, Казань)

проф. Киселев М.Г. (ИХР РАН, Иваново)

проф. Кривенко А.Г. (ИПХФ РАН, Черногоровка)

акад. Лутовац М. (Белград, Сербия)

проф. Нараев В.Н. (СПбГТИ (ТУ), Санкт-Петербург)

проф. Смирнова Н. В. (ЮРГПУ(НПИ), Новочеркасск)

акад. РАН Цивадзе А.Ю. (ИФХЭ РАН, Москва)

к.х.н. Черник А.А. (БГТУ, Минск)

проф. Шалимов Ю.Н. (ВГТУ, Воронеж)

проф. Янилкин В.В. (ИОФХ КазНЦ РАН, Казань)

## **ЛОКАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ**

Кузьмин С.М. (ИХР РАН, Иваново)

Чуловская С.А. (ИХР РАН, Иваново)

Шеханов Р.Ф. (ИГХТУ, Иваново)

Тесакова М.В. (ИХР РАН, Иваново)

Филимонова Ю.А. (ФГБУ «Ив НИИ МиД м. В.Н. Городкова» Минздрава России, Иваново)

## **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

### **Председатель программного комитета:**

Проф. Кривенко А. Г. (ИПХФ РАН, Черноголовка)

### **Члены программного комитета:**

Чл.-корр. РАН Антипов Е. В. (МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва)

Проф. Базанов М. И. (ИГХТУ, Иваново)

Проф. Валиджич И. (Университет Белград, Сербия)

Проф. Винокуров Е. Г. (РХТУ им. Д. И. Менделеева, Москва)

Проф. Давыдов А. Д. (ИФХЭ РАН, Москва)

Акад. РАН Цивадзе А. Ю. (ИФХЭ РАН, Москва)

Проф. Янилкин В. В. (ИОФХ КазНЦ РАН, Казань)

## **ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ**

### **РОССИЙСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ SMARTSTAT**

**Астафьев Е.А.**

Научно-производственная компания SmartStat, Черноголовка, Россия  
[potentiostat@mail.ru](mailto:potentiostat@mail.ru)

Российская научно-производственная компания SmartStat специализируется на разработке, серийном производстве и поставке современного научного оборудования для электрохимии.

Наша миссия — это обеспечение российских ученых высококачественными отечественными приборами уровня лучших европейских брендов с учетом локальных ценовых требований. Это стало возможным благодаря более чем 20-тилетнему опыту непрерывной работы специалистов компании SmartStat именно в этом направлении.

Основа нашей продукции — это высокоточные потенциостаты-гальваностаты, отличающиеся широчайшей функциональностью, высокой надежностью и безусловным качеством измерения. В нашем каталоге представлено оборудование в широком ценовом ассортименте, различающееся по функциональности. Поставка дополнительных комплектующих, например, электрохимических ячеек и электродов для них, позволяет оборудовать законченные рабочие места, как в малых, так и в крупных лабораториях или на промышленных предприятиях.

Потенциостаты SmartStat разрабатываются и собираются в России со 100% локализацией корпусных и всех электромеханических узлов. В то же время, достижение высочайших характеристик и функциональных показателей такой продукции было бы невозможно сегодня, без использования лучших электронных компонентов западного производства. Стратегическая независимость SmartStat от международных ситуаций, обеспечиваются достаточным запасом на наших складах таких комплектующих. Тактическую гибкость и высокую скорость поставок обеспечивает обязательное наличие готовой продукции на нашем складе в Московской области.

На сегодняшний день, потенциостаты нашего производства занимают более 90% рынка в России. Во многом это заслуга четкой и слаженной работы коллектива предприятия, ориентированного на максимально быстрые и комфортные для наших клиентов поставки. Наши научные компетенции обеспечивают оптимальное решение Ваших задач в самых разных областях электрохимии.

Потенциостаты SmartStat выпускаются в трех сериях - профессиональной, лабораторной и промышленной. Каждая из них имеет несколько моделей, обладающих определенным набором характеристик и возможностей, для оптимального по стоимости решения практически любых задач в самых разных направлениях электрохимических измерений.

Все потенциостаты SmartStat спроектированы как высококачественное современное оборудование. Они отличаются высокой стабильностью и точностью.

Профессиональная серия SmartStat является прецизионной и обеспечивает самые широкие характеристики и возможности High-End исследовательского оборудования, например:

- Высококачественное измерение электрохимического импеданса при амплитудах от 0.5 мВ и частотах до 50 кГц уже в базовой комплектации;

- Возможность расширения частотного диапазона до 1-5 МГц (устанавливается дополнительный модуль FRA);
- Подключение до шести-восьми электродов электрохимической ячейки (работа с электрохимическими Aux-входами);
- Прецизионный датчик потенциала (ЦАП) разрядностью 18-20 бит для синтеза ультралинейной развертки потенциала в широком интервале скоростей;
- Цифро-аналоговый интерфейс для подключения дополнительного оборудования;
- Возможности синхронной оцифровки внешних сигналов;
- Напряжения поляризации до 35 В с возможностью работы потенциальных входов при этих напряжениях.

Также предлагается более простая лабораторная серия. Каждый прибор в ней имеет до трех вариантов исполнений, различающихся по функциональности и стоимости:

- Наиболее простое исполнение с базовым набором методик по доступной стоимости;
- Продвинутое исполнение с полным набором методик (включает импеданс до 50 кГц, импульсные методы);
- Исполнение с модулем FRA для измерения импеданса на частотах до 1 МГц;
- Любое простое исполнение можно проапгрейдить до более сложного;
- Схемотехника и комплектующие из профессиональной серии уже в базовой комплектации (прецизионные электрометры, АЦП разрядностью 20 бит);
- Датчик потенциала и тока (ЦАП) разрядностью 16 бит;
- Внешний цифровой интерфейс для дополнительного оборудования в базовой комплектации.

Помимо этого, в марте 2025 года была выпущена новая индустриальная серия. Она представлена более мощными, в основном многоканальными моделями потенциостатов и так называемыми циклерами аккумуляторов. Эти приборы отличаются более высокими рабочими токами при более низкой стоимости одного канала и в основном предназначены для проведения испытаний химических источников тока и их компонентов, а также решения других рутинных задач, не требующих прецизионного подхода:

- Многоканальный потенциостат для работы с малыми токами - от 1 нА до 1А, для испытаний малогабаритных ХИТ, их трехэлектродных макетов, а также для проведения классических коррозионных испытаний;
- Несколько различных моделей с большими токами - до 70 ампер;
- Несколько исполнений каждой модели - базовое, включающее основные методы работы при самой доступной стоимости одного канала;
- Продвинутое исполнение с расширенным набором методик (включает импеданс до 10-20 кГц, импульсные методы, внешний цифровой интерфейс);

Все приборы SmartStat работают с современным программным обеспечением SmartSoft. Его главные преимущества, это удобство работы и принципиально новый широчайший спектр возможностей, доступный даже самой младшей модели в базовом исполнении, например:

- Циклический программатор (до 50 шагов с вложенным циклом) и планировщик;
- Возможность выбрать незацикливаемые шаги программатора;
- Программирование изменения заданного параметра от цикла к циклу;
- До 11 гибких критериев завершения работы;
- Пользовательские защиты и характеристики образца;
- Большой выбор и гибкость автоматически рассчитываемых параметров.

# МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ

**Волков С.С.<sup>1</sup>, Парфенюк В.И.<sup>2</sup>, Китаева Т.И.<sup>3</sup>, Степанов С.В.<sup>1</sup>,  
Нечаев А.В.<sup>1</sup>, Меркушов Ю.Н.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище, г. Рязань, Россия.

<sup>2</sup> Институт химии растворов им. Г.А. Крестова, г. Иваново, Россия.

<sup>3</sup> Завод металлов и сплавов, г. Рязань, Россия. E-mail kitaeva\_46@mail.ru

Целью данной работы являлась разработка методических основ исследования и контроля качества гальванических покрытий. Ввиду многообразия пленочных покрытий по типу, назначению, составу, толщине, проводимости в работе рассмотрены общие положения и для некоторых частных распространенных типов гальванических покрытий. Особую роль при нанесении пленок играет начальная стадия роста до монослойного покрытия поверхности подложки (адсорбента). В процессе работы наиболее важную роль выполняет внешняя поверхность пленки (слой определенной толщины, свойства которого отличаются от свойств объема). Для разных свойств толщина поверхности разная. В ряде случаев пленочное покрытие по всей толщине оказывается в категории поверхностей. Наиболее важными, информативными для управления технологией нанесения и для режимов эксплуатации являются элементный состав и взаимное расположение атомов, электронная структура, зонная модель, зарядовое состояние атомов, макрорельеф (топология) и энергетическое состояние атомов. Из них наиболее информативными являются свойства по составу, кристаллической структуре и топологии поверхности. В настоящее время на промышленном уровне разработано физико-аналитическое оборудование для диагностики поверхности пленок толщиной до 1 микрона и более методами оже-электронной и рентгено-электронной спектроскопий, вторично-ионной масс-спектропии, спектропии обратно-рассеянных ионов низких энергий, дифракции быстрых и медленных электронов, рентгеновскими методами, в том числе в виде электронного микронзонда, оптические и лазерные методы диагностики. Многолетняя практика применения перечисленных и других методов анализа показало их высокую эффективность при изучении поверхностных процессов, при разработке технологии нанесения пленок и при определении и устранении причин брака. В производственных процессах известны разные виды брака: разовые устранимые, постоянные процентные и хронические повторяющиеся сезонные и случайные. Все они связаны, в основном, с неадекватным представлением о материалах и физико-химических процессах при изготовлении покрытий. Так, например, изменения фоновой концентрации кремния в коваре в диапазоне ниже допустимого уровня приводило к полному браку. Причина брака выяснена по результатам анализа единиц образцов. Без анализов такие ситуации разрешаются методами проб и ошибок и превращают современные сложные технологии производства в искусство технолога. При работе с пленочными структурами самым информативным является метод оже-спектроскопии, который в течение десятков минут предоставляет сведения о полном элементном составе поверхности с пределом обнаружения до 0.1%, с локальностью по глубине 3-5 атомных слоев, латерально 0.1 мкм с количественной интерпретацией состава атомом. Реализуются три режима: локально зондом, послойно в точке поверхности с разрешением 10-100 Å и растровый двумерный анализ с отображением рельефа поверхности и трехмерное изображение. Локальный анализ состава с пределом обнаружения ниже 0.1 % (до  $10^{-6}$  %) возможно выполнить методами вторично-ионной масс-спектропии, также в трех режимах. Химические связи атомов в 3-5 атомных слоях поверхности можно определить только методом рентгеноэлектронной спектроскопии. Состав одного внешнего монослоя можно определить только методом обратно рассеянных ионов низких энергий диаметром зонда 0.1 мм с растром, послойно и количественно. Практически установлено, что решение технологических задач с применением методов диагностики, адекватных задачам, позволяет сокращать время разработки или определения причин брака в сотни раз. В докладе приведены методические особенности применения физико-аналитического оборудования для диагностики поверхности.

1. Черепин В.Т., Васильев М.А. Методы и приборы для анализа поверхностей материалов. Киев: Наукова думка, 1982. 399 с.

2. Волков С.С., Шевченко Н.П. Физико-аналитические методы диагностики элементного состава и структуры материалов : монография. – Рязань: РВАИ, 2008. – 311 с.

3. Вудраф Д, Делчар Т. Современные методы исследования поверхности / Пер. с англ. под ред. В.И. Раховского, – М.: Мир, 1989. – 568 с.

# ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ БЕСПЛАТИНОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ – ДЕКЛАРАЦИИ И РЕАЛЬНОСТЬ.

*Кривенко А.Г.*

*ФИЦ проблем химической физики и медицинской химии РАН, Черноголовка, проспект Семёнова 1, Россия krivenko@icp.ac.ru*



Рис. 1

На сегодняшний день мировые разведанные запасы Pt составляют около 38 тыс. тонн при годовом потреблении около 190 тон, структура которого представлена на Рис. 1 [1]. Самый большой расход Pt приходится на автомобильную промышленность при изготовлении каталитических нейтрализаторов (КН) для очистки выхлопных газов, количество которой находится в пределах 0.5-1.5 г на автомобиль. При этом на электрокатализитические приложения приходится всего ~ 3% добычи или ~ 6 тонн, однако

если топливные элементы (ТЭ) будут находить широкое применение в автомобильном транспорте использование платины для этих целей может существенно возрасти т.к. в этом случае количество Pt в стеке топливных элементов будет составлять по разным оценкам от 12 до 20 г на автомобиль. Важно отметить, что если для отслуживших КН уже налажено извлечение Pt и других драгметаллов (до 30-40% от исходной загрузки), то приемлемые технологии разборки стека ТЭ и извлечения платины пока не разработаны. Таким образом, проблема снижения содержания Pt в ТЭ представляется актуальной, хотя при её решении может создаться парадоксальная ситуация с экономической нецелесообразностью извлечения незначительного количества платины из использованных ТЭ. В тоже время по всем прогнозам в ближайшем будущем не будет заметного роста количества автомобилей с ТЭ, что обусловлено улучшением эксплуатационных характеристик и как следствие резким подъёмом числа выпускаемых электромобилей на литий-ионных аккумуляторах. Над проблемой существенного снижения загрузки Pt или даже полному отказу от её использования в катодах ТЭ работают десятки лабораторий по всему миру. Разрабатываются самые разнообразные подходы к повышению её удельной каталитической активности в реакции восстановления кислорода (РВК): использование наносплавов (в том числе core-shell) Pt с благородными металлами, синтез наночастиц с заданной кристаллической структурой, нанесение на углеродный носитель монослоя Pt и т.д. Практически во всех публикациях авторы убедительно декларируют превосходство полученных катодных материалов над промышленно выпускаемым катализатором типа HiSPEC® 4000 в том числе и по результатам проведения лабораторных тестов на временную стабильность. Что касается полностью бесплатиновых катализаторов на основе оксидов переходных металлов, то пока не появятся ион-проводящие мембраны подобные полимерам перфторсульфоновой кислоты, щелочные топливные элементы будут сталкиваться с ограничениями плотности тока, присущими затопленным электродам [2]. Таким образом, анализ литературы показывает, что к настоящему времени в реально производимых водород-воздушных ТЭ используются коммерческие каталитические материалы на основе мелкодисперсной Pt на углеродном носителе, а все попытки её замены не привели к созданию мало- и бесплатиновых катализаторов, в полном объёме удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям. По-видимому, причиной этого является: несоответствие лабораторных тестов разработанных каталитических материалов для ТЭ реальным условиям их эксплуатации, неопределенность перспектив потребности в ТЭ для автотранспорта в ближайшем будущем и эффективность технологии производства коммерческих платиносодержащих катализаторов.

**Работа выполнена по теме Государственного задания 124013000692-4.**

1. Hughes, A. E., Haque, N., Northey, S. A., & Giddey, S. Platinum group metals: A review of resources, production and usage with a focus on catalysts. *Resources*, 2021. 10(9), 93.
2. Wagner, F. T., Lakshmanan, B., & Mathias, M. F. Electrochemistry and the future of the automobile. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2010. 1(14), 2204-2219.

# УСТНАЯ СЕССИЯ

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АММИАКА В КРОВИ ЧЕЛОВЕКА

Андреева П. П.<sup>1</sup>, Кокорекин В.А.<sup>2</sup>, Фишгойт Л.А.<sup>1</sup>

[Polina.p.andreeva@gmail.com](mailto:Polina.p.andreeva@gmail.com)

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,

Россия, Москва, 119991, ул. Колмогорова, 1.

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского Российской академии наук, Россия, Москва, 119991, Ленинский проспект, 47

Гипераммониемия относится к клиническому состоянию, связанному с повышенными уровнями аммиака, проявляющимся множеством симптомов и признаков, включая значительные отклонения в центральной нервной системе. Аммоний является важным источником азота и необходим для синтеза аминокислот. Он также необходим для нормального кислотно-щелочного баланса. При высоких концентрациях аммоний токсичен. Эндогенное отравление аммиаком может происходить, когда у организма нарушена способность выводить азотистые отходы, как это наблюдается при врождённых энзимных дефицитах. Разнообразные экологические причины и медикаменты также могут привести к токсичности аммиака. Верная и своевременная постановка диагноза требует глубокого понимания основных патофизиологических механизмов, дифференциальной диагностики и доступных методов лечения.

Целью данной работы является исследование возможности количественного определения аммония в модельных растворах (водных и Рингер-Локка) как этапа разработки тест-полосок.

Анализ растворов солей аммония проводился на спектрофотометре "СФ-2000" производства ООО "ОКБСПЕКТР", г. Санкт-Петербург, Россия. Режим измерения прецизионный, кюветы кварцевые. В ходе эксперимента выбор солей аммония для исследования был обусловлен их биологической значимостью и химическими свойствами. Основное внимание уделялось хлориду аммония ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ), гидрокарбонату ( $\text{NH}_4\text{HCO}_3$ ), карбонату ( $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ ) и цитрату аммония ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7(\text{NH}_4)_3$ ), поскольку эти соединения представляют интерес с точки зрения физиологии и биохимии.

Разработан новый метод прямого определения аммония в водных средах и физиологически значимом растворе Рингера-Локка, без использования косвенных реакций. Подтверждена линейность зависимости оптической плотности от концентрации  $\text{NH}_4^+$  в диапазоне 50–200 мкМ, что делает метод пригодным для количественного анализа, кроме того, данный диапазон идеально подходит для диагностики гипераммониемии (болезнь начинается как раз с 50 мкМ). Метод имеет потенциал для внедрения в клиническую практику, так как позволяет избежать проблем, связанных с зарубежными аммониеметрами и неточностью косвенных методик.

Дальнейшие исследования будут направлены на адаптацию метода к анализу цельной крови и плазмы с учётом влияния белков и других компонентов.

Работа выполнена при поддержке фонда **ЖИЗНЬ КАК ЧУДО**



# ВАРИАЦИИ ДИЗАЙНА $\text{BaCo}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ПРОТОНПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ

***Антонова Е.П.<sup>1,2</sup>, Селиверстова О.Е.<sup>1,2</sup>, Федорова К.А.<sup>1,2</sup>, Гордеев Е.В.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup>Институт высокотемпературной электрохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

antonova\_ek@list.ru

На сегодняшний день установлено, что ключевым фактором, снижающим эффективность работы твердооксидных электрохимических устройств на протонпроводящих электролитах, являются высокие поляризационные потери на катоде. Это обусловлено как достаточно невысокими рабочими температурами таких устройств, так и тем фактом, что в данном случае необходима возможность реализации тройной  $\text{O}^{2-}/\text{H}^+/\text{e}^-$  проводимости в материале электрода. В связи с этим, разработка эффективных электродов является одной из приоритетных задач для перспектив коммерциализации таких устройств. Одним из материалов, способных к проявлению тройной проводимости, является модифицированный кобальтито-феррит бария  $\text{BaCo}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  (BCFZY), активно изучающийся в последние годы.

В рамках данной работы было выполнено исследование электрохимического поведения BCFZY электродов в контакте с протонпроводящим оксидом  $\text{BaCe}_{0.7}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{Yb}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  (BCZYYb) и на основании анализа совокупности электрохимических данных были предложены способы модификации дизайна  $\text{BaCo}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$  электродов для повышения эффективности их работы.

Электродный материал BFCZY был получен методом цитрат-нитратного сжигания с конечной температурой синтеза 1200 °С. Несущий электролит BCZYYb был изготовлен методом твердофазного синтеза с последующим прессованием и спеканием при температуре 1550 °С. Симметричные электрохимические ячейки BCFZY|BCZYYb|BCFZY изготавливали путем нанесения электродной пасты методом трафаретной печати с двух сторон несущего электролита с последующей термообработкой при температуре 1050 °С в течение 2 ч. Электрохимические измерения проводились методом импедансной спектроскопии (Elins P-40X) в температурном интервале 500-700°С, в атмосферах, увлажненных  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{D}_2\text{O}$ . Спектры импеданса регистрировались в диапазоне частот 300 кГц-0.015 Гц при амплитуде переменного напряжения 50 мВ. Анализ полученных данных был выполнен методом распределения времен релаксаций (DRT).

Установлено, что электродный процесс в исследуемой системе является многостадийным, механизм электродного процесса не меняется во всем исследованном интервале температур и  $p\text{O}_2$ . Наблюдается ярко выраженная зависимость от парциального давления кислорода, при этом эффект от смены  $\text{H}_2\text{O}$  на  $\text{D}_2\text{O}$  гораздо менее ярко выражен, что говорит о том, что природа лимитирующих стадий связана с переносом кислорода. Для улучшения характеристик, электроды были модифицированы введением оксида празеодима  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$ , а также был использован Ag токовый коллектор. Модификация оксидом празеодима привела к снижению поляризационного сопротивления электродов  $R_\eta$  с 1.14 до 0.52 Ом\*см<sup>2</sup> при 700 °С в атмосфере воздух/ $\text{H}_2\text{O}$ , использование токового коллектора уменьшило  $R_\eta$  до 0,45 Ом\*см<sup>2</sup> при тех же условиях, а совместное применение  $\text{Pr}_6\text{O}_{11}$  и Ag привело к снижению  $R_\eta$  в 4 раза до 0.29 Ом\*см<sup>2</sup>. В докладе обсуждается влияние использованных подходов к оптимизации электродов на кинетику электродного процесса.

***Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ №24-23-00238,  
<https://rscf.ru/project/24-23-00238/>.***

## ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ МЕДЬ-ОЛОВО

Артюхова А.И., Шеханов Р.Ф.

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия  
alena.art.13-23@mail.ru

Гальванические покрытия сплавами медь-олово, содержащие от 5,6 до 11,8 ат. % Sn в составе покрытия, достаточно пластичны, обладают высокой износостойкостью, прочностью, твёрдостью и коррозионной стойкостью. Они используются как декоративные и функциональные покрытия: в электронике, при изготовлении подшипников, для защиты стальных деталей в горячей пресной воде, в качестве подслоя перед золочением, серебрением и хромированием, а также для отделки металлической галантереи [1].

Целью работы являлась разработка слабощелочного бесцианидного электролита на основе пирофосфатно-оксалатных лигандов, способных образовывать устойчивые комплексы с ионами металлов и позволяющих получать мелкокристаллические бронзовые покрытия, имитирующие золото.

В ходе экспериментов исследовалось влияние соотношения ионов металлов меди и олова в электролите на состав катодных осадков, а также соотношение оксалата аммония и пирофосфата калия на структуру покрытий, стабильность электролита и выход сплава по току. Электроосаждение проводили на образцы из никелевой фольги и стали 08кп, анодами служила никелевая фольга, нерастворимая в щелочной среде.

Процесс электроосаждения бронзовых покрытий из пирофосфатно-оксалатных комплексов происходил с высокой поляризацией, что способствовало получению равномерных мелкокристаллических покрытий на поверхности деталей сложного профиля.

Уменьшение концентрации пирофосфата калия и увеличение концентрации сульфата олова приводило к значительному изменению рельефа покрытия: от сглаженной мелкокристаллической структуры происходил переход к структуре с более выраженной фактурой кристаллических зерен округлой формы. Чем больше концентрация сульфата олова в электролите, тем при меньшей плотности тока начинали разряжаться ионы олова на поверхности катода. Во всех случаях наблюдалось соединение частиц сплава в отдельные агломераты округлой формы. С ростом катодной плотности тока наблюдалось увеличение размера частиц сплава медь-олово, увеличение содержания олова в покрытии и снижение выхода сплава по току от 100% до 83%.

Исследование влияния pH на процесс электроосаждения показало, что из более щелочных пирофосфатно-оксалатных растворов (pH = 10) электроосаждение протекает с повышенной поляризацией по сравнению с нейтральными растворами (pH = 7). Однако из нейтральных растворов выше допустимые значения предельной плотности тока. Наиболее качественные по внешнему виду покрытия получены при значении pH = 8-9.

В ходе экспериментов был предложен состав и режим работы бесцианидного слабощелочного электролита бронзирования на основе пирофосфатно-оксалатных комплексов меди и олова, позволяющий получать качественные золотисто-жёлтые осадки с содержанием 5,5-11 ат. % Sn в диапазоне плотностей тока 0,3-0,7 А/дм<sup>2</sup> при температуре 50°C. Полученные бронзовые покрытия практически беспористы, обладают низкой шероховатостью 0,18 мкм и высокой микротвёрдостью 6,7 ГПа.

### Список литературы:

1. Вячеславов П. М. // Электролитическое осаждение сплавов. Б-чка гальванотехника. Л. : Машиностроение. 1986. Вып. 5. С. 112.

## ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ ОЛОВО-НИКЕЛЬ ИЗ ОКСАЛАТНО-АММОНИЙНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

Артюхова А.И., Шеханов Р.Ф.

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия  
alena.art.13-23@mail.ru

Легирование олова никелем предотвращает образование "усов" и его переход в серую модификацию, улучшает механические свойства покрытий и продлевает срок их способности к пайке. Сплав Sn-Ni может заменить лужение при повышенных требованиях к прочности. Он сохраняет хорошие паяльные свойства даже после длительного хранения, демонстрируя снижение прочности лишь на 20% за два года (против 60% у оплавленного олова). Сплавы олово-никель находят применение в источниках тока и литий-ионных аккумуляторах в качестве анодных материалов, где никель служит буфером, повышая прочность олова при циклировании.

Целью работы являлось установление закономерностей электроосаждения сплавов олово-никель из низкоконцентрированных по тяжелым металлам составов оксалатно-аммонийных электролитов, в которых не используются агрессивные или токсичные вещества, и сопоставление электрохимических характеристик и свойств покрытий при сравнении с известным хлорид-фторидным электролитом, следующего состава (моль/л):  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} - 0,2$ ,  $\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} - 1,05$ ,  $\text{NH}_4\text{F} - 1,62$ ,  $\text{pH} = 2-3$  [1].

Поляризационные исследования показали, что электроосаждение сплавов олово-никель из оксалатно-аммонийных электролитов протекает с высокой поляризацией, в отличие от процесса осаждения из хлорид-фторидного электролита. Обнаружено, что процесс электроосаждения из электролитов, имеющих повышенную концентрацию ионов никеля, происходит без диффузионных ограничений.

В ходе экспериментов определены токи коррозии в 3% NaCl при температуре 25°C образцов покрытий олово-никель, осажденных на сталь при температуре 50°C при плотности тока 1 А/дм<sup>2</sup>. Низкая скорость коррозии отмечена для образцов с низким содержанием никеля, осажденных из оксалатно-аммонийных электролитов с добавкой препарата ОС-20 (величина 1,2-5 мкА/см<sup>2</sup>). Наибольшая плотность коррозионного тока (26 мкА/см<sup>2</sup>) наблюдалась для образца с покрытием олово-никель, полученным из хлорид-фторидного электролита [1]. С увеличением содержания никеля в сплаве скорость коррозии увеличивалась, так из электролита с содержанием сульфата никеля 0,107 моль/л данная величина составила 20 мкА/см<sup>2</sup>.

Значения шероховатости покрытий, осажденные из оксалатно-аммонийных электролитов с добавкой препарата ОС-20, имеют более сглаженный профиль поверхности по сравнению с покрытиями, полученными из хлорид-фторидного электролита (0,53 мкм), значения шероховатости снижаются в 1,3-1,6 раза.

Анализ микрофотографий поверхности сплавов олово-никель показал, что покрытия, осажденные из оксалатно-аммонийных электролитов, имеют более мелкокристаллическую структуру по сравнению с покрытиями, полученными из хлорид-фторидного электролита с крупными включениями прямоугольной формы, имеющими длину более 5 мкм. Покрытия, осажденные из оксалатно-аммонийных электролитов, обладают более равномерной структурой с размерами кристаллов кубической и призматической формы. С увеличением содержания никеля в сплаве уменьшается размер зерен покрытия от 5-6 мкм для чистого олова до 1-1,5 мкм при содержании никеля 12,64 ат. %.

### Список литературы:

1. Зенин В., Спиридонов Б., Березина Н. // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 7. С. 32.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА SAGE-КОМПЛЕКСА Fe(0) НА ОСНОВЕ 1,3,5-ТРИГИДРОКСИ-1,3,5-ТРИАЗИНАНА И 1,4,7-ТРИАЗАЦИКЛОНОНАНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ.

Бабий А.О.<sup>1</sup>, Голованов И.С.<sup>2</sup>, Кузнецов В.В.<sup>1</sup>, Сухоруков А.Ю.<sup>2</sup>,  
Коротенко В.Н.<sup>1</sup>, Филатова Е.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», Москва, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт органической химии им. Н.Д. Зелинского Российской Академии Наук, Москва, Россия  
babiy\_ao@mail.ru

Образование координационного соединения, в котором происходит стабилизация атома железа в необычной степени окисления +4, происходит при взаимодействии хлорида железа (III) с циклотримером формальдоксима (tfoH3) и 1,4,7-триазациклононаном (tacn) Fe(□) в аэробных условиях [1].

Полученное координационное соединение потенциально может быть использовано в качестве универсальных катализаторов, поскольку содержит хелатные кольца и *d*-элемент, проявляющий в своих соединениях различные степени окисления [2]. Изучение окислительно-восстановительных и электрохимических свойств такого соединения важно для оценки принципиальной возможности разработки каталитических циклов с его участием.

В работе исследованы электрохимические свойства комплекса в водных растворах в присутствии 0,05 М KCl, концентрация исследуемого соединения поддерживалась равной 0,4 мг/мл. Установлено, что при катодном сканировании циклической вольтамперограммы наблюдается необратимый пик восстановления исследуемого соединения с максимумом при  $E = -0,125$  В (х.с.э.). С другой стороны, данные квантового расчета **B3LYP** Fe(IV)/Fe(III) в высокоспиновой системе значение  $-0,50$  В (х.с.э.), а в низкоспиновой  $-0,47$  В (х.с.э.). Это свидетельствует о том, что наблюдаемый редокс-переход не может быть сведен к простой перезарядке в системе Fe(IV)/Fe(III). Обсуждены спектры продуктов катодного восстановления координационных соединений, высказано предположение, что электрохимическое восстановление сопровождается деструкцией координационного соединения.

## Литература

1. Golovanov I.S., Malykhin R.S., Lesnikov V.K., Nelyubina Y.V., Novikov V.V., Frolov K.V., Stadnichenko A.I., Tretyakov E.V., Ioffe S.L., Sukhorukov A.Y., Inorganic Chemistry, 2021, 60, 5523–5537.
2. Tomyan S., Shylin S.I., Bykov D., Ksenofontov V., Gumienna-Kontecka E., Bon V., Fritsky I.O., Nature Communications, 2017, 8, 14099.

# ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО (КАТАЛИТИЧЕСКОГО) ПОВЕДЕНИЯ РЯДА МЕДЬ-СОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ ФТАЛОЦИАНИНА

Базанов М.И., Березина Н.М., Турчанинова И.В.

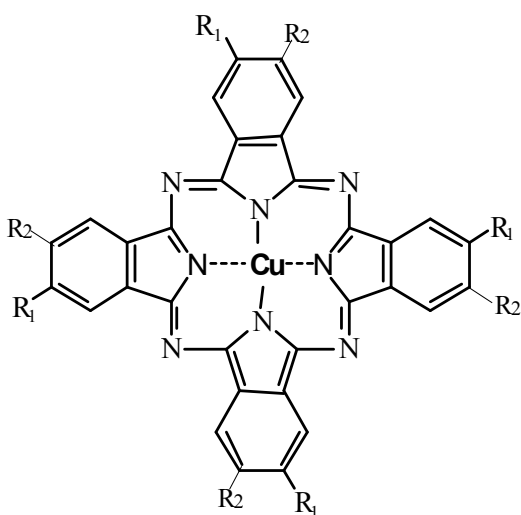
Ивановский государственный химико-технологический университет, НИИ химии макрогетероциклических соединений, Иваново, Россия

E-mail: [bazanov@isuct.ru](mailto:bazanov@isuct.ru)

Исследование электрохимического поведения макрогетероциклических комплексов различного строения, включая фталоцианины и порфирины, привлекает пристальное внимание ученых. Значительные достижения в развитии химии синтетических макрогетероциклических соединений дают возможность исследователям изучать новые классы комплексных соединений, устанавливать закономерности их редокс-поведения. В настоящее время окислительно-восстановительные свойства органических комплексов с металлами исследуются преимущественно в неводных средах. Для решения ряда практических задач по совершенствованию существующих и созданию источников тока нового поколения требуется изучение поведения макрогетероциклических комплексов в водно-щелочных растворах.

Настоящее исследование является продолжением цикла работ по изучению окислительно-восстановительного поведения макрогетероциклических соединений различного строения в щелочном растворе.

Методом циклической вольтамперометрии изучено окислительно-восстановительное поведение ряда производных фталоцианинатов меди, отличающихся природой, количеством и местоположением заместителей: фталоцианинат меди  $\text{CuPc}$  (**I**), тетракарбоксифталоцианинат меди  $\text{CuPc}(4\text{-COOH})_4$  (**II**), тетра-4-бензоилоксифталоцианинат меди  $\text{CuPc}(4\text{-OCOC}_6\text{H}_5)_4$  (**III**), тетра-(4-карбокси-5-бензоилокси)фталоцианинат меди  $\text{CuPc}(4\text{-COOH})_4(5\text{-OCOC}_6\text{H}_5)_4$  (**IV**), тетра-(4-карбокси-5-(4'-фенил)-бензоилокси)фталоцианинат меди  $\text{CuPc}(4\text{-COOH})_4(5\text{-OCOC}_6\text{H}_4\text{C}_6\text{H}_5)_4$  (**V**).



**I** -  $R_1 = R_2 = \text{H}$

**II** -  $R_1$  или  $R_2 = \text{COOH}$

**III** -  $R_1 = \text{H}$ ;  $R_2 = \text{COC}_6\text{H}_5$

**IV** -  $R_1 = \text{COOH}$ ;  $R_2 = \text{COC}_6\text{H}_5$

**V** -  $R_1 = \text{COOH}$ ;  $R_2 = \text{COC}_6\text{H}_4\text{OC}_6\text{H}_5$

Дана оценка электрокаталитической активности соединений в реакции электровосстановления молекулярного кислорода в щелочном растворе. Изученные комплексы проявляют хорошую каталитическую активность в реакции электровосстановления молекулярного кислорода. Наибольшую активность проявляют соединения **I** и **II** ( $E_{1/2}(\text{O}_2) = -0.13$  и  $-0.11$ , соответственно).

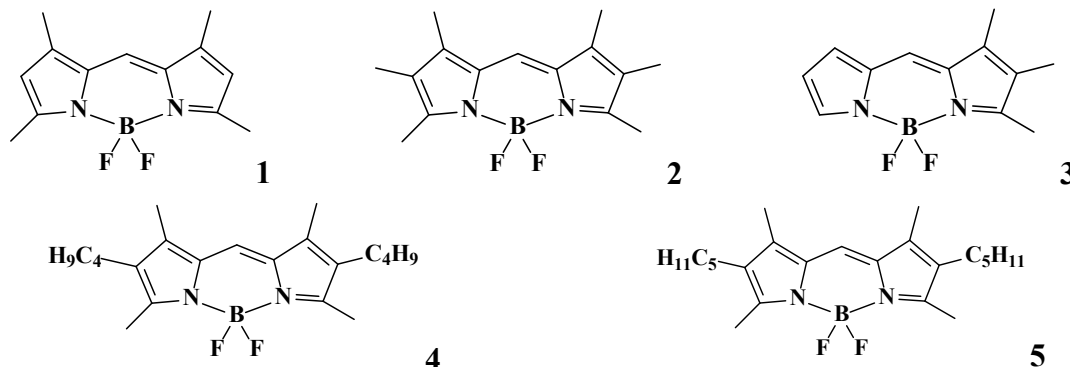
# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ДИПИРРОЛЬНЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ПОРФИРИНОВ В ВОДНО-ЩЕЛОЧНОМ РАСТВОРЕ

**Березина Н.М.<sup>1</sup>, Базанов М.И.<sup>1</sup>, Березин М.Б.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Ивановский государственный химико-технологический университет, НИИ химии макрогетероциклических соединений, Иваново, Россия*

<sup>2</sup> *Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук, Иваново, Россия  
E-mail: sky\_berezina@rambler.ru*

Преимущества координационных соединений дипирролилметенов с бором(III) – высокая чувствительность квантового выхода флуоресценции, длин волн поглощения и испускания к структурно-сольватационным эффектам, которые позволяют подстраивать их характеристики под конкретные практические задачи. Одним из наиболее эффективных способов воздействия на свойства люминофоров – модификация дипиррометенового молекулярного остова за счет индивидуальных типов замещения, которая приводит к перераспределению электронной плотности в сопряженной системе хромофора за счет электронных эффектов. Такая модификация должна проявляться в электрохимических величинах редокс потенциалов комплексов. Методом циклической вольтамперометрии в водно-щелочном растворе впервые изучены электрохимические превращения дипиррольных предшественников порфиринов (**1-5**).



Для 3,3',5,5'-тетраметил- (**1**), 3,3',4,4',5,5'-гексаметил- (**2**) и 3,3',5,5'-тетраметил- (**5**) - 4,4'-диамил-2,2'-дипирролилметенов дифторборатов в диапазоне потенциалов +0.7...-1.7 В протекает один процесс электроокисления и три процесса электровосстановления. Для 3,4,5-триметил- (**3**) и 3,3',5,5'-тетраметил-4,4'-дибутил-2,2'-дипирролилметенов (**4**) дифторбораты наблюдается три процесса электровосстановления. Увеличение числа электронодонорных заместителей комплексов дипирролилметена приводит к некоторому уменьшению восстановительной способности по всем стадиям восстановления, что согласуется результатами электрохимических исследований для неводных сред. Увеличение длины алкильных заместителей наоборот приводит к ее росту. Каталитическая активность соед. **1-5** возрастает, согласно снижению потенциала электровосстановления O<sub>2</sub> и потенциала в пике E<sub>p</sub>: (**2**) {ΔE<sub>1/2</sub>(O<sub>2</sub>) = 70 мВ} < (**1**) {50 мВ} < (**3**) {40 мВ} = (**4**) {40 мВ} < (**5**) {30 мВ}, что показывает положительное влияние введения электронодонорных заместителей в комплексах на процесс электровосстановления O<sub>2</sub>. Однако при увеличении длины алкильных заместителей (соед. **2**, **4**, **5**) активность комплексов понижается, поскольку индуктивный эффект (+I-эффект) заместителей снижается с увеличением длины цепи. Такая же зависимость прослеживается для ранее изученных тетрапиррольных макроциклических соединений – порфиринов [1].

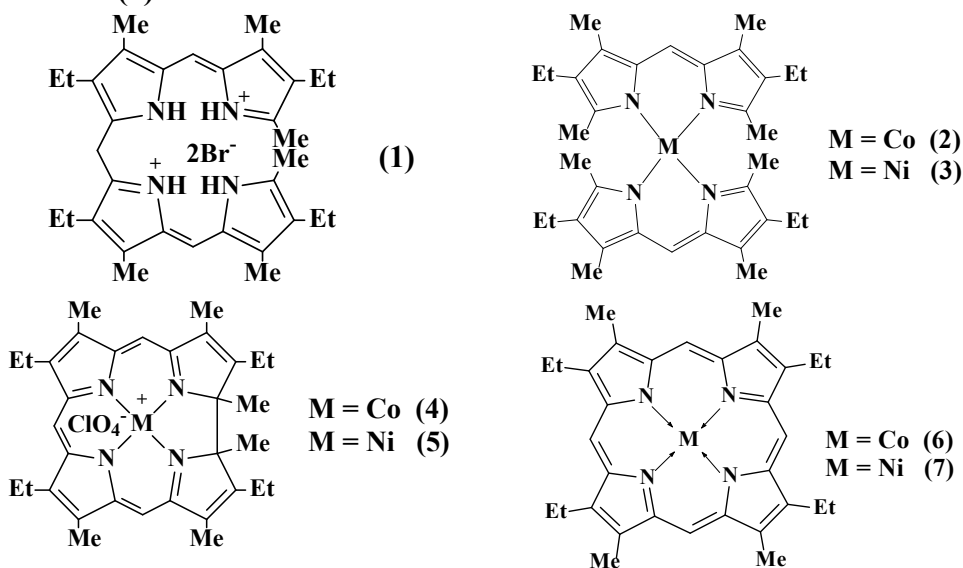
# МЕТАЛЛОПОРФИРИНОИДЫ. СИНТЕЗ, ПОЛИТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

**Березина Н.М.<sup>1</sup>, Любимова Т.В.<sup>1,2</sup>, Семейкин А.С.<sup>1</sup>, Базанов М.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, НИИ химии макрогетероциклических соединений, Иваново, Россия

<sup>2</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия,  
E-mail: [sky\\_berezina@rambler.ru](mailto:sky_berezina@rambler.ru)

В продолжение наших исследований электрохимических свойств ароматических  $\pi$ -сопряженных металлокомплексов порфиринов [1-2] и корролов [3] синтезированы по модифицированным методикам и изучены в водно-щелочном электролите в инертной среде методом циклической вольтамперометрии электрохимические свойства 2,8,12,18-тетраэтил-1,3,7,13,17,19-гексаметилбиладиена-а,с дигидробромид (**1**), бис(3,3',5,5'-тетраметил-4,4'-диэтилдипиррометенат)кобальта(II) и никеля(II) (**2-3**), циклические  $\pi$ -сопряженные тетрадегидрокорины - 2,8,12,18-тетраэтил-1,3,7,13,17,19-гексаметилтетрадегидрокоррин перхлорат кобальта(II) и никеля(II) (**4-5**) и 2,8,12,18-тетраэтил-3,7,13,17-гексаэтилпорфирины кобальта(II) и никеля(II) (**6-7**). Проанализировано влияние строения комплексов дипирролилметенов, корринов, корролов и их ближайших аналогов – порфиринов на характер циклических  $I,E$ -кривых, значения редокс-потенциалов и электрокаталитическую активность соединений в реакции восстановления молекулярного кислорода. Максимальный электрокаталитический эффект среди изученных порфириноидов зарегистрирован для комплекса кобальта (**4**).



Методом РСА проведен анализ взаимосвязи структурных свойств соед. **2-3** с их химическими свойствами и электрокаталитической активностью. Проанализированы различные аспекты влияния структуры соединений **1-7** на устойчивость этих молекул в политермических условиях в инертной среде.

**Работа выполнена в рамках государственного задания на выполнение НИР, тема № FZZW-2023-0009.**

1. Березина Н.М., Базанов М.И., Койфман О.И. Пиридилзамещенные порфирины: электрохимия и катализ процесса электровосстановления молекулярного кислорода. В кн.: Функциональные материалы на основе тетрапиррольных макрогетероциклических соединений / под ред. О.И. Койфмана. М.: ЛЕНАНД, 2019. С. 619.
2. Базанов М.И., Березина Н.М. и др. // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2023. Т. 66. Вып. 7. С. 98.3. Петрова Д.В., Семейкин А.С., Березина Н.М., Березин М.Б., Базанов М.И. // Macroheterocycles 2019. Т. 12. № 2. С. 119.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ БЕНЗОТИАЗОЛЗАМЕЩЁННЫХ ПОРФИРИНОВ

**Боков А.С.<sup>1</sup>, Киселёв А.Н.<sup>1,2</sup> Ларионов А.В.<sup>1</sup>,  
Кибирева Я.Е.<sup>1,2</sup> Матвиенко Г.И.<sup>1</sup>, Сырбу С.А.<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия

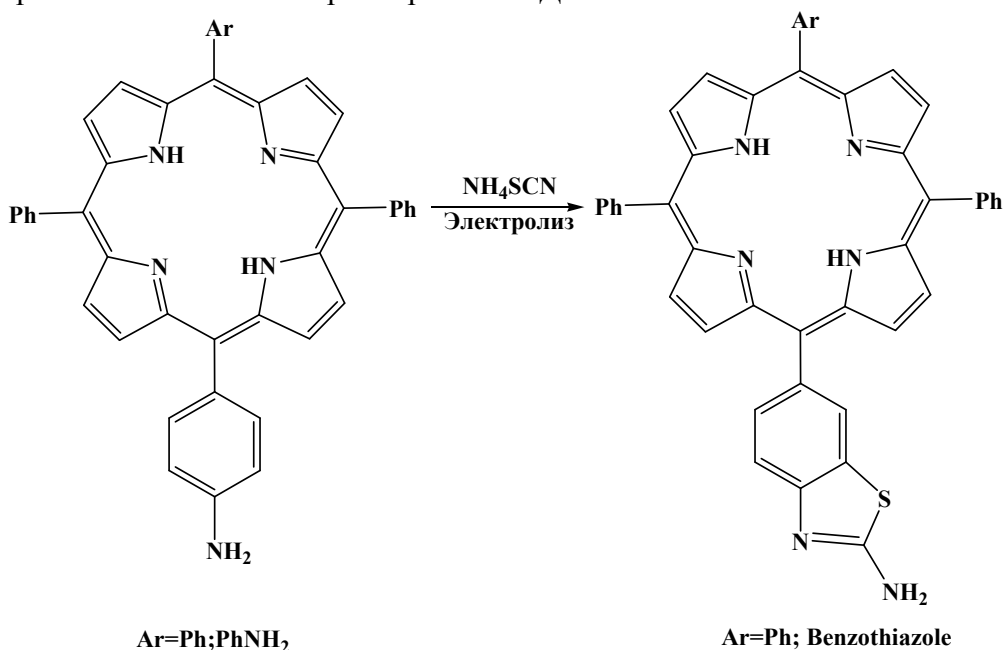
<sup>2</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

e-mail: [sashashuya5@gmail.com](mailto:sashashuya5@gmail.com)

Синтез и изучение свойств макрогетероциклических соединений, таких как порфирины, довольно распространены ввиду их структурного разнообразия и химической полифункциональности, которая обуславливает настройку на те или иные полезные свойства. Это препараты ФДТ, катализаторы восстановления и окисления, преобразователи световой энергии, материалы, обладающие нелинейными оптическими свойствами, органические полупроводники, ферромагнетики, системы хранения информации, жидкие кристаллы и сенсоры на токсичные газы.

Для синтеза порфиринового макроцикла используются классические методы синтетической органической химии, тогда как для модификация порфиринового ядра применимы также и современные каталитические методы. Перспективным методом получения органических соединений является органический электросинтез, который в химии макроциклических соединений ещё не сильно распространён. Различные органические превращения, инициированные электрохимически, как на электроде, так и в объеме раствора с помощью электрохимически генерируемых гомогенных медиаторов, являются перспективными реакциями, которые отвечают требованиям зелёной химии.

Целью настоящей работы является синтез новых порфиринов с использованием органического электросинтеза. Полученные порфирины охарактеризованы с помощью ЭСП, ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии МАЛДИ.



*Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ на выполнение НИР. Тема № FZZW-2023-0009. Для проведения исследований использовано оборудование Центра коллективного пользования Ивановского государственного химико-технологического университета (ИГХТУ)*

# КОМПОЗИЦИОННОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ С НАНОЧАСТИЦАМИ КАК БАРЬЕРНЫЙ ПОДСЛОЙ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ДИФфуЗИИ МЕДНОЙ ОСНОВЫ И ВНЕШНЕГО СЛОЯ ЗОЛОТА.

*Васильчев Д.Ю.<sup>1</sup>, Агафонов Д.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ООО «КААС» Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), кафедра технологии электрохимических производств, Россия

[botflot@rambler.ru](mailto:botflot@rambler.ru)

Сохранение объектов культурного наследия требует своевременного проведения работ, связанных с реставрацией и воссозданием предметов декоративно-прикладного искусства (ДПИ). Воздействие агрессивной окружающей среды (атмосфера приморского, промышленного города), абразивное действие ветра, высокая влажность и частая перемена температуры способствует развитию коррозионных процессов предметов ДПИ, протекающих между позолоченной поверхностью и основой из меди и медных сплавов. Несмотря на то, что золото является благородным металлом, его взаимодействие с материалом основой, а также качество, способ изготовления и обработки изделия ДПИ (ковка, литье, гальванопластика, токарная обработка, штамповка), пористость покрытия способствуют возникновению коррозионных процессов.

Еще одним аспектом, влияющим на изменение декоративного вида золотого покрытия предметов ДПИ, является процесс взаимодиффузии протекающий между материалом основой изделия и внешним золотым покрытием. Результатом такого процесса является изменение или полная утрата декоративного вида внешнего покрытия.

Известно, что практически беспористые покрытия получаются при толщине от 5 мкм, в то же время такая толщина может увеличить время до проявления негативного влияния диффузионных процессов. Однако применение золотых покрытий толщиной от 5 мкм приводит к повышенному расходу золота и высоким затратам.

Для решения этих проблем применяют многослойные электрохимические покрытия где в качестве подслоя используют более дешевые металлы: медь и ее сплавы (латунь, бронза), никель и олово, а также их сплавы.

Мы полагаем, что в качестве подслоя перспективным может считаться применение композиционных электрохимических покрытий (КЭП) с различными наночастицами в качестве второй фазы. Так, известно, что подобные покрытия за счет включения наночастиц в свою основу приобретают отличные от обычных гальванических покрытий функциональные свойства, такие как твердость, износостойкость, жаропрочность, а также могут иметь специфическую структуру и обладать беспористостью при толщинах менее 5 мкм. При этом следует отметить, что композиционные электрохимические покрытия рассматриваются в основном как финишные, для придания специальных поверхностных свойств изделиям.

В нашем исследовании была предпринята попытка изучить влияние КЭП с наноалмазами размером 1-2 нм в качестве подслоя для ограничения взаимной диффузии между медной основой и внешним слоем золота. В качестве основы (матрицы) композиционного электрохимического покрытия были выбраны никель, олово, медь, латунь.

## ПРЕДЕЛЬНАЯ ЗАРЯДОВАЯ ЕМКОСТЬ СВИНЦОВОГО АККУМУЛЯТОРА В МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ

<sup>1</sup>Волков С.С.<sup>1</sup>, Николин С.В.<sup>2</sup>, Степанов С.В.<sup>1</sup>, Нечаев А.В.<sup>1</sup>,  
Кочуров А.А.<sup>1</sup>, Меркушов Ю.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище, Россия.

<sup>2</sup>АО «Плазма», 390023, г. Рязань, Россия, [volkovst@mail.ru](mailto:volkovst@mail.ru)

Целью данной работы являлось определение потенциальной возможности получения электрического заряда с поверхностей электродов свинцово-кислотного аккумулятора в количестве, соответствующем практической зарядовой емкости аккумулятора.

Зарядоотдача любого аккумулятора определяется (измеряется) контрольно-тренировочным циклом, и в частности контрольным разрядом. Вопрос рассмотрим на примере свинцово-кислотного аккумулятора самой распространенной батареи 6СТ190. Зарядовая емкость аккумулятора с напряжением (эдс) 2 Вольта в 10-ти часовом режиме «заряд-контрольный разряд-заряд» равна  $C_{10} = I \cdot t = 190 \text{ Ампер} \cdot \text{час}$ , что равно  $190 \cdot 3600 = 684\,000 \text{ Кулон}$ , где  $I$  – ток разряда,  $t$  – время разряда. При этом ток разряда составляет  $I = 0.1 C_{10} = 19 \text{ Ампер}$ . Контрольным режимом разряда постоянным током проверяется работоспособность батарей при подготовке автомобильного транспорта к выполнению ответственного задания. Заданная величина тока контрольного заряда поддерживается стабилизатором тока в цепи нагрузки. Для годных батарей график функции  $I(t)$  контрольного разряда представляется прямой линией, параллельной оси времени в интервале не менее 0 – 10 час. Очевидно, что зарядовой емкости соответствует заданное количество электронов, определяемое по формуле  $C_{10} = q = e n_e$ . Отсюда  $n_e = C_{10} / e$  и для данного примера  $n_e = 684\,000 / (1.6 \cdot 10^{-19}) = 4.275 \cdot 10^{24}$  электронов. В химической теории работы гальванических элементов предполагается, что электрический ток по внешней цепи и соответственно по нагрузке обеспечивается направленными электрохимическими реакциями на поверхностях электродов, в результате которых на отрицательном электроде выделяются электроны в электрод, а на положительном электроде отбираются электроны в электролит. В рассматриваемом примере на отрицательном электроде происходит реакция  $\text{Pb} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Pb}_2\text{SO}_4 + 2\text{H} + 2e^-$ , в результате которой образуется на поверхности молекула сульфата свинца, а для формирования тока освобождается два электрона. Для выделения  $n$  электронов, соответствующих зарядовой емкости, необходимое число атомов свинца составит  $n_{\text{Pb}} = n_e / 2 = 1.187 \cdot 10^{20} / 2 = 5.94 \cdot 10^{19}$  атомов. Размер атома свинца  $a_{\text{Pb}} = 3.12 \text{ \AA}$ . Рабочая площадь отрицательного электрода составит  $S = a_{\text{Pb}}^2 \cdot n_{\text{Pb}} = (3.12 \cdot 10^{-8})^2 \cdot 4.275 \cdot 10^{24} = 2.277 \cdot 10^8 \text{ см}^2 = 22\,770 \text{ м}^2$ . Пористые электроды имеют развитую поверхность и её площадь определяется для каждой пористости по-разному. В данном случае пористость электродов составляет 50% и получить её можно только при укладке шаровых зерен активной массы в структуре, близкой к кубической симметрии. Любые отклонения геометрии снижают процент пористости. На основе таких условий проведен расчет поверхности пористых электродов свинцового аккумулятора. При известных размерах электродов (стандартные)  $127 \times 143 \times 2 \text{ мм}^3$  определены количество шариков в активной массе 50%-ной пористости и соответственно полная площадь поверхности шариков активной массы. Из технологии известно, что размер шариков свинца отрицательного электрода равен 10 мкм, а положительного электрода равен 2 мкм. В результате расчета получена площадь активной массы одной пластины отрицательного электрода  $20 \text{ м}^2$ , положительного электрода  $56 \text{ м}^2$ . Полные площади (15 пластин) электродов равны соответственно  $300 \text{ м}^2$  и  $840 \text{ м}^2$ , что меньше площади по механизму сульфатации ( $22\,770/300$ ) в десятки раз. Электрохимические реакции, даже если они есть, не могут обеспечить необходимую зарядовую емкость аккумулятора.

### Список литературы

1. Антропов Л. И. Теоретическая электрохимия. – М.: Высшая школа, 1975. 568 с.
2. Скорчеллетти В. В. Теоретическая электрохимия. – Л.: Химия, 1974.
3. Физическая химия. В 2 кн / Кн. 2. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ. / Под ред. К. С. Краснова. – М.: Высш. школа, 1995. 319 с.

# ОРГАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРОВ С ДВОЙНЫМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

*Гультяев С.В., Бояринцев Д.А., Фофанов С.А., Мехряков А.Я., Волкова Л.П.,  
Шемякина В.В., Кузьмина А.С., Сухих Е.М., Абалтусов А.С.*

АО «Элеконд», Сарапул, Россия, [elecond.35.opl@elcudm.ru](mailto:elecond.35.opl@elcudm.ru)

Для соответствия современным требованиям технологии установки электронных компонентов на поверхность печатной платы с использованием автоматического сборочного оборудования возникла необходимость выпуска конденсаторов с двойным электрическим слоем с расширенной верхней границей температурного диапазона без ухудшения эксплуатационных характеристик конденсаторов. Для этого необходимы органические электролиты для конденсаторов с двойным электрическим слоем с расширенной верхней границей температурного диапазона. Настоящая работа посвящена исследованию электропроводности органических электролитов, обладающих высокотемпературными свойствами.

Длительность пайки электронных компонентов в печи оплавления при температуре свыше 200 °C составляет 90-150 секунд. Для традиционных органических электролитов для конденсаторов с двойным электрическим слоем на основе ацетонитрила такие нагрузки с большой долей вероятности могут привести к переходу электролита в парообразное состояние, значительному увеличению давления внутри конденсатора и возможному его выходу из строя. Актуальность проведенных исследований заключается в обеспечении стойкости конденсатора к воздействию повышенных температур и обеспечению возможности использования конденсаторов с двойным электрическим слоем в автоматическом сборочном оборудовании.

Несмотря на огромное разнообразие высококипящих органических растворителей лишь немногие из них могут быть использованы в составе электролита для конденсаторов с двойным электрическим слоем. Требования к органическим растворителям не ограничиваются только широким диапазоном жидкого состояния и выдерживаемым напряжением (не менее 3,15 В). Они должны растворять соли четвертичного аммония с образованием растворов с концентрацией растворенного вещества не менее 2 моль/дм<sup>3</sup>, не выделять газообразных веществ при разложении, обладать низкой вязкостью.

Изучена электропроводность неводных систем на основе сульфонов и динитрилов как циклического, так и линейного строения. Определены составы электролитов, позволяющих конденсатору с двойным электрическим слоем выдерживать воздействие высоких температур пайки во время сборки печатных плат.

# ГАЗОДИФфуЗИОННЫЙ ЭЛЕКТРОД НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ДВУХЭЛЕКТРОННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА В ПЕРОКСИД ВОДОРОДА

Гуськова М.И.<sup>1</sup>, Судьин В.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>ООО “ИТИ”, Москва, Россия

<sup>2</sup>ИМЕТ РАН им. А.А. Байкова, Москва, Россия

[m.guskova1@alumni.nsu.ru](mailto:m.guskova1@alumni.nsu.ru)

Электрохимический синтез пероксида водорода ( $H_2O_2$ ) — перспективная альтернатива традиционным методам, так как позволяет получать пероксид на месте, без опасных веществ и с низкими энергозатратами. В отличие от промышленного производства, требующего сложной логистики, электрохимическая генерация обеспечивает низкие концентрации (100–200 мг/л), достаточные для обеззараживания. Этот подход исключает хранение и транспортировку, снижает риски разложения  $H_2O_2$  и позволяет создавать компактные автономные системы, работающие только на воде, кислороде и электричестве. Это особенно важно для удалённых потребителей, не имеющих доступа к крупным производствам.

Ключевой проблемой в разработке эффективных электрохимических систем генерации  $H_2O_2$  является создание стабильного и селективного газодиффузионного электрода (ГДЭ)[1]. Для успешного протекания двухэлектронного восстановительного процесса превращения кислорода в пероксид, материал электрода должен обладать высокой электропроводимостью, развитой поверхностью для увеличения выхода продукта, гидрофобностью для стабильного образования границы раздела трёх фаз (электрод, электролит, кислород), а также химической и механической устойчивостью в широком диапазоне различных условий.

Исследование проводили в трёхэлектродной ячейке в гальваностатическом режиме с использованием потенциостата Electrochemical Instruments P-20X. В качестве материала основы использовали пористый алюминий, полученный методом растворения соли из алюминиевой матрицы. Покрытие из электрокатализатора получали методом многослойного нанесения суспензии сажи и тефлонового порошка с последующим отжигом.

В данной работе предложена конструкция ГДЭ на основе пористого литого алюминия, с покрытием из сажи и тефлона в различных пропорциях, обеспечивающим необходимую гидрофобность и электрохимическую активность. Были проведены исследования параметров электролиза - плотности тока и потенциала относительно стандартного хлорсеребряного электрода. Испытания демонстрируют выходы по току вплоть до 15%, что подтверждает принципиальную работоспособность подхода. Дальнейшая оптимизация состава покрытия и структуры электрода направлена на повышение эффективности генерации  $H_2O_2$  и стабильности системы в длительных режимах работы. Концентрация перекиси определялась путем фотометрического определения йода, получаемого в результате взаимодействия пероксида водорода с йодидом калия в присутствии пероксидазы хрена.

[1] – Siahrostami, S., Verdager-Casadevall, A., Karamad, M. *et al.* Enabling direct  $H_2O_2$  production through rational electrocatalyst design. *Nature Mater* **12**, 1137–1143 (2013). <https://doi.org/10.1038/nmat3795>

# МИКРОНЕОДНОРОДНОЕ СТРОЕНИЕ СТЕКЛА. ПОЛИЩЕЛОЧНОЙ ЭФФЕКТ В СТЕКЛАХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ

Добош А.Ю.<sup>1,2</sup>, Соколов И.А.<sup>2,3</sup>, Химич Н.Н.<sup>1</sup>

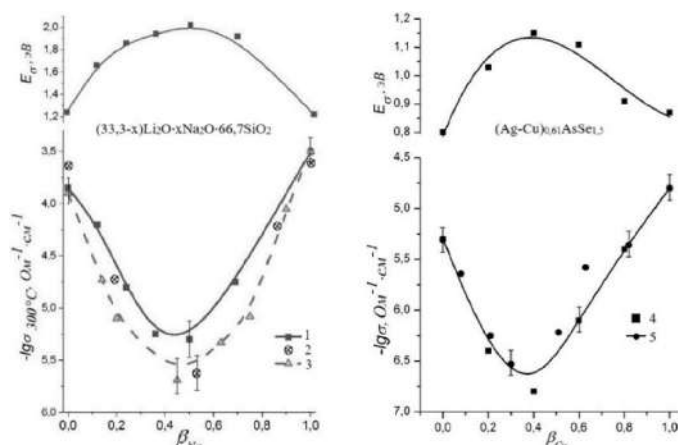
<sup>1</sup>Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Россия

<sup>3</sup>Филиал НИЦ «Курчатовский институт» – ПИЯФ – ИХС, Санкт-Петербург, Россия  
alex\_dbsh@mail.ru

Нелинейное изменение миграционных параметров носителей тока при эквивалентном замещении одного подвижного иона другим в относительно простых оксидных стеклах с высоким содержанием щелочных оксидов – проявление «эффекта двух щелочей» или «полищелочного эффекта» (ПЩЭ) – в рамках модели микронеоднородного строения стекла [1] объясняется образованием смешанных группировок с участием двух мигрирующих катионов, в результате чего часть катионов исключается из процессов миграции.

Удельная электропроводность таких смешанных стекол ( $\sigma_{\Sigma}$ ) аддитивно складывается из величин проводимостей однощелочных стекол ( $\sigma_{M'} + \sigma_{M''}$ ) с объемной концентрацией соответствующих щелочных ионов, равной их объемной концентрации в сложном полищелочном стекле:  $\sigma_{\Sigma} = (\sigma_{M'} + \sigma_{M''}) \cdot \exp(-\Delta S'/(2R))$  (\*). Энтروпийный сомножитель отвечает за количество таких смешанных полиметаллических группировок, затрудняющих или вовсе исключаящих как диссоциацию, так и последующую миграцию обоих катионов.



**Рис. 1** Изменение  $\sigma$  и  $E_{\sigma}$  при эквивалентном замещении (а)оксида лития на оксид натрия; (б) серебра на медь; (1,2,4 – наши данные; 3.5 – расчет по формуле (\*))

сменяется чисто электронной у составов медных [3]. При этом, расчет по уравнению (\*) также дает удовлетворительные результаты (рис.1(б)).

Таким образом, можно утверждать, что нелинейное изменение электрических параметров при замещении одного носителя тока другим представляется более широким явлением, чем полищелочной эффект, а модель микронеоднородного строения стекла применительно к стеклам различных классов демонстрирует возможность использования аддитивных схем для количественного описания этого эффекта.

Указанный подход позволяет удовлетворительно описывать проявление ПЩЭ в силикатных (рис.1(а)), боратных и фосфатных полищелочных стеклах. Нелинейное изменение электрических параметров при эквивалентном замещении одного металла другим, внешне напоминающее ПЩЭ, наблюдается и в некоторых халькогенидных стеклообразных системах, например, в системе  $(Ag - Cu)_x - As_2Se_3$  (рис.1 (б)). Но в этом

случае при замещении серебра на медь меняется не только величина проводимости, но и ее тип: преимущественно ионная проводимость у чисто серебряносодержащих составов

1. Мюллер Р.Л. Электропроводность стеклообразных веществ // Ленинград: Изд-во Ленинградского университета. 1968. 252 с.

2. Добош А.Ю., Химич Н.Н., Соколов И.А. Полищелочной эффект в стеклах различных классов в рамках модели микронеоднородного строения стекла // Электрохимия. 2024. Т.60. №6. с.415-429.

3. Соколов И.А. Микронеоднородное строение стекла. Электрические свойства // СПб: Изд-во ВВМ. 2024. 168 с.

# МЕЖФАЗНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ АМИНОЗАМЕЩЕННЫХ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВ

Долинина Е.С., Парфенюк В.И.

Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН, Иваново, Россия  
terrakott37@mail.ru

Наравне с электрохимическим осаждением на проводящую подложку или осаждением пленок методом Ленгмюра-Блоджетта нерастворимые пленки полипорфиринов могут быть получены методом межфазной полимеризации, который позволяет нанести полипорфирины на подложку самого различного типа без изменения химических свойств пленки.

В представленной работе в качестве мономеров для получения полимерных тонких пленок были использованы 5,10,15,20-Тетракис(4-аминофенил)порфирин (ТАФП), тетракис(4-(хлорокарбонил)фенил)порфирин (ТХКФП) и анилин.

Межфазная полимеризация пленок из ТАФП И ТХКФП проводилась на основе методики, описанной в работе [1], так же были получены пленки, при приготовлении которых ТХКФП заменили на анилин.

ТАФП растворяли в небольшом количестве соляной кислоты, к полученному раствору добавляли фосфатный буферный раствор с рН 2.9, ТХКФП (или анилин) растворяли в дихлорметане. Затем раствор порфирина в фосфатном буфере наслаивали по стенке чашки Петри на раствор в дихлорметане.

Через 12 часов на границе раздела фаз образовывалась полипорфириновая пленка. Полученная пленка наносилась на ИТО-электроды методом погружения (I) , а так же переносом пленки, образовавшейся на границе раздела фаз с помощью шприца и дальнейшим высушиванием пленки на воздухе (II).

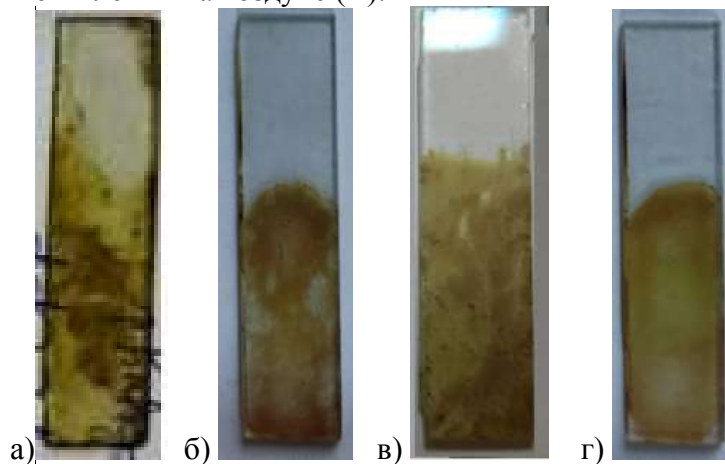


Рис. 1. Пленки, полученные методом межфазной полимеризации способ I: а) ТАФП+ТХКФП б) ТАФП+анилин; способ II: в) ТАФП+ ТХКФП г) ТАФП+анилин

Для полученных пленок получены ИК, ЭСП и Раман-спектры, СЭМ-изображения поверхности.

**Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда,  
проект № 24-13-00010.**

1. Li W., Wamser C.C. Langmuir, 1995, Vol. 11 (10) , 4061-4071. doi:10.1021/la00010a071.. doi: 10.1021/acs.jpcc.5b02628.

# ВЛИЯНИЕ СОСТАВА $\mu$ -МОСТИКОВЫХ ГЕТЕРОБИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ С МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ НА РЕДОКС СВОЙСТВА

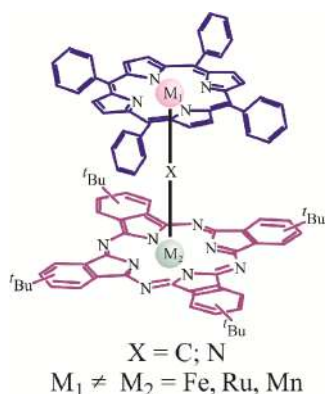
Зайцева С.В.<sup>1</sup>, Зданович С.А.<sup>1</sup>, Тюляева Е.Ю.<sup>1</sup>, Сухарев В.С.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

<sup>2</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия

[svz@isc-ras.ru](mailto:svz@isc-ras.ru)

Биядерные  $\mu$ -мостиковые комплексы переходных металлов с порфириноподобными лигандами являются удобными моделями активных центров ферментов (цитохром р450, пероксидазы, метанмонооксигеназы и др.), в основе действия которых лежат окислительно-восстановительные процессы. Такие соединения содержат несколько реакционных центров (металл в высокой степени окисления, макроциклические и аксиальные лиганды, мостиковый фрагмент), а химическая модификация структуры ведет к заметным изменениям физико-химических свойств. Разработка молекулярных платформ для катализаторов, которые способны селективно и с низким потенциалом проводить окислительно-восстановительный процесс, является актуальной задачей современных исследований в области бионеорганической химии.



В данной работе методами электронной спектроскопии, масс-спектрометрии и циклической вольтамперометрии исследована реакционная способность биядерных  $\mu$ -мостиковых комплексов, содержащих порфириновые и фталоцианиновые части и  $\text{Fe}^{\text{IV}}=\text{C}=\text{Ru}^{\text{IV}}$ ,  $\text{Fe}^{\text{IV}}=\text{C}=\text{Mn}^{\text{IV}}$  или  $\text{Fe}^{\text{IV}}=\text{N}-\text{Mn}^{\text{III}}$  мостиковые фрагменты, при взаимодействии с трет-бутилгидропероксидом ( $C=2.7 \cdot 10^{-4}-2.7 \cdot 10^{-2}$  моль/л), а также окислительная активность высокоокисленных интермедиатов по отношению к органическим субстратам ( $\square$ -каротин, адамантан). Исследованы электрохимические свойства целевых соединений в анодной области методом CV в растворителях  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  и  $\text{CH}_2\text{Cl}_2/t\text{BuOOH}$  с использованием  $\text{Bu}_4\text{NClO}_4$  в качестве опорного электролита при комнатной температуре. Электронные спектры поглощения демонстрируют маркерные полосы окисления димерного комплекса по макроциклическим лигандам. Вольтамперограммы (в  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$ ) показывают наличие трех обратимых пиков, характеризующих три одноэлектронных окисления димерного комплекса. Показано влияние N-основания на химическое и электрохимическое генерирование высокоокисленных форм димерных комплексов. Установлено, что химическое и электрохимическое окисление целевых соединений дает возможность легкого получения интермедиатов с различным редокс состоянием. Проанализировано влияние природы макрогетероциклического лиганда, мостика, металла и координационного окружения на реакционную способность димерных комплексов, в том числе редокс потенциал и каталитическую активность. Для разделения эффектов, влияющих на вышеуказанные свойства, проведено сравнение пар соединений с соответствующими мостиковыми фрагментами  $\text{Fe}^{\text{IV}}=\text{C}=\text{Ru}^{\text{IV}}/\text{Fe}^{\text{IV}}=\text{C}=\text{Mn}^{\text{IV}}$  и  $\text{Fe}^{\text{IV}}=\text{N}-\text{Mn}^{\text{III}}/\text{Fe}^{\text{IV}}=\text{C}=\text{Mn}^{\text{IV}}$ . Синергетический эффект различных металлов, макроциклических и мостиковых фрагментов в димерах представляет интерес с точки зрения детального изучения взаимосвязи «структура–свойство». Результаты работы позволят расширить круг модельных соединений с целью создания молекулярных платформ, перспективных для практического применения.

## ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПРОЦЕСС ОСАЖДЕНИЯ СПЛАВА ОЛОВО-ВИСМУТ

*Казанцева М.С., Рубцов Е.А.*

Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия  
[Evgen48region@gmail.com](mailto:Evgen48region@gmail.com)

Современная промышленность постоянно требует новых материалов с улучшенными функциональными свойствами. Особое внимание уделяется материалам, использующим наночастицы различной природы. Перспективы в этом направлении имеют композиционные покрытия с углеродными наноструктурами. К настоящему времени получены хромовые, никелевые и медные покрытия с наноалмазами, нанотрубками, фуллеренами. Использование наночастиц позволяет получать эксплуатационные характеристики покрытий значительно выше, чем для покрытий с включениями частиц дисперсной фазы микронных размеров.

В работе исследовано влияние наночастиц оксида графена на процесс осаждения сплава олово-висмут на медную основу из сернокислого электролита. Осаждение указанных покрытий относится к основным процессам гальванотехники. Покрытия используют для придания паяемости, улучшения внешнего вида и повышения коррозионных свойств различных изделий. Для осаждения матрицы применяли электролит, состав которого указан в ГОСТ 9.305-84. Дисперсную фазу оксида графена вводили в электролиты в виде 0,25%-ного водного раствора. Использовали оксид графена, полученный по методу Хаммерса.

Было установлено, что при введении исследуемой добавки в кислый электролит частицы оксида графена образуют конгломераты, что приводит к необходимости диспергирования их с помощью ультразвука. Выбраны мощность и длительность обработки электролита ультразвуком перед нанесением покрытий, при которых сохраняется прозрачность раствора и обеспечивается равномерность распределения частиц оксида графена в объеме. Поляризационные исследования показали, что при увеличении содержания оксида графена в электролите повышается катодная поляризация при осаждении покрытий. Полученные данные согласуются с результатами исследования микроструктуры поверхности – осадки становятся более мелкокристаллическими, светлыми. При этом выход по току, определенный гравиметрическим способом, несколько увеличивается. Установлено, что с повышением плотности тока в диапазоне 0,3-2,0 А/дм<sup>2</sup> содержание висмута возрастает как в покрытиях, полученных из электролита без добавки, так и в покрытиях, полученных из раствора с дисперсной фазой оксида графена. Причем содержание висмута в образцах из раствора с оксидом графена несколько ниже.

## ОТ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ К ИОНОСЕЛЕКТИВНОЙ КУЛОНОМЕТРИИ: ПРОГРЕСС КАЖУЩИЙСЯ ИЛИ РЕАЛЬНЫЙ?

***Керестень В.М., Михельсон К.Н.***

Санкт-Петербургский государственный университет, Институт Химии, Санкт-Петербург,  
Россия  
[v.keresten@spbu.ru](mailto:v.keresten@spbu.ru)

Разработка методов высокочувствительного количественного определения электролитного состава биологических жидкостей – актуальная задача. Для определения ионного состава таких жидкостей широко применяют ионоселективные электроды (ИСЭ) с полимерными пластифицированными мембранами на основе ионофоров. Измерения с ИСЭ традиционно проводят в потенциометрическом режиме, т. е. в условиях нулевого тока. Ввиду недостатков потенциометрии ведущие научные группы в мире, которые занимаются этими сенсорами, в настоящий момент сосредоточились на их использовании в токовых режимах: кулонометрии и вольтамперометрии. Несмотря на активное развитие аналитических возможностей применения ионоселективных электродов в токовых режимах, многие физико-химические аспекты функционирования ИСЭ в них требуют серьезного изучения.

Ионоселективная кулонометрия – один из методов работы с ИСЭ в условиях ненулевого тока. Он был предложен в группе проф. Бубаки (Финляндия) [1] и получил название “constant potential coulometry”. Метод состоит в проведении хроноамперометрических измерений с ИСЭ и получением величины накопленного заряда путем интегрирования тока по времени. По литературным данным, кулонометрия с ИСЭ привлекательна с точки зрения повышения чувствительности анализа в сравнении с потенциометрией [2]. Однако по нашим данным, это повышение чувствительности является только кажущимся, поскольку природа образования сигнала та же, что и в потенциометрии: разность потенциалов на границе ионоселективной мембраны/анализируемый раствор. Обсуждение этого обстоятельства, с примерами конкретных измерений, а также с учетом возможностей применяемого оборудования, займёт центральное место в докладе.

Помимо критического рассмотрения фундаментальных и технических ограничений ионоселективной кулонометрии, в докладе будут продемонстрированы и её преимущества. Будет продемонстрирована обнаруженная в нашей научной группе возможность повышения надёжности получаемых данных за счёт генерации последовательности сигналов (вместо одного сигнала) от одного и того же образца и их последующего усреднения. Будет предложена альтернативная методика проведения кулонометрического анализа: не методом добавок (как предлагается в литературе), а методом наложения различных потенциалов на электрод, находящимся в контакте с одним и тем же образцом. Помимо этого, будет рассмотрена возможность проведения анализа с высокоомными ИСЭ, поскольку работа в токовых режимах с такими объектами на данный момент представляет особую сложность. Таким образом, в рамках данного доклада будет проведено сопоставление результатов измерений при нулевом (потенциометрия) и ненулевом (хроноамперометрия/кулонометрия) токе с ИСЭ, продемонстрированы преимущества и недостатки обоих методов.

***Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда  
(проект № 24-23-00215).***

Список литературы:

1. Vanamo U., Hupa E., Yrjänä V., Bobacka J. // Anal. Chem. 2016. V. 88. #8. P. 4369.
2. Han T., Mattinen U., Bobacka J. // ACS Sensors. 2019. V. 4. #4. P. 900.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕТРА(3-ПИРИДИЛ)ЗАМЕЩЕННОГО ПОРФИРИНА НА ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ОКСИДНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

**Кибирева Я.Е.<sup>1,2</sup>, Макарова А.С.<sup>3</sup>, Киселев А.Н.<sup>1,2</sup>, Сырбу С.А.<sup>1,2</sup>, Мехряков А.Я.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия

<sup>2</sup>Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

<sup>3</sup>АО «Элеконд», Сарапул, Россия

kuznetsova.alex.91@gmail.com

Порфирины и их структурные аналоги, благодаря их высокой температурной стабильности [1], исследуются в качестве катализаторов различных химических, электрохимических и фотохимических процессов, а также находят применение в качестве основы молекулярных машин [2]. Известно применение структурных аналогов порфиринов – гемипорфиразинов в качестве добавок к рабочим электролитам алюминиевых оксидно-электролитических конденсаторов (АОЭК) [3]. Однако исследование в качестве добавок к электролитам АОЭК самих порфиринов на данный момент не проводилось, при этом данное направление является актуальным. В качестве объекта исследования был выбран тетра(3-пиридил)замещенный порфирин (рисунок 1).

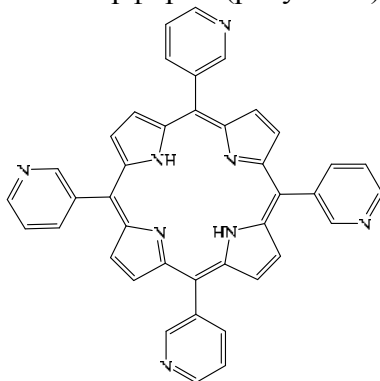


Рисунок 1 – Структурная формула тетра(3-пиридил)замещенного порфирина

В ходе проведенных работ была исследована растворимость данного порфирина в основных растворителях, применяемых в электролитах: смеси гамма-бутиролактона (ГБЛ) и N-метилпиролидона (МП), этиленгликоле (Эг) и диметилформамиде (ДМФА). Далее была подобрана оптимальная концентрация добавки порфирина к серийно-применяемым рабочим электролитам Э1 на основе ГБЛ:МП, Э2 на основе Эг и Э3 на основе ДМФА.

Был проведен сравнительный анализ полученных составов рабочих электролитов с добавкой порфирина с электропараметрами серийно-применяемых электролитов. Полученные электролиты предложены для проведения дальнейшего сравнительного анализа в макетах конденсаторов.

**Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ по теме № FZZW-2023-0009.**

1. Berezina N.M., Do Ngoc Minh, Tikhonova Yu.I., Tumanova N.N., Guseinov S.S., Bazanov M.I., Berezin M.B., Glazunov A.V., Semeikin A.S. / Russian Journal of General Chemistry, 2016, Vol. 86, No. 4, pp. 835–839.
2. Ikeda T., Shinkai S., Sada K., Takeuchi M / Tetrahedron Letters, 2009, No. 50, pp. 2006–2009.
3. Кузнецова А.С., Мехряков А.Я., Волков С.В., Койфман О.И., Исляйкин М.К. // Электрохимия, 2019, Т.55, № 4, С. 385 - 393.

## ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ НА УДЕЛЬНУЮ ЕМКОСТЬ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

*Киселева Е.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Объединенный институт высоких температур РАН, Москва, Россия  
[kanna787@mail.ru](mailto:kanna787@mail.ru)

Системы хранения электрической энергии, включая батареи и электрохимические конденсаторы, являются ключевыми энергетическими технологиями, помогающими перейти от экономики ископаемого топлива к более устойчивому энергетическому будущему. В последние годы были достигнуты значительные успехи в разработке электрохимических конденсаторов. Они заполняют нишу систем хранения энергии и, как правило, обеспечивают более высокую циклируемость и плотность мощности.

В данной работе исследованы морфология, структура, удельная площадь поверхности, удельная проводимость и электрохимические свойства рабочих электродов суперконденсаторов, приготовленных на основе нелегированных и легированных азотом углеродных нанотрубок. Добавление легированных азотом углеродных нанотрубок приводит к увеличению емкости электродного материала за счет быстрых окислительно-восстановительных реакций, которые происходят на поверхности материала с высокой площадью поверхности.

В этом исследовании легированные азотом углеродные нанотрубки были синтезированы с использованием двух различных прекурсоров: пиридина и этилендиамина. Полученные углеродные материалы использовались для исследования влияния легирования азотом на морфологию поверхности структур углеродных нанотрубок, как эти морфологические изменения влияют на емкость/псевдоемкость углеродных нанотрубок и как степень внедрения азота в углеродные нанотрубки связана с емкостным поведением.

Все образцы легированных азотом углеродных нанотрубок были физически проанализированы с использованием сканирующей электронной микроскопии, просвечивающей электронной микроскопии, рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, энергодисперсионной рентгеновской микроскопии и рамановской спектроскопии. Удельные емкости оценивались с помощью электрохимических методов: потенциодинамической циклической вольтамперометрии и гальваностатической зарядно-разрядной вольтамперометрии. Полученные результаты в конечном итоге использовались для проверки пригодности азотированных углеродных нанотрубок в качестве углеродных материалов для электрохимических конденсаторов.

## РОЛЬ РЕДОКС-СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ДОПАМИНА

***Комарова Н.С., Кривенко А.Г., Манжос Р.А.***

Федеральный исследовательский Центр проблем химической физики и медицинской химии  
РАН, Черноголовка, Россия  
[komarova@icp.ac.ru](mailto:komarova@icp.ac.ru)

Обзор литературы и регулярный выход новых публикаций показывает, что проблема избирательного определения допамина (Д) и аскорбиновой кислоты (АК), содержащихся одновременно в биологических средах, остается открытой, поскольку точная и своевременная диагностика биологически активных веществ позволяет вовремя оказать необходимую помощь и предотвратить или замедлить серьезные заболевания, такие как цинга, шизофрения, болезни Хантингтона, Паркинсона и другие психические заболевания [1]. Суть проблемы одновременной электрохимической идентификации вышеуказанных биологических соединений в крови и межклеточной жидкости центральной нервной системы кроется в их близких потенциалах окисления и наложении токов друг на друга и, как следствие, объединении откликов в один общий анодный широкий пик на большинстве твердых электродах. Для решения этой проблемы, большинство исследователей выбрали очевидное направление: модификацию электрода и изучение механизма окисления АК и Д на такой поверхности.

Наш подход основан на выявлении и регистрации смещения потенциалов пиков окисления смеси АК и Д в присутствии в объеме раствора комплексного соединения, комплексообразователь которого находится в высшей степени окисления и взаимодействует с данными органическими деполаризаторами. Обнаружено, что редокс-системы  $[\text{Ru}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$  и  $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ , реагируя в объеме раствора с АК либо Д, смещают пики окисления последних. Так, рутениевый комплекс разделяет пики АК и Д относительно друг друга на ~190 мВ при значении скорости развертки в 2.5 мВ/с благодаря взаимодействию с допамином и смещению его потенциала окисления, а красная кровяная соль отдаляет пики двух изучаемых соединений на ~360 мВ при скорости развертки потенциала 5 мВ/с вследствие реакции с АК, соответственно меняя потенциал ее окисления. Установлено, что токи анодных пиков АК и Д независимо от использованного комплекса пропорциональны квадратному корню из скорости развертки потенциала в области 2.5–50 мВ/с, что указывает на диффузионно контролируемый характер переноса электрона.

По результатам исследований обнаружен аномальный (~ 2 раза) рост тока окисления обоих соединений (АК и Д) при низких скоростях развертки потенциала (от 2.5 до 20 мВ/с) в присутствии в объеме редокс-систем. Это связано, по-видимому, с длительным установлением равновесия взаимодействия комплексной соли с одним из изучаемых соединений. Из этого следует, что оптимальным условием разделения биологически значимых соединений в нашем случае является регистрация пиков окисления методом циклической вольтамперометрии на алмазном электроде, допированном бором, при низких скоростях развертки потенциала.

***Работа выполнена по теме Государственного задания № 124013000692-4.***

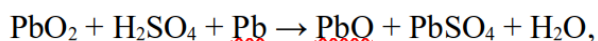
1. Postolovic K.S., Radovanovic M.B., Stanic Z.D.//Journal of Electroanalytical Chemistry. 2025. V. 980. P.118992.

## О МЕХАНИЗМЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ В СВИНЦОВОМ КИСЛОТНОМ АККУМУЛЯТОРЕ

*Кочуров А.А., Волков С.С.*

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище,  
Рязань, Россия, E-mail: [a\\_lucky@mail.ru](mailto:a_lucky@mail.ru)

Одним из проблемных вопросов при эксплуатации свинцовых стартерных аккумуляторных батарей (АБ) открытого вида является повышение срока их службы. По мнению большинства исследователей основными причинами отказа АБ открытого вида с нормальным расходом воды являются такие эксплуатационные неисправности [1], как коррозия токоотводов и оплывание активной массы положительных электродов, обусловленные физико-химическими процессами, протекающими в них при работе, условиями и режимами их эксплуатации. При этом повышение срока службы аккумуляторов с намазными пластинами определяется главным образом мерами борьбы с оплыванием активной массы, однако мнения различных авторов на процесс оплывания значительно различаются, а используемые для характеристики оплывания термины – осыпание, оползание, перемещение, выкрашивание – различными авторами трактуются по-разному. С целью изучения элементного состава и механизма оплывания активной массы положительных электродов свинцового аккумулятора были разработаны и реализованы метод экспериментального определения наличия и характера связи сульфатов свинца с поверхностью положительных и отрицательных электродов аккумулятора, основанный на исследовании изменения плотности электролита при заряде аккумуляторов, скомпонованных из полублоков электродов различной степени заряженности [1]. Установлено, что в процессе разряда на поверхности положительных электродов аккумулятора, как продукт токообразующей реакции, формируется разрядный слой активной массы, содержащий  $PbO$  и ионы  $SO_4^{2-}$ , отличительной особенностью которого является то, что энергия связи с поверхностью электродов по величине соответствует энергии физической адсорбции и менее, легко удаляется с поверхности при промывке в растворе электролита или дистиллированной воде, а его скорость оплывания обусловлена режимами использования аккумуляторных батарей при эксплуатации. Кроме того, выполненные экспериментальные исследования элементного состава поверхности положительных электродов разряженных аккумуляторов методами электронной и ионной спектроскопий [2] показали лишь незначительное присутствие атомов серы (0,5%) в их составе, что свидетельствует об отсутствии молекул сульфата свинца на поверхности электродов и не согласуется с положением теории двойной сульфатации. Предложен механизм протекания первичной токообразующей реакции в свинцовом кислотном аккумуляторе, отличающийся от теории двойной сульфатации тем, что она при разряде аккумулятора протекает по механизму восстановления диоксида  $PbO_2$  до оксида  $PbO$  свинца,



который осаждается на поверхности положительных электродов и в последующем, взаимодействуя с ионами  $SO_4^{2-}$  из состава электролита аккумулятора с образованием оксосульфатов  $PbO(SO_4)$ , формирует разрядный слой [3]. Именно этот поверхностный слой оплывает в процессе работы АБ и является основной причиной разрушения их положительных электродов и сокращения сроков службы.

1. Кочуров А.А., Шевченко Н.П., Гумелёв В.Ю. Теоретические основы решения проблемы увеличения сроков службы аккумуляторных батарей при хранении и повышения эффективности способов их восстановления : монография. – Рязань: РВАИ, 2009. – 249 с.

2. Волков С.С., Шевченко Н.П. Физико-аналитические методы диагностики элементного состава и структуры материалов : монография. – Рязань: РВАИ, 2008. – 311 с.

3. Кочуров, А.А. О результатах исследования процессов, протекающих на положительных электродах при разряде свинцово-кислотного аккумулятора / А. А. Кочуров // Научный резерв. 2018. № 2. С. 26-37.

## ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА В ПРИСУТСТВИИ ПАВ

***Краснова А.О.<sup>1</sup>, Глебова Н.В.<sup>1</sup>, Нечитайлов А.А.<sup>1</sup>, Касцова А.Г.<sup>1</sup>, Пелагейкина А.О.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

[krasnova@mail.ioffe.ru](mailto:krasnova@mail.ioffe.ru)

Задачи увеличения эффективности преобразования энергии и ресурса электролизера воды для получения водорода вытекают из тенденции последних лет, определяющей водород в качестве одного из перспективных энергоносителей. В то же время известные проблемы деградации электролизеров с протоннообменной мембраной и относительно небольшой срок их службы, связанные с условиями эксплуатации (высокие анодные потенциалы и плотности тока), диктуют необходимость поиска научно-технических решений увеличения ресурса при сохранении приемлемого уровня характеристик. Тенденцией последнего времени стало использование графена в водородной энергетике. В работе представлены результаты по исследованию способов получения графена методами электрохимической и жидкостной эксфолиации углеродных материалов, включая обработку ультразвуком (УЗ) высокой мощности в присутствии поверхностно-активных веществ (ПАВ).

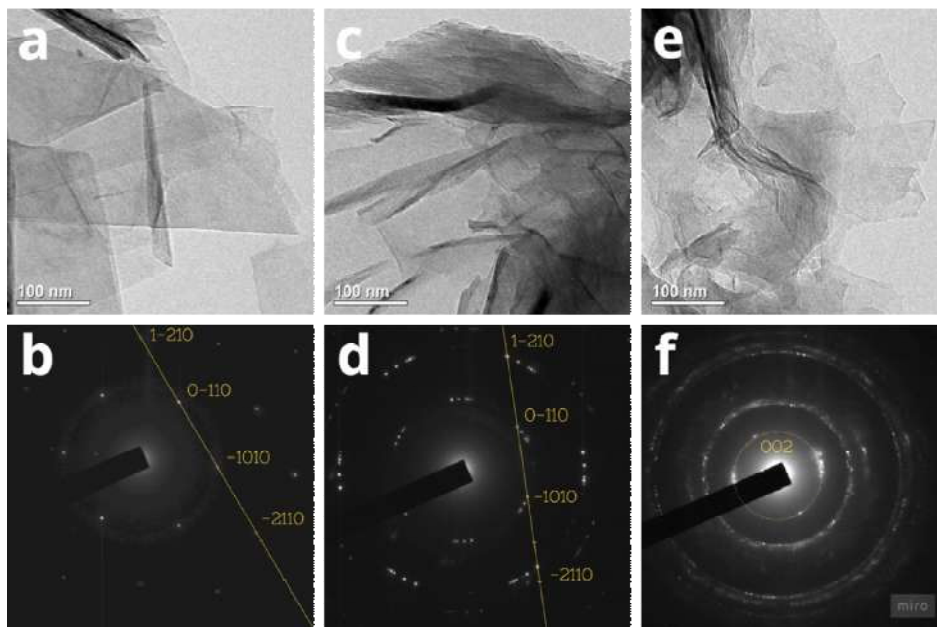


Рисунок – ПЭМ-изображения и картины электронной дифракции образцов малослойного графена, полученных из граффлекса УЗ методом (а, b), из графита методом электрохимической эксфолиации (с, d) и из графита УЗ методом (е, f)

Наблюдения с использованием ПЭМ подтвердили, что графен, синтезированный из графита и граффлекса с использованием Nafion в качестве ПАВ, преимущественно находится в виде одиночных слоев или пачек из малого количества слоев, хотя распределение по толщине полученного графена требует дополнительного уточнения. Латеральные размеры графеновых листов находятся в субмикронном диапазоне. На поверхности листов присутствует покрытие из Nafion, что подтверждается данными рентгеноспектрального микроанализа (EDX). В докладе обсуждается влияние параметров синтеза на структуру и свойства полученных материалов, изученные при помощи методов UV-Vis, XRD, XPS и др. Дальнейшее развитие работы лежит в изучении свойств мембран с добавкой полученного графена.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-73-10176, <https://rscf.ru/project/24-73-10176/>.*

## О ПОДХОДЕ МОТТА-ШОТТКИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОРФИРИНОВЫХ ПЛЕНОК

***Кузьмин С.М., Чуловская С.А., Парфенюк В.И.***

Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН, Иваново, Россия

Материалы на основе соединений порфиринового ряда привлекательны для разработки новых фотокатализаторов [1-3], светоизлучающих диодов [4,5], солнечных элементов [6, 7] и других устройств для хранения и преобразования энергии. Эти области применения порфиринов опираются на великолепные хромофорные характеристики материалов на основе порфиринов [8] и на полупроводниковую природу проводимости этих материалов [9].

В рамках нашей работы выполнен анализ ограничений, которые препятствуют корректному анализу характеристик полупроводниковых пленок. Было показано, что инициированное супероксидом формирование пленок полипорфиринов позволяет получать достаточно толстые сплошные гладкие пленки, что позволяет применить метод Мотта-Шоттки [10] для анализа типа и концентрации основных носителей заряда порфириновой пленки и потенциала плоских зон этого полупроводникового материала.

Разработана методология проведения эксперимента, позволяющая получить корректную информацию о слое пространственного заряда внутри полупроводниковой пленки. Рассмотрены различные эквивалентные схемы, позволяющие определить емкость этого слоя. Показано, что учет адсорбции ионов на поверхности полипорфириновой пленки дает наиболее логичную физическую картину изменения параметров межфазной границы.

Серия экспериментов, выполненная с полученными пленками 5,10,15-трис(4-гидроксифенил)-20-фенилпорфирина и 5,10,15,20-тетракис(4-гидроксифенил)порфирина порфиринов показала, что они являются полупроводниками р-типа. Потенциал плоских зон этих полупроводниковых пленок в растворах ацетонитрила имеет величину около 1 В. Концентрация носителей заряда получена на основании модельных представлений, учитывающих явление адсорбции ионов фонового электролита на поверхности полупроводниковой пленки. Полученные значения не противоречат физическому смыслу и известным литературным данным.

***Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 24-13-00010.***

### Литература:

1. S. R. D. Gamelas, J. P. C. Tomé, A. C. Tomé, et. al. // Catalysis Science & Technology, 2024, V. 14, Issue 9, P. 2352;
2. S. Payamifar, M. Abdouss, A. P. Marjani // Polyhedron, 2025, V. 269, 117389;
3. X. Ma, J. Hu, S. Li, T. Zheng, et. al. // Science Bulletin, 2025, V. 70, Issue 14, P. 2277
4. C. O. Paul-Roth, S. Drouet, A. Merhi, et. al. // Tetrahedron, 2013, V. 69, Issue 46, P. 9625;
5. C. Bizzarri, E. Spuling, D. M. Knoll, et. al. // Coordination Chemistry Reviews, 2018, V. 373, P. 49;
6. Y. Zhang, K. Ren, L. Wang, et. al. // Chinese Chemical Letters, 2022, V. 33, Issue 1, P. 33;
7. F. Gami, M.A. Sebak, M.A.A. Alzara, et. al. // Optical Materials, 2025, V. 163, 116976;
8. V. Silber, N. Gruber, M. Jean, // Chemical Communications, 2022, V. 58, Issue 40, P. 6012;
9. S. Ji, S. Tian, P. Guan, et. al. // Chemical Communications, 2025, V. 61, Issue 41, P. 7356;
10. K. Sivula // The Journal of Physical Chemistry Letters, 2015, V. 6, P. 975.

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ДИФФУЗИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Кузнецова А.Ю.<sup>1</sup>, Постников М.С.<sup>1,2</sup>, Кобелев М.А.<sup>3</sup>, Суслов Е.А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup> *Институт физики металлов им. М. Н. Михеева УрО РАН, Екатеринбург, Россия*

<sup>2</sup> *Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Россия*

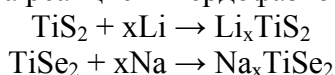
<sup>3</sup> *Уральский государственный экономический университет, Институт менеджмента, предпринимательства и инжиниринга, кафедра физики и химии, Екатеринбург, Россия*

<sup>4</sup> *Уральский государственный аграрный университет, Екатеринбург, Россия*

suslov-ea@mail.ru

Работа химических источников тока напрямую связана сегодня с диффузионными процессами в электролитах и электродных материалах. Сегодня, например, в качестве электродных материалов используют слоистые материалы такие как  $\text{LiFePO}_4$ ,  $\text{LiNiMnCoO}_3$ ,  $\text{TiS}_2$  и другие [1]. В качестве щелочного металла, ионы которого переносят ток, интересны и активно изучаются Li, Na, K, Mg, Ca.

В качестве модельных и интересных слоистых электродов мы рассматриваем халькогениды 3d-металлов ( $\text{TiX}_2$ , X=S, Se, Te), в которые интеркалированы атомы лития или натрия [1]. Интеркаляция возможна реакцией твердофазного синтеза в вакууме по реакциям:



Также интеркаляция осуществляется в электрохимических ячейках ( $\text{Na}|\text{Na}^+|\text{Na}_x\text{TiSe}_2$ ) под действием тока. В этих же ячейках методами импедансной спектроскопии (EIS) [2], потенциостатического (PITT) и гальваностатического прерывистого титрования (GITT) могут быть определены коэффициенты диффузии интеркаланта  $D$  (порядок коэффициента диффузии  $\lg D$ ) [3].

Для описания процесса диффузии интеркалированных частиц разработана теоретическая модель на основе многочастичного потенциала, полученного с помощью машинного обучения. Создание модели опирается на получение точных референсных данных для потенциальной энергии, рассчитываемых в рамках первопринципной молекулярной динамики для моделируемых ячеек, представляющих собой различные пространственные комбинации базовой матрицы  $\text{TiSe}_2$  с интеркалированными ионами. Полученная в результате, модель многочастичного потенциала может быть использована для крупномасштабного молекулярно-динамического расчета параметров диффузионного процесса интеркалированных ионов (коэффициентов диффузии, энергии активации) в слоистых халькогенидах на базе  $\text{TiSe}_2$ . [4]

Предложенные методы используются для изучения и других электродных материалов, в связи с этим предложенная методика может быть адаптирована для кислородных анодов и катодов химических источников тока.

1. Friend R.H., Yoffe A.D. Electronic properties of intercalation complexes of the transition metal dichalcogenides // Adv. Phys. 1987. Vol. 36, № 1. P. 1–94.
2. Backholm J., Georén P., Niklasson G.A. Determination of solid phase chemical diffusion coefficient and density of states by electrochemical methods: Application to iridium oxide-based thin films // J. Appl. Phys. 2008. Vol. 103, № 2.
3. Kang S.D., Chueh W.C. Galvanostatic Intermittent Titration Technique Reinvented: Part I. A Critical Review // J. Electrochem. Soc. 2021. Vol. 168, № 12. P. 120504.
4. Matlak M., Pietruszka M., Rówiński E. Experimental method to detect phase transitions via the chemical potential // Phys. Rev. B. 2001. Vol. 63, № 5. P. 052101.

## ЭЛЕКТРОХИМИЯ РОДИЯ, ПАЛЛАДИЯ И СЕРЕБРА В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА

***Куриганова А.Б., Ставенчук Э.А., Губанова А.А.***

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)

имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

[kuriganova\\_@mail.ru](mailto:kuriganova_@mail.ru)

Основной целью науки о материалах является разработка принципов создания, получения и обработки материалов с заданными свойствами. При этом, важным аспектом является выбор такого подхода к получению того или иного материала, который бы обеспечивал возможность предсказания процессов, которые будут реализовываться в ходе формирования материала, что, безусловно, в дальнейшем скажется на его свойствах и функциональной принадлежности. Среди множества вариаций электрохимических подходов к получению дисперсных материалов на основе частиц благородных металлов, импульсный электролиз зарекомендовал себя как перспективный метод получения материалов на основе благородных металлов [1-3]. Исследование электрохимического поведения благородных металлов, расположенных в одном периоде периодической системы элементов (в частности Rh, Pd, Ag), является существенным шагом на пути к созданию фундаментальных подходов к управлению параметрами электрохимического процесса с целью получения Rh-, Pd- и Ag-содержащих материалов, с заданным составом и микроструктурой.

В настоящей работе было исследовано электрохимическое поведение Rh, Pd и Ag (металлов с одинаковой пространственной группой  $Fm\bar{3}m$ , но разной конфигурацией внешних электронных оболочек) в условиях импульсного электролиза в водных электролитах разного анионного состава ( $Cl^-$ ,  $F^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $OH^-$ ). Установлено, что в зависимости от свойств металла и аниона электролита возможны четыре основных сценария электрохимического поведения металла: образование пассивного оксидного слоя на поверхности металла; растворение металла с образованием комплексных соединений с анионом электролита; образование нерастворимых осадков на электроде; образование дисперсных продуктов в объеме электролита. Показано, что:

1. наличие ионов хлора в электролите позволяет получать дисперсные продукты Rh и Pd, однако на Ag электроде в таких условиях образуется нерастворимый осадок  $AgCl$ ;
2. эффективные скорости формирования Ag-содержащих продуктов в условиях импульсного электролиза характерны только для  $SO_4^{2-}$  и  $F^-$  содержащих электролитах;
3. в  $SO_4^{2-}$  и  $F^-$  содержащих электролитах Rh и Pd пассивировались вследствие подщелачивания приэлектродного слоя с формированием следовых количеств дисперсных продуктов;
4. в сильнощелочном электролите Rh электрод растворялся, а Pd и Ag пассивировались без образования дисперсных продуктов.

Однако, надо понимать, что сценарии формирования дисперсных продуктов в объеме электролита, так и формирования нерастворимых осадков на электроде в обязательном порядке включают в себя этап растворения электрода.

***Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, Соглашение № 25-23-00192.***

1. Kuriganova A., Brink. I., Smirnova N. // Nano Mater. Sci. 2025. Article in Press. <https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2024.09.007>
2. Kuriganova A., Faddeev N., Leontyev I., Allix M., Rakhmatullin A., Smirnova N. // Chemistry Select. 2019. V.4. pp. 8390-8393.
3. Leontyev I., Kuriganova A., Kudryavtsev Y., Dkhil B., Smirnova N. // Appl. Catal., 2012. V.431. pp. 120-125.

# ДИЗАЙН ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ОСНОВЕ Pt И TiO<sub>2</sub> ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ АММИАКА, СОПРОВОЖДАЮЩЕГОСЯ ПОЛУЧЕНИЕМ ВОДОРОДА

Ломакина В.А.<sup>1,2</sup>, Марковская Д.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт катализа имени Г. К. Борескова СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

[v.lomakina@g.nsu.ru](mailto:v.lomakina@g.nsu.ru)

Аммиак – один из наиболее перспективных способов хранения водорода в виде химического соединения, а задача поиска методов разложения NH<sub>3</sub>, сопровождающихся выделением H<sub>2</sub>, является актуальной задачей современной науки [1]. Фотоэлектрохимические методы разложения аммиака представляются перспективными технологиями, поскольку используют материалы с относительно низким (1-5%) содержанием металлов платиновой группы и обладают высокой селективностью. Однако данные технологии на данный момент нельзя использовать из-за отсутствия активных и стабильных материалов [2]. Данная работа посвящена разработке эффективных фотоэлектродов на основе TiO<sub>2</sub> и Pt для фотоэлектрохимического разложения аммиака, сопровождающегося выделением водорода.

В качестве подложек для фотоанодов использовали токопроводящие стекла FTO 1x2 см<sup>2</sup>. Для создания многокомпонентных систем на токопроводящее стекло FTO методом spin coating наносили сначала слой n мг TiO<sub>2</sub>, затем слой Pt в заданном соотношении m% (n мг TiO<sub>2</sub>/m%Pt) или в обратном порядке (m%Pt/n мг TiO<sub>2</sub>), где n и m показывают массу TiO<sub>2</sub> и процентное содержание платины, соответственно.

Экспериментальные исследования фотоэлектрохимических процессов осуществляли в трехэлектродной ячейке с помощью потенциостата-гальваностата модели Р-45Х (Россия). Измерительный комплекс был дополнен модулем FRA-24М для анализа электрохимического импеданса. Источником освещения служил монохроматический светодиод с длиной волны излучения 410 нм. В качестве рабочих электродов применяли композитные фотоэлектроды n мг TiO<sub>2</sub>/m%Pt и m%Pt/n мг TiO<sub>2</sub>. Противоелектродом служил слой платины, нанесенный на токопроводящее стекло FTO, а электродом сравнения – хлоридсеребряный электрод. В качестве электролита использовали водный раствор аммиака. Образцы изучали методами циклической вольтамперометрии, спектроскопии импеданса и методом хроноамперометрии, для подтверждения выделения водорода в процессе фотоэлектрохимического разложения аммиака использовали метод газовой хроматографии.

На первом этапе работы были оптимизированы концентрация и pH водного раствора аммиака. Наибольшие значения фототоков были получены при концентрации аммиака, равной 4·10<sup>-3</sup> М, и pH = 10, соответственно.

На втором этапе работы были изучены композитные фотоэлектроды n мг TiO<sub>2</sub>/m%Pt и m%Pt/n мг TiO<sub>2</sub>. Экспериментально было показано, что плотность фототока падает при увеличении массы нанесенного диоксида титана, а интенсивности пиков химических реакций зависят от порядка нанесения слоев. Наибольшую активность проявляет образец 0,5% Pt/15 мг TiO<sub>2</sub>, плотность фототока в отсутствие внешнего потенциала составила 0,4 мА/см<sup>2</sup>.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Новосибирской области № 25-23-20073, <https://rscf.ru/project/25-23-20073/>*

1. Sun S. et al. //Renewable and sustainable energy reviews. 2022. Т. 169. С. 112918.
2. Hill A. K., Torrente-Murciano L. //international journal of hydrogen energy. 2014. Т. 39. №. 15. С. 7646-7654.

# ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ АММОНИЙНЫХ СОЛЕЙ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ НА ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ОКСИДНО- ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ

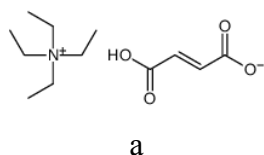
Макарова А.С., Калабина Н.А., Жижина М.А., Мехряков А.Я.

АО «Элеконд», Сарапул, Россия  
kuznetsova.alex.91@gmail.com

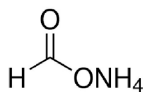
Наиболее актуальным направлением усовершенствования электролитов алюминиевых оксидно-электролитических конденсаторов (АОЭК) на данный момент является использование в качестве ионогенов различных солей карбоновых кислот, что позволяет значительно расширить температурный диапазон, улучшить электропараметры конденсаторов, а также в значительной мере упростить технологический процесс изготовления электролитов [1]. На АО «Элеконд» успешно применяется тетраэтиламмония гидромалеат (рисунок 1а) в качестве ионогена для низковольтного электролита [2]. Однако применение аммонийных солей карбоновых кислот в качестве ионогенов электролитов для АОЭК не носит систематический характер. Поэтому проведение исследования влияния природы аммонийных солей на электропараметры АОЭК актуально.

В качестве объектов исследования были выбраны следующие соли карбоновых кислот:

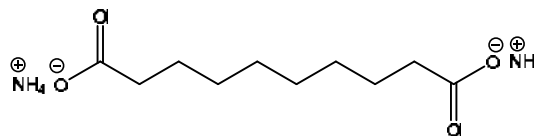
- формиат аммония (рисунок 1б);
- малеат аммония;
- цитрат триаммония;
- адипат аммония;
- сукцинат аммония;
- себацинат аммония (рисунок 1в);
- додекандиоат аммония.



а



б



в

Рисунок 1 – Структурные формулы тетраэтиламмония гидромалеата (а), формиата аммония (б) и себацината аммония (в)

На первом этапе была исследована растворимость и подобраны оптимальные концентрации данных солей в таких применяемых в электролитах растворителях, как этиленгликоль и диметилформамид. Для расширения температурного диапазона и увеличения растворимости солей вводили соразтворители, в качестве газопоглощающей добавки использовали нитроароматические соединения, для увеличения формующей способности полученных составов использовали борную кислоту или ее соли, а для увеличения стабильности соли в основном составе электролита применяли различные амины.

На основе выбранных солей получены составы электролитов, не уступающие по характеристикам серийно-выпускаемым на АО «Элеконд» электролитам, при этом превосходящие их по некоторым электропараметрам. Полученные электролиты предложены для проведения дальнейшего исследования в макетах конденсаторов.

1. Ue M. // Electrochemistry. 2007. V. 75. N. 8. P. 568 – 572.
2. Степанов А.В., Ковин С.А., Суханова Л.А., Волков С.В., Юшков Н.В., Мехряков А.Я., Кузнецова А.С., Косолапова О.В. // Патент № RU2716491C1. 2019. 11 с.

# ПЛАЗМОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПЛАТИНЫ: ПОЛУЧЕНИЕ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛАТИНОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА

*Манжос Р.А.<sup>1</sup>, Пугачева А.В.<sup>1</sup>, Комарова Н.С.<sup>1</sup>, Коткин А.С.<sup>1</sup>, Ходос И.И.<sup>2</sup>, Корепанов Я.И.<sup>1</sup>, Кривенко А.Г.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии  
Российской академии наук, Черноголовка, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов Российской  
академии наук, Черноголовка, Россия  
rmanzhos@yandex.ru

К настоящему моменту в водородо-воздушных топливных элементах используются каталитические материалы на основе мелкодисперсной Pt, и активно предпринимаются попытки по снижению её содержания в катодах. В последнее время электрохимическое распыление металлов рассматривается как простой одностадийный метод получения наночастиц различных металлов и сплавов, которые могут служить основой электрокаталитических материалов для практически значимых реакций, в частности, таких как реакция восстановления кислорода (РВК). В настоящей работе проведено сравнительное исследование каталитической активности в РВК электродных материалов на основе малослойных графеновых структур (МГС), декорированных наночастицами Pt, полученными в результате различных вариантов электрохимического распыления.

Наноккомпозиты Pt-наночастиц с МГС получали в результате электролизного распыления металла, реализованного при подаче импульсов напряжения амплитудой до 300 В, продолжительностью 2 мс, высокой скоростью нарастания (~0.5 мкс) и частотой повторения 98 Гц на электрод из платиновой проволоки в растворе 1 М NaOH, содержащем малослойные графеновые структуры, которые служили подложкой для осаждения частиц платины и синтезировали отдельно в результате электрохимического расщепления графита. Были использованы три различных режима электрохимического диспергирования платины: низковольтное распыление (10/-10 В), распыление в режиме анодно-катодной и катодной плазмы (300/-150 В и -150 В, соответственно). По данным гравиметрического анализа содержание платины во всех образцах составляло ~50 масс.%. Согласно результатам просвечивающей электронной микроскопии для полученных катализаторов не наблюдалось существенных различий в характерных размерах наночастиц Pt, находящихся в диапазоне 4–7 нм. Единственное значимое отличие наночастиц, полученных в режиме анодно-катодной плазмы, от других заключается в большем разбросе по размерам и большей кристалличности. В результате исследования каталитической активности композитов в РВК на установке с вращающимся дисковым электродом в насыщенном кислороде растворе 0.5 М H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> показано, что образец, полученный в режиме анодно-катодной плазмы, характеризуется наибольшими значениями потенциала полуволны и кинетического тока и по этим параметрам приближается к коммерческому Pt/C-катализатору.

Таким образом, можно сделать вывод о наибольшей перспективности синтеза электрокатализаторов РВК путем электрохимического распыления платины под воздействием анодно-катодной электролизной плазмы. Данный способ демонстрирует наибольшую производительность синтеза композита, представляющего собой МГС, декорированные наночастицами Pt, который обладает близкими удельными характеристиками каталитической эффективности по сравнению с коммерческим Pt/C-катализатором и может успешно развиваться в будущем.

*Работа выполнена по теме Государственного задания 124013000692-4 с использованием оборудования АЦКП ФИЦ ПХФ и МХ РАН.*

## ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ОТ КОРРОЗИИ

***Новиков Е.В., Абрашов А.А., Жилина О.В., Ваграмян Т.А.***

Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева  
[novikov.e.v@muctr.ru](mailto:novikov.e.v@muctr.ru)

Актуальность защиты алюминиевых сплавов от коррозии растет с каждым годом. В течение долгого времени для защиты от коррозии использовали растворы на основе шестивалентного хрома, но ввиду токсичности растворов хромирования, законодательства многих стран отказываются от использования данной технологии или существенно ограничивают ее применение [1,2]. Хроматные покрытия являются нетермостойкими, что также ограничивает их применение. Золь-гель технология позволяет создавать термостойкие, экологичные и устойчивые к коррозии покрытия, а также не требует дорогого оборудования.

В настоящей работе рассмотрены свойства церийсодержащих золь-гель покрытий на поверхности сплава АМг6, определены оптимальные параметры для нанесения покрытий методом погружения и изучен оптимальный режим последующей термообработки.

Перед нанесением покрытий проводилось обезжиривание образцов венской известью и щелочное травление в растворе, содержащем 100 г/л NaOH при  $t = 70^\circ\text{C}$ .

Для нанесения покрытий синтезирован агрегативно устойчивый опалесцирующий гидрозоль  $\text{CeO}_2$  со средним размером частиц 60 нм и  $\zeta = 40,9$  мВ с pH дисперсионной среды = 2,2-2,3. Экспериментально определен оптимальный pH, он составляет 3, при данном значении наблюдается максимальная защитная способность покрытий.

После нанесения покрытий проводится сушка при  $t = 80^\circ\text{C}$  и термообработка  $300^\circ\text{C}$ , данная температура определена экспериментально и является оптимальной, покрытия выдерживают до  $400^\circ\text{C}$ , при температуре  $500^\circ\text{C}$  наблюдается разрушение пленки.

Показано, что оптимальная скорость вытягивания варьируется от 400-450 мм/мин, при этом защитная способность по Акимову (ЗСА) составляет 45 с. Оптимальное время выдержки образца в золе составило 7,5-10 мин, при увеличении времени обработки, ЗСА не изменяется и составляет 59 с.

Проведены эксперименты по многослойному нанесению покрытий, при увеличении количества слоев до 3-х, наблюдается рост ЗСА до 85 с, при увеличении количества слоев покрытия растрескиваются, и их защитная способность снижается.

Данные подтверждены получением диаграмм коррозии в коррозионной среде, содержащей 3% NaCl и 0,1M  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . При нанесении 3-х слоев покрытия ток коррозии изменился с  $i = 5,6 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup> для однослойных покрытий, до  $i = 2,13 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup> для трехслойных покрытий. Показано, что золь-гель покрытия сопоставимы с хроматными ( $i = 4,4 \cdot 10^{-5}$  А/см<sup>2</sup>).

Проведены коррозионные испытания в камере соляного тумана по стандарту ASTM B117. По результатам испытаний образцы АМг6 выдерживают 24 ч до появления первых очагов коррозии, однослойные церийсодержащие покрытия 150 ч, трехслойные церийсодержащие покрытия 390 ч, хроматные покрытия 405 ч.

С учетом полученных данных многослойные церийсодержащие покрытия могут быть использованы в качестве альтернативы хроматным в различных отраслях промышленности.

1. Directive 2011/65/EC (RoHS II) of the European Parliament and of the Council of 8 June 2011 on the Restriction of the Use of Certain Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment.

2. Replacement hexavalent chromium in automotive industry for ELV Directive. // Harris A. Bhatt, technical paper, Sur/Fin. 6/2002.

## РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ ГИАЛУРОНОВАЯ КИСЛОТА-ДИОКСИД КРЕМНИЯ

*Парфенюк Е.В., Долинина Е.С., Беляева М.А., Селиванова В.О.*

Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН, Иваново, Россия

[evp@isc-ras.ru](mailto:evp@isc-ras.ru)

Гиалуроновая кислота хорошо известна своими разнообразными биологическими эффектами, которые зависят от ее среднего молекулярного веса. Высокомолекулярная кислота проявляет противовоспалительные и иммуносупрессивные свойства, но плохо проникает через кожный барьер, тогда как кислота с низким молекулярным весом может вызвать про-воспалительную активность и иммуностимулирующий отклик, но достаточно легко проникает внутрь кожных слоев [1, 2]. Поэтому гидрогели гиалуроновой кислоты широко используются в клинической практике для лечения различных заболеваний и заживления ран и в косметологии в качестве важнейшего компонента косметических продуктов. Как показывают литературные данные, противовоспалительные и ранозаживляющие свойства кислоты могут усиливаться при стимуляции электрическим током. Электрическое поле может способствовать ускорению процесса регенерации кожи, вызванного гиалуроновой кислотой, ускорению ее высвобождения и проникновения через кожный барьер [3].

Однако, низкие механические свойства гидрогелей гиалуроновой кислоты и ее подверженности быстрой деградации в живых организмах значительно лимитируют биомедицинское применение этого лекарственного вещества. С целью улучшения указанных свойств в данной работе гиалуроновая кислота была инкапсулирована в гидрогели коллоидного диоксида кремния. Инкапсулирование поведено золь-гель методом в гидрогели немодифицированного и органоимодифицированного диоксида кремния. Были синтезированы композитные гидрогели, содержащие 0.5%, 1% и 2% гиалуроновой кислоты, имеющей различный средний молекулярный вес.

Потенциальное применение полученных композитных гидрогелей в области электростимулированного заживления ран и в качестве аппаратных гидрогелей требует изучения их электропроводящих свойств. Проводимость была измерена методом электрохимической импедансной спектроскопии, используя потенциостат SP-150 (BioLogic, France). Ранее мы изучили проводящие свойства чистых гидрогелей диоксида кремния [4]. В данном исследовании было изучено влияние количества гиалуроновой кислоты, ее среднего молекулярного веса, а также модифицирования матрицы диоксида кремния на проводящие свойства композитных гидрогелей. Согласно полученным результатам, проводимость композитных гидрогелей изменяется в интервале  $17.0 - 21.7 \text{ мСм} \cdot \text{см}^{-1}$ . Установлен рост проводимости гидрогелей с ростом содержания гиалуроновой кислоты в композитных гидрогелях.

1. X. Wang, X. Liu, C. Li, J. Li, M. Qiu, Y. Wang, W. Han. //Carbohydr. Res. 2025. V. 552. P. 109472
2. M. Essendoubi, C. Gobinet, R. Reynaud, J. F. Angiboust, M. Manfait and O. Piot. //Skin. Res. Technol. 2016. V. 22. P. 55
3. V. Castrejyn-Comas, C. Alemán and M. M. Pérez-Madrigal. // Biomater. Sci. 2023. V. 11. P. 2266
4. E.V. Parfenyuk, E.S. Dolinina.//Mater. Chem. Phys. 2025. V. 342. P. 130981

# ВЛИЯНИЕ СОДОПИРОВАНИЯ Ca и Zn НА СТРУКТУРНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОЙНЫХ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ КОБАЛЬТИТОВ

Переверзев Д.И.<sup>1</sup>, Сунцов А.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия  
[danil\\_per@mail.ru](mailto:danil_per@mail.ru)

Современные исследования электрохимических источников энергии сосредоточены на разработке устройств с повышенной удельной мощностью и пониженными рабочими температурами. Этот эффект достигается за счет дополнительного вклада протонной проводимости, обусловленной низкой энергией активации протонов, что способствует эффективному переносу заряда [1]. Однако наблюдаемое снижение электрохимических характеристик связано с быстрой деградацией воздушного электрода и низкой поверхностной активностью, поэтому основной фокус внимания направлен на создание стабильных и высокоэффективных материалов.

Перспективными системами в данном направлении выступают кобальтсодержащие двойные перовскитоподобные оксиды, демонстрирующие хорошую смешанную кислород-ионную проводимость и структурную устойчивость в рабочих условиях. К числу наиболее перспективных двойных перовскитных кобальтитов относится система  $\text{PrBaCo}_2\text{O}_{6-\delta}$  (PBC), обладающая высокой ионной проводимостью и электрокаталитической активностью. Однако данный материал не проявляет способности к гидратации и, как следствие, не проявляет протонной проводимости, что связано с низкой термодинамической стабильностью протонных дефектов в структуре. Совместное изовалентное допирование кальцием и цинком в A' и B подрешетки, соответственно, повышает гидратационную активность [2], что открывает возможность создания материалов со смешанной ионно-протонной проводимостью.

Синтез твердых растворов  $\text{PrBa}_{0,9}\text{Ca}_{0,1}\text{Co}_{2-x}\text{Zn}_x\text{O}_{6-\delta}$  (где  $x \leq 0,15$ ) проводился глицерин-нитратным методом. Полученные материалы характеризуются тетрагональной кристаллической решеткой ( $P4/mmm$ ). После проведения экспериментов по гидратации, посредством отжига во влажной среде при температуре 950 °C, наблюдается не только рост объема элементарной ячейки, но и явные сдвиги пиков на рентгенограммах по углу  $2\theta$ . Гидратационная активность материалов также подтверждена измерениями магнитной восприимчивости: магнитный момент у гидратированных составов уменьшается с увеличением количества допированного цинка. Термогравиметрический анализ во влажной атмосфере также показал увеличение гидратационной емкости материалов. Равновесное содержание кислорода в кристаллической решетке оксидов определяли с использованием методов йодометрического и кулонометрического титрования. Кроме того, DFT-расчеты позволили установить зависимость энтальпии гидратации от степени замещения цинка в решетке.

1. Fan Liu, Dong Ding and Chuancheng Duan. Protonic ceramic electrochemical cells for synthesizing sustainable chemicals and fuels // Advanced Science News. 2023. 10 (2206478). P. 1-31.
2. Sihyuk Choi, Chris J. Kucharczyk, Yangang Liang, Xiaohang Zhang, Ichiro Takeuchi, Ho-Il Ji and Sossina M. Haile. Exceptional power density and stability at intermediate temperatures in protonic ceramic fuel cells // Nature Energy. 2018. V. 3(3). P 202-210.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №25-19-00917.*

## ПЭДОТ: ПСС - ПОЛИМЕРНЫЙ ПРОВОДНИК

**Плетнев М. А., Шарина А. Н., Морозов А. В., Сибгатуллин Б. И.**

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова,  
г. Ижевск, Россия  
pletnevm@list.ru

К полимерам с электронной проводимостью относят различные типы сопряженных систем: полиацетилен, полифенилен, полипиррол, политиофен, полианилин и другие. Сопряженные электропроводные полимеры из-за их уникальных свойств вызывают большой интерес как электронные материалы. Изделиям из этих материалов нетрудно придавать заданную форму, они обладают гибкостью и существенно легче металлических [1]. Проводимость полимерных сопряженных систем достигает проводимости графита [2], однако они не растворимы в известных растворителях

Перевод нерастворимого гидрофобного поли (3,4-этилендиокситиофена) в диспергируемую в воде форму путем образования комплекса с известным растворимым в воде полимером – полистиролсульфоновой кислотой привел к созданию комплекса ПЕДОТ:ПСС, выпускаемого в больших объемах для различных отраслей индустрии.

Полимерные электролиты на основе PEDOT:PSS являются композициями из обладающих электронной проводимостью макрокатионов  $PEDOT^{n+}$  и не проводящих электроны макроанионов  $PSS^{n-}$ . Коммерческие продукты, поставляемые производителем, это водные или неводные дисперсии, которые потребителям необходимо переработать в пленку проводящего полимера с требуемыми потребительскими качествами. Поэтому важно установить факторы, определяющие величину проводимости слоя полимера после его формирования. Для этого в работе проведены исследования строения водной дисперсии полимера и влияние на полимерные слои, нанесенные на инертную подложку, различных факторов: температуры, концентрации различных компонентов, способов нанесения и последующей обработки и т.д.

Авторами разработана методика измерения вязкости водных дисперсий, нанесения полимера на ситалловые подложки, проводимости, а также изучено влияние температуры отжига и дополнительной обработки высококипящими растворителями на свойства полимерных покрытий.

Показано, что при использовании путем точного и контролируемого погружения (dip coating) удастся сформировать воспроизводимые по толщине и электрическим параметрам пленки полимера на ситалловой подложке. Разработана экспериментальная установка для реализации этой операции.

Были отработаны режимы отжига полученных образцов пленок ПЕДОТ:ПСС. Для измерения проводимости пленок полимера, сформированных на ситалловой подложке, был применен четырехзондовый метод, обычно используемый в микроэлектронике.

Таким образом, в ходе работы создан задел для более глубокого изучения свойств полимерных проводящих сопряженных полимеров, включающий минимально необходимый перечень оборудования, приемов формирования полимерных слоев и методов изучения их электрофизических характеристик.

*Авторы благодарят АО «Электонд» за финансовую поддержку проведенных исследований.*

Список литературы:

1. А.В. Кухто, А.Е. Почтенный, А.В. Мисевич и др.//Физика твердого тела, 2014, Т. 56, №. 4. С.794.
2. A. Elschner, S. Kirchmeyer, W. Lovenich, U. Merker, K. Reuter. PEDOT Principles and Applications of an Intrinsically Conductive Polymer. CRC Press, 2010, 337p.

## ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ PtCu-ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ РЕАКЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА

Пугачева А.В., Манжос Р.А., Комарова Н.С., Корепанов Я.И., Коткин А.С., Кривенко А.Г.

Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии  
Российской академии наук, Черноголовка, Россия

[anas.pyg@ya.ru](mailto:anas.pyg@ya.ru)

Водородо-воздушные топливные элементы (ТЭ) с протонообменной мембраной являются перспективными источниками энергии для транспорта и стационарных применений благодаря высокой удельной мощности и экологичности. Ключевым ограничением их широкого внедрения остается высокая стоимость катализаторов реакции восстановления кислорода, где традиционно используется платина. В данной работе предложен метод импульсного электрохимического синтеза для создания высокоактивных катализаторов на основе сплава PtCu, позволяющих снизить содержание платины без потери эффективности. Разработанные PtCu/МГС-катализаторы демонстрируют ряд ключевых преимуществ для применения в водородо-воздушных ТЭ. Благодаря оптимальному размеру частиц (2–5 нм) они обеспечивают идеальный баланс между высокой каталитической активностью и долговременной стабильностью при рабочих потенциалах наряду с выдающейся активностью в реакции восстановления кислорода, что подтверждается потенциалом полувольты 800–860 мВ и высокими значениями кинетического тока. При этом достигается активность коммерческих Pt/C-катализаторов при вдвое меньшем содержании Pt, что открывает перспективы для снижения стоимости ТЭ.

Наноконпозиты наночастиц сплавов Pt<sub>55</sub>Cu<sub>45</sub> и Pt<sub>70</sub>Cu<sub>30</sub> с МГС получали в результате совмещения процессов электролизного распыления металла и электрохимического расщепления графита, инициируемых подачей импульсов напряжения амплитудой до 300 В, продолжительностью 2–10 мс, высокой скоростью нарастания (~0.5 мкс) и частотой повторения 4 и 98 Гц. В результате образовывались малослойные графеновые структуры, которые служили подложкой для осаждения частиц наносплава, что препятствовало их агрегации и позволило в одну стадию получить композитный катализатор PtCu/МГС. Наибольшую удельную площадь поверхности платины демонстрирует катализатор Pt<sub>55</sub>Cu<sub>45</sub>/МГС (~38.6 м<sup>2</sup>/г), превосходящий по этому параметру Pt<sub>70</sub>Cu<sub>30</sub>/МГС (~24.3 м<sup>2</sup>/г). Вольтамперные кривые восстановления кислорода показывают, что для всех катализаторов наблюдается ярко выраженный предельный диффузионный ток (–5.4...–5.9 мА/см<sup>2</sup>). Наибольший кинетический ток при 800 мВ (–0.49 мА) наблюдается для Pt<sub>55</sub>Cu<sub>45</sub>/МГС, что коррелирует с наименьшим эффективным диаметром частиц Pt<sub>55</sub>Cu<sub>45</sub>/МГС (~5.3 нм) по сравнению с Pt<sub>70</sub>Cu<sub>30</sub>/МГС (~9.6 нм). В ходе дальнейших исследований было установлено, что применение импульсного напряжения +10/–100 В приводит к существенному улучшению каталитических характеристик синтезируемых материалов. Катализатор демонстрирует рекордные показатели активности в реакции восстановления кислорода, превосходя по всем параметрам как ранее изученные аналоги, так и Pt/C-катализатор. Полученный материал характеризуется очень малым размером частиц около 2.4 нм и высокой удельной поверхностью платины 118.6 м<sup>2</sup>/г, что обеспечивает потенциал полувольты 860 мВ и кинетический ток –2.10 мА при 800 мВ, значительно превышающие аналогичные показатели для стандартных катализаторов. Уникальные свойства данного образца связаны с особыми условиями электрохимического синтеза при пониженном напряжении, которые способствуют формированию наночастиц с оптимальным поверхностным составом и сохранением структурной целостности графенового носителя.

*Работа выполнена по теме Государственного задания 124013000692-4.*

# ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СЕРИЙНОМУ ВЫПУСКУ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

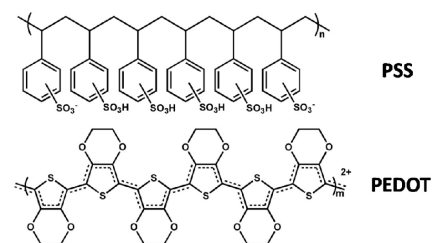
Сафронов А.Д., Калабина Н.А., Макарова А.С., Мехряков А.Я.

АО «Элеконд», Сарапул, Россия

kuznetsova.alex.91@gmail.com

Одним из ведущих российских предприятий по производству конденсаторов является АО «Элеконд» г. Сарапул, занимающееся серийным выпуском алюминиевых оксидно-электролитических, танталовых объемно-пористых, танталовых и ниобиевых оксидно-полупроводниковых конденсаторов, а также алюминиевых конденсаторов с двойным электрическим слоем (суперконденсаторов) [1]. Известно, что применение полимерных материалов вместо жидкого рабочего электролита в электролитических конденсаторах приводит к снижению значений эквивалентного последовательного сопротивления [2]. Стоит отметить, что на данный момент в России отсутствует производство АПК, поэтому изучение основных подходов к серийному выпуску АПК является актуальным направлением развития конденсаторостроения.

В качестве проводящего полимера для изготовления АПК предпочтительным является PEDOT:PSS, который является коммерчески доступным, обладает высокой термостабильностью и электропроводностью наряду с высокой механической прочностью [3]. Водной дисперсией данного полимера были пропитаны секции и получены макеты алюминиевых полимерных конденсаторов следующих номиналов: 2,5В 2700мкФ, 16В 1500мкФ, 50В 10мкФ.



Электропараметры полученных макетов, а также нормы по каталогу импортных аналогов ф. Janghai для данных номиналов, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Электропараметры макетов АПК по сравнению с импортными аналогами ф. Janghai

| Параметры                              | 2,5В 2700мкФ |                           | 16В 1500мкФ |                           | 50В 10мкФ |                           |
|----------------------------------------|--------------|---------------------------|-------------|---------------------------|-----------|---------------------------|
|                                        | Элеконд      | Нормы по каталогу Janghai | Элеконд     | Нормы по каталогу Janghai | Элеконд   | Нормы по каталогу Janghai |
| С, мкФ                                 | 2960         | 2700 ± 20%                | 1420        | 1500 ± 20%                | 11,5      | 10 ± 20%                  |
| tgδ, %                                 | 6,16         | ≤12                       | 10,1        | ≤12                       | 3,07      | ≤12                       |
| R <sub>100кГц</sub> , МОм              | 25           | ≤9                        | 10,8        | ≤10                       | 103       | ≤70                       |
| I <sub>ут</sub> <sup>1 мин</sup> , мкА | 358          | ≤1350                     | 341         | ≤4800                     | 13,2      | ≤1400                     |

Дальнейшие работы будут продолжены в направлении уменьшения значений эквивалентного последовательного сопротивления путем проведения пропитки методом химической полимеризации мономера 3,4-этилендиокситиофена в окислителе, а также применении допантов в случае пропитки в водной дисперсии PEDOT:PSS.

1. Каталог продукции «Конденсаторы» // Акционерное общество «Элеконд», г. Сарапул. 2024. 180 с.
2. Альбертсен, А. Алюминиевые электролитические конденсаторы с проводящим полимером // Силовая электроника. 2018. № 2. С. 4-8.
3. Lövenich, W. PEDOT: Properties and Applications // Polymer Science. Ser. C. 2014. Vol. 56, No. 1. P. 135-143.

# АНОДНЫЕ ОКСИДНЫЕ ПЛЕНКИ КАК КОРРОЗИОННЫЙ БАРЬЕР НА ПОВЕРХНОСТИ ДВУХ- И ТРЕХ- КОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti - Co - Re - Ta

Сюрин А. О.<sup>1</sup>, Кузьмин С.М.<sup>2</sup>, Чуловская С.А.<sup>2</sup>, Фишгойт Л. А.<sup>1</sup>

[dddyyyaq@gmail.com](mailto:dddyyyaq@gmail.com)

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, Москва, 119991, ул. Колмогорова, 1.

<sup>2</sup> ФГБОУН «Институт химии растворов им. Г.А. Крестова Российской академии наук», Россия, Ивановская область, г. Иваново 153045, ул. Академическая, дом 1.

Рассмотрены физико-химические свойства двух- и трёх- компонентных сплавов системы *Ti-Co-Re-Ta*, приведён элементный и фазовый состав их поверхности после плавки и шлифовки, представлены результаты исследования влияния анодных оксидных плёнок, сформированных на поверхности сплавов с участием вентильных металлов на основе систем *Ti-Co*, *Ti-Co-Re* и *Ti-Co-Ta*, на их коррозионные свойства.

Неотъемлемой частью производства изделий из металлов и сплавов является контролируемое окисление поверхности изделия с целью защиты от коррозионных процессов или для декоративных целей. Оксидные покрытия, формируемые на поверхности вентильных металлов и их сплавов, находят широкое применение в различных отраслях промышленности, включая электронику, энергетику, медицину и машиностроение. Анодирование позволяет управлять морфологией, толщиной и составом оксидных слоёв. Объектом исследования являлись сплавы *Ti-Co*, *Ti-Co-Ta* и *Ti-Co-Re*. Физико-химические свойства данных сплавов определяются их структурой и электронным строением. Сплавы на основе *Ti-Co* обладают высокой прочностью и твердостью, устойчивы к износу и коррозии, что делает их перспективными для использования в высокотемпературных и агрессивных средах. Добавление *Ta* и *Re* повышает термостойкость сплавов, улучшает их сопротивление окислению и коррозии, что расширяет область их применения в аэрокосмической и энергетической промышленности.

Целью настоящего исследования являлось изучить кинетику образования оксидных слоёв на поверхности сплавов систем *Ti-Co*, *Ti-Co-Ta* и *Ti-Co-Re* в процессе анодного окисления. Образцы сплавлялись в электродуговой печи, после чего были подвергнуты гомогенизирующему отжигу при температуре 1750 °С. Морфология поверхности образца системы *Ti-Co* является однофазной  $\gamma_{Co}$ , в образцах *Ti-Co-Re* и *Ti-Co-Ta* наблюдаются выделения вторых фаз, причём, в первом случае это  $\epsilon_{Co}$ , а во втором  $Co_3Ti$ .

Трехкомпонентные сплавы показали большую устойчивость к коррозии по сравнению с двухкомпонентным сплавом *Co-Ti*, что связано с влиянием третьего компонента, однако влияние рения и тантала имеет различные механизмы. Сплавы *Co-Ti* и *Co-Ti-Re* противодействуют коррозионным разрушениям за счёт образовавшейся на их поверхности воздушной оксидной плёнки  $TiO_2$ . Рений увеличивает адгезию защитного слоя к поверхности, что и объясняется улучшением коррозионных свойств. На поверхности сплава *Ti-Co-Ta* образуются плёнки  $TiO_2$  и  $Ta_2O_5$ . Коррозионные свойства улучшаются за счёт плёнки  $Ta_2O_5$ , плотность которой в два раза превышает плотность  $TiO_2$ . Предварительно сформированные анодные оксидные плёнки, обладают кроющим эффектом на всех исследуемых сплавах и снижают коррозионные токи в случае сплавов *Ti-Co* и *Ti-Co-Re* на два порядка, для сплава системы *Ti-Co-Ta* на один порядок. Самый низкий ток коррозии реализуется на сплаве, содержащем рений, что подтверждает предыдущий вывод о повышении адгезии уже предварительно сформированного анодного оксида.

## ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ

Силкин С.А., Перков А.С., Лев Д.Е.

Костромской государственный университет, Кострома, Россия

Широкое внедрение аддитивных технологий (АТ) в промышленное производство сталкивается с необходимостью решения задачи финишной обработки сложнопрофильных деталей. Как известно, поверхности изделий, полученных методом послойного синтеза, характеризуются наличием ступенчатого рельефа высотой от нескольких микрон до долей миллиметра. Удаление данного дефекта методами механической обработки зачастую затруднительно ввиду сложной геометрии деталей и высоких эксплуатационных свойств используемых материалов, таких как коррозионно-стойкие и тугоплавкие стали.

Перспективным методом для решения этой задачи является электролитно-плазменная обработка (ЭПО), позволяющая осуществлять высокоскоростное полирование изделий сложной формы в низкоконтрированных водных растворах электролитов. Ключевым фактором, определяющим равномерность и качество обработки, является распределение плотности тока по поверхности детали. В то время как для традиционных гальванических процессов понятие рассеивающей способности и методы ее оценки стандартизированы, для электролитно-плазменного режима данные о распределении тока крайне ограничены и носят фрагментарный характер [1].

В частности, отсутствуют систематические исследования того, как ток распределяется при обработке сквозных и глухих отверстий – типичных элементов конструкций, создаваемых аддитивными методами. Неравномерное распределение тока в таких зонах приводит к неконтролируемому скруглению кромок, изменению геометрии и, как следствие, к потере функциональности всего изделия.

В представленной работе исследование распределения тока при электролитно-плазменной обработке отверстий проведено на примере деталей с равноудаленными отверстиями из нержавеющей стали AISI 316L.

Целью работы являлась отработка методики изучения распределения тока в упорядоченных равноудаленных отверстиях необходимая для оценки краевых эффектов и учета влияния затекания парогазовой оболочки в отверстия.

Показана разная скорость удаления материала сверху и снизу отверстия, а также зависимость скорости удаления материала на краях сегментов от глубины погружения и температуры электролита. Выявлено значительное повышение скорости удаления материала на верхней кромке наиболее близкого к поверхности электролита отверстия, что вероятно связано с накоплением пара и утолщением парогазовой оболочки.

Полученные результаты позволяют оптимизировать режимы ЭПО для минимизации геометрических искажений и обеспечения высокого качества обработки сложнопрофильных деталей, изготовленных аддитивными методами.

***Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-29-00716***

Список литературы:

1. Силкин С.А. // Электронная обработка материалов. 2025. Т. 61. № 1. С. 24.

# РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ МОБИЛЬНОСТИ И ГОТОВНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В МНОГОРАЗОВОМ РЕЖИМЕ

Степанов С.В., Волков С.С.

Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище  
им. генерала армии В.Ф.Маргелова, Рязань, Россия  
[radvam62@mail.ru](mailto:radvam62@mail.ru)

Подразделения беспилотных систем Воздушно-десантных войск имеют широкий спектр задач. Для их успешного выполнения беспилотные летательные аппараты ближнего действия (БПЛА БД) с электроприводом должны быть постоянно готовы к применению в любой сложившейся обстановке [1]. Особая роль в этом отведена повышению боевого потенциала за счет увеличения показателей по продолжительности полета и дальности.

Основным эффектом от применения БПЛА БД является сохранение жизни личного состава и сокращение расхода ресурсов на операцию (бой), за счет превышения качественных показателей их функционирования. При этом одной из основной тенденцией развития БПЛА по состоянию на сегодняшний день и среднесрочной перспективе является повышение возможностей комплексов с БПЛА БД за счет моделирования системы питания и адаптация к техническим требованиям БПЛА новых эффективных источников энергии по мощности, плотности энергии, по габаритам и массе и динамическому времени отклика при изменениях режимов работы [2].

Неотъемлемой частью БПЛА БД с электроприводом является его система электроснабжения (СЭС). Для эффективной ее работы необходимо провести исследования, предполагающие, что повышение мобильности и готовности работы средств энергообеспечения электропривода БПЛА, их эксплуатационные характеристики, токоотдача, токоотбор и процесс разряда, возможно за счет компенсации потери емкости аккумуляторной батареи (АКБ), с учетом того, что физико-химические процессы токообразования, токоотдачи и заряда АКБ зависят от режимов эксплуатации и условий окружающей среды. Основная роль АКБ заключается в обеспечении летательного аппарата энергией.

Следует также отметить, что существующие АКБ применяемые в БПЛА БД обладают рядом недостатков, связанных с высокими массогабаритными характеристиками, снижением емкости при низких температурах, вероятность перезаряда и глубокого разряда. Поэтому в настоящее время актуальной задачей становится повышение средств энергообеспечения для системы электропитания силовой установки БПЛА БД, позволяющих эффективно их применять, в различных условиях эксплуатации.

В работе применены теоретические и экспериментальные методы исследования. При построении математической модели использованы методы аналитической аэродинамики, дифференциального и интегрального исчисления, методы статистической физики имитационного математического моделирования движения БПЛА БД в полете.

Целью данной работы является разработка математической модели энергообеспечения БПЛА БД с электроприводом, учитывающая аэродинамические характеристики (высота, скорость, масса, сопротивление воздушных потоков, ускорение и полезная масса), а также характеристики электродвигателя и аккумуляторной батареи (динамические ускорение, зарядовая емкость, ток полного торможения и условия окружающей среды, траектория движения), позволяющая повысить эффективность применения БПЛА.

Отмеченные проблемы на новом уровне делают актуальными научные исследования физико-химических процессов токообразования, токоотдачи и заряда АКБ с учетом зарядовой емкости, электродных потенциалов, состава и структуры электродов и сепаратора, состава раствора электролита, а также влияния контактной разности потенциалов, осмотического давления и электролитической упругости ионных составляющих электролита с учетом эксплуатационных характеристик БПЛА БД и позволяют осуществить предлагаемый подход к проектированию СЭС, исходя из перечня бортовых потребителей и предварительного выбора первичных источников питания..

Список литературы:

1. Верба В.С. Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. В 2-х кн.: Кн. 1. Принципы построения и особенности применения комплексов с БЛА. Монография // Под ред. В.С. Вербы, Б.Г. Татарского. М.: Радиотехника, 2016. 512 с.
2. Аппарат беспилотный летательный Т5МЭ. Руководство по эксплуатации Т5МЭ. 000000 РЭ. – Казань: АО «Эникс», 2014. С. 157.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫХ БИООБЪЕКТОВ

Тазина Т.В.<sup>1</sup>, Волков С.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Рязанский государственный медицинский университет, Россия, г. Рязань. tazina@inbox.ru

<sup>2</sup>Рязанское гвардейское высшее воздушно-десантное командное училище, Россия, г.Рязань

Целью данной работы являлось исследование природы электрохимических процессов и электродвижущих сил в биологических тканях, жидкостях живых организмов. Эта проблема является кардинальной в диагностике различных состояний здоровья человека, в определении биохимических процессов, ответственных за нормальное функционирование различных органов человека, а также при разработке способов лечения разных заболеваний. Все жизнеобеспечивающие процессы в организме человека основаны на ионно-электронно-обменных явлениях, происходящих при различных температуре и давлении. Диапазоны изменения давления и температуры в различных органах человека в основном изучены и известны. Многообразие электрических и химических процессов в живых организмах изучалось также много, но единой картины функционирования даже какого-либо отдельного органа составить пока не удастся. Неразрывная связанность химических и электрических процессов в живых организмах приводит к необходимости их комплексного изучения как электрохимических процессов. В таком аспекте наука об электрохимических процессах в живых организмах находится только в состоянии становления. К настоящему времени воздействие химических препаратов на организм человека широко изучено, что эффективно используется для лечения различных болезней. При этом химические процессы воздействия на болезни изучены во многом на клеточном уровне, что позволяет воздействовать этиотропно на причину заболевания. Применение электричества для диагностики состояний организма человека и для лечения болезней наблюдается несравненно меньше, например, снятие электрокардиограммы, или применение электроимпульсной терапии при грубых нарушениях сердечного ритма. В то же время все механические, гидравлические и температурные процессы в живом организме протекают под действием электричества. Поскольку движущиеся заряды создают вокруг себя магнитное поле, то все взаимодействия на клеточном уровне имеют электромагнитный характер [1]. Так, например, при электрическом токе в медном проводнике диаметром 1мм и предельно-допустимом токе 10 Ампер скорость движения зарядов (электронов) составляет 0.05 мм /сек, что сравнимо со скоростью потока крови в самых мелких сосудах тела человека. При этом кинетическая энергия движения электрона равна электрической энергии воздействия, а энергия магнитного поля вокруг электрона равна кинетической энергии движения электрона. Полное количество движущихся зарядов определяется по исходной формуле тока как количества зарядов проходящих за заданный промежуток времени. Согласно закону сохранения энергии работа, выполняемая человеком равна работе, выполняемой электрическими зарядами на межатомном, межмолекулярном, и межклеточном уровне. Основным, и скорее всего единственным источником электрической энергии является электроосмос [2]. Физическая сущность биоэлектрической энергии заключается в разной потенциальной энергии свободных электрических зарядов (в виде ионов) в жидкостной среде разных автономных клеток, свободно проходящих через межклеточные мембраны (оболочки). Выделение свободных зарядов происходит вследствие химических реакций окисления основных макронутриентов. Две электрически нейтральные клетки с разными жидкостями с разными энергиями связи в них электрического заряда создают разность энергетических потенциалов для электрических зарядов. Носителями зарядов могут служить макроэлементы Na, K, Ca, Mg, P, и жизненно необходимые микроэлементы Fe, Zn, Cu, Mn, Co, Se, J, условно жизненно необходимые элементы F, B, Si, Ni, V, Br, As, Li. Имеются потенциально токсичные элементы Sn, Ag, Sr, Ti, Al, Pb, Bi, Cd, Hg, Tl, Be, W, Pb [3, 4]. На основании такой модели рассмотрены процессы определения овуляции.

### Литература

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. – М.: Наука, 1989. – 503 с.
2. Фрумкин А.Н. Потенциал нулевого заряда. М.: Наука, 1962. – 260 с.
3. Радыш И.В., Скальный А.В., Нотова С.В., Маршинская О.В., Казакова Т.В. Введение в элементологию : учебное пособие / Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2017. – 183 с.
4. Авцын А.П., Жаворонков А.А., Риш М.А., Строчкова Л.С. Микроэлементы человека (этиология, классификация, органопатология). АМН СССР. – М.: «Медицина», 1991. – 496 с.

# КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЗАМЕЩЕННЫХ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОСАЖДЕНИЯ

Тесакова М.В., Боков А.С., Парфенюк В.И.

Институт химии растворов им. Г. А Крестова РАН, Иваново, Россия

[mvt@isc-ras.ru](mailto:mvt@isc-ras.ru)

Привлекательность метода электрополимеризации порфиринов заключается в возможности получения полипорфириновой пленки, плотно сцепленной с поверхностью проводящей подложки (электрода). Модифицированные этим методом электроды используются в различных областях, таких как электрокатализ, фотоэлектрические устройства, адсорбция и разделение газов, фотоника. Различные методы применяются для исследования электроосаждения и свойств полипорфиринов, однако, кинетика процесса электроосаждения не достаточно изучена. Метод электрохимического кварцевого микробаланса - это микрогравиметрический метод, с помощью которого можно отслеживать минимальные изменения массы веществ, осажденных на поверхности электрода во время электрохимических процессов, и является одним из наиболее полезных методов в исследованиях электроосаждения полипорфиринов.

В представленной работе методом прямого электроокисления получены полипорфириновые пленки на основе amino- и гидрокси-замещенных тетрафенилпорфиринов из растворов в этаноле. Электроосаждение и физико-химические характеристики полипорфиринов изучены нами ранее. Представленное исследование направлено на изучение влияния количества и природы заместителей на периферии макрогетероцикла на процесс электроосаждения полипорфиринов. Кинетика электроосаждения полипорфиринов изучена методом электрохимического кварцевого микробаланса (рис. 1). Рассмотрено влияние фонового электролита на процесс электроосаждения полипорфиринов.

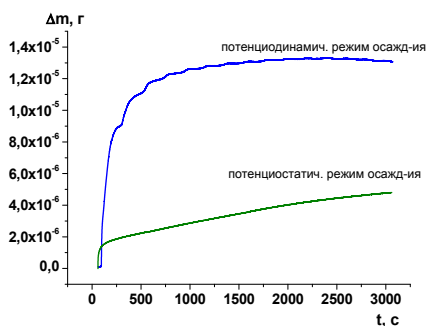


Рис. 1. Изменение массы электрода в процессе осаждения пленки поли-5,10,15-три(4-аминофенил)-20-фенилпорфирина при потенциодинамическом изменении потенциала от 0 до +2 В; в процессе осаждения пленки при потенциале +1,2 В.

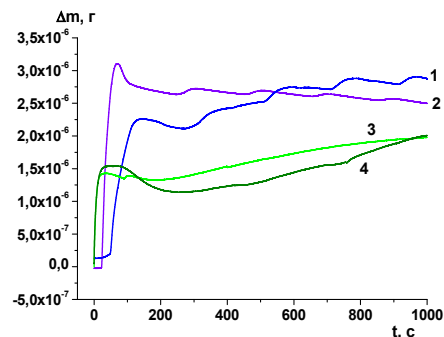


Рис. 2. Прирост массы в процессе электрополимеризации 5,10,15,20-тетракис(4-гидроксифенил)порфирина с использованием различных фоновых электролитов ТБАП (1, 3), ТБАГФФ (2, 4) в потенциодинамическом (1,2) и в потенциостатическом режимах осаждения (3, 4).

Исходя из данных, полученных методом кварцевого микробаланса, для amino-замещенных порфиринов в растворе этанола наиболее эффективным является потенциодинамический режим осаждения, за исключением 5,15-ди(4-аминофенил)-10,20-дифенилпорфирина, для гидрокси-замещенных порфиринов — потенциостатический режим, за исключением 5,10,15-три(4-гидроксифенил)-20-фенилпорфирина. Фоновый электролит не оказывает влияние на скорость осаждения полипорфиринов и массу осажденного полимера (рис. 2).

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-13-00010.*

# ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ (ХИМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ) НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННЫХ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВ

Тесакова М.В., Парфенюк В.И.

Институт химии растворов им. Г. А Крестова РАН, Иваново, Россия

[mvt@isc-ras.ru](mailto:mvt@isc-ras.ru)

Трудно найти область современной химии или материаловедения, в которую не вошли бы порфирины. Нерастворимые тонкие пленки полипорфиринов могут быть изготовлены разными способами: электрохимическим осаждением на проводящую подложку, с помощью метода межфазной полимеризации или осаждением пленок методом Ленгмюра-Блоджетта. Два последних способа позволяют нанести полипорфирины практически на любую подложку без изменения химических свойств пленки. В представленной работе показана возможность получения полипорфириновых пленок различными методами: электро- и межфазной полимеризацией, и рассмотрено влияние способа получения на свойства полипорфиринов. В качестве мономеров использовали моно-, ди-, три- и тера- гидрокси-замещенные тетрафенилпорфирины.

## **Межфазная полимеризация гидрокси-замещенных тетрафенилпорфиринов [1].**

Порфирин растворяли в 100 мкл тетрагидрофурана, к раствору добавляли карбонатный буфер с рН 9,6. Затем раствор порфирина в буфере наслаивали на раствор сукцинилхлорида в дихлорметане. Через 3 часа на границе раздела фаз образовывалась полипорфириновая пленка. Полученная пленка наносилась на ИТО-электроды и сразу же промывалась в ацетоне. Второй вариант нанесения заключался в переносе среднего слоя шприцом на ИТО-электроды через 45 мин от начала реакции. После высыхания, образовалась пленка, которую промывали ацетоном.

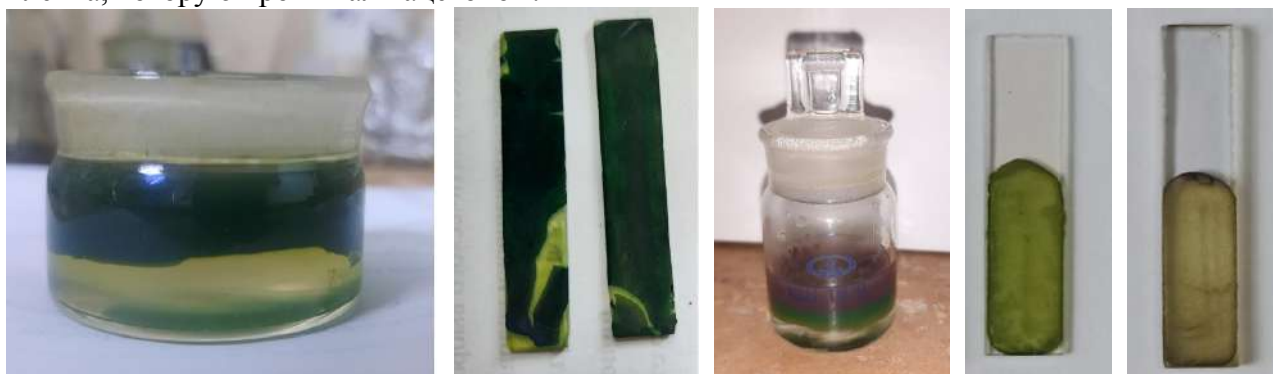


Рис. 1. Межфазная полимеризация 5,10,15,20-тетракис(4-гидроксифенил)порфирина.

Для пленок, осажденных межфазной полимеризацией, получены ЭСП, ИК, Раман-спектры, СЭМ-изображения поверхности, исследованы электрохромные свойства. Аналогичные исследования свойств пленок проводились для электроосажденных полипорфиринов.

1. Paske A.C., Earl L.D., O'Donnell J.L. Sensors and Actuators B. 2011. 155. 687–691. doi:10.1016/j.snb.2011.01.030

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-13-00010.*

# НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОПОРФИРИНОВ И АНИЛИНА, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Тесакова М.В., Парфенюк В.И.

Институт химии растворов им. Г. А. Крестова РАН, Иваново, Россия

[mvt@isc-ras.ru](mailto:mvt@isc-ras.ru)

Макроциклические соединения переходных металлов, особенно металлопорфирины, образуют основную категорию не-Pt катализаторов для восстановления кислорода. Проводящие полимеры широко исследуются в качестве носителей различных катализаторов или как катализаторы восстановления кислорода. В нашей предыдущей работе металлопорфирины использовались в качестве мономеров для получения электрохимическим методом проводящих полипорфириновых материалов, обладающих каталитической активностью в реакции электровосстановления кислорода. В настоящей работе рассмотрение влияния добавки низкомолекулярного вещества (анилина) на процесс электросинтеза композитов металлопорфиринов/анилин и свойства гибридных пленок.

К растворам amino-замещенных порфиринов в ДХМ добавляли анилин. Методом кварцевого микробаланса установлено, что процессы электрополимеризации анилина преобладают над процессом электроосаждения порфиринов. Кроме пленок на основе индивидуальных порфиринов с добавками анилина получен композит Cu- и Mn-порфиринов с анилином. На фото видно, добавки анилина оказывают влияние на микроструктуру пленок. Не смотря на то, что процесс осаждения анилина преобладает над процессом осаждения полипорфирина, по данным EDS анализа порфиринов включен в состав пленки и равномерно распределен по поверхности полимера. Для пленок осажденных с анилином определено увеличение каталитической активности в реакции электровосстановления кислорода и углекислого газа.

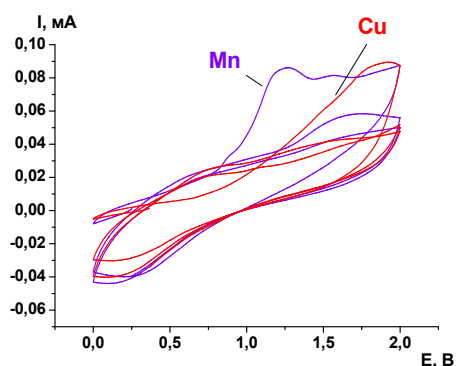


Рис. 1. ЦВА осаждение поли-CuT(4-NH<sub>2</sub>Ph)P на поли-MnCIT(3-NH<sub>2</sub>Ph)P из ЛХМ с анилином



Рис. 2. EDS анализ поли-CuT(4-NH<sub>2</sub>Ph)P на поли-MnCIT(3-NH<sub>2</sub>Ph)P, осажденных из растворов порфиринов в ДХМ с анилином.

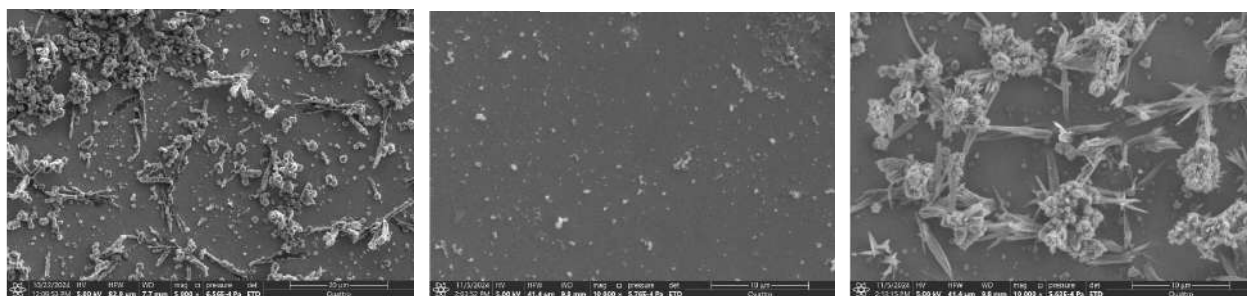


Рис. 3. СЭМ изображение поли-CuT(4-NH<sub>2</sub>Ph)P на поли-MnCIT(3-NH<sub>2</sub>Ph)P, осажденных из растворов порфиринов в ДХМ с анилином.

## ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА В А-ПОДРЕШЕТКЕ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРОКУПРАТОВ

Толстов К.С.<sup>1</sup>, Протасова Е.И.<sup>1</sup>, Коряков А.Д.<sup>1</sup>, Сунцов А.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

[kstolstov.ihim@mail.ru](mailto:kstolstov.ihim@mail.ru)

Соединения сложнооксидных систем являются перспективными материалами воздушных электродов твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ). Одними из таких составов являются феррокупраты иттрия-стронция  $\text{YSr}_2\text{Cu}_2\text{FeO}_{7+\delta}$ , которые обладают низким поляризационным сопротивлением и химически совместимы с большинством известных электролитов [1]. Однако их практическому применению препятствуют относительно низкая проводимость ( $\sigma \sim 20 \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$ ) и высокий коэффициент термического расширения ( $\text{КТР} \approx 20 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ).

Решением указанных проблем может служить модификация состава путём изменения соотношения элементов в В-подрешётке и создания дефицита в А-подрешётке. Такой подход позволяет уменьшить КТР за счёт минимизации химического расширения и увеличить проводимость благодаря возрастанию дефектности структуры. В связи с этим, целью настоящей работы стал синтез, исследование физико-химических свойств и термодинамический анализ сложных оксидов состава  $\text{Y}_{1-y}\text{Sr}_2\text{Cu}_{2-x}\text{Fe}_{1+x}\text{O}_{7+\delta}$ .

Синтез сложных оксидов проводился по глицерин-нитратной технологии. Обработка данных рентгеновской дифракции показала, что полученные составы кристаллизуются в тетрагональной решетке пространственной группы  $P 4/mmm$ . Дефицит иттрия позволил увеличить проводимость феррокупратов до  $\sigma \sim 70 \text{ См} \cdot \text{см}^{-1}$ , а КТР снизился до  $17 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ , что позволяет их использовать в качестве материала воздушного электрода более перспективно. Данные магнитной восприимчивости были обчислены по уравнению Кюри-Вейсса, что позволило подтвердить структуру данных образцов, так и определить типы носителей заряда ( $\text{Cu}^{3+}$  и  $\text{Fe}^{4+}$ ).

Был проведен модельный анализ дефектной структуры, используя данные кулонометрического титрования. Предложенная модель учитывает создаваемый дефицит иттрия, обмен электронов между атомами меди и железа, кислородное разупорядочение и выход кислорода в газовую среду. Также были учтены антисайт дефекты – железо и медь в позициях железа и меди соответственно.

1. Sansom J. E. H., Kendrick E., Rudge-Pickard H. A., Islam M. S., Wright A. J. and Slater P. R. Synthesis and characterisation of the perovskite-related cuprate phases  $\text{YSr}_2\text{Cu}_2\text{MO}_{7+y}$  ( $M = \text{Co}, \text{Fe}$ ) for potential use as solid oxide fuel cell cathode materials // Journal of Materials Chemistry. 2005. V. 15. P. 2321–2327.

**Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №25-19-00917.**

# **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НИКЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕИСТОГО МАТЕРИАЛА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ОСАЖДЕНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.**

**Трофимов А.В.<sup>1</sup>, Шафеев Д. Р.<sup>2</sup>, Хазанов Н.А.<sup>2</sup>, Аснис Н.А.<sup>2</sup>, Ваграмян Т.А.<sup>2</sup>,  
Курдогло Е.Д.<sup>1</sup>, Ерещенко А.Е.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>АО «НПП «Исток» им. А.И. Шокина»

<sup>2</sup>РХТУ им. Д.И. Менделеева

89532230443@ya.ru

В настоящее время пористые материалы широко используются в различных отраслях промышленности. Одной из ключевых областей применения являются каталитические процессы. В зависимости от технологических условий, пористые структуры могут служить либо подложкой для катализатора, либо сами выступать в качестве каталитически активного компонента.

Несмотря на значительное разнообразие существующих катализаторов с различными формами носителей и активностью в разных средах, проблема однотипности их основы остаётся нерешённой. Наибольшее распространение получили два типа структур носителей: гранулированные и блочные. Среди блочных особый интерес представляют высокопористые ячеистые материалы (ВПЯМ), обладающие высокой устойчивостью к гидро- и аэродинамическим нагрузкам.

Известны два основных типа ВПЯМ: керамические и металлические.

Керамические ВПЯМ характеризуются высокой удельной поверхностью, но недостаточной механической прочностью.

Металлические ВПЯМ, напротив, обладают высокой механической устойчивостью к температурным перепадам и внешним воздействиям. Однако они уступают керамическим аналогам по ряду параметров, длительности процесса нанесения покрытия (17–25 часов), неравномерности распределения толщины покрытия по глубине материала, низкой удельной площади поверхности.

Цель работы – разработать технологию процесса никелирования матрицы пенополиуретанового материала, за меньший промежуток времени, с приемлемым распределением металла в объеме и объединяющий свойства керамических и металлических ВПЯМ.

Получены образцы при различных интервалах импульсного сигнала, с использованием программируемого источника тока, и выбран наилучший режим осаждения.

Подобраны и разработаны композиции добавок, увеличивающие степень равномерности металла в 2–4 раз в сравнении с базовым электролитом.

Разработан электролит, способствующий процессу модификации поверхности оксидом алюминия.

Предложена технология нанесения никелевой основы катализатора с высокой степенью равномерности и дальнейшей модификацией поверхности оксидом алюминия, обладающего развитой поверхностью.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ЛЕНГМЮРА-ШЕФЕРА НА ОСНОВЕ 5,10,15-ТРИ(4-АМИНОФЕНИЛ)-20-ФЕНИЛПОРФИРИНА

***Филимонова Ю.А., Парфенюк В.И.***

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

[yaf@isc-ras.ru](mailto:yaf@isc-ras.ru)

Порфириновые соединения обладают уникальными оптическими, электронными и электрохимическими свойствами, что делает плёнки на их основе перспективным материалом для использования в сенсорных устройствах, солнечных элементах, катализаторах и в электрохромных системах [1]. В настоящей работе представлено исследование по формированию порфириновых плёнок на основе 5,10,15-три(4-аминофенил)-20-фенилпорфирин методом Ленгмюра–Шефера (ЛШ), а также изучены их электрохимические и спектральные характеристики.

Формирование ЛШ-плёнок было проведено по методике, описанной в [2]. Электрохимические свойства плёнок исследовали методом циклической вольтамперометрии (ЦВА) в диапазоне потенциалов от -1.0 до +1.7 В в растворе хлороформа с использованием 0.02 М тетрабутиламмония перхлората в качестве фонового электролита.

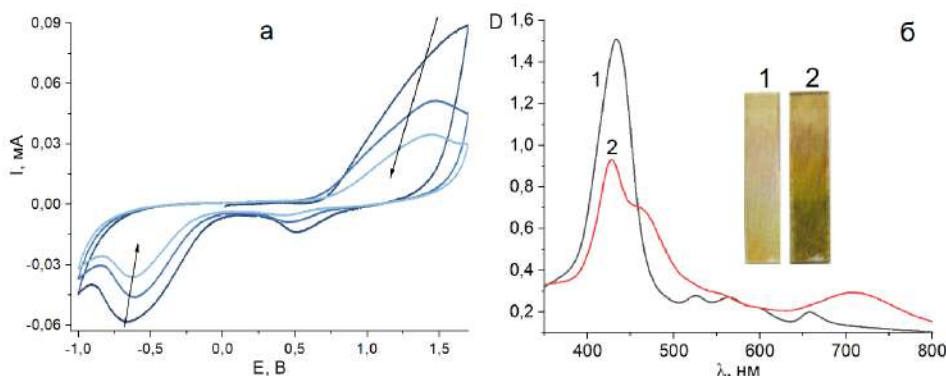


Рис. 1 а - ЦВА порфириновых плёнок ЛШ; б – спектры поглощения плёнок до (1) и после (2) регистрации ЦВА

Полученные плёнки продемонстрировали выраженные, обратимые окислительно-восстановительные процессы при варьировании потенциала (рис. 1 а). После циклирования потенциала спектр плёнки демонстрирует существенные изменения, которые схожи с порфирином в протонированном состоянии [3], а именно исчезновение Q-полос и появление широкой полосы в области 720 нм. Электрохимические процессы сопровождались изменением цвета, что показано на рис. 1 (б).

1. Lin J., Shi D. / Applied Physics Reviews. 2021. V. 1 P.1.
2. Nikitin K.S., Maltceva O.V., Mamardashvili N.Z., Marchenkova M.A., Kholodkov I.V., Smirnova A.I., Usol'tseva N.V. / J. Mol. Struct.. 2025. 1321. P. 140244.
3. Giovannetti R. / Macro to nano spectroscopy. 2012. V. 29. P. 87-108.

***Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант №24-13-00010).  
Выражаем благодарность Центру коллективного пользования «Верхневолжский  
региональный центр физико-химических исследований» (ИХР РАН, Иваново).***

## ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСОРБЦИИ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ $Pt_xPd_{1-x}(Mo_2C)/Cu$ -ЭЛЕКТРОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ВЫТЕСНЕНИЕМ

Ханин Д.А.<sup>1</sup>, Черкасов Д.И.<sup>1</sup>, Жуликов В.В.<sup>1</sup>, Кузнецов В.В.<sup>1</sup>, Подловченко Б.И.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н.Фrumкина, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

[eska8lover@yandex.ru](mailto:eska8lover@yandex.ru)

Осаждение благородного металла на поверхность материала, обладающего менее положительным равновесным электродным потенциалом, с использованием гальванического вытеснения широко применяется для приготовления модифицированных электродов-катализаторов. В качестве источника электронов для восстановления соединений благородного металла выступает окисление поверхностных слоев подложки. В [1] нами была показана возможность осаждения палладия на поверхность карбида молибдена  $Mo_2C$ . Полученные электроды проявили высокую каталитическую активность в реакциях электрохимического выделения водорода (РВВ) и окисления муравьиной кислоты (РЭОМК), являющихся практически важными для водородной энергетики.

В этой работе была предпринята попытка совместного введения платины и палладия в состав карбида молибдена методом гальванического вытеснения для получения  $Pt_xPd_{1-x}(Mo_2C)/Cu$ -электродов с целью дальнейшего улучшения их электрокаталитических свойств. Нанесение благородных металлов осуществляли в условиях разомкнутой цепи из раствора, содержащего  $x K_2PtCl_4 + (0.1-x) PdCl_2 + 0.5 M H_2SO_4$ , при 70 °С в течение 1 ч. Химический состав полученных электродов был определен по данным сканирующей электродной микроскопии по энергодисперсионным спектрам (EDX). Зависимость атомной доли платины от состава раствора, используемого для приготовления электродов, является нелинейной. Это свидетельствует о том, что осаждение благородных металлов протекает с кинетическими ограничениями. Равномерное распределение платины и палладия по поверхности частиц карбида молибдена позволяет предположить, что при осаждении образуются сплавы платина-палладий. Низкое содержание молибдена, фиксируемое на EDX-спектрах, указывает на высокую степень его замещения благородными металлами.

При увеличении содержания платины в составе  $Pt_xPd_{1-x}(Mo_2C)/Cu$ -электродов происходит смещение пика десорбции монослоя CO в область менее положительных потенциалов от ~0.94 В (о.в.э., 0.5 М  $H_2SO_4$ ) до ~0.62 В (о.в.э.), что свидетельствует об облегчении окисления адсорбата на поверхности электрода. В то же время не наблюдается появления двух отдельных пиков десорбции монооксида углерода, которые соответствовали бы десорбции монослоя CO с поверхности разделенных частиц платины и палладия. Это подтверждает предположение об образовании сплавов платина-палладий при осаждении. Электрохимически активная площадь поверхности электродов ( $EASA$ ), определенная по заряду, затрачиваемому на десорбцию монослоя монооксида углерода (множитель 420 мкКл/см<sup>2</sup>), увеличивается с ростом атомной доли платины от ~100 см<sup>2</sup> для не содержащего платины  $Pd(Mo_2C)/Cu$ -электрода, полученного в аналогичных условиях, до ~500 см<sup>2</sup> для электрода, полученного из раствора, содержавшего 0.04 М  $K_2PtCl_4 + 0.06 M PdCl_2$  ( $S_{геом} = 4.5$  см<sup>2</sup>).

Список литературы

Kuznetsov V.V., Podlovchenko B.I., Khanin D.A., Zhulikov V.V., Cherkasov D.I. // J. Electroanal. Chem. 2025. V. 979. Article number 118913.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТВОРОВ ГЕКСАФТОРАРСЕНАТА ЛИТИЯ В СМЕШАННЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Чекунова М.Д.<sup>1</sup>, Тюнина Е.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»,  
Иваново, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН Институт химии растворов им. Г. А. Крестова Российской академии наук,  
Иваново, Россия  
[marchekunova@mail.ru](mailto:marchekunova@mail.ru)

Электрохимическая устойчивость является важной характеристикой для применения неводных растворов электролитов в электрохимических устройствах.

В данной работе проведен анализ интервалов электрохимической устойчивости растворов  $\text{LiAsF}_6$  в смешанных растворителях: пропиленкарбонат-ацетонитрил, пропиленкарбонат-N,N-диметилформамид, пропиленкарбонат-диметилсульфоксид. Область электрохимической устойчивости исследуемых электролитных растворов определяли посредством анализа вольт-амперных кривых, полученных на потенциостате ПИ-50-1 со скоростью сканирования потенциала 0.01 В/с [1].

Катодная область устойчивости электролита в апротонных растворителях ограничивается потенциалом восстановления катиона, согласно реакции:  $\text{Li}^+ + 1\text{e}^- \rightarrow \text{Li}$ . В катодной области электролитной стабильности на вольтамперной кривой для растворов  $\text{LiAsF}_6$  в чистом диметилсульфоксиде в области потенциалов -2.0÷-2.5 В наблюдается наличие слабовыраженного пика тока, который связан с восстановлением остаточной воды, не удаляемой осушителями. Аналогичные пики обнаружены на катодных поляризационных кривых для систем:  $\text{LiAsF}_6$ /пропиленкарбонат-N,N-диметилформамид и  $\text{LiAsF}_6$ /N,N-диметилформамид.

Анодный предел разложения растворов исследуемых электролитных систем определяется реакцией окисления растворителя. В результате окисления пропиленкарбоната происходит образование интермедиатов за счет раскрытия кольца в структуре растворителя [2]; в случае N,N-диметилформамида окисление включает стадию отрыва электрона от азота амида, за которой следует стадия потери протона с образованием радикала  $\text{HCON}(\text{CH}_3)\text{CH}_2^-$  [3]; электроокисление диметилсульфоксида приводит к образованию диметилсульфона  $((\text{CH}_3)_2\text{SO}_2)$  [4], а также возможно образование диметилсульфида и  $\text{CO}_2$ .

Показано, что интервалы электрохимической устойчивости растворов гексафторарсената лития в смешанных растворителях пропиленкарбонат-ацетонитрил и пропиленкарбонат-N,N-диметилформамид меняются незначительно по сравнению с растворами  $\text{LiAsF}_6$  в индивидуальных растворителях и зависят от состава бинарного растворителя. Среднее значение электрохимического окна ( $\Delta E$ ) составляет 5.4 В для системы  $\text{LiAsF}_6$ /пропиленкарбонат-ацетонитрил и 4.6 В для системы  $\text{LiAsF}_6$ /пропиленкарбонат-N,N-диметилформамид. Другая картина наблюдается для растворов гексафторарсената лития в смешанном растворителе пропиленкарбонат-диметилсульфоксид, применение которого значительно сужает область электрохимической устойчивости растворов (среднее значение  $\Delta E=1.47$  В) по сравнению с растворами  $\text{LiAsF}_6$  в исходных растворителях. При этом происходит смещение катодного предела разложения в положительную область (от -3.3 В до -0.9 В), что может быть связано с изменением стадии десольватации ионов лития в результате конкуренции двух процессов: пересольватации ионов лития молекулами диметилсульфоксида и образованием ассоциативных форм между полярными молекулами пропиленкарбоната и диметилсульфоксида [1].

1. Tyunina E. Yu., Chekunova M. D. Russian Journal of Physical Chemistry A, 2024, Vol. 98, No. 14, p. 3409.
2. Kanamura K., Umegaki T., Ohashi M., Toriyama Sh., Shiraishi S., and Takehara. Z. Electrochim. Acta. 2001, vol. 47, p. 433.
3. Электрохимия металлов в неводных растворах / Под. ред. Я.М. Колотыркина. М.: Мир, 1974. 440 с.
4. Tanaskovic V., Pasti I. A., Gavrilov N., and Mentus S.V. J. Electroanal. Chem. 2014. V. 714–715. p. 11.

# КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ РАСТВОРОВ 1:1 ЭЛЕКТРОЛИТОВ В АПРОТОННЫХ ДИПОЛЯРНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Чекунова М.Д.<sup>1</sup>, Тюнина Е.Ю.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет»,  
Иваново, Россия

<sup>2</sup>ФГБУН Институт химии растворов им. Г. А. Крестова Российской академии наук,  
Иваново, Россия  
[marchekunova@mail.ru](mailto:marchekunova@mail.ru)

Понимание факторов, влияющих на процесс ионной проводимости, повышает эффективность разработки электролитных композиций с оптимальными физико-химическими свойствами для электрохимических устройств хранения энергии. В центре внимания данного исследования – выявление закономерностей влияния природы компонентов электролитной системы (растворителя и ионофора) на электропроводность некоторых солей лития и тетраэтиламмония с многоатомными анионами в ряду неводных органических растворителей.

На основе применения теории переходного состояния [1] и квазикристаллической модели раствора электролита [2], представлены результаты изменения удельной электропроводности от температуры (253.15 – 333.15 K) в концентрированных растворах 1:1 электролитов (LiAsF<sub>6</sub>, LiClO<sub>4</sub>, LiPF<sub>6</sub>, LiBF<sub>4</sub>, Et<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub>, Et<sub>4</sub>NBF<sub>4</sub>) в пропиленкарбонате и LiAsF<sub>6</sub> в апротонных диполярных растворителях (ацетонитриле, N,N-диметилформамиде, γ-бутиролактоне, N-метил-2-пирролидоне, диметилсульфоксиде, пропиленкарбонате). Показано, что энергия активации процесса ионной проводимости  $E^\ddagger$  растет с увеличением концентрации электролита в изученных электролитных системах, что связано с усилением взаимодействия между ионами и понижением подвижности растворителя вблизи ионов. Концентрационные зависимости  $E^\ddagger$  исследуемых растворов носят линейный характер и могут быть описаны выражением (1) [2]:

$$E^\ddagger = E^\ddagger_0 + x_2 \cdot E^\ddagger_{el}, \quad (1)$$

где  $E^\ddagger_0$  – вклад растворителя в энергию активации процесса ионной проводимости при бесконечном разбавлении;  $E^\ddagger_{el}$  – вклад ионофора в энергию активации процесса ионной проводимости, учитывающий электростатические эффекты;  $x_2$  – мольная доля растворенного вещества. Полученные результаты свидетельствуют о реализации ион-миграционного механизма переноса ионов в указанных системах, согласно которому перенос заряда осуществляется посредством «прыжков» ионов из одного положения равновесия в другое под действием электрического поля. Данный перенос контролируется энергетическим барьером ( $E^\ddagger$ ), который зависит от свойств растворителя и электролита. Значения  $E^\ddagger_0$  близки к энергии активации чистого растворителя для всех систем. Значения  $E^\ddagger_{el}$  уменьшаются в ряду солей LiAsF<sub>6</sub> > LiClO<sub>4</sub> > LiPF<sub>6</sub> > LiBF<sub>4</sub> > Et<sub>4</sub>NPF<sub>6</sub> > Et<sub>4</sub>NBF<sub>4</sub> в пропиленкарбонате, что обусловлено уменьшением эффективных размеров анионов солей лития и увеличением размера катионов Li<sup>+</sup> < Et<sub>4</sub>N<sup>+</sup>. Значения параметра  $E^\ddagger_{el}$  линейно увеличиваются с ростом вязкости и дипольного момента растворителя в рядах: ацетонитрил < N,N-диметилформамид < γ-бутиролактон и N-метил-2-пирролидон < диметилсульфоксид < пропиленкарбонат. Установлено, что первый вклад  $E^\ddagger_0$ , отражающий влияние структуры растворителя на энергию активации электропроводности, меньше, чем второй вклад  $E^\ddagger_{el}$ , связанный с энергетикой ион-ионных взаимодействий в электролитной системе. Таким образом, вклад ионофоров в изменение энергии при образовании активированного переходного комплекса является основным для концентрационной зависимости энергии активации процесса ионной проводимости ( $E^\ddagger$ ) в исследуемых электролитных системах.

1. Глестон, С., Лейдер, К., Эйринг, Г. Теория абсолютных скоростей реакций, М.: Издательство иностранной литературы, 1948. 583 с.
2. Chagnes A., Carre B., Willman P., Lemordant D. Electrochim.Acta, 2001, vol. 46, p. 1783.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ Cu(II)5,15-ДИ(4-АМИНОФЕНИЛ)-10,20-ДИФЕНИЛПОРФИРИНА

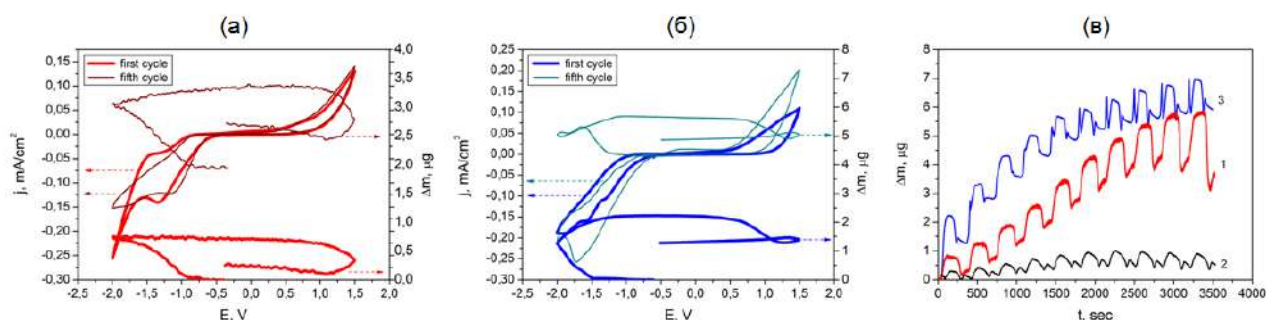
*Чуловская С.А., Кузьмин С.М., Парфенюк В.И.*

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, Иваново, Россия

[chulovskaya@yandex.ru](mailto:chulovskaya@yandex.ru)

Порфирины, благодаря расширенному  $\pi$ -сопряжению, обладают уникальными фотофизическими и электрохимическими свойствами. Вводя различные периферические функциональные группы или атомы металлов в ядро, можно модифицировать структуру порфирина и, следовательно, синтезировать многочисленные производные порфирина. Полианилин, хорошо проводящий полимер, широко используется благодаря своей экологической стабильности, простоте синтеза, оптическим, электрохимическим и электрическим свойствам. Эти характеристики позволяют использовать полианилин в многочисленных практических приложениях. Проводимость полимеров на основе порфиринов не очень высока, поэтому включение полианилина может облегчить перенос заряда в пленке. Рассмотрение вопроса о возможности формирования композиционных материалов (КМ), содержащих как порфирин, так и анилин является актуальным. Целью работы является исследование получения КМ путем одновременной электрополимеризации Cu(II)5,15-ди(4-аминофенил)-10,20-дифенилпорфирина и анилина в растворе диметилсульфоксида методом кварцевого микробаланса при инициировании процесса супероксидом [1].

При формировании полипорфириновых пленок в потенциодинамическом режиме (рис. 1 а) прирост массы наблюдается в области электровосстановления кислорода. Десорбция материала пленки совпадает с областью потенциалов электроокисления порфирина (от +1.1 до +1.5 В). Интенсивность волн осаждения и десорбции нарастает от цикла к циклу (рис. 1 а, с) При формировании пленок КМ, прирост массы наблюдается в области электровосстановления компонентов раствора и сдвинут к более отрицательным потенциалам (рис. 1 б). Десорбция пленки в области электроокисления начинается при потенциалах около +0.6 В и сменяется ростом массы пленки при потенциалах около +1.3 В. Постепенно, при осаждении пленки КМ формируются две области десорбции (от -1.6 до -2.0 В и от +0.6 до +1.3 В). Это обстоятельство приводит к более сложной зависимости  $\Delta m(t)$  в случае осаждения пленки КМ (рис. 1 с, кривая 3), по сравнению с осаждением полипорфирина (рис. 1 с, кривая 1). Десять циклов потенциала в диапазоне от -2.0 до +1.5 В приводят к значениям массы около 4.5 мкг для полипорфирина и 5.9 мкг для КМ.



**Рис. 1.** Сопоставление циклических вольтамперограмм и изменения массы при формировании полипорфирина (а) и КМ (б) из насыщенных кислородом растворов. Представлены первый и пятый циклы. Зависимости массы от времени (с) при формировании полипорфирина (кривая 1), анилина (2) и КМ (кривая 3).

[1] Парфенюк В.И., Чуловская С.А., Кузьмин С.М., Койфман О.И. // Известия Академии наук. Серия химическая. 2022, № 9, С. 1921-1929.

# СТАБИЛЬНОСТЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ТЕРМОДИНАМИКА ОБМЕНА КИСЛОРОДОМ В ДВОЙНЫХ МАНГАНИТАХ $\text{PrBaMn}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{6-\delta}$

Шаламова А.М.<sup>1</sup>, Гробовой И.С.<sup>1</sup>, Мычинко М.Ю.<sup>1,2</sup>, Кудякова В.С.<sup>1</sup>, Сунцов А.Ю.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет имени первого президента России Б. Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия  
[shalamova@ihim.uran.ru](mailto:shalamova@ihim.uran.ru)

Безвоздушное окисление углеводородов рассматривается как перспективный подход к снижению выбросов  $\text{CO}_2$  и повышению экологической эффективности промышленных процессов. Ключевую роль в этой технологии играют аккумуляторы кислорода — материалы, способные к обратимому кислородному обмену в условиях циклических окислительно-восстановительных превращений. Их эффективность определяется термостойкостью, стабильностью и широким диапазоном нестехиометрии по кислороду. К числу таких материалов относятся перовскитоподобные манганиты  $\text{LnBaMn}_2\text{O}_{6-\delta}$  (Ln — редкоземельный элемент), обладающие комплексом благоприятных структурных и функциональных свойств. В данной работе методом глицин-глицерин-нитратного синтеза были получены соединения  $\text{PrBaMn}_{2-x}\text{Fe}_x\text{O}_{6-\delta}$  ( $x = 0,11; 0,33; 0,67; 1,00$ ). На всех стадиях синтеза формируются стабильные фазы: при высоких температурах — кубическая неупорядоченная структура ( $Pm\bar{3}m$ ), в восстановительной атмосфере — тетрагональная упорядоченная ( $P4/mmm$ ,  $\delta \approx 1,0$ ), сохраняющаяся после низкотемпературного окисления ( $\delta \approx 0$ ). Структурный анализ проводился методом Ритвельда с использованием FullProf Suite. Рост содержания железа сопровождается увеличением параметров  $a$  и  $c$ , а также отношения  $c/2a$ , приближающегося к единице, что может указывать на снижение степени упорядочения. Стабильность фазы в различных газовых средах оценивалась методами термогравиметрии (ТГА), расчётов в рамках теории функционала плотности (DFT) и порошковой рентгеновской дифракции. Показано, что соединение с максимальным содержанием железа обладает наибольшей фазовой стабильностью как в окислительных, так и в восстановительных условиях.

Методами йодометрического, кулонометрического титрования и ТГА определены равновесные содержания кислорода в зависимости от  $p\text{O}_2$  и температуры. Установлено, что соединения способны к обратимому кислородному обмену в диапазоне  $0 \leq \delta \leq 1$ ; при этом увеличение доли железа снижает обратимость процессов за счёт сужения каналов диффузии, вызванного подавлением анизотропии теплового расширения.

DFT-расчёты подтвердили снижение термодинамической стабильности тетрагональной фазы с ростом содержания железа и продемонстрировали хорошие согласования с экспериментом. Также были рассчитаны энергетические барьеры диффузии кислорода и проанализировано влияние локального окружения на кислородный обмен. Циклические испытания показали стабильность кислородной ёмкости (до 3,5 масс.%) в условиях многократных окислительно-восстановительных циклов.

Дополнительно определены полные энергии кубических и тетрагональных модификаций  $\text{PrBaMnFeO}_{6-\delta}$ . Полученные данные указывают на склонность структуры к кубической симметрии при легировании. Рентгеноструктурный анализ и просвечивающая электронная микроскопия подтвердили упорядочение катионов в А-подрешётке.

**Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда в рамках проекта №25-19-00917.**

## ДВУМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ХИМИИ

**Янилкин В.В., Фазлеева Р.Р., Насретдинова Г.Р.**

Институт органической и физической химии им. А.Е. Арбузова – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, Казань, Россия

[yanilkin@iopc.ru](mailto:yanilkin@iopc.ru)

Наиболее известным и широко исследуемым двумерным материалом является графен. Графен открыли в 2004 году британские ученые российского происхождения Андрей Гейм и Константин Новоселов. Работая в Манчестерском университете, они исследовали свойства углеродных материалов, в том числе графита и, как следствие, открыли графен. Уже через 6 лет в 2010 году они были удостоены Нобелевской премии по физике за «переходовые опыты с двумерным материалом — графеном».

Графен является достаточно дорогим материалом, поскольку для его получения используют трудоемкие и энергозатратные методы. Одним из простых и доступных способов получения графеновых структур является метод химического окисления-восстановления, заключающийся в воздействии сильных окислителей на графит с последующим восстановлением образующегося оксида графена (ОГ). Именно таким способом нами был получен ОГ. А для получения из него графена нами предложен новый электрохимический способ эффективного и экологически привлекательного получения в водной среде при комнатной температуре с использованием медиаторов. В качестве медиаторов могут быть применены разные соединения, мы на сегодняшний день использовали метилвиологен. При этом в результате потенциостатического препаративного электролиза в водной среде получили практически чистый графен, что подтверждается результатами сопоставительного термогравиметрического анализа [1].

В настоящее время известны и другие 2D структуры, в частности фосфолен, силицен, германен, нитрид углерода, гексагональный нитрид бора, перовскиты, 2D MOF, оксиды переходного металла. Со структурами и свойствами некоторых из них [2-5] мы ознакомимся в настоящем докладе.

### Список литературы

1. Yanilkin V.V., Fazleeva R.R., Brusko V.V., Kirsanova M., Nasretdinova G.R., Dimiev A.M. Mediator assisted electrochemical reduction of graphene oxide. // *Electrochimica Acta*. 2025. V.515. P. 145719. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2025.145719>.
2. Carey T., Cacovich S., Divitini G., Ren J., Mansouri A., Kim J.M., Wang C., Ducati C., Sordan R., Torrisi F. /Fully inkjet-printed two-dimensional material field effect heterojunctions for wearable and textile electronics. // *Nat. Commun.* 2017. V.8. N.1. P.1202. doi: 10.1038/s41467-017-01210-2.
3. Pinilla S., Coelho J., Li K., Liu J., Nicolosi V. Two- dimensional material inks. // *Nature Reviews Materials*. 2022. V.7. P.717. <https://doi.org/10.1038/s41578-022-00448-7>.
4. Song O., Rhee D, Kim J., Jeon Y., Mazánek V., Söll A., Kwon A.Y., Ho C.J., Kim Y.-H., Sofer Z., Kang J. All inkjet-printed electronics based on electrochemically exfoliated two-dimensional metal, semiconductor, and dielectric // *npj 2D Materials and Applications*. 2022. V. 6. Article number 64. <https://doi.org/10.1038/s41699-022-00337-1>.
5. Chen Y., Fang F., Zhang N. Advance in additive manufacturing of 2D materials at the atomic and close-to atomic scale. // *npj 2D Materials and Applications*. 2024. V. 8. Article number 17. <https://doi.org/10.1038/s41699-024-00456-x>.

# ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВЫЙ КОМПЛЕКС ЖЕЛЕЗА КАК АКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОТЕКАНИЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕАКЦИИ В $\text{Li}^+$ -СОДЕРЖАЩЕМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ НА ОСНОВЕ ДМСО

Фокин Д.В.<sup>1,2</sup>, Панченко Н.В.<sup>1,2</sup>, Крюков А.Ю.<sup>2</sup>, Шкирдова А.О.<sup>1</sup>, Емец В.В.<sup>1</sup>, Андреев В.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук 119071 Москва, Россия

<sup>2</sup>Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева 125047 Москва, Россия

[danila5651@yandex.ru](mailto:danila5651@yandex.ru)

Высокая расчётная удельная энергия электрохимической системы  $\text{Li}-\text{O}_2$  и способность данной системы к перезаряду при использовании апротонного электролита определяют перспективность создания высоко энергоэффективного  $\text{Li}-\text{O}_2$  аккумулятора (ЛКА) [1]. Одним из необходимых условий реализации ЛКА является повышение эффективности протекания кислородной реакции на положительном электроде, включающей электровосстановление кислорода с образованием твердофазного пероксида лития ( $\text{Li}_2\text{O}_2$ ) при разряде и анодное выделение кислорода через разложение  $\text{Li}_2\text{O}_2$  на заряде аккумулятора. Решение данной задачи требует создания состава положительного электрода, препятствующего накоплению  $\text{Li}_2\text{O}_2$  и изоляции положительного электрода при циклировании ЛКА. В качестве таких материалов активно исследуют порфириновые комплексы различных металлов [2], включая такие как тетрафенилпорфирин и его соединения ( $\text{TPPFeX}$ , где X – анион).

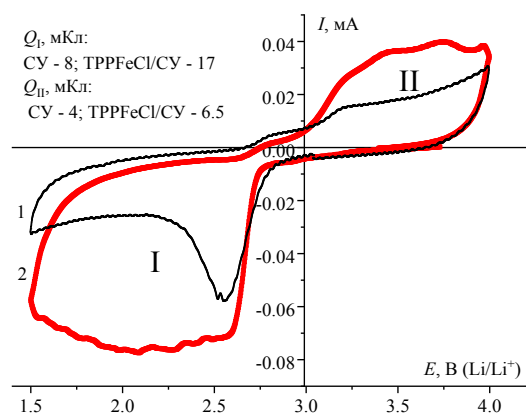


Рис.1. ЦВА кислородной реакции, записанные для стеклоуглерода (1) с нанесённым  $\text{TPPFeCl}$  (2). Электролит 0.25 M  $\text{LiClO}_4/\text{DMSO}$ , 5 мВ/с,  $S_{\text{CY}} = 0.125 \text{ cm}^2$ , 0.1 мг  $\text{TPPFeCl}/\text{cm}^2_{\text{CY}}$

В настоящей работе электрохимические характеристики кислородной реакции исследовали при использовании в качестве активного материала электрода  $\text{TPPFeCl}$ , нанесённого на поверхность стеклоуглерода (CY). Вольтамперограммы представлены на рис.1.

Показано, что нанесение  $\text{TPPFeCl}$  на CY способствует повышению эффективности протекания кислородной реакции по сравнению с таковой для CY. Об этом свидетельствует увеличение тока и соответствующих величин количества электричества ( $Q$ ) в реакции как восстановления кислорода ( $Q_I$ , рис.1), так и его выделения ( $Q_{II}$ , рис.1) в сравнении с параметрами, полученными для стеклоуглерода. Вероятным фактором, обеспечивающим наблюдаемый эффект, является множество валентных переходов железа [2]: переход в области потенциалов от 2 до 3 В ( $\text{Fe}^0/\text{Fe}^{2+}$ ), соответствующей восстановлению

кислорода, и в области от 3 до 4 В ( $\text{Li}/\text{Li}^+$ ),  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ ), соответствующей окислению  $\text{Li}_2\text{O}_2$  [1].

Таким образом в настоящей работе показана перспективность использования железного комплекса тетрафенилпорфирина в составе активного материала положительного электрода ЛКА.

## Литература

1. T. Liu, et. All. Current Challenges and Routes Forward for Nonaqueous Lithium–Air Batteries // Chemical Reviews. – 2020. – Vol. 120. – №14. – Pp. 6558–6625.
2. N. H. Mitchell, N. Elgrishi. Investigation of Iron (III) Tetraphenylporphyrin as a Redox Flow Battery Anolyte: Unexpected Side Reactivity with the Electrolyte // Phys. Chem. C 2023. – Vol. 127. – № 23, Pp. 10938–10946

## СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ

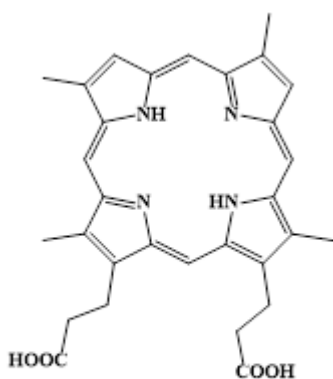
### АДСОРБЦИЯ ДЕЙТЕРОПОРФИРИНА НА НИКЕЛЕ ИЗ НЕЙТРАЛЬНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

*Андреева Н.П.<sup>1</sup>, Ларионов А.В.<sup>2</sup>, Шеханов Р.Ф.<sup>2</sup>, Агафонкина М.О.<sup>1</sup>, Графов О.Ю.<sup>1</sup>,*

<sup>1</sup>Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, Иваново, Россия

[alexbas@yandex.ru](mailto:alexbas@yandex.ru)



дейтеропорфирин-IX

Явление адсорбции макрогетероциклических соединений из растворов на поверхности твёрдых тел лежит в основе разнообразных химических процессов. Интерес к нему определяется необходимостью решения ряда практических задач. [1-3].

В работе изучено адсорбционное, защитное и пассивирующее действие дейтеропорфирина на никеле в нейтральных и щелочных буферных растворах. Получены изотермы адсорбции дейтеропорфирина на восстановленной поверхности никеля при  $E = -0,65$  В и на окисленной поверхности при  $E = 0,2$  В.

Наибольшее значение свободной энергии адсорбции  $-\Delta G_{a, \max}^0$  получено при  $E = -0,65$  В и оно составляет  $-\Delta G_{a, \max}^0$

$= 61,4$  кДж/моль для рН 7,4 и  $-\Delta G_{a, \max}^0 = 59,5$  кДж/моль для рН 9,2. Эти значения свидетельствуют в пользу хемосорбционного взаимодействия дейтеропорфирина с металлической поверхностью. В хлоридных растворах боратного буфера рН 7,4 дейтеропорфирин стабилизирует пассивное состояние никеля при концентрациях, на три порядка ниже концентрации хлорид-иона. Рассчитаны толщины условных монослоев дейтеропорфирина на восстановленной и окисленной поверхности никеля в нейтральном и щелочном боратном буфере. Определена ориентация аниона дейтеропорфирина на поверхности электрода. Во всех случаях, эта ориентация наклонная и толщины находятся в интервале 0,4-0,7 нм. РФЭС-исследования показали, что дейтеропорфирин формирует на поверхности тонкий защитный слой, за счёт образования связи поверхность – карбоксильные группы молекул. На адсорбцию прямо указывает наличие пиков, относящихся к атомам азота порфиринового кольца, на спектре азота образца после обработки, и косвенно – увеличение доли гидроксидного слоя на спектре Ni2p3/2.

#### Литература.

1. Голубчиков О.А., Ларионов А.В., Балмасов А.В., Семейкин А.С. // Макрогетероциклы. 2014. Т.7. №7. С.225-232.
2. Kuznetsov Yu.I., Agafonkina M.O., Andreeva N.P., Kazansky L.P. // Corrosion Science. 2015. Т. 100, pp. 535–543.
3. Andreeva N.P., Grafov O.Y., Kazanskii L.P., Kuznetsov Y.I., Larionov A.V., Golubchikov O.A. // Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces. 2018. Т. 54. № 7. С. 1276-1283.

## ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОГО ОКРАШИВАНИЯ

***Бобров М.Н., Печенкина Е.С.***

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия

[mikh-bobrov@ya.ru](mailto:mikh-bobrov@ya.ru)

Электрофоретическое окрашивание - технологический процесс, широко используемый в настоящее время для нанесения защитных и получения декоративных покрытий на металлических изделиях с использованием электролитического осаждения. В технологии электрофоретических процессов образуются сточные воды, содержащие в своём составе различные химические вещества, такие как пигменты, связующие агенты (смолы), полиэлектролиты и другие компоненты. Эффективная очистка подобных сточных вод является важной задачей для предотвращения загрязнения окружающей среды и соблюдения экологических нормативов. Вследствие наличия пигментов и насыщенной цветовой окраски их совместное обезвреживание с иными потоками производственных сточных вод гальванохимических производств является крайне затруднительным. В настоящее время технологические аспекты переработки таких сточных вод базируются на рекомендациях предприятий-производителей электрофоретических лаков (красок / грунтов). Проведенный анализ специализированной литературы [1] показал отсутствие типовых доступных технологических решений по очистке сточных вод для подобных процессов.

В настоящей работе исследовали способы очистки промывных сточных вод двух производителей электрофоретических грунтов – Galvano Mondo (Турция) и HLS Coating (Китай). Поскольку в составе обоих концентратов присутствуют изоцианатные группы, первоначальным способом очистки и осветления сточных вод были опробованы методы, основанные на окислении данных соединений с использованием перекиси водорода и карбоновых кислот. В результате проведенных экспериментов было показано, что воздействие окисляющих веществ, приводящее к расслоению системы на окрашенную (с осадком) и обесцвеченную происходит лишь при значительном избытке применяемых окислителей, а степень обесцвечивания промывных вод составляет порядка 90 %, что говорит о значительной остаточной концентрации пигментов в сточных водах. Время реакции при использовании перекиси водорода и карбоновых кислот в отсутствие коагулянтов и флокулянтов составляет не менее 4-х часов, что также говорит о низкой производительности данных методов в производственных условиях при применении проточных (непрерывных) схем очистки сточных вод.

Предлагаемая авторами технологическая схема очистки промывных сточных вод включает в себя последовательное добавление к промывным сточным водам процесса электрофоретического окрашивания небольшого количества солей трехвалентного железа, выступающего в качестве каталитического яда для изоцианатных групп и связующих агентов, хлоридсодержащего окисляющего агента и флокулянта. Достижимая степень очистки сточных вод составляет 95-98 %.

Список литературы:

1. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 8-2022 : Очистка сточных вод при производстве продукции (товаров), выполнении работ и оказании услуг на крупных предприятиях : издание официальное. - Москва : Бюро НДТ, 2022 – URL: [https://ндт-инфо.рф/wp-content/uploads/2022/12/its\\_8-022\\_itog\\_utv.pdf](https://ндт-инфо.рф/wp-content/uploads/2022/12/its_8-022_itog_utv.pdf) (дата обращения: 24.05.2025)

## ВЛИЯНИЕ ИОНОВ НИКЕЛЯ И ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ НА МИКРОРЕЛЬЕФ ГЕТЕРОГЕННОЙ КАТИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МК-40

**Бобров М.Н., Печенкина Е.С., Артамонова А.Р.**

Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Санкт-Петербург, Россия

[mikh-bobrov@ya.ru](mailto:mikh-bobrov@ya.ru)

Изучение влияния структуры ионообменных мембран на их транспортные свойства является одной из актуальных задач мембранной электрохимии. Понимание механизмов массопереноса ионов солей и продуктов диссоциации воды в электрохимических системах с ионообменными мембранами, которые имеют различную форму поверхности и химический состав, открывает широкие возможности для создания мембран с определенными свойствами [1].

Целью данной работы является исследование влияния ионов никеля и токовой нагрузки на микрорельеф отечественной гетерогенной катионообменной мембраны МК-40 (ОАО «Щекиноазот» (Россия)). Изучение поверхности мембран осуществлялось методом АСМ с помощью сканирующего зондового микроскопа SPM-9700 Shimadzu (Япония) в динамическом (полуконтактном) режиме на сухих образцах.

На рисунке приведены 3D-изображения мембраны МК-40. Полученные изображения обрабатывали в программе Gwyddion 2.61.

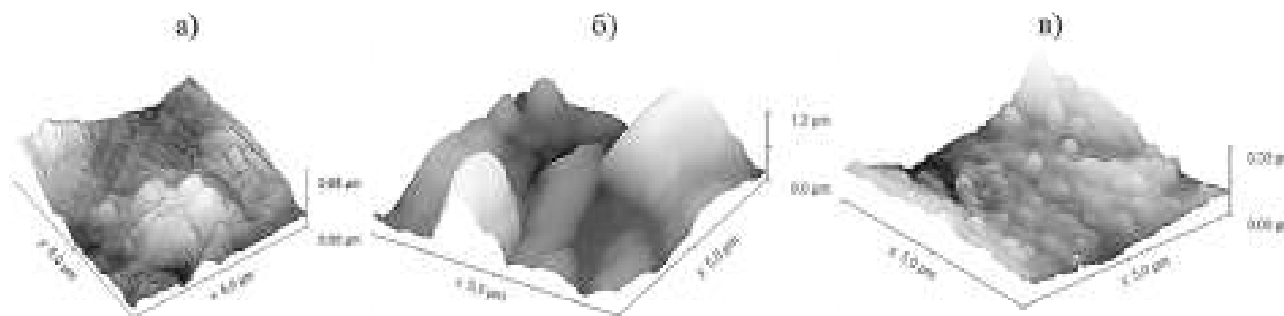


Рисунок - 3D-изображения мембраны МК-40 после: а) химического кондиционирования ( $H^+$ -форма); б) уравнивания с раствором сульфата никеля ( $Ni^{2+}$ -форма); в) наложения токовой нагрузки ( $I = 48$  мА) в течение 5 часов ( $Ni^{2+}$ -форма).

Как видно из рисунка поверхность образца мембраны МК-40, прошедшего только химическое кондиционирование (а) представляет собой развитую структуру с перепадом высот в 0,68 мкм. Уравнивание МК-40 в растворе сульфата никеля приводит к увеличению шероховатости примерно в 1,8 раза (б) по сравнению с мембраной в  $H^+$ -форме. После проведения электродиализного разделения раствора сульфата никеля на поверхности мембраны был обнаружен осадок, который легко удалялся при промывании мембраны водой. Можно предположить, что данный осадок оказывает влияние на микрорельеф поверхности мембраны, из-за чего перепад высот уменьшается в 2 раза (в) по сравнению с исходным образцом в  $H^+$ -форме и в 4 раза по сравнению с образцом в  $Ni^{2+}$ -форме.

Список литературы:

1. Шестаков К.В., Лазарев С.И., Крылов А.В. [и др.] Влияние начальной концентрации ионов металлов в многокомпонентных растворах на процесс очистки электродиализом // Вестник технологического университета. 2023. Т. 26, № 3. С. 21-25.

## ПОЛУЧЕНИЕ СУСПЕНЗИИ ГРАФЕНОВЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ ГРАФИТА

**Борисов А.М.<sup>1,2,3</sup>, Волосова М.А.<sup>2</sup>, Воробьева Е.А.<sup>1</sup>, Гапонов В.А.<sup>2</sup>, Людин В.Б.<sup>2</sup>,  
Овчинников М.А.<sup>1</sup>, Попов Н.С.<sup>2</sup>, Суминов И.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный технологический университет “СТАНКИН”, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), 125993, Москва, Россия  
[nickpopov1999@mail.ru](mailto:nickpopov1999@mail.ru)

Высокий потенциал графеновых наночастиц (ГНЧ) в различных областях стимулирует разработку методов его синтеза. Одним из перспективных методов является плазменно-электролитная обработка (ПЭО) графита, представляющая собой технологичный подход с рядом преимуществ: экологичность, одностадийность процесса и получение ГНЧ с варьируемыми свойствами [1-2]. В работе исследовано влияние электрофизических параметров на состав и структуру ГНЧ, полученных методом ПЭО. В течение 30 минут графитовая пластина размером 7 x 25 x 2 мм, погруженная в электролит КОН (0,5 г/л), подвергалась ПЭО. Обработка включала использование анодно-катодного режима (1:1, 10 А/дм<sup>2</sup>) и ассиметричных импульсных режимов с регулируемыми фронтами и преобладанием анодного или катодного напряжения. Образование суспензий сопровождалось формированием парогазовой ярко светящейся оболочки вокруг графитового электрода и нагревом электролита.

Для анализа структуры ГНЧ использовали высушенные осадки. Применение спектроскопии комбинационного рассеяния света (КРС) позволило выявить в спектрах исследуемых образцов два характерных пика: пик G при смещении частоты  $\Delta k \sim 1580 \text{ см}^{-1}$  и пик D, при  $\Delta k \sim 1350 \text{ см}^{-1}$ , а также соответствующие им пики второго порядка. Анализ спектров КРС выявил изменения в структуре ГНЧ в зависимости от режима ПЭО. Соотношение интенсивностей, полуширин и интенсивностей пиков D и G, а также их вторых гармоник, характерных для графитоподобных материалов, указывало на формирование структуры, близкой либо к графену, либо к оксиду графена, в зависимости от режима ПЭО. Катодный импульсный режим способствовал образованию структуры близкой к графену, а остальные режимы образованию структуры, близкой к оксиду графена.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда (проект № 24-19-00811). При выполнении работы использовано оборудование «Ускорительного комплекса МГУ».*

1. Янилкин В.В., Кривенко А.Г. Электрохимия наносистем. М.: РАН, 2021. 240 с.
2. Borisov A.M., Volosova M.A., Vorobyeva E.A., Gaponov V.A., Ovchinnikov M.A., Popov N.S., Suminov I.V.// Lett. Mater. 2024. V. 14. № 4. P. 468.

# АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПИРТОВОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА

**Войцык А.И., Барбин Н.М.**

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина,  
Екатеринбург, Россия  
E-mail:andrei.voitsyk@urfu.ru

Спиртовые топливные элементы являются перспективным направлением исследования и разработки. В сравнении с водородными топливными элементами, транспортировка спирта не является задачей высокой проблематичности, а также использование данных источников энергии является более безопасным и выгодным. Большая часть исследований в этой сфере сосредотачивают внимание на совершенствовании электродов, проводящей мембраны или состава электролита. Однако интерес так же представляет изменение свойств отдельных компонентов раствора используемого в качестве топлива.

Данная работа рассматривает исследования, направленные на повышение эффективности выработки энергии спиртовыми топливными элементами. Так в [1] предложены методики синтеза бинарных PtSn, PdM (M : Sn, V, Mo) и тройных PtSnNi, PtRuSn катализаторов электроокисления этанола на высокодисперсных углеродных материалах. В результате данного исследования было установлено, что с возрастанием задействованной поверхности металлической фазы возрастает также и удельная активность катализатора, а также, в диапазоне потенциалов 0,3-0,6 В был установлен наиболее высокоактивный катализатор – PtSn. В [2] были рассмотрены анодные (RuNi/C) и катодные (PtCo/C; CoN<sub>4</sub>/C) катализаторы, полибензимидазольная (ПБИ) мембрана и мембранно-электродные блоки (МЭБ) на их основе для щелочного этанольно-кислородного топливного элемента. Результат этой работы подтверждает, что создание этанольно-кислородного топливного элемента, не использующего платину, возможно, при условии, что анод для такого элемента будет создаваться на основе катализатора RuNi, где рутений будет в металлическом виде, а никель в окисленном. Интерес представляет [3] в которой проводится исследование теплообмена смеси этанол-вода во время охлаждения данной смеси воздушно-капельным потоком. В качестве итога данного исследования была установлена немонотонная зависимость коэффициента теплоотдачи от концентрации этанола в смеси, при изменении концентрации от 0 до 10 %, коэффициент теплоотдачи уменьшается, в то время как максимум теплоотдачи наблюдается при концентрации в интервале 30-50 % для импульсного режима течения потока.

Список литературы:

1. А. В. Кузов, М. Р. Тарасевич, В. А. Богдановская // ЭЛЕКТРОХИМИЯ, 2010, том 46, № 4, с. 444-453
2. М. Р. Тарасевич, В. А. Богдановская, П. В. Мазин // ЭЛЕКТРОХИМИЯ, 2010, том 46, № 5, с. 574-584
3. П.Н. Карпов, А.Д. Назаров, А.Ф. Серов, В.И. Терехов // Труды шестой российской национальной конференции по теплообмену, 2014, с. 1084-1086

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИММУНОАНАЛИЗ НА МИКРОЧАСТИЦАХ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕТЕКЦИЕЙ: МНОГОСЛОЙНЫЙ МИКРОФЛЮИДНЫЙ КАРТРИДЖ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

*Воробьёва А.К.<sup>1</sup>, Константинова Т.С.<sup>1</sup>, Сорокина О.Н.<sup>1</sup>, Прусаков К.А.<sup>2</sup>, Алдаров К.Г.<sup>2</sup>,  
Басманов Д.В.<sup>2</sup>, Ерёмченко А.В.<sup>1</sup>, Курочкин И.Н.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>ФНКЦ Физико-химической медицины им. Ю.М. Лопухина ФМБА, Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

alsiona@gmail.com

Разработана закрытая микрожидкостная система на основе многослойного картриджа для автоматизированного проведения иммуноферментного анализа на микрочастицах с электрохимическим детектированием. Платформа объединяет аналитические и инженерные решения, позволяя выполнять полный анализ без ручного вмешательства. Управление током жидкости в картридже осуществляется с помощью контроллера микрожидкостного потока OB1 MK3+ (Elveflow, Франция) путем создания разрежения. Система поворотных клапанов (рис. 1а, элемент 2) используется для переключения между резервуарами и потоками (рис. 1а, элементы 1, 4 и 5), предотвращая перекрестную контаминацию и гарантируя стабильную подачу реагентов. В качестве резервуара для проведения реакций анализа используется специальная реакционная камера с фильтрующим дном (рис. 1а, элемент 3) из гидрофильной мембраны с размером пор 0,45 мкм.

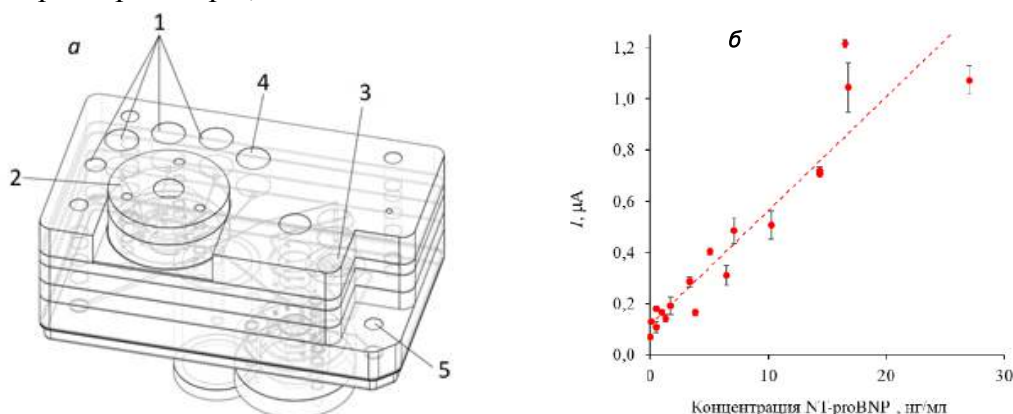


Рис. 1. а – Схема микрофлюидного картриджа для проведения иммуноферментного анализа на микрочастицах с электрохимическим детектированием сигнала; б – Зависимость интенсивности электрохимического сигнала от концентрации NT-proBNP в образцах сыворотки крови человека

Клиническая валидация на образцах сыворотки крови человека, содержащих NT-proBNP, показала высокую линейную корреляцию ( $R^2 = 0,88$ ) между электрохимическим сигналом и концентрацией кардиомаркера, определенной референсным методом (Mindray BS-800) (рис. 1б). Предел обнаружения системы составил 0,735 нг/мл в диапазоне 0 – 30 нг/мл, общее время анализа – 25 минут. Предложенная система сочетает преимущества электрохимической детекции (скорость, портативность и чувствительность) с автоматизацией микрофлюидного анализа, что подтверждает ее пригодность для экспресс-диагностики в клинической практике.

**Работа выполнена по госзаданию 122041400080-0.**

# ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАГОТОВКИ

*Голубева Т.М.<sup>1</sup>, Тамбовская М.И.<sup>1</sup>, Морозов В.И.<sup>1</sup>, Анисимова М.А.<sup>2</sup>, Маркина Л.М.<sup>2</sup>,  
Кашина А.В.<sup>2</sup>, Мухачева Т.Л.<sup>1,2</sup>, Кусманов С.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия

<sup>2</sup>Костромской государственный университет, Кострома, Россия

[mukhachevatil@mail.ru](mailto:mukhachevatil@mail.ru)

Показана возможность проведения плазменно-электролитной обработки локальных участков поверхности вращающейся осесимметричной заготовки из малоуглеродистой стали воздействием струи электролита.

Обработка проводилась в электролизере, предусматривающего подачу струи электролита из спрейера вертикально вверх при контроле расстояния спрейера до поверхности, диаметра сопла спрейера, расхода электролита, скорости вращения обрабатываемой заготовки, а также электрофизических параметров процесса. В качестве электролитов были использованы растворы для цементации и борцементации, применяемые для аналогичной обработки погружением заготовки в электролит.

Установлено, что переход в режим стационарного нагрева с образованием сплошного и устойчивого парогазового слоя при локальной обработке происходит при более высоком напряжении, чем при обработке методом погружения. Такой результат связан с приложением большей энергии на формирование сплошного парогазового слоя, когда данный слой образуется в локальной области, а не полностью формируется вокруг всей заготовки.

Выявлена специфика структурно-фазовых изменений локальной обработке, которая заключается в формировании градиента структур, определяющегося различной температурой нагрева и концентрацией диффузانتов по глубине и по поверхности от центра области контакта электролита, а также различной скоростью охлаждения. При локальном воздействии на участок поверхности не весь аустенит после цементации подвергается бездиффузионному превращению по мартенситному типу, на некоторой глубине и расстоянии от центра области нагрева выявляются квазиэвтектоидные структуры в результате снижения скорости охлаждения из-за отвода тепла в ненагретую область заготовки. Микротвердость мартенситной структуры достигает 980 HV, а квазиэвтектоидных структур выше исходной микротвердости ферритно-перлитной структуры на глубине до 300 мкм, что значительно превышает глубину упрочнения после обработки методом погружения и свидетельствует о более интенсивном процессе химико-термической обработки локальным воздействием на поверхность. При скоростях охлаждения ниже критической для мартенситного превращения возможным является образование вторичного цементита, микротвердость которого достигает до 800 HV.

Показана сравнительно невысокая интенсивность высокотемпературного окисления стальной поверхности в парогазовой среде при локальной обработке, что связано с более тонким парогазовым слоем, чем при обработке погружением, и, соответственно, высокой плотностью тока, интенсифицирующего анодное растворение материала поверхности заготовки, преимущественно оксидов. При смещении от центра области нагрева процесс электрохимического растворения, характерный для анодного варианта обработки, начинает превалировать над окислением, что приводит к снижению шероховатости поверхности.

Установлена трибологическая эффективность обработки на различном расстоянии от центра области нагрева. Повышение износоустойчивости является следствием работы оксидных слоев в качестве смазки в сочетании с матрицей высокой твердости и увеличения несущей способности шероховатого профиля после обработки.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-19-00391*

# ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ПИРОКАТЕХИНА ПЕРСУЛЬФАТОМ КАЛИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

*Гороховская Э.А., Межуев Я.О., Щербаков В.В.*

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия  
[shcherbakov.v.v@muctr.ru](mailto:shcherbakov.v.v@muctr.ru)

В интервале температур 20 – 55°C кондуктометрическим методом изучена кинетика окисления пирокатехина персульфатом калия при соотношении веществ 1:1. Схема протекающей реакции представлена на рис. 1.

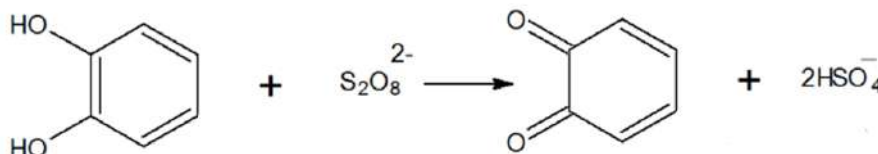


Рис. 1. Схема реакции окисления пирокатехина пероксодисульфат-ионом

В результате этой реакции происходит увеличение концентрации отрицательных ионов в два раза (образование двух гидросульфат ионов из одного персульфат иона) и возрастание удельной электропроводности (ЭП) реакционной смеси. Поэтому для изучения кинетики окисления пирокатехина персульфатом калия можно использовать кондуктометрический метод.

Измерения удельной ЭП проводились с использованием измерителя иммитанса Е7-20 на частоте 5 кГц. Такая частота была выбрана для уменьшения поляризационных эффектов на электродах термостатируемой кондуктометрической ячейки. В ходе проведенных экспериментов были измерены значения удельной ЭП смеси двусантимольных растворов пирокатехина и персульфата калия. В Excel были построены графики зависимости логарифма концентрации пирокатехина от времени, рис. 2, и определены величины констант скоростей реакции окисления пирокатехина.

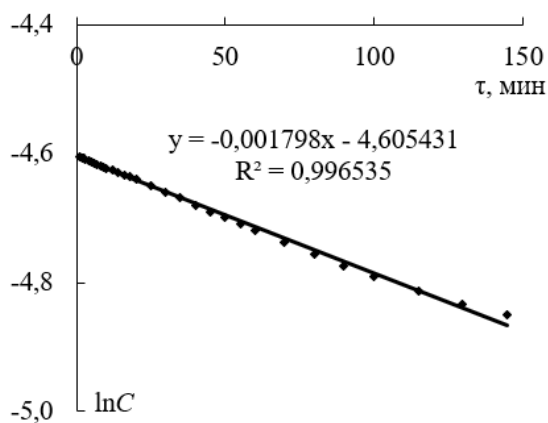


Рис. 2. Зависимость логарифма концентрации пирокатехина ( $\ln C$ ) от времени ( $\tau$ ) для реакции окисления пирокатехина при температуре 20°C.

В результате было установлено, что реакция окисления пирокатехина протекает по первому порядку, рис. 2. На основе анализа температурной зависимости константы скорости определена величина энергии активации реакции, которая составила  $50 \pm 5$  кДж/моль. Следовательно, реакция протекает в кинетической области.

## КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПАССИВАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

*Дидык А.А., Шлома О.А., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Ваграмян Т.А.*

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
125047 г. Москва, Россия, Миусская пл., д.9;  
e-mail: ann.didyk@mail.ru*

В качестве замены хроматных адгезионных слоев на поверхности алюминиевых сплавов, в литературе описаны технологии обработки в растворах на основе солей редкоземельных металлов (РЗМ), в частности церия, лантана, неодима и др. Данные растворы являются экологически безопасными и достаточно эффективными ингибиторами коррозии различных цветных металлов, в частности алюминиевых сплавов.

Настоящая работа посвящена разработке технологии нанесения защитно-адгезионных РЗМ-содержащих конверсионных покрытий на поверхность алюминиевого сплава АМг6 с целью замены токсичных процессов хромирования в авиа-, судо- и автомобилестроении, и других отраслях промышленности.

В ходе данной работы были проведены экспериментальные исследования по получению РЗМ-содержащих (лантан, иттрий, неодим) покрытий на поверхности алюминиевого сплава АМг6, изучению их физико-химических свойств и возможности применения их в качестве альтернативы хроматным адгезионным слоям.

Установлено, что рабочие параметры бесхроматной пассивации составили: pH=2-2,5; температура 18-25°C; продолжительность обработки 10-15 минут. Сушка нанесенных покрытий проводилась при 80°C в течение 15 минут.

Эллипсометрические измерения показали, что толщины формируемых РЗМ-содержащих покрытий составляют от 99 до 141 нм.

Проведены коррозионные испытания в камере соляного тумана по ASTM B117. Установлено, что время до появления первых очагов коррозии сплава АМг6 ~24 ч, с хроматным покрытием ~402 ч, с покрытием, полученным из лантансодержащего раствора с добавлением таннина ~581 ч, с добавлением галловой кислоты ~783 ч.

Установлено, что лантансодержащие покрытие являются хорошей альтернативой хроматным слоям при защите алюминиевой поверхности от питтинговой коррозии. Первые очаги питтинговой коррозии на алюминиевой поверхности с лантансодержащим покрытием появляются лишь через 456 ч., в то время как, на сплаве без защитного покрытия уже через 116 ч.

Коррозионные испытания окрашенных полиэфирной краской марки «Ecocolor ПЭ RAL 9016/Р» и катафорезной краской марки «Литадрайв КТФ Стандарт» алюминиевых образцов с нанесенными конверсионными покрытиями показали, что разработанные покрытия по защитной способности удовлетворяют предъявляемым к адгезионным слоям требованиям, поскольку глубина проникновения коррозии под ЛКП от места надреза не превышает 2,0 мм после 750 часов испытаний. В то время как в отсутствие адгезионного слоя коррозия проникает на 3 мм. Наименьшая глубина распространения коррозии под пленку ЛКП от надреза наблюдается у образцов, полученных из раствора с добавкой галловой кислоты, и составляет 0,5 мм.

Испытания на устойчивость к кипящей воде показали, что прочность сцепления порошковой полиэфирной и катафорезной краски с алюминиевым сплавом АМг6 недостаточна, так как количество образовавшихся пузырей >2, с адгезионными слоями удовлетворяет требованиям. После испытаний прочность сцепления красок с адгезионными слоями составила 0 баллов по методу решетчатого надреза (ГОСТ 31149-2014).

# ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПИРОВАННЫХ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЬ-ОБОГАЩЕННЫХ СЛОИСТЫХ ОКСИДОВ

Каменский М.А., Иванова Е.А., Косых И.Н., Ларина М.В.,  
Пакальнис В.В., Машьянова Л.В.

ООО «Институт Гипроникель», Санкт-Петербург, Россия  
KamenskiyMA@nornik.ru

Слоистые оксиды переходных металлов  $\text{LiNi}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z\text{O}_2$  (NCM) с высоким ( $x > 0.6$ ) содержанием никеля являются одними из наиболее интересных и широко коммерциализованных катодных материалов для литий-ионных аккумуляторов за счет высокой теоретической и практической (около 200 мАч/г) удельной емкости, высокого значения рабочего напряжения ( $E > 3.8$  В отн.  $\text{Li/Li}^+$ ) [1]. Тем не менее, для высоконикелевых катодных материалов одной из основных проблем является их низкая циклическая стабильность, вызванная растрескиванием вторичной структуры, внутренними деформационными дефектами и высокой реакционной способностью поверхности частиц материала вследствие присутствия нестабильного иона  $\text{Ni}^{4+}$ . Одним из эффективных методов стабилизации кристаллической структуры материала является допирование материала гетеровалентными ионами [2].

В данной работе были рассмотрены различные подходы к допированию: внедрение иона-допанта на стадии синтеза прекурсора катодного материала – слоистого гидроксида заданной стехиометрии, добавление иона-допанта на стадии спекания прекурсора и гидроксида лития, и разработка би-допированного материала с использованием внедрения ионов на различных стадиях синтеза.

Внедрение иона алюминия ( $\text{Al}^{3+}$ ) на стадии синтеза прекурсора катодного материала позволило получить равномерное распределение всех элементов в кристаллической решетке, а также привело к незначительному росту межслоевых расстояний, что способствовало более эффективному транспорту ионов лития в решетке и привело к увеличению емкости на 15% при высоких плотностях тока. Также, за счет формирования связей  $\text{Al-O}$ , обладающих высокой энергией, была увеличена циклическая стабильность катодных материалов.

Допирование материала на стадии литирования прекурсора проводилось с использованием  $\text{TiO}_2$  ( $\text{Ti}^{4+}$ ). Было исследовано влияние содержания иона допанта и дополнительно – методика внедрения. Было установлено, что малая концентрация (молярная доля 0.004) больших по размеру ионов титана недостаточно стабилизирует кристаллическую решетку материала, в то время как высокое ( $x = 0.014$ ) содержание допанта приводит к частичной блокировке вакансий для интеркаляции ионов лития, негативно влияя на величину начальной емкости.

Для би-допированных материалов, содержащих одновременно ионы  $\text{Al}^{3+}$  и  $\text{Ti}^{4+}$ , было продемонстрировано увеличение удельной емкости на 10 – 13 мА·ч/г и циклической стабильности на 10% при высоких токах. Для материалов с малой общей концентрацией (молярная доля 0.013) ионов-допантов это объясняется синергетическим эффектом: стабилизация кислородной подрешетки ионами алюминия и небольшое расширение слоев за счет присутствия ионов титана. Увеличение содержания титана может приводить к частичной дефрагментации внутренней структуры катода, что выражается в понижении удельной емкости материала.

## Список литературы:

1. Tian X., Guo R., Bai Y. et al. // Batteries 2023. V. 9. № 6. P. 319.
2. Ahaliabadeh Z., Kong X., Fedorovskaya E., Kallio T. // J. Power Sources 2022 V. 540 P. 231633.

# ИМПУЛЬСНАЯ АКТИВАЦИЯ ЛИТИЕВОГО ПРОТИВОЭЛЕКТРОДА В ПОЛУЯЧЕЙКАХ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА

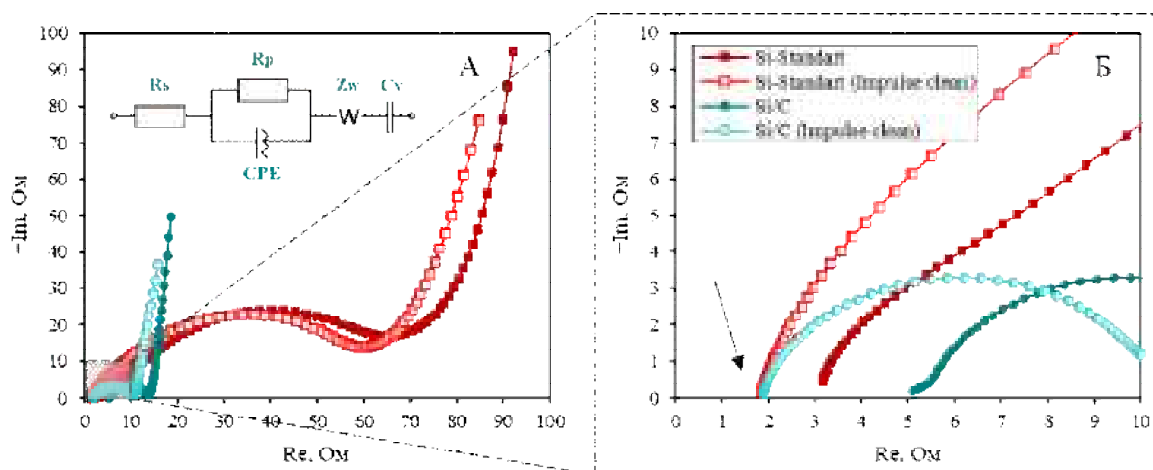
Кислов Д.А., Стенина И.А., Ярославцев А.Б.

Институт общей неорганической химии РАН, г. Москва, Россия

kislov98@yandex.ru

Метод электрохимического импеданса получил широкое распространение при изучении новых материалов для литий-ионных аккумуляторов. С его помощью возможно изучение свойств межфазных границ, кинетики электрохимических реакций, электропроводящих свойств материалов, коррозионных процессов и др. Распространенная конструкция электрохимической ячейки в данном случае представляет собой элемент монетного типа CR2032. Электрохимическая система при этом может состоять из рабочего электрода и литиевого противоэлектрода (т.н. “полужайка”) или симметричной системы литий-литий при исследовании свойств электролитов, сепараторов и проводящих мембран. В следствие неправильного хранения лития или обводнения электролита на поверхности лития может формироваться толстая пассивирующая пленка продуктов его окисления и продуктов разложения электролита (т.н. первичный SEI). При регистрации спектров электрохимического импеданса вклад данной пленки в значение измеряемого комплексного сопротивления может быть чрезвычайно велик, что приводит к искажению годографов и ошибке всего эксперимента.

Для исключения влияния первичного SEI мы предлагаем простую и быструю методику электрохимической активации загрязненной поверхности лития путем импульсной чистки. Данная методика заключается в короткой подаче нескольких импульсов тока относительно большой величины в направлении анодного растворения лития. Путем подачи всего четырех импульсов величиной 100 мА ( $\sim 56 \text{ мА/см}^2$ ) в течении 50 мс значения общего сопротивления ячеек (резистор –  $R_s$ ) для стандартного образца и образца с углеродным покрытием становятся почти одинаковыми (рис. 1). Благодаря чрезвычайно малому времени воздействия на систему, нет необходимости выдержки ячейки до установления стационарных значений НРЦ после чистки. При измерении импеданса мы не наблюдаем сколь либо заметных зашумлений или искажений, связанных с релаксацией заряда. Таким образом нам удастся снизить сопротивление полужайки полностью сдвигая спектр по действительной оси в меньшую сторону.



**Рисунок 1.** Годографы импеданса для стандартного образца и образца с углеродным покрытием до (закрашенные) и после (пустые) импульсной чистки лития (а) и укрупненный фрагмент высокочастотной области импедансного спектра (б).

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ - ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ХОНИГОВАНИЕ

*Климов С.А.*

Тульский государственный университет, Тула, Россия  
sergei.klimov.59@mail.ru

Методы обработки металлов за счет воздействия электрического тока (электрохимические, эрозионные) интенсивно развивались в отечественной промышленности в 60 – 90 годах прошлого столетия. В последние годы их применение заметно сократилось из-за высокой энергоемкости удаления материала, образования трудно утилизируемых отходов обработки. Однако существуют родственные методы обработки, в которых эти факторы проявляются в меньшей степени - комбинированные электромеханические методы, при которых процессы удаления металла за счет действия электрического тока на обрабатываемую заготовку дополняются и интенсифицируются механическим воздействием на обрабатываемую поверхность абразивным или алмазным инструментом. Взаимовлияние анодного растворения металла при электрохимической обработке или теплового действия электрических разрядов или дуги при электрофизической эрозионной обработке и механического резания-царапания поверхности заготовки обуславливает возрастание скорости съема металла от воздействия электрическим током за счет удаления продуктов обработки и пассивных пленок с обрабатываемой поверхности абразивным инструментом и улучшения условий тепломассообмена в зоне обработки с одной стороны и, с другой стороны, увеличение объема диспергированного режущим инструментом металла за счет межкристаллитного разрушения от воздействия электрического тока.

Это приводит к существенному увеличению производительности процесса обработки в целом и значительному сокращению машинного времени проведения технологической операции. В этой связи общее потребление электрической энергии, складывающееся не только из расхода энергии на диспергирование удаляемого металла, но и на обеспечение работы электроприводов оборудования, может даже снижаться. Так, например, при одной из разновидностей комбинированной обработки - электрохимическом хонинговании – мощность, потребляемая на обеспечение процесса анодного растворения, находится в пределах 3-4 кВт. Она определяется режимом обработки, при котором сила постоянного тока может находиться в пределах 500-600 А при напряжении источника питания 6-7 В. Это сопоставимо с суммарной мощностью электроприводов, используемых при проведении операции хонингования – 2,5-5 кВт в зависимости от типоразмера обрабатываемой заготовки и габаритов станка. Машинное время процесса удаления припуска, необходимого для достижения заданных технологических показателей по точности формы и качеству поверхности обработки, в случае использования электрохимического процесса по сравнению с традиционным хонингованием, без анодного воздействия на поверхность заготовки снижается более чем в 3 раза – с 3-4 минут до 30-50 секунд. Простой анализ подтверждает, что при кажущейся высокой энергоемкости процесса электротехнологии реальные затраты энергии оказываются ниже. Подобные рассуждения оказываются справедливыми и при оценке процессов электрошлифования с дополнительным механическим воздействием. При реализации подобной операции имеет место дополнительный положительный эффект – отсутствие деформации структуры поверхностного слоя в результате меньшего силового и теплового воздействия абразивного круга в зоне резания-царапания.

Представляется возможной переоценка критериев энергоемкости электротехнологических методов обработки и их реабилитация за счет учета дополнительного расхода электроэнергии, связанного с функционированием многочисленных электроприводов оборудования, обеспечивающего заданную кинематику процесса и соответствующее силовое воздействие.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ВЭС FeNiCoCuSn НА ОСНОВЕ РЕАКЦИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЗАМЕЩЕНИЯ

Колпаков М.Е., Дресвянников А.Ф., Сатараев Д.А., Ермолаева Е.А.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия  
kolpme@kstu.ru

Высокоэнтропийные сплавы (ВЭС) представляют собой новый класс мультикомпонентных материалов, обладающих уникальным сочетанием механических, каталитических и коррозионных свойств. Однако их широкое применение сдерживается сложностью синтеза традиционными металлургическими методами, которые зачастую требуют высоких температур, приводят к ликвации компонентов и не позволяют формировать развитую наноструктуру. В этом контексте низкотемпературные электрохимические методы являются перспективной альтернативой, открывающей путь к созданию прекурсоров ВЭС с высокой степенью смешения компонентов на наноуровне. Среди таких подходов особое место занимает гальваническое замещение.

Работа посвящена систематическому исследованию закономерностей одностадийного формирования дисперсных предшественников пятикомпонентной высокоэнтропийной системы FeNiCoCuSn. В качестве жертвенного металла-восстановителя для гальванического замещения использовали высокодисперсный порошок алюминия, который вводился в водный раствор хлоридов более электроположительных металлов - железа(III), никеля(II), кобальта(II), меди(II) и олова(II). Процесс осуществлялся при комнатной температуре, однако сопровождался саморазогревом реакционной смеси до 90 °С и выше.

Методами рентгенофлуоресцентного анализа, сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного рентгеновского анализа (ЭДС) изучены морфология и элементный состав получаемых порошков-предшественников в зависимости от исходного молярного соотношения ионов в растворе. Установлено, что в результате реакции формируются пористые дендритные агломераты, состоящие из наноразмерных частиц. ЭДС-картирование показало равномерное распределение в образце всех пяти компонентов. Данные рентгеновского дифракционного анализа подтвердили формирование многофазной системы, состоящей преимущественно из кристаллических фаз осажденных металлов, что является характерным для материала-предшественника. Ключевым преимуществом предложенного подхода является возможность прецизионного управления элементным составом конечного продукта. Установлено, что атомное соотношение металлов (Fe, Ni, Co, Cu, Sn) в синтезированном предшественнике коррелирует с исходным молярным соотношением их ионов в рабочем растворе. В ходе исследования была проведена серия экспериментов с варьированием начальных концентраций солей. Последующий ЭДС-анализ подтвердил высокую степень соответствия расчетной и реальной стехиометрией полученных порошков. Это свидетельствует о том, что при обеспечении достаточного избытка восстановителя (Al) и интенсивном массопереносе процесс выделения всех пяти металлов протекает с высоким и сопоставимым выходом. Такая технологическая гибкость позволяет не только целенаправленно синтезировать прекурсоры для получения ВЭС с классическим эквиатомным составом, но и легко переходить к неэквиатомным композициям, что является критически важным для тонкой настройки физико-механических свойств целевого сплава.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания на оказание государственных услуг (выполнение работ) от 29.12.2022 г. № 075-01508-23-00. Тема исследования «Создание научных основ получения новых multifunctional материалов широкого спектра применения» (FZSG-2023-0008).*

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ РЕЗОРЦИНА ПРИ МАЛЫХ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИЯХ В КОАКСИАЛЬНОМ БЕЗДИАФРАГМЕННОМ ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ

*Колпаков М.Е., Полыгалов Ю.Р., Дресвянников А.Ф., Ермолаева Е.А.*

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия  
kolpme@kstu.ru

Резорцин, как представитель класса дигидроксibenзолов, является широко распространенным органическим загрязнителем. Основными источниками его поступления в окружающую среду являются сточные воды химических, фармацевтических, лакокрасочных и коксохимических производств. Особую опасность представляет способность резорцина вступать в реакции с дезинфицирующими агентами, такими как хлор, с образованием более токсичных и канцерогенных хлорорганических соединений в системах питьевого водоснабжения.

Проблема очистки сточных вод от токсичных и трудноокисляемых ароматических соединений, таких как резорцин, особенно при их низких концентрациях, требует разработки новых эффективных и экономичных методов. Электрохимические методы деструкции органических соединений являются перспективной альтернативой, однако их эффективность существенно образом зависит от конструкции реактора и гидродинамических условий.

В работе исследованы закономерности процесса электрохимического окисления резорцина в коаксиальном бездиафрагменном электролизере, ключевой особенностью которого является значительное различие площадей анода и катода. Эксперименты проводились в модельных растворах с начальной концентрацией резорцина в диапазоне 0,25-0,75 ммоль/л с использованием сетчатого оксидно-рутениево-титанового анода (ОРТА) и центрального стержневого катода из нержавеющей стали. pH корректировали с помощью растворов NaOH и H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Для повышения электропроводности раствора дополнительно вводили сульфат натрия. Контроль за процессом осуществлялся методами тонкослойной хроматографии и спектрофотометрии. Изучено влияние ключевых параметров процесса: плотности тока, pH среды и начальной концентрации субстрата на кинетику деструкции резорцина, а также на интегральные показатели эффективности процесса, такие как степень конверсии, выход по току и удельный расход электроэнергии.

Установлено, что асимметричная конфигурация электродов приводит к созданию специфических гидродинамических и электрохимических условий в электролизере. Высокая плотность тока на центральном катоде малого диаметра вызывает интенсивное выделение водорода, струя пузырьков которого действует как турбулизатор потока, эффективно перемешивая раствор в межэлектродном пространстве и улучшая массоперенос реагентов к поверхности анода. В то же время, низкая плотность тока на большем по площади электроде (аноде) способствует селективной генерации окислителей (в частности, активного хлора из фонового электролита) с высоким выходом по току, подавляя при этом побочную реакцию выделения кислорода и продлевая срок службы ОРТА-покрытия.

При оптимально подобранных условиях достигнута степень конверсии резорцина более 95 % за 60 минут, что свидетельствует о практически полном разрушении ароматической структуры и образующихся промежуточных продуктов.

Таким образом, показано, что интенсификация процесса в данной системе достигается за счет синергетического эффекта: гидродинамической турбулизации потока жидкости за счет газовыделения на катоде и высокой селективности анодного процесса. Управление распределением плотности тока через коаксиальное расположение электродов с существенно отличающимися площадями является одним из приемов разработки энергоэффективных электрохимических реакторов для глубокой очистки воды от органических загрязнителей.

## ИНТЕРКАЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В $\text{Al}_x\text{V}_2\text{O}_5$ КАТОДАХ В МАГНИЙ-СОДЕРЖАЩИХ АПРОТОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ

***Кондратьев В.В., Толстомятова Е.Г., Попов А.Ю., Елисеева С.Н.***

*Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия  
vkondratiev@mail.ru*

Магний-ионные аккумуляторы (МИА) рассматриваются как альтернативные источники энергии из-за потенциально возможных высоких функциональных характеристик, доступного сырья и безопасности эксплуатации. Однако их развитие тормозится как из-за отсутствия катодных материалов, способных к обратимой интеркаляции ионов магния, так и проблемами с обратимостью процессов растворения-осаждения магния на аноде в ряде ранее предложенных электролитов. Среди материалов катодов для МИА наибольший интерес в последние годы вызывают слоистые оксиды ванадия как материалы с подстраиваемым размером межслоевого пространства. Значительное его увеличение при модификации структуры оксида позволяет уменьшить поляризацию и улучшить диффузию ионов магния. Наряду с этим большое внимание в последнее время уделяется вопросам возможности участия протонов в заряд-разрядных процессах в ванадий оксидных катодах в условиях присутствия примесей воды в составе электролита. Показано, что добавки воды в апротонные электролиты могут существенно повышать удельную емкость катодов. Эти вопросы были в фокусе нашего внимания при исследовании процессов интеркаляции в  $\text{Al}_x\text{V}_2\text{O}_5$  катоды. Ионы алюминия в составе оксида выступают в качестве межслойных «колонн-стяжек», задающих увеличенный размер межслоевого расстояния и стабильность структуры оксида.

$\text{Al}^{3+}$ -допированный оксид ванадия ( $\text{Al}_x\text{V}_2\text{O}_5$ ) был синтезирован нами гидротермальным методом. Содержание алюминия  $x=0.072$  найдено методом рентгенофлуоресцентного анализа. Методом порошковой рентгеновской дифракции получены данные о структуре оксида с межслоевым расстоянием  $d=11,78 \text{ \AA}$ . С помощью рентгенофлуоресцентной спектроскопии подтверждено присутствие ионов  $\text{Al}^{3+}$  в составе  $\text{Al}_x\text{V}_2\text{O}_5$ . Методами циклической вольтамперометрии и гальваностатических заряд-разрядных кривых изучены электрохимические свойства катодов в магний-содержащем пропиленкарбонатном электролите  $1\text{M Mg}(\text{ClO}_4)_2$ .

Электрохимические свойства катодов на основе полученного материала были протестированы в как в трехэлектродных ячейках, так и в макетах магний-ионных аккумуляторов. Установлены величины начальной удельной емкости электродов около  $100\text{--}110 \text{ mA}\cdot\text{ч/г}$  при токах  $0.1 \text{ A/г}$ , при этом наблюдалась высокая стабильность удельной емкости для 600 заряд-разрядных циклов и даже возрастание емкости в ходе длительных заряд-разрядных процессов. Исследования заряд-разрядных кривых при разных плотностях тока показали среднюю удельную емкость  $160, 122, 112, 96, 71$  и  $53 \text{ mA}\cdot\text{ч/г}$  при плотностях тока  $0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5$  и  $1.0 \text{ A/г}$ , соответственно.

Рентгенофлуоресцентный анализ соотношения  $\text{Mg}:\text{V}$  в разряженных катодах показал, что доля интеркалированных ионов  $\text{Mg}^{2+}$  составляет около  $0.22$ , что качественно указывает на их интеркаляцию в материал катода. Превышение экспериментально установленной емкости катодов над рассчитанными величинами, которые следуют из данных по внедрению магния в состав разряженного катода, объяснены возможной со-интеркаляцией протонов из примесей воды в составе электролита.

***Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант № 24-23-00224.***

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПЕРЕХОДА К ВЫСОКОНИКЕЛЕВЫМ КАТОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ В ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ

***Косых И. Н.<sup>1</sup>, Коржаков А. А.<sup>1</sup>, Каменский М.<sup>1</sup>, Пакальнис В. В.<sup>1</sup>, Машьянова Л.В.<sup>1</sup>***

<sup>1</sup>ООО «Институт Гипроникель», 195220, Санкт-Петербург, Россия

*KosykhIN@nornik.ru*

Одними из перспективных катодных материалов (САМ) для литий-ионных аккумуляторов (ЛИА) являются слоистые оксиды с высоким содержанием никеля ( $\text{LiNi}_x\text{Mn}_y\text{Co}_{1-x-y}\text{O}_2$ , NMC), обеспечивающих высокую плотность энергии, эффективность заряда/разряда, длительность срока службы за счёт синергетического эффекта Ni, Co, Mn [1]. Ещё одним из важных преимуществ САМ на основе NMC является возможность варьирования соотношения Ni:Mn:Co в широких пределах, что позволяет создавать материалы для применения в конкретных областях и направлениях. На данный момент наиболее перспективными и применяемыми в промышленности являются составы NMC с соотношениями между основными элементами 622 ( $x>0.6$ ), 811 ( $0.8<x<0.85$ ), 811+ ( $0.85<x<0.9$ ), 955 ( $x>0.9$ ) [2].

В данном исследовании были синтезированы все 4 поколения предшественников САМ. Синтез прекурсоров (PCAM) проводился в реакторе периодического действия методом соосаждения. PCAM были подвергнуты высокотемпературному обжигу в камерных печах в присутствии гидроксида лития и атмосфере кислорода. Полученные катодные материалы исследовались методами АЭС-ИСП, СЭМ, ЭДС, РФА, а также гранулометрическим анализом. Емкостные характеристики измерялись методом гальваностатического заряда/разряда в составе полуэлементов формата CR2032 с катодом (положительным электродом) на основе тестируемого материала и анодом из литиевой фольги в диапазоне потенциалов 3.0 – 4.3 В и температуре  $25 \pm 2$  °С.

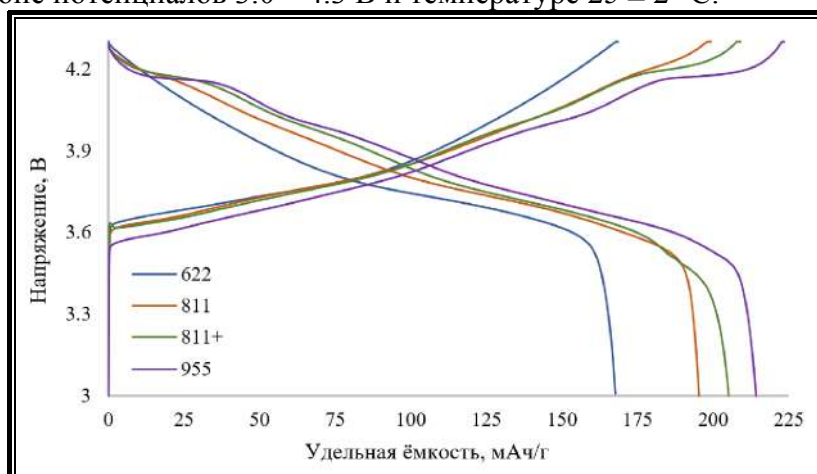


Рисунок 1. Заряд/разрядные кривые при плотности тока 0.1С (С = 200 мА/г)

С повышением содержания никеля в составе САМ начальная удельная разрядная ёмкость возрастает на 28% (рисунок 1) за счёт увеличения доли двухэлектродного перехода  $\text{Ni}^{2+} \rightarrow \text{Ni}^{3+} \rightarrow \text{Ni}^{4+}$ , но ухудшается циклическая стабильность из-за катионного смешения  $\text{Li}^+/\text{Ni}^{2+}$  [3]. Варьирование содержания никеля с целью подбора необходимых характеристик позволяет получать катодные материалы, находящие применение в различных отраслях промышленности.

1. Tian X., Guo R., Bai Y. et al. // Batteries 2023. V. 9. № 6. P. 319.
2. Wu Z., Zhang C., Yuan F. et al. // Nano Energy 2024. V. 126. P. 109620.
3. Delmas C., Carlier D., Guignard M. // Adv. Energy Mater. 2020, Vol. 11, № 2, P. 2001201.

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ НЕОДИМА В СПЛАВЕ Nd–Fe МЕТОДОМ Э.Д.С.

**Крылосов А.В.<sup>1</sup> Ребрин О.И.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия  
[avkrylosov@urfu.ru](mailto:avkrylosov@urfu.ru)

В качестве исходного сырья, для изготовления постоянных магнитов Nd–Fe–B, возможно использование лигатуры Nd–Fe. В этой связи определенный интерес представляет изучение термодинамических свойств такой лигатуры.

Методом э.д.с. была проведена оценка термодинамических характеристик сплава неодим–железо. Измерение равновесных потенциалов сплава Nd–Fe проводили в эквимольной смеси хлоридов натрия и калия, содержащей 3,3% мас. хлорида неодима, относительно сплава Nd–In. Активность неодима в сплаве с индием известна и выражается уравнением [1]:  $\lg a_{Nd(In)} = 4,271 - 12218/T$

Измерения проводили в интервале температур 1003–1093 К. Концентрация неодима в сплаве с индием составляла 5,48 мас. %, что соответствует двухфазной области (InNd<sub>3</sub>+Ж) [2].

Сплавы Nd–Fe и Nd–In представляют собой двухфазные системы: насыщенный раствор неодима в равновесии с интерметаллическим соединением, в случае с индием – InNd<sub>3</sub> [2], а в случае с железом – Fe<sub>17</sub>Nd<sub>2</sub>, Fe<sub>17</sub>Nd<sub>5</sub> [3]. Активность неодима в сплаве Nd–Fe определяется его активностью в насыщенном растворе. При осуществлении расчётов исходили из того, что неодим в сплавах обратим относительно ионов Nd<sup>3+</sup> в солевой фазе [4]. Принимая во внимание это допущение, было проведено математическое преобразование для расчёта активности неодима в сплаве Nd–Fe с учётом активности неодима в сплаве Nd–In и измеренной разности потенциалов между этими сплавами.

Рассчитанные значения активности неодима в железе представлены в таблице 1:

Таблица 1. Рассчитанные значения активности и энергии Гиббса сплавообразования неодима

| в железе |        |                         |                         |               |
|----------|--------|-------------------------|-------------------------|---------------|
| T, К     | ΔE, В  | $a_{Nd(In)} \cdot 10^8$ | $a_{Nd(Fe)} \cdot 10^3$ | -ΔG, кДж/моль |
| 1003     | -0,359 | 1,23                    | 3,18                    | 48,0          |
| 1033     | -0,332 | 2,28                    | 2,01                    | 55,3          |
| 1063     | -0,321 | 5,99                    | 2,20                    | 54,1          |
| 1093     | -0,320 | 12,4                    | 3,31                    | 51,9          |

На основании полученных данных составлено уравнение функциональной зависимости активности неодима в железе от температуры (1003-1093 К):

$$\lg a_{Nd(Fe)} = 104,18 - 0,243 \cdot T + 1 \cdot 10^{-4} \cdot T^2$$

Найденное уравнение совпадает по форме с зависимостью E<sub>eq</sub> (э.д.с) от температуры для перитектической реакции Ж + Fe<sub>17</sub>Nd<sub>2</sub> ↔ Fe<sub>17</sub>Nd<sub>5</sub> [5].

## Литература

1. Лебедев В.А., Кобер В.И., Ямщиков Л.Ф. Термохимия сплавов редкоземельных и актиноидных элементов, 1989, 336 с.
2. Лякишев Н.П. Диаграммы состояния двойных металлических систем, Т. 3, книга 1, 2001, 872 с.
3. Hallemans H., Wollants P., Roos J.R. // J. of Phase Eq., 1995, 16(2), 137-149.
4. Смирнов М.В. Электродные потенциалы в расплавленных хлоридах, 1973, 246 с.
5. Sanghyeok I., Gesualdi J., Minkyu K. et al. // J. of Al. and Comp., 2024, 970, 1-8.

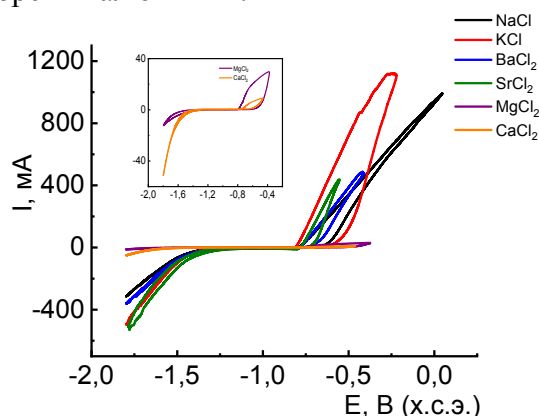
## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ РАЗЛИЧНОГО КАТИОННОГО СОСТАВА

***Кубанова М.С., Куриганова А.Б., Смирнова Н.В.***

Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)  
имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия  
kubanova\_mc@mail.ru

Влияние анионов и катионов электролита на электрохимическое поведение алюминия привлекает внимание исследователей из-за сложности механизмов разрушения поверхностных алюмооксидных пленок. Известно, что в присутствии  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{NO}_3^-$  -ионов алюминий находится в пассивном состоянии, а  $\text{Cl}^-$  - ионы оказывают активирующее действие на оксидную пленку алюминия [1-3]. Однако, влияние катионного состава электролита на электрохимическое поведение алюминия мало изучено.

В настоящей работе методом циклической вольтамперометрии исследовали электрохимическое поведение алюминия в следующих растворах электролитов: NaCl, KCl, BaCl<sub>2</sub>, SrCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, с одинаковой концентрацией ионов  $\text{Cl}^-$ . На ЦВА кривых (рисунок 1) видно увеличение тока в анодной области, которое сопровождается активным газовыделением с образованием питтинговых участков на поверхности алюминиевого анода. Однако в растворе хлорида кальция и магния этого не наблюдается, что свидетельствует об отличном от однозарядных катионов влиянии катиона  $\text{Ca}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  на механизм электрохимического растворения алюминия.



*Рисунок 1 – Циклические вольтамперограммы Al электрода в электролитах различного катионного состава. Скорость развертки потенциала 5 мВ/с.*

Таким образом, исследование электрохимического поведения алюминия в электролитах различного катионного состава с точки зрения их окислительно-восстановительных свойств, особенностей гидратации внесет значительный вклад в понимание механизмов репассивации алюминия в водных хлоридсодержащих электролитах.

***Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (Соглашение 23-73-10108).***

### Список литературы:

1. Борисенкова Т.А., Калужина С.А. // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2009. – Т. 11, № 2. – с. 106-110.
2. Григорьева И.О., Дресвянников А.Ф. // Вестник Казанского технологического университета. – 2011. – №11. – с. 149-155.
3. Григорьева И.О., Дресвянников А.Ф., Ахмадишина Г.Т. // Вестник Казанского технологического университета. – 2012. – №23. – с. 64-67.

# ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ В РАСТВОРЕ КАРБОНАТА АММОНИЯ

Кузнецова О.Г., Левчук О.М.

Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова  
Российской Академии Наук, Москва, Россия  
[olyakolya@mail.ru](mailto:olyakolya@mail.ru)

Отходы твердых сплавов на основе карбида вольфрама являются массовыми и требуют простой, природосберегающей технологии переработки с получением паравольфрамата аммония – основного промежуточного соединения в производстве вольфрама [1, 2]. Однако на предприятиях, выпускающих твердые сплавы и изделия из них, зачастую присутствует широкий спектр индивидуальных металлических отходов вольфрама, рения, молибдена, а также их сплавов (типа ВР, ВНЖ, ВНЖК и др.). Таким образом, важным условием является также гибкость создаваемого технологического процесса, предоставляющая возможность переработки любого из перечисленных выше материалов в соответствии с текущими нуждами предприятия. При этом важно отметить, что электрохимическое окисление тугоплавких металлов и металлических сплавов на их основе осуществляется с высокой производительностью в водных растворах карбоната аммония, позволяя получать соответствующие аммонийные соли при упаривании электролита [3 - 6].

Настоящая работа посвящена исследованию процесса электрохимического растворения вольфрамсодержащих отходов твердых сплавов на примере сплава типа ВК-8 (масс. %: 92 WC, 8 Co) под действием постоянного тока плотностью  $0,5 \div 2,0$  А/см<sup>2</sup> при температуре  $20 \div 50^\circ\text{C}$  в растворе карбоната аммония  $0,5 \div 1,0$  М. Были выявлены условия, обеспечивающие производительность процесса  $\sim 10$  кг/м<sup>2</sup>·ч. В результате электрохимического растворения сплава ВК-8 происходит переход вольфрама и кобальта в электролит. Дистилляция полученного раствора приводит к его нейтрализации за счет удаления непрореагировавшего карбоната аммония в газовую фазу в виде аммиака, диоксида углерода и паров воды. Процесс сопровождается разделением вольфрама и кобальта путем концентрирования последнего в твердой фазе в виде осадка его основных карбонатов [7]. Упаривание маточного раствора вызывает кристаллизацию паравольфрамата аммония, который, несмотря на остаточное содержание кобальта, может быть прокален до вольфрамового ангидрида и применен для производства вольфрамкобальтовых твердых сплавов по традиционной технологии.

## Список литературы:

1. Hool A., van Nielen S., Schrijvers D., Ganzeboom S. // Minerals Economics. 2022. 21 April.
2. Guar R. P. C. // The Minerals. Metals & Materials Society. 2023. p. 285-294.
3. Кузнецова О.Г., Левин А.М., Анохин А.С., Левчук О.М., Больших А.О., Леонтьев В.Г. // Металлы. 2025. №1. с. 78-90.
4. Кузнецова О.Г., Левин А.М., Леонтьев В.Г., Севостьянов М.А., Больших А.О., Левчук О.М. // Металлы. 2024. №2. с. 3-8.
5. Кузнецова О.Г., Левин А.М., Конушкин В.Г., Цыбин О.И. // Металлы. 2023. №1. с. 9-15.
6. Кузнецова О.Г., Больших А.О., Скородумов Д.В., Левчук О.М. // Арктический семинар по электрохимии редких металлов, посвященный 300-летию Российской академии наук: Сб. тезисов докладов, 2024 г. – Екатеринбург : Издательский Дом «Ажур», 2024. – 71 с.38-39.
7. Липин А.Б. // Записки Ленинградского горного института им. Г.В. Плеханова. 1966. т.XLVI, вып.3. с.115-120.

**Работа выполнена по государственному заданию № 075-00319-25-00.**

## ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЕ СУЛЬФОАЗОТИРОВАНИЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

***Мухачева Т.Л.<sup>1,2</sup>, Колесников А.М.<sup>1</sup>, Шаронова Е.Н.<sup>1</sup>, Боровская А.А.<sup>1</sup>, Золотов А.А.<sup>1</sup>,  
Ивкова Л.Г.<sup>1</sup>, Кусманова И.А.<sup>1,2</sup>, Кусманов С.А.<sup>1,2</sup>***

<sup>1</sup>Костромской государственный университет, Кострома, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия  
mukhachevatl@mail.ru

Сульфозотирование эффективно для повышения износостойкости поверхностей, работающих в условиях сухого трения, в трибосопряжениях машин и механизмов пищевой промышленности, где не всегда возможно применение смазки. Насыщение поверхностного слоя серой повышает противозадирные свойства, препятствует схватыванию поверхностей в трибосопряжении и глубинному вырыванию. Диффузия азота повышает износостойкость за счет увеличения твердости. В работе показана возможность проведения плазменно-электролитного диффузионного насыщения инструментальной стали У8 азотом и серой.

Плазменно-электролитное сульфозотирование проводилось в электролите, содержащем 20 % масс.  $\text{CS}(\text{NH}_2)_2$  и 10 % масс.  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . Время диффузионного насыщения составляло 7 минут. Температура насыщения варьировалась и составляла 500, 550, 600 и 650 °С. Закалка проводилась от температуры 800 °С.

Согласно данным EDX анализа максимальное содержание серы на поверхности (рис. 1) модифицированного образца (30.09 % масс) обнаружено после диффузионного насыщения при температуре 550 °С. Насыщение при температуре 600 °С обеспечивает меньшее содержание серы в поверхности: 24.97 % масс. Минимальное содержание серы 12.06 % масс. зафиксировано после насыщения при максимально высокой температуре 650 °С. Температура выдержки 500 °С приводит к 19.65 % масс. серы на поверхности стали У8. Содержание азота при всех температурах находится в пределах 2 % масс. Согласно данным рентгеновского анализа в поверхностном слое обнаружены сульфид железа и нитрид железа.

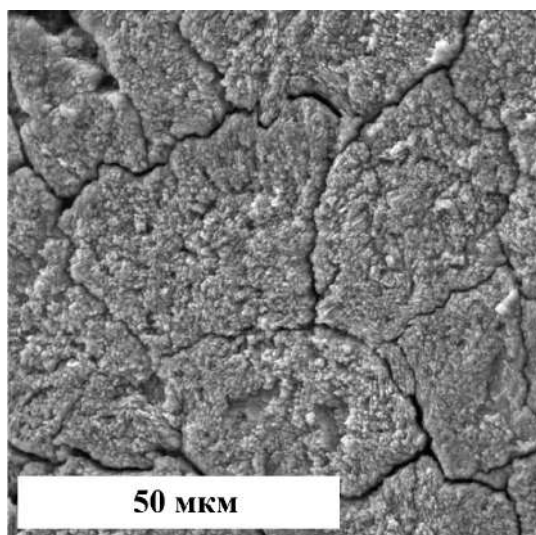


Рис. 1 Фотография поверхности образца из стали У8 после плазменно-электролитного сульфозотирования

Трибологические испытания образцов после плазменно-электролитного сульфозотирования проводились по схеме вал-колодка с коэффициентом перекрытия 0.5 при сухом трении. Пусть трения составил 1 км, нагрузка в трибологическом сопряжении 10 Н. Диффузионное насыщение серой и азотом при любой температуре снижает коэффициент трения и потери массы при трении в сравнении с сырым образцом. Коэффициент трения снижается в 1.7 – 2.9 раза, убыль массы при трении в 8.5 – 10 раз в зависимости от температуры насыщения по сравнению с сырым образцом.

*Исследование выполнено за счет  
гранта Российского научного фонда № 24-29-  
20082*

# ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЯ В НЕКОТОРЫХ ПОЛЯРНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Одинаев У.Н., Артемкина Ю.М., Щербаков В.В.

Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева, г. Москва, Россия  
[shcherbakov.v.v@muctr.ru](mailto:shcherbakov.v.v@muctr.ru)

Установление связи между электропроводностью (ЭП) растворов электролитов и ионных жидкостей (ИЖ) и физико-химическими свойствами полярных растворителей является важнейшей задачей теоретической и экспериментальной электрохимии. В работах [1,2] было показано, что при повышении температуры удельная ЭП растворов  $\kappa$  возрастает прямо пропорционально отношению диэлектрической проницаемости (ДП)  $\epsilon$  к времени дипольной диэлектрической релаксации  $\tau$ , т.е. прямо пропорционально предельной высокочастотной (ВЧ) ЭП растворителя  $\kappa_{\infty}$  [2]:

$$\kappa = k' \frac{\epsilon \epsilon_0}{\tau} = k' \kappa_{\infty}. \quad (1)$$

В уравнении (1) – абсолютная ДП вакуума ( $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м).

В настоящей работе в интервале температур 10 – 70 °С измерена удельная ЭП разбавленных растворов хлорида 1-бутил-3-метилимидазолия ([BMIm]Cl) в воде, ацетонитриле, диметилформамиде и диметилсульфоксиде. На рисунке в качестве примера представлена зависимость удельной ЭП  $\kappa$  0,1 М растворов [BMIm]Cl от предельной ВЧ ЭП  $\kappa_{\infty}$  растворителей. Величина  $\kappa_{\infty}$  была рассчитана на основании диэлектрических характеристик ( $\epsilon$  и  $\tau$ ) растворителей, приведенных в справочнике [3].

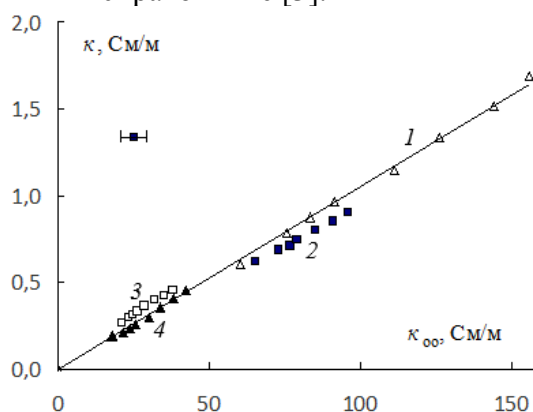


Рисунок. Зависимость удельной электропроводности  $\kappa$  0,1 М растворов [BMIm]Cl от предельной высокочастотной электропроводности растворителей  $\kappa_{\infty}$  в воде (1), ацетонитриле (2), диметилформамиде (3) и диметилсульфоксиде (4)

Из представленных на этом рисунке данных следует, что при повышении температуры удельная ЭП растворов [BMIm]Cl увеличивается прямо пропорционально величине предельной ВЧ ЭП полярных растворителей  $\kappa_{\infty}$ , причем на одну прямую укладываются значения  $\kappa$  растворов во всех четырех растворителях.

1. Shcherbakov V.V., Artemkina Yu.M., Akimova I.A. Artemkina I.M. *Materials*, 2021, 14(19):5617. Doi: 10.3390/ma14195617.

2. Shcherbakov V.V., Ermakov V.I., Artemkina Y.M. *Russ. J. Electrochem.* 2017, vol. 53(12), pp. 1301-1306. Doi: 10.1134/s1023193517120102.

3. Ахадов Я.Ю. Диэлектрические параметры чистых жидкостей. Изд-во МАИ. 1999.

# НОВЫЙ КАТОДНЫЙ МАТЕРИАЛ $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Fe}_x\text{O}_{12-\delta}$ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА: ТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ

Пантюхина М.И.<sup>1</sup>, Неволлина О.А.<sup>2</sup>

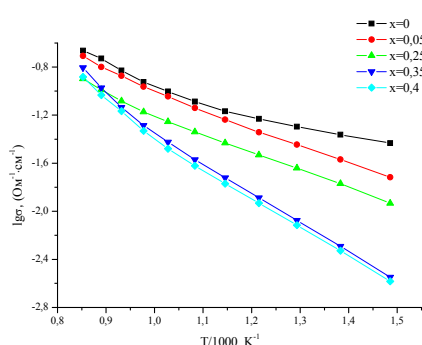
<sup>1</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

[m\\_amarillis@bk.ru](mailto:m_amarillis@bk.ru)

В настоящее время в качестве катодных материалов для твердооксидных топливных элементов (ТОТЭ), как правило, предлагается использовать сложные оксиды переходных металлов со структурой перовскита [1]. При выборе катиона d-металла В-подрешетки, электродного материала для симметричных ТОТЭ необходимо сочетание термодинамической и химической устойчивости с высокой электропроводностью. Таким требованиям, больше всего, соответствуют перовскиты с катионами 3d-металлов Ti, V, Cr и Mn, а также Mo [1]. Фаза  $\text{CaCu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$  обладает хорошей термической стабильностью и высокой диэлектрической проницаемостью [2]. Соединение  $\text{La}_{2/3}\square_{1/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$  с перовскитоподобной структурой схожей с титанатом кальция меди было впервые получено в работе [3].

Твердофазный синтез составов  $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Fe}_x\text{O}_{12-\delta}$  с  $x = 0 \div 1,0$  осуществляли в несколько стадий в алундовых тиглях с промежуточной гомогенизацией в таблетках на воздухе: 300°C 6 ч, 975°C 10 ч, 1000°C 10 ч, 1025 10 ч. На основании



**Рис. 1.** Температурные зависимости проводимости для составов твердых растворов  $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Fe}_x\text{O}_{12-\delta}$  с  $x=0 \div 0,4$ .

проведенного рентгенофазового и рентгеноструктурного анализа был сделан вывод, что область существования твердого раствора  $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Fe}_x\text{O}_{12-\delta}$  находится в пределах  $0 \leq x \leq 0,4$ . На кривых ДСК и ТГ как для недопированного состава  $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$ , и для состава из области существования твердого раствора  $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_{3,7}\text{Fe}_{0,3}\text{O}_{11,85}$  не было зафиксировано существенных изменений массы образцов и значительных тепловых эффектов при нагревании до 950°C на воздухе ( $p_{\text{O}_2} \approx 0,2$  атм.). Температурные зависимости проводимости в координатах Аррениуса для  $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_4\text{O}_{12}$  и образцов  $\text{La}_{2/3}\text{Cu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Fe}_x\text{O}_{12-\delta}$  ( $x \leq 0,4$ ) в низкотемпературной области (400 - 700°C) зависимости логарифма (рис. 1). С ростом содержания допанта наблюдается снижение проводимости и увеличение энергии активации. Подобная картина наблюдалась для  $\text{CaCu}_3\text{Ti}_{4-x}\text{Fe}_x\text{O}_{12-\delta}$  [4]. Кажущиеся энергии активации проводимости ( $E_a^*$ ) для низкотемпературной области 400÷700°C заметно возрастают с ростом содержания железа.  $E_a^*$  для недопированного LCTO составила 0,168 эВ, что соответствует величине энергетического барьера при осуществлении переноса заряда по прыжковому механизму поляронов малого радиуса.

1. Истомин С.Я., Лысков Н.В., Мазо Н.Г., Антипов Е.В. // Успехи химии. 2021. Т. 90. № 6. С. 644.
2. Zhuk N.A., Nekipelov S.V., Sivkov V.N., Sekushin N.A., Lutoev V.P., Makeev B.A., Koroleva A.V., Fedorova A.V., Koksharova L.A., Ignatova M.M., Korolev R.I. // Ceramics International. 2020. V. 46. P. 21410.
3. Ahmad M.M., Kotb H.M., Joseph C., Kumar Sh., Alshoaibi A. // Crystals. 2021. V. 11. P. 313.
4. Ngamou P.H.T., Bahlawane N. // Chem. Mater. 2010. V. 22. P. 4158.

# НОВЫЕ СРЕДНЕ-ЭНТРОПИЙНЫЕ ОКСИДЫ НА ОСНОВЕ ХРОМИТОВ Nd<sub>0,25</sub>Ln<sub>0,25</sub>Gd<sub>0,25</sub>Y<sub>0,25</sub>CrO<sub>3</sub>: ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТОТЭ

**Пантюхина М.И.<sup>1</sup>, Шерстобитова Е.А.<sup>2,1</sup>, Кабанова Н. А.<sup>3</sup>, Неволлина О.А.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Институт химии твердого тела УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>2</sup>Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

<sup>3</sup>Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

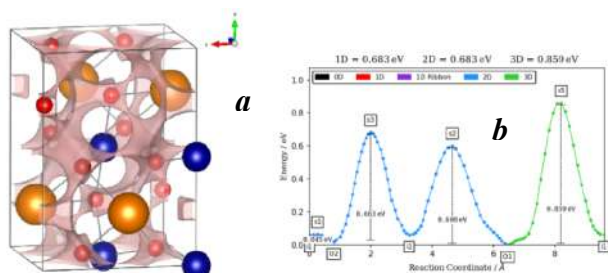
<sup>4</sup>Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

[m\\_amarillis@bk.ru](mailto:m_amarillis@bk.ru)

Редкоземельные хромиты обладают высокой термической стабильностью в окислительной и восстановительной атмосферах в сочетании с хорошей электронно-ионной проводимостью при высоких температурах, что делает их перспективными для использования в качестве рабочих материалов в твердооксидных топливных элементах [1]. Исследования электрической проводимости хромитов редкоземельных металлов (LnCrO<sub>3</sub>) активно проводились в последние десятилетия [2]. Современные вычислительные методы, такие как геометрико-топологический (GT) анализ и моделирование энергетических барьеров миграции (Bond-Valence Site Energy, BVSE), позволяют прогнозировать физические свойства новых соединений. На основе критериев, разработанных в [3], были проанализированы энергетические барьеры миграции ионов кислорода в хромитах состава (Nd<sub>0,25</sub>Ln<sub>0,25</sub>Gd<sub>0,25</sub>Y<sub>0,25</sub>)CrO<sub>3</sub>, где Ln = Pr, Er, Sm, Dy.

Четырехкомпонентные ортохромиты редкоземельных элементов (PЗЭ) RCrO<sub>3</sub> (R = Nd<sub>0,25</sub>Ln<sub>0,25</sub>Gd<sub>0,25</sub>Y<sub>0,25</sub> Ln=Pr, Er, Sm, Dy) были получены методом горения растворов (SCS) с использованием лимонной кислоты в качестве топлива. Дифракционные картины для всех составов были успешно проиндексированы с использованием орторомбической структуры с пространственной группой *Pnma* (№ 62).

Для всех исследованных составов была получена трёхмерная карта миграции ионов O<sup>2-</sup> и невысокий энергетический барьер (значения сопоставимы с энергетическими барьерами для перовскитов [3]), что позволяет



**Рис.1.** (а) Изоповерхности путей миграции кислорода и (б) соответствующий энергетический профиль миграции O<sup>2-</sup> в (Nd<sub>0,25</sub>Er<sub>0,25</sub>Gd<sub>0,25</sub>Y<sub>0,25</sub>)CrO<sub>3</sub>

предположить достаточно высокую миграцию O<sup>2-</sup> ионов (см. рис. 1 для (Nd<sub>0,25</sub>Er<sub>0,25</sub>Gd<sub>0,25</sub>Y<sub>0,25</sub>)CrO<sub>3</sub>). Как видно из табл. 1 величина энергии миграции  $E_m(O^{2-})$  зависит от величины среднего ионного радиуса Ln в (Nd<sub>0,25</sub>Ln<sub>0,25</sub>Gd<sub>0,25</sub>Y<sub>0,25</sub>)CrO<sub>3</sub>.

Уменьшение ионного радиуса от Pr к Er приводит к снижению  $E_m(O^{2-})$  от 0,81 до 0,68 эВ, что можно объяснить облегчённой миграцией кислорода в сжатых решётках, где локальные искажения октаэдров CrO<sub>6</sub> облегчают ионный транспорт [4].

**Таблица 1.** Результаты BVS-расчетов энергетических миграционных барьеров для хромитов (Nd<sub>0,25</sub>Ln<sub>0,25</sub>Gd<sub>0,25</sub>Y<sub>0,25</sub>)CrO<sub>3</sub> (Ln = Pr, Sm, Dy, Er).

| состав                                                                                        | энергетический барьер, $E_m(O^{2-})$ ,<br>еВ |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------|------|
|                                                                                               | 1D                                           | 2D   | 3D   |
| (Er <sub>0,25</sub> Nd <sub>0,25</sub> Gd <sub>0,25</sub> Y <sub>0,25</sub> )CrO <sub>3</sub> | 0,68                                         | 0,68 | 0,86 |
| (Dy <sub>0,25</sub> Nd <sub>0,25</sub> Gd <sub>0,25</sub> Y <sub>0,25</sub> )CrO <sub>3</sub> | 0,72                                         | 0,72 | 0,90 |
| (Sm <sub>0,25</sub> Nd <sub>0,25</sub> Gd <sub>0,25</sub> Y <sub>0,25</sub> )CrO <sub>3</sub> | 0,73                                         | 0,73 | 0,90 |
| (Pr <sub>0,25</sub> Nd <sub>0,25</sub> Gd <sub>0,25</sub> Y <sub>0,25</sub> )CrO <sub>3</sub> | 0,81                                         | 0,81 | 0,99 |

1. Shen Y., Liu M., He T., Jiang S. P. // J. Am. Ceram. Soc. 2009. V. 92. P. 2259.
2. Tiwari S., Mishra A. // J. Supercond. Novel Magn. 2024. V. 37. P. 623.
3. Kabanova N.A., Morkhova Y.A. et al. // Solid State Ionics. 2023. V. 391. 116142.
4. Chen H., Wong L.L., Adams S. // Acta Crystallogr., Sect. B. 2019. V. 75. P. 18.

# АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ФТОРУГЛЕРОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ

*Садеков Э.Р., Шведов А.В.*

Московский авиационный институт, Москва, Россия  
emil\_sadekov@mail.ru

Широкое применение СВЧ-электроники в авиационно-космической отрасли требует обеспечения высокой надежности устройств в агрессивных средах. Особую сложность представляет защита чувствительных микрополосковых и компланарных линий передачи, чьи электромагнитные характеристики критично зависят от свойств наносимых материалов [1]. Традиционные защитные компаунды и паяльные маски часто неприменимы из-за неконтролируемого влияния на данные характеристики, технологических сложностей и длительности процесса. Таким образом, возникает необходимость разработать технологию формирования защитных покрытий и экспериментально подтвердить их минимальное влияние на АЧХ сигнала при обеспечении эффективной защиты.

В качестве решения предложено формирование ультратонких фторуглеродных покрытий методом осаждения из газовой фазы с использованием неравновесной низкотемпературной плазмы атмосферного давления [2]. Данный подход перспективен благодаря возможности точного контроля толщины слоя, однородности покрытия и снижению энергозатрат по сравнению с вакуумными методами.

В работе исследовано влияние фторуглеродных покрытий, полученных с помощью экспериментальной установки на базе НЧ-плазмотрона атмосферного давления, на ключевые характеристики СВЧ-трактов. Формирование покрытий осуществлялось за счет подачи в сопло экспериментальной установки смеси плазмообразующего аргона (Ar), транспортного тетрафторметана ( $\text{CF}_4$ ) и пленкообразующего газа (пары циклогексана  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ). Образцы печатных плат, на которых были реализованы компланарные линии 50 Ом, обрабатывались по управляемой траектории при помощи блока ЧПУ для обеспечения равномерности [2].

В результате были оценены физические и химические свойства полученных покрытий. Измерения на анализаторе цепей (в диапазоне частот 10 кГц – 18 ГГц) показали отсутствие значимого влияния фторуглеродных покрытий на амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) сигнала, что объясняется их малой толщиной [3]. Установлена возможность управления поверхностным сопротивлением покрытия технологическими параметрами (например, расстоянием плазмотрон-подложка). Проведенные испытания в климатической камере с повышенной влажностью подтвердили, что фторуглеродные покрытия эффективно защищают металлизированные поверхности плат от коррозии. Это достигается за счет формирования барьерного слоя и придания поверхности гидрофобных свойств.

Таким образом, метод атмосферно-плазменного осаждения позволяет создавать функциональные фторуглеродные покрытия с контролируемым поверхностным сопротивлением, которые обеспечивают надежную защиту СВЧ-трактов от коррозии в условиях влажности, что экспериментально подтверждено, и при этом не ухудшают их высокочастотные характеристики. Технология перспективна для применения в защите ответственных узлов авиационной и космической электроники.

1. ГОСТ ИЕС 61188-1-2-2013. Печатные платы и печатные узлы. Проектирование и применение. Часть 1-2. Общие требования. Контролируемое волновое сопротивление - Введ. 2015-03-01. – М. С.17-18;
2. А.В.Шведов, В.М.Елинсон, П.А.Щур. Физико-химические свойства углеродных и фторуглеродных покрытий, полученные осаждением из газовой фазы при атмосферном давлении в динамическом режиме нанесения. // XXVII Научно-техническая конференция с участием зарубежных специалистов «Вакуумная наука и техника», 2020. — С.226-231;
3. Э.Р. Садеков, А.В.Шведов. Исследование электрохимических свойств фторуглеродных покрытий, полученных при помощи НЧ-плазмотрона атмосферного давления. // XLIX Международная молодежная научная конференция «Гагаринские чтения», 2023. — С.402-403.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ Re-Mo

*Салахова Э.А., Тагиев Д.Б., Калантарова П.Э., Ибрагимова К.Ф., Гусейнова Р.Э., Джаббарова И.И., Пашаева А.М.*

Институт катализа и неорганической химии имени М.Нагиева Министерства науки и образования Азербайджанской республики, Баку, Азербайджан

e-mail: [elza\\_salahova@mail.ru](mailto:elza_salahova@mail.ru)

В современной технике полупроводниковые материалы занимают особое место. Актуальным вопросом является создание и исследование новых материалов, в том числе полупроводниковых, обладающих ценными свойствами и возможным широким практическим применением [1-4].

Физико-химические свойства электролитических сплавов рения, такие как микротвердость, внутреннее напряжение, являются очень важной характеристикой качества покрытия, так как они определяют способность его противостоять внешним воздействиям и возможность их применения в той или иной области техники. Изучение микротвердости и внутреннего напряжения сплавов показали, что физико-механические свойства электролитических, осажденных сплавов в значительной степени отличаются от свойств сплавов, полученных другими способами

В данной работе с целью установления взаимодействия между рением и молибденом были измерены микротвердость и внутреннее напряжение сплавов в зависимости от состава. Рентгено-дифракционный анализ полученных пленок проводился на установке ДРОН-5 при  $\text{Cu K}\alpha$ -излучении. Измерение микротвердости сплавов молибдена рения проводили на приборе ПМТ-3 путем вдавливания алмазной квадратной пирамиды под нагрузкой 0,005–0,5 кГс. Для оценки величины внутренних напряжений сплавов был использован метод деформации гибкого катода.

Установлено, что все полученные покрытия имеют полупроводниковые свойства. Рассчитаны некоторые характерные полупроводниковые константы, как энергия активации, коэффициент чувствительности, температурный коэффициент электросопротивления. Результаты исследований показали, что кривая изменения микротвердости и внутреннего напряжения сплавов молибдена рения проходит через максимум и минимум на кривых соответствует сплаву, который по рентгеноструктурному анализу отвечает соединению  $\text{Re}_2\text{Mo}_3$ . Можно предположить, что высокое значение микротвердости и внутренней напряжение в сплавах такого состава связано с наличием химического соединения на этом участке и установлено, что электролитические сплавы молибдена рения имеют внутреннее напряжение растяжения. Изучена коррозионная стойкость тонких пленок ReMo, полученных на никелевом электроде в растворе серной кислоты из электролита следующего состава (моль/л):  $1,5 \cdot 10^{-3} \text{ Na}_2\text{MoO}_4 + 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,0 \text{ H}_2\text{SO}_4$ ;  $i_k = 15 \text{ mA/cm}^2$ ;  $T = 75^\circ\text{C}$ . Коррозионную устойчивость электрохимически осажденных покрытий оценивали по результатам испытаний в среде 2 М раствора  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . Показателем коррозионной стабильности служила потеря массы образца (мг) за фиксированный промежуток времени. Поверхность никелевого катода составляет  $2 \cdot 10^{-2} \text{ дм}^2$ .

Коррозионная стойкость тонкой пленки ReMo, полученной электрохимическим методом из сульфатного электролита, свидетельствует о том, что осажденные покрытия устойчивы к коррозионному воздействию. Таким образом можно сделать вывод, что полученное покрытие может быть успешно применен и в военной технике, не подвергаясь атмосферной коррозии.

### Список литературы

1. Speranskaya E.F. In coll. Electrochemistry of Rhenium. Publishing House "Gylym", 1990, Alma-Ata, 253p. (in Russian)
2. Pallant A.A. Monograph Metallurgy of rhenium. Nauka, 2007, 29P. (in Russian)
3. Naor Adi, Noam Eliaz, et al. Direct Experimental Support for the Catalytic Effect of Iron-Group Metals on Electrodeposition of Rhenium. *Elec.Sol.-State Let.* 2010, 13№12, c.D91-D93 <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/1.3489532/meta>
4. Naor A., Eliaz N. Ammtiac quarterly. Properties and applications of rhenium and its alloys, 2010, 5(1)p.11-15 <http://dx.doi.org/10.4236/jmmce.2013.1503>

## ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВ СПЛАВА Re-S-Cu ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ И РАССЕЙВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА

***Салахова Э.А., Тагиев Д.Б., Магеррамова А.Д. Гейбатова А.Ф.,  
Ханкишиева Н.Н., Гулузаде Л.М.***

Институт Катализа и Неорганической химии им. М.Нагиева, Министерство Науки и  
Образования Азербайджанской Республики, Г.Джавид 113, AZ1143,

Баку, Азербайджан

e-mail: [elza\\_salahova@mail.ru](mailto:elza_salahova@mail.ru)

Сочетание уникальных физико-химических свойств рения делает этот металл перспективным для использования в высокотехнологичных отраслях промышленности, таких как авиация, производство ракетных двигателей, ядерная энергетика, электроника, биомедицина и гетерогенный катализ [1-4]. Свойства гальванических покрытий определяются равномерностью распределения металла по поверхности покрываемых изделий и рассеивающей способностью электролитов по току и металлу. Характер влияния различных факторов на рассеивающую способность электролитов по току (РСт) зависит от величины критерия электрохимического подобия и определяется поляризуемостью, т.е. наклоном поляризационной кривой ( $dE/di$ ) и удельной электропроводностью.

Цель данной работы заключается в электрохимическом синтезе новых наноматериалов на основе сплавов Re-S-Cu на различных подложках и изучение влияния различных факторов: содержание компонентов в электролите, плотности тока, температуры, кислотности растворов и др. на состав и качество покрытий.

На основании исследования вольтамперных зависимостей при совместном электровосстановлении ионов рения, меди и серы из тиомочевинного электролитов на Pt электроде были установлены условия осаждения нанопокровов сплавов в системе Re-S-Cu. Было изучено влияние различных факторов: содержание компонентов в электролите, плотности тока, температуры, кислотности растворов и др. на состав и качество покрытий. Установлено, что, с повышением содержания рения в электролите и плотности тока, содержание рения в сплаве увеличивается. Большое влияние на состав и качество сплавов Re-S-Cu оказывает температура. Установлено, что с повышением температуры содержание рения в сплаве увеличивается. С повышением температуры увеличивается величина предельного тока, что вероятно связано с диффузионными изменениями в прикатодном слое. Качественные осадки в виде тонких пленок получаются при температуре 75–80<sup>0</sup>С, а при температуре 25–45<sup>0</sup>С на катоде получается рыхлые осадки сплава Re-S-Cu. Изменения температуры в электролите от 20 до 90<sup>0</sup>С, повышает содержание рения в сплаве от 30 до 60%. Покрытия хорошего качества, мелкокристаллические, получаются при температуре 75<sup>0</sup>С. А повышение температуры до 90<sup>0</sup>С приводит к разрыхлению осадков. Анализируя полученные экспериментальные данные, можно сделать вывод, что наиболее целесообразно проводить электролиз получение рения при температуре 75<sup>0</sup>С. Проведение процесса при более высоких температурах и плотностях тока, хотя и приводит к некоторому повышению выхода металла по току, однако затрудняет ведение процесса.

С целью выявления наиболее благоприятных условий для получения равномерных покрытий молибдена рения, нами предпринята попытка оценить хотя бы в первом приближении плотности тока и температуры на РС электролитов. Для этой целью опыты проводились в прямоугольной ячейке Херинга и Блюма [14], изготовленной из плексигласа и

термостатированной с точностью  $\pm 0,2^{\circ}$ . Катодом служили пластинки из никеля  $4,0-4,5 \text{ см}^2$ , анодом – пластинка из платины. Расхождение величин РС в параллельных опытах не превышало 2–3%. Расстояние между анодом и катодом было 4:1, т.е. анод удален от одного катода в 4 раза дальше, чем от другого. Объем электролита составлял 50 мл. Рассеивающая способность ванны во всех случаях оказалась положительной. В интервале плотностей тока  $5-10 \text{ мА/см}^2$  в исследуемом электролите выход по току сплава составлял около 100%. Поэтому с увеличением плотности тока РС электролита увеличивается, а с дальнейшим повышением плотности тока выход по току, в связи с выделением на поверхности электрода водорода, постепенно уменьшается, в результате чего также уменьшается РС. Кроме того, с увеличением температуры электролита РС несколько увеличивается. Это, по-видимому, связано с тем, что с повышением температуры электропроводность электролита растет, что улучшает распределение катодного тока. А это в свою очередь обеспечивает равномерное распределение осадка на поверхности катода. На основании экспериментальных данных, для получения полупроводниковых сплавов Re-S-Cu, содержащих 35-60% Re рекомендуется следующий состав электролита (моль/л): Состав электролита (моль/л):  $3,5 \cdot 10^{-3} \text{ KReO}_4 + 2,6 \cdot 10^{-2} (\text{NH}_2)_2\text{CS} + 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ CuCl}_2 + 2 \text{ H}_2\text{SO}_4$ .  $i_k = 10-20 \text{ мА/см}^2$ .  $t = 60-65^{\circ}\text{C}$ . Elektrod – Pt, Ni, Cu.

### Список литературы

1. A.Enyashin, I. Popov. Stability and electronic properties of rhenium sulfide nanotubes. Phys. State Solidi B, 246, № 1, 114-118 (2009)
2. A. Naor, N. Eliaz, et al. Electrodeposition of Alloys of Rhenium with Iron-Group Metals from Aqueous Solutions. J. electrochem. Soc. 2010, 157(7), D422-D427.
3. E.A.Salakhova. Electrochemical Production of Thin Films of System Rhenium–Selenium Alloys. Thev Journal "Inorganic Materials", (2003) 39, 142-146.
4. E.A.Salakhova. Receiving thin films Re-Te from chloride-sulfate electrolyte and the influence of the various factors on composition of alloys. //Chemical industry today, 2008, №.6, 43-47

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ NT-proBNP В СЫВОРОТКЕ КРОВИ ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ИММУНОФЕРМЕНТНОГО АНАЛИЗА НА МАГНИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦАХ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ СИГНАЛА

Сорокина О.Н.<sup>1</sup>, Константинова Т.С.<sup>1</sup>, Воробьёва А.К.<sup>1</sup>, Ерёменко А.В.<sup>1</sup>, Курочкин И.Н.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
alsiona@gmail.com

Разработан метод иммуноферментного анализа на магнитных микрочастицах с электрохимическим детектированием сигнала для определения кардиомаркеров в сыворотке крови человека. Магнитные микрочастицы и ферментная метка (щелочная фосфатаза) были функционализированы антителами, специфичными к целевому кардиомаркеру (NT-proBNP). Сборка иммунологического комплекса проводилась в одну стадию в сыворотке крови человека. В качестве ферментативного субстрата использовали щелочной раствор (pH 9,6-9,8) моносодистой соли 1-нафтилфосфата. Получаемый продукт ферментативной реакции (1-нафтол) регистрировали методом дифференциально-импульсной вольтамперометрии на одноразовых электродах, изготавливаемых методом трафаретной печати, с золотым рабочим электродом (vs. Ag/AgCl) (рис. 1).

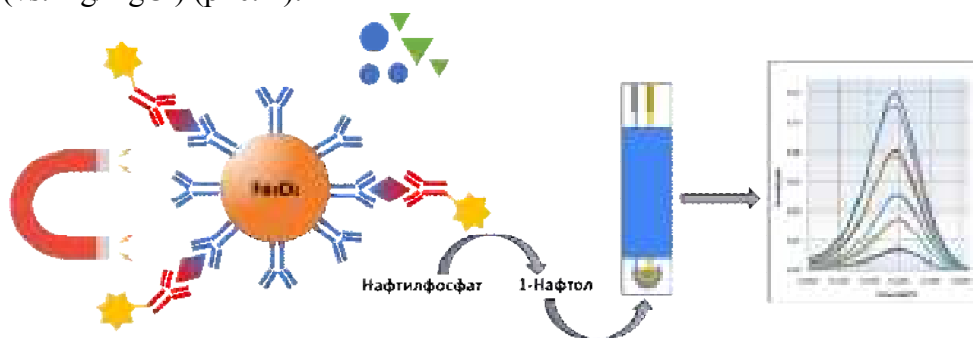


Рис. 1 Схема иммуноферментного анализа на магнитных частицах с электрохимическим детектированием сигнала

Апробация метода была выполнена на 34 образцах сыворотки крови здоровых доноров и пациентов с сердечно-сосудистыми патологиями, охарактеризованных референсными методами на анализаторах Mindray BS-800 и Getein-1100 по количественному содержанию кардиомаркера NT-proBNP. Для оценки клинической применимости разрабатываемого метода было проведено корреляционное сравнение полученных интенсивностей электрохимических сигналов с концентрационными показателями целевого маркера. Статистический анализ показал сильную линейную зависимость между электрохимическим сигналом и уровнем целевого белка: коэффициенты корреляции достигли 0,96 для Mindray BS-800 и 0.93 для Getein-1100.

Метод продемонстрировал высокую чувствительность с пределом обнаружения около 35 пг/мл и быстроту анализа (до 20 минут), что свидетельствует о его перспективности для клинического применения.

*Работы выполнены по госзаданию 122041400080-0.*

## **БЕСХРОМАТНАЯ ПАССИВАЦИЯ ОЛОВЯННОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ГЕКСАФТОРЦИРКОНИЕВОЙ КИСЛОТЫ**

**Сухорукова В.А., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Арбузова Д.М., Колесникова А.В.**

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
125047 г. Москва, Россия, Миусская пл., д.9;  
e-mail: ilarmu@mail.ru*

В последнее время в мировой практике производства электролитически луженой жести проявляется тенденция снижения толщины оловянного покрытия с целью увеличения производительности агрегатов лужения и экономии дорогостоящего олова. Однако, чем меньше толщина оловянного покрытия, тем выше его пористость и ниже его защитная способность. Пористость частично снижается при операции оплавления оловянного покрытия, но при этом на поверхности электролитически луженой жести образуются оксидные пленки, вызывающие отслаивание наносимых в дальнейшем лаков и эмалей.

После стадии оплавления на некоторых предприятиях осуществляется процесс электрохимической катодной хроматной пассивации, в ходе которого оксидные пленки растворяются, а образующиеся хромсодержащие пленки повышают защитную способность покрытия.

Однако соединения CrVI являются высокотоксичными и канцерогенными, использование которых в рабочих растворах может привести к загрязнению окружающей среды, а также представлять потенциальную опасность для пищевой продукции, поэтому актуально разработать технологию осаждения бесхромовых покрытий с хорошими эксплуатационными характеристиками.

Настоящая работа посвящена разработке процесса осаждения защитных конверсионных цирконийсодержащих покрытий.

Установлена принципиальная возможность получения качественных тонких пассивных покрытий из электролита на основе гексафторциркониевой кислоты. Проведено исследование параметров процесса для осаждения данных покрытий, изучены физико-химические и механические свойства покрытий, которые могли бы стать альтернативой токсичному процессу хроматирования.

Установлено, что при электрохимическом осаждении цирконийсодержащих покрытий ( $i_{\text{раб}} 0.5 \text{ А/дм}^2$ ) продолжительность процесса составляет 2-10 с, толщина формирующихся покрытий увеличивается до 330-340 нм.

Образование оксида циркония при электролизе сопровождается защелачиванием. Поэтому для избежания сильного защелачивания в процессе электроосаждения цирконийсодержащего покрытия в рабочий раствор вводилась янтарная кислота в количестве 5-10 г/л.

Установленные параметры электролиза при внедрении новой технологии на действующих агрегатах покрытий хорошо вписываются в технологический цикл и не требуют существенных капитальных затрат.

Защитные характеристики пассивированной жести электролитического лужения и адгезия достаточно высоки и соответствуют требованиям потребителя к этому материалу.

Показано, что в растворе 3%-ного NaCl на поверхности лакированной непассивированной жести под пленкой лака после 240 ч выдержки появились темные пятна коррозии. На образцах с хромсодержащим покрытием такие очаги возникают спустя 400 ч, а с сформированным электрохимически цирконийсодержащим через 860 ч.

## ПАССИВАЦИЯ СЕРЕБРА В РАСТВОРАХ, СОДЕРЖАЩИХ ГЕКСАФТОРЦИРКОНИЕВУЮ КИСЛОТУ

Сухорукова В.А., Лактюшина Д.П., Абрашов А.А., Григорян Н.С.,  
Руссу В.В., Колесникова А.В.

*Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева,  
125047 г. Москва, Россия, Миусская пл., д.9;  
e-mail: ilarmu@mail.ru*

Электрохимическая или химическая пассивация серебра и его сплавов в растворах на основе шестивалентного хрома, согласно литературным данным, является одним из наиболее эффективных способов защиты от сероводородной коррозии и используется для сохранения декоративного внешнего вида ювелирных изделий, а также предотвращения возрастания переходного сопротивления серебряных контактов.

Для защиты серебряных изделий разработаны различные способы обработки поверхности. Традиционно применяемыми для пассивации являются растворы на основе соединений хрома (VI), основным недостатком которых является высокая токсичность и канцерогенность [1,2].

Настоящая работа посвящена разработке технологии нанесения бесхроматных цирконийсодержащих защитных пленок на поверхность сплавов  $\text{CrM } 92,5$ ;  $\text{CrM } 87,5$  и  $\text{CrM } 99,9$ .

Разработан состав цирконийсодержащего раствора, включающий гексафторциркониевую кислоту, нитрат никеля и парамолибдат аммония, с подбором оптимальных концентраций компонентов и условий пассивации. Впервые установлено, что цирконийсодержащие покрытия могут наноситься как химическим, так и электрохимическим способами. Выявлены закономерности влияния параметров осаждения на толщину и защитные свойства покрытий.

Наилучшие результаты достигаются при плотности тока  $0,05-0,15 \text{ А/дм}^2$  и длительности обработки 30-60 с, при этом защитная способность составляет от 100 до 201 с.

Анализ результатов показал, что формирование цирконийсодержащего покрытия не приводит к потемнению поверхности. Отклонения по цветовым параметрам ( $\Delta E$ ) составили менее 2% относительно исходной поверхности. Более того, было зафиксировано увеличение отражательной способности поверхности с 85% до 92%.

Таким образом, в покрытии присутствуют оксид циркония  $\text{ZrO}_2$ , оксифторид циркония  $\text{ZrOF}_2$ , оксиды молибдена  $\text{MoO}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ .

Разработана новая комплексная методика определения стойкости конверсионных покрытий на серебряных изделиях к потускнению. Впервые предложена и адаптирована методика экспресс-оценки устойчивости серебра к потускнению с использованием раствора  $\text{Na}_2\text{S}$ , позволяющая быстро и наглядно оценить защитные свойства покрытий по скорости образования продуктов сульфидной коррозии.

Установлено, что независимо от количества меди в сплаве наибольшей защитной способностью обладают хроматные и цирконийсодержащие покрытия, осажденные электрохимически.

Установлено, что разработанные Zr-содержащие покрытия, сформированные электрохимическим методом, не ухудшают паяемости серебряных сплавов

Проведенные испытания на износостойкость показали, что разработанные покрытия гораздо более стойкие к жестким воздействиям внешней среды, чем хроматные пленки.

1. Семенов В.Е., Балмасов А.В. // ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. 2011, Т. 54. № 11. С.77-80.
2. Семенов В.Е., Балмасов А.В. // ХИМИЯ И ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ. 2011, Т. 54. № 3. С.68-71.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО ПОЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ МДО-ПОКРЫТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЛОЯ

*Тамбовская М.И.<sup>1</sup>, Вдовиченко Р.А.<sup>1</sup>, Ивкова Л.Г.<sup>2</sup>, Боровская А.А.<sup>2</sup>, Карпова А.Ю.<sup>2</sup>,  
Смирнова Н.С.<sup>2</sup>, Кусманова И.А.<sup>1</sup>, Тамбовский И.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия

<sup>2</sup>Костромской государственный университет, Кострома, Россия

[ramstobiliti@gmail.com](mailto:ramstobiliti@gmail.com)

Показана возможность проведения плазменно-электролитного полирования поверхности покрытия на подложке из технического титана, сформированного в результате микродугового оксидирования, с целью удаления технологического слоя, снижающего эксплуатационные характеристики и свойства.

Микродуговое оксидирование в водном растворе электролита, содержащем 9 г/л жидкого стекла ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ) и 2 г/л гидроксида калия (KOH), при общей плотности анодного и катодного токов  $20 \text{ А/дм}^2$  в течение 30 минут приводит к образованию на поверхности технического титана аморфного оксида кремния в виде мелкодисперсных частиц белого цвета (технологический слой), обладающих невысокой адгезией к поверхности. При этом, в составе поверхностных слоев покрытия, представленного оксидами титана, содержится  $\alpha\text{-SiO}_2$  в виде кварца и кристобалита. Твердые частицы оксида кремния в составе верхних слоев покрытия и на поверхности выступают в роли абразива при трении и значительно увеличивают шероховатость профиля, поэтому с технологической точки зрения требуется удаление технологического слоя, что традиционно выполняется с помощью механического шлифования и затруднено в случае формирования МДО-покрытий на поверхности изделий сложной геометрической формы. Альтернативным методом удаления технологического слоя с внешней части покрытия является плазменно-электролитное полирование в растворе фторида аммония при скорости циркуляции электролита в электролитической ячейке 1 л/мин.

Обнаружено, что полирование в 2.5%-ном растворе фторида аммония температурой  $80^\circ\text{C}$  обеспечивает высокую скорость съема материала и равномерно удаляет неровности поверхностного слоя. После полирования МДО-покрытия на титановой подложке при напряжении 300 В убыль массы составляет  $4.8 \text{ мг/см}^2$  за 5 секунд полировки, после 20 секунд масса снижается на  $6.6 \text{ мг/см}^2$ , 40 секунд полирования приводят к съему материала в  $8.3 \text{ мг/см}^2$ . При этом средняя шероховатость снижается в 1.2 раза за 5 секунд полирования, в 7 раз за 20 секунд и в 9 раз за 40 секунд. Высота неровностей профиля по десяти точкам также снижается: в 2.7 раза за 5 секунд полирования, в 3.6 раза за 20 секунд и в 5.3 раза за 40 секунд. При более продолжительном полировании наблюдается локальное травление рабочего слоя покрытия.

Полирование в 1%-ном растворе фторида аммония температурой  $70^\circ\text{C}$  при напряжении 300 В приводит к более мягкому, но по-прежнему равномерному, съему материала. Обработка приводит к убыли массы на  $0.3 \text{ мг/см}^2$ , а за 30 секунд полировки на  $1.5 \text{ мг/см}^2$ . Средняя шероховатость снижается в 1.5 раза за 15 секунд полирования, в 1.7 раза за 30 секунд. Высота неровностей профиля по десяти точкам также снижается: в 1.9 раз за 15 секунд полирования, в 2.8 раза за 30 секунд. Понижение температуры раствора электролита, как и повышение, ухудшает качество полируемой поверхности.

Таким образом технология плазменно-электролитного полирования может применяться для равномерного удаления внешнего технологического слоя с поверхности МДО-покрытия, и является перспективным научным направлением для дальнейшего изучения.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10166*

## ГИБРИДНОЕ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА МАРКИ ВТ1-0

***Тамбовский И.В.<sup>1,2</sup>, Комаров А.О.<sup>1</sup>, Голубева Т.М.<sup>1</sup>, Кашина А.В.<sup>2</sup>, Карпова А.Ю.<sup>2</sup>,  
Смирнова Н.С.<sup>2</sup>, Анисимова М.А.<sup>2</sup>, Маркина Л.М.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», Москва, Россия

<sup>2</sup>Костромской государственный университет, Кострома, Россия

[ramstobiliti@gmail.com](mailto:ramstobiliti@gmail.com)

Показана возможность проведения гибридной плазменно-электролитной обработки поверхности технического титана марки ВТ1-0, включающей цементацию, полирование и микродуговое оксидирование, позволяющей изменить химический состав поверхностного слоя материала и сформировать на модифицированной подложке оксидное покрытие, обладающего уникальными характеристиками и свойствами благодаря синергетическому эффекту в комбинации процессов.

Установлено, что наиболее эффективно проводить плазменно-электролитную цементацию (ПЭЦ) при 900 °С в течение 5 минут в электролите, содержащем 15 % (мас.) хлорида аммония и 10 % (мас.) глицерина, с последующей закалкой в конце обработки от температуры насыщения, когда микротвердость в поверхностном слое материала повышается до 900 HV (в 3.5 раза выше, чем у необработанного технического титана).

Оптимальные параметры процесса плазменно-электролитного полирования (ПЭП) после предварительной ПЭЦ соответствуют проведению обработки в электролите, содержащем 4 % (мас.) фторида аммония, температурой 90 °С в течение 1 минуты при напряжении 250 В. В этих условиях наблюдается наименьшая скорость анодного растворения высокотемпературного оксидного слоя, образованного при ПЭЦ и препятствующего проведению последующего микродугового оксидирования (МДО).

Проведение МДО в силикатно-щелочном электролите ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$  – 9 г/л; КОН – 2 г/л) образцов после ПЭЦ+ПЭП возможно в «мягких условиях» при общей плотности тока 10–20 А/дм<sup>2</sup>. Выход на стационарный режим оксидирования наблюдается в среднем через 5 минут.

Проведение МДО в алюминатно-щелочном электролите ( $\text{NaAlO}_2$  – 22 г/л; КОН – 2 г/л) образцов после ПЭЦ+ПЭП возможно только при высокой общей плотности тока в начале процесса – около 50 А/дм<sup>2</sup>, которая должна быть снижена до 20 А/дм<sup>2</sup> после выхода на стационарный режим оксидирования, в среднем через 4 минуты.

Сформированные в условиях комбинирования ПЭЦ+ПЭП с МДО в силикатно-щелочном электролите композиции содержат в своем составе фазы:  $\text{Ti}_2\text{N}$ ,  $\text{TiC}$ ,  $\text{Ti}_8\text{C}_5$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Ti}_3\text{O}$ ,  $\text{TiO}_{0.325}$ ,  $\text{SiO}_2$ . Адгезионные связи в оксидных покрытиях обладают устойчивостью к разрушению при нагрузке до 11 Н, что подтверждается отсутствием критических разрушений при скретч-тесте. При этом поверхностный слой технического титана обладает микротвердостью 900 HV.

Сформированные в условиях комбинирования ПЭЦ+ПЭП с МДО в алюминатно-щелочном электролите композиции содержат в своем составе фазы:  $\text{Ti}_2\text{N}$ ;  $\text{TiN}$ ;  $\text{TiC}$ ;  $\text{C}_4$  (графит);  $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ;  $\text{TiO}$ ;  $\text{TiO}_2$ ;  $\text{Ti}_3\text{O}_5$ ;  $\text{Fe}_{25}\text{O}_{32}$ ;  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ . Максимальная микротвердость рабочего слоя покрытия 1600 HV зафиксирована после МДО в течение 30 минут. После комбинированной обработки оксидное покрытие обладает высокой адгезией и разрушается при нагрузке выше 25 Н. При этом поверхностный слой технического титана обладает микротвердостью 900 HV.

***Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-79-10166***

# **ПРЕИМУЩЕСТВА НЕРАСТВОРИМОГО АНОДНОГО МАТЕРИАЛА $PbO_2/Ti$ ПО СРАВНЕНИЮ С ДРУГИМИ НЕРАСТВОРИМЫМИ АНОДАМИ ПРИ РАБОТЕ В ВАННЕ УЛАВЛИВАНИЯ ПОСЛЕ ВАННЫ ЦИАНИСТОГО ЦИНКОВАНИЯ**

**Тураев Д.Ю.**

РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь 9, тел:  
8-905-519-74-77, membr\_electr@mail.ru.

Цинкование является одним из распространенных процессов в гальваническом производстве. На сложных деталях цианистые электролиты позволяют получить цинковые покрытия, отвечающие требованиям оборонной промышленности. Однако, цианистый электролит цинкования содержит большую концентрацию цианистого натрия, который очень токсичен. При промывке деталей после цинкования промывная вода загрязняется цианид-ионами и превращается в опасный отход производства, который требует обособленного обезвреживания химическими реагентами разрушающими цианид-ионы с соблюдением регламента техпроцесса, мер предосторожности и техники безопасности. После проведения обезвреживания промывная вода не может быть повторно использована для промывки оцинкованных деталей, т.к. содержит вещества разрушающие цинковое покрытие или ускоряющие его разрушение, что приводит к существенному увеличению объемов сточных вод, направляемых на окончательные общие очистные сооружения.

Для снижения нагрузки на очистные сооружения можно провести процесс электрохимического полного окисления цианид-ионов на нерастворимом аноде, который должен обладать высокой электрохимической стойкостью при эксплуатации в растворах, содержащих в большом диапазоне концентраций цианид-ионы при использовании широкого диапазона анодных плотностей токов.

Известны следующие материалы, которые используются в качестве нерастворимых анодов в различных электрохимических процессах, например, графит, платина, ОРТА, свинец и т.д. Однако, первые признаки начала разрушения дешевого нерастворимого анода из графита наблюдаются через пару дней его эксплуатации, для очень дорогих нерастворимых анодов из платины или дорогих платинированных анодов - через две недели. Относительно дорогие нерастворимые аноды из оксидов металлов платиновой группы - аноды типа ОРТА - имеют ограничение по значению величины анодного потенциала, что приводит к невозможности использовать высокую анодную плотность тока для разрушения цианид-ионов с необходимой для промышленных условий скоростью из-за необратимого выхода анода из строя. Очень дешевые нерастворимые аноды из железа, а также из свинца со слоем из диоксида свинца имеют ограниченный срок службы в сильно разбавленных цианид-содержащих промышленных растворах гальванического производства, поскольку имеют на электропроводной, более активной подложке, рабочее покрытие из оксидной пленки малой толщины, которое постепенно разрушается при перерывах в анодной поляризации или при небольшой катодной поляризации обратным током малой величины и не может быть полностью восстановлено при анодной поляризации непосредственно в растворе производственной ванны улавливания.

Надежным электрохимически стойким нерастворимым анодным материалом с проверенным в производственных условиях длительным многолетним сроком эксплуатации является анод  $PbO_2/Ti$ , изготовленный согласно [1], безотказно работающий в широком диапазоне анодных плотностей тока в ванне улавливания, после ванны цианистого цинкования, содержащей концентрацию цианид-ионов в широких пределах.

## **Литература**

1. Тураев Д.Ю. Способ изготовления электрода из диоксида свинца. Патент RU 2318080. Заявл. 12.05.06. Оpubл. 27.02.08. Бюл. №6.

# ДЛИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИ БОЛЬШОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКЕ НЕРАСТВОРИМОГО АНОДНОГО МАТЕРИАЛА $PbO_2/Ti$ В ВАННЕ УЛАВЛИВАНИЯ ПОСЛЕ ВАННЫ ЦИАНИСТОГО ЦИНКОВАНИЯ

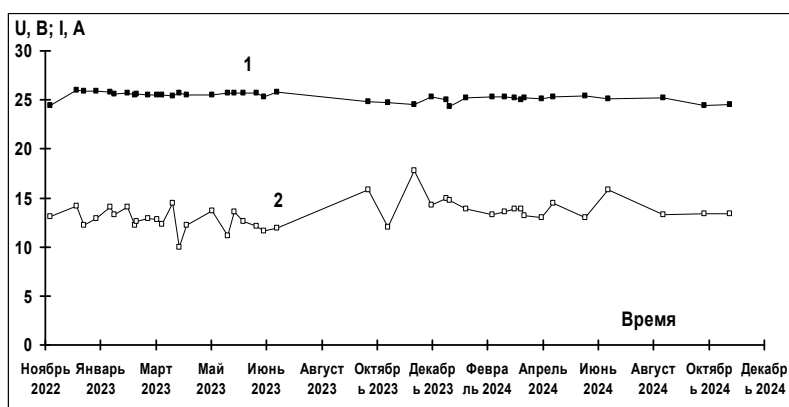
Тураев Д.Ю.

РХТУ им. Д.И. Менделеева, 125047, Москва, Миусская площадь 9, тел:  
8-905-519-74-77, membr\_electr@mail.ru.

Цинковые покрытия, полученные из цианистого электролита цинкования, отвечают требованиям оборонной промышленности. Но цианистый электролит содержит в большой концентрации цианистый натрий, цианид-ионы которого являются особо токсичным веществом. Промывка деталей после цинкования сопровождается поступлением в промывную воду цианид-ионов, что требует их обособленного срочного и безотлагательного обезвреживания на отдельных очистных сооружениях. Для снижения нагрузки на очистные сооружения после ванны цианистого цинкования устанавливают ванну улавливания. Но без полного разрушения в ванне улавливания цианид-ионов эффективность работы ванны улавливания быстро уменьшается, при этом последовательная установка после первой ванны улавливания еще одной - второй ванны улавливания слабо помогает.

Удалить цианид-ионы из ванн улавливания можно путем их полного электрохимического окисления на нерастворимом аноде, обладающем высокой химической и электрохимической стойкостью в широком диапазоне анодных плотностей тока и концентраций цианид-ионов. Требуемые объемы промышленного производства цинкования из цианистого электролита цинкования, высокая концентрация цианид-ионов в производственном электролите цианистого цинкования, стехиометрия и особенности электрохимической реакции полного окисления цианид-ионов на нерастворимом аноде приводят к необходимости использования большой токовой нагрузки на ванну улавливания. Для уменьшения габаритных размеров нерастворимого анодного материала необходимо, чтобы он работал при больших плотностях тока.

Из известных нерастворимых анодных материалов только нерастворимый анод  $PbO_2-Ti$  специальной конструкции [1] полностью отвечает предъявленным выше требованиям. Длительная промышленная эксплуатация данного нерастворимого анода с рабочей площадью  $1,5 \text{ дм}^2$  в ванне улавливания №1 с номинальным объемом 200л после ванны цианистого



цинкования приведена на рис. 1.

Рис. 1. Длительная эксплуатация нерастворимого анода  $PbO_2/Ti$  в ванне улавливания №1 после ванны цианистого цинкования. 1 - сила тока, I, А, 2 - напряжение, U, В.

Согласно рис. 1, на протяжении двух лет сила тока, пропускаемая через нерастворимый анод, равнялась 25 А. Колебания напряжения на ванне улавливания №1 вы-

званы изменением электропроводности раствора в ванне улавливания. Отсутствие значительного уменьшения силы тока при одновременном отсутствии значительного роста напряжения подтверждают длительную безотказную работу нерастворимого анода  $PbO_2/Ti$  в ванне улавливания после ванны цианистого цинкования.

## Литература

1. Тураев Д.Ю. Способ изготовления электрода из армированного диоксида свинца. Патент RU 2691967. Заявл. 18.02.19. Оpubл. 19.06.19. Бюл. № 17.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

| ПЛЕНАРНАЯ СЕССИЯ                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| РОССИЙСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ SMARTSTAT<br>Астафьев Е.А.                                                                                                                                                                           | 5  |
| МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ<br>Волков С.С., Парфенюк В.И., Китаева Т.И., Степанов С.В.,<br>Нечаев А.В., Меркушов Ю.Н.                                                                                                  | 7  |
| ПРОБЛЕМА СОЗДАНИЯ БЕСПРАТИНОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ – ДЕКЛАРАЦИИ И РЕАЛЬНОСТЬ.<br>Кривенко А.Г.                                                                                                                                                   | 8  |
| УСТНАЯ СЕССИЯ                                                                                                                                                                                                                                                   |    |
| РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ АММИАКА В КРОВИ ЧЕЛОВЕКА<br>Андреева П. П., Кокорекин В.А., Фишгойт Л.А.                                                                                                                                        | 9  |
| ВАРИАЦИИ ДИЗАЙНА $\text{BaCo}_{0.4}\text{Fe}_{0.4}\text{Zr}_{0.1}\text{Y}_{0.1}\text{O}_{3-\delta}$ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ ТВЕРДООКСИДНЫХ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ НА ПРОТОНПРОВОДЯЩИХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ<br>Антонова Е.П., Селиверстова О.Е., Федорова К.А., Гордеев Е.В. | 10 |
| ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ МЕДЬ-ОЛОВО<br>Артюхова А.И., Шеханов Р.Ф.                                                                                                                                                                                              | 11 |
| ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЕ СПЛАВОВ ОЛОВО-НИКЕЛЬ ИЗ ОКСАЛАТНО-АММОНИЙНЫХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ<br>Артюхова А.И., Шеханов Р.Ф.                                                                                                                                                       | 12 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА CAGE-КОМПЛЕКСА Fe() НА ОСНОВЕ 1,3,5-ТРИГИДРОКСИ-1,3,5-ТРИАЗИНАНА И 1,4,7-ТРИАЗАЦИКЛОНОНАНА В ВОДНЫХ РАСТВОРАХ.<br>Бабий А.О., Голованов И.С., Кузнецов В.В., Сухоруков А.Ю.,<br>Коротенко В.Н., Филатова Е. А.                       | 13 |
| ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО (КАТАЛИТИЧЕСКОГО) ПОВЕДЕНИЯ РЯДА МЕДЬ-СОДЕРЖАЩИХ ПРОИЗВОДНЫХ ФТАЛОЦИАНИНА<br>Базанов М.И., Березина Н.М., Турчанинова И.В.                                                                                                       | 14 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ДИПИРРОЛЬНЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ПОРФИРИНОВ В ВОДНО-ЩЕЛОЧНОМ РАСТВОРЕ<br>Березина Н.М., Базанов М.И., Березин М.Б.                                                                                                                   | 15 |
| МЕТАЛЛОПОРФИРИНОИДЫ. СИНТЕЗ, ПОЛИТЕРМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА<br>Березина Н.М., Любимова Т.В., Семейкин А.С., Базанов М.И.                                                                                                             | 16 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ БЕНЗОТИАЗОЛЗАМЕЩЁННЫХ ПОРФИРИНОВ<br>Боков А.С., Киселёв А.Н., Ларионов А.В., Кибирева Я.Е., Матвиенко Г.И., Сырбу С.А.                                                                                                                 | 17 |
| КОМПОЗИЦИОННОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОКРЫТИЕ С НАНОЧАСТИЦАМИ КАК БАРЬЕРНЫЙ ПОДСЛОЙ ДЛЯ ОГРАНИЧЕНИЯ ВЗАИМНОЙ ДИФфуЗИИ МЕДНОЙ ОСНОВЫ И ВНЕШНЕГО СЛОЯ                                                                                                                 | 18 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЗОЛОТА.<br>Васильчев Д.Ю., Агафонов Д.В.                                                                                                                                                                                                                                |    |
| ПРЕДЕЛЬНАЯ ЗАРЯДОВАЯ ЕМКОСТЬ СВИНЦОВОГО АККУМУЛЯТОРА В<br>МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ<br>Волков С.С. , Николин С.В., Степанов С.В. , Нечаев А.В., Кочуров А.А.,<br>Меркушов Ю.Н.                                                                                   | 19 |
| ОРГАНИЧЕСКИЙ ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ КОНДЕНСАТОРОВ С ДВОЙНЫМ<br>ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СЛОЕМ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ<br>ХАРАКТЕРИСТИКАМИ<br>Гулятьев С.В., Бояринцев Д.А., Фофанов С.А., Мехряков А.Я., Волкова Л.П.,<br>Шемякина В.В., Кузьмина А.С., Сухих Е.М., Абалтусов А.С. | 20 |
| ГАЗОДИФфуЗИОННЫЙ ЭЛЕКТРОД НА ОСНОВЕ ПОРИСТОГО<br>АЛЮМИНИЯ ДЛЯ ДВУХЭЛЕКТРОННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ<br>КИСЛОРОДА В ПЕРОКСИД ВОДОРОДА<br>Гуськова М.И., Судьин В.В.                                                                                                            | 21 |
| МИКРОНЕОДНОРОДНОЕ СТРОЕНИЕ СТЕКЛА. ПОЛИЩЕЛОЧНОЙ<br>ЭФФЕКТ В СТЕКЛАХ РАЗЛИЧНЫХ КЛАССОВ<br>Добош А.Ю., Соколов И.А., Химич Н.Н.                                                                                                                                           | 22 |
| МЕЖФАЗНАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ<br>ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК НА ОСНОВЕ АМИНОЗАМЕЩЕННЫХ<br>ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВ<br>Долинина Е.С., Парфенюк В.И.                                                                                                             | 23 |
| ВЛИЯНИЕ СОСТАВА $\mu$ -МОСТИКОВЫХ ГЕТЕРОБИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ<br>КОМПЛЕКСОВ С МАКРОГЕТЕРОЦИКЛИЧЕСКИМИ ЛИГАНДАМИ НА<br>РЕДОКС СВОЙСТВА<br>Зайцева С.В., Зданович С.А., Тюляева Е.Ю., Сухарев В.С.                                                                              | 24 |
| ВЛИЯНИЕ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ГРАФЕНА НА ПРОЦЕСС<br>ОСАЖДЕНИЯ СПЛАВА ОЛОВО-ВИСМУТ<br>Казанцева М.С., Рубцов Е.А.                                                                                                                                                            | 25 |
| ОТ ПОТЕНЦИОМЕТРИИ К ИОНОСЕЛЕКТИВНОЙ КУЛОНОМЕТРИИ:<br>ПРОГРЕСС КАЖУЩИЙСЯ ИЛИ РЕАЛЬНЫЙ?<br>Керестень В.М, Михельсон К.Н.                                                                                                                                                  | 26 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕТРА(3-ПИРИДИЛ)ЗАМЕЩЕННОГО<br>ПОРФИРИНА НА ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ОКСИДНО-<br>ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ<br>Кибирева Я.Е., Макарова А.С., Киселев А.Н. , Сырбу С.А. , Мехряков А.Я.                                                    | 27 |
| ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ЛЕГИРОВАННЫХ АЗОТОМ НА<br>УДЕЛЬНУЮ ЕМКОСТЬ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ<br>Киселева Е.А.                                                                                                                                                            | 28 |
| РОЛЬ РЕДОКС-СИСТЕМ В ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ<br>АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ДОПАМИНА<br>Комарова Н.С., Кривенко А.Г., Манжос Р.А.                                                                                                                                   | 29 |
| О МЕХАНИЗМЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ В<br>СВИНЦОВОМ КИСЛОТНОМ АККУМУЛЯТОРЕ<br>Кочуров А.А. , Волков С.С.                                                                                                                                                     | 30 |
| ПОЛУЧЕНИЕ ГРАФЕНА В ПРИСУТСТВИИ ПАВ<br>Краснова А.О., Глебова Н.В., Нечитайлов А.А., Касцова А.Г., Пелагейкина А.О.                                                                                                                                                     | 31 |
| О ПОДХОДЕ МОТТА-ШОТТКИ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК<br>ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПОРФИРИНОВЫХ ПЛЕНОК<br>Кузьмин С.М., Чуловская С.А., Парфенюк В.И.                                                                                                                              | 32 |
| ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ ПОДХОДЫ В ИЗУЧЕНИИ<br>ДИФфуЗИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ СЛОИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ                                                                                                                                                                          | 33 |

|                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Кузнецова А.Ю., Постников М.С., Кобелев М.А., Суслов Е.А.                                                                                                                                                                                               |    |
| ЭЛЕКТРОХИМИЯ РОДИЯ, ПАЛЛАДИЯ И СЕРЕБРА В УСЛОВИЯХ ИМПУЛЬСНОГО ЭЛЕКТРОЛИЗА<br>Куриганова А.Б., Ставенчук Э.А., Губанова А.А.                                                                                                                             | 34 |
| ДИЗАЙН ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ НА ОСНОВЕ Pt и TiO <sub>2</sub> ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО РАЗЛОЖЕНИЯ АММИАКА, СОПРОВОЖДАЮЩЕГОСЯ ПОЛУЧЕНИЕМ ВОДОРОДА<br>Ломакина В.А., Марковская Д.В.                                                                    | 35 |
| ВЛИЯНИЕ ПРИРОДЫ АММОНИЙНЫХ СОЛЕЙ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ НА ЭЛЕКТРОПАРАМЕТРЫ АЛЮМИНИЕВЫХ ОКСИДНО-ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ<br>Макарова А.С., Калабина Н.А., Жижина М.А., Мехряков А.Я.                                                                  | 36 |
| ПЛАЗМОЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ ПЛАТИНЫ: ПОЛУЧЕНИЕ И КАТАЛИТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПЛАТИНОВЫХ КАТАЛИЗАТОРОВ В РЕАКЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА<br>Манжос Р.А., Пугачева А.В., Комарова Н.С., Коткин А.С., Ходос И.И., Корепанов Я.И., Кривенко А.Г. | 37 |
| ПРИМЕНЕНИЕ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ОТ КОРРОЗИИ<br>Новиков Е.В., Абрашов А.А., Жилина О.В., Ваграмян Т.А.                                                                                                                    | 38 |
| РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ КОМПОЗИТНЫХ ГИДРОГЕЛЕЙ ГИАЛУРОНОВАЯ КИСЛОТА-ДИОКСИД КРЕМНИЯ<br>Парфенюк Е.В., Долинина Е.С., Беляева М.А., Селиванова В.О.                                                                                                 | 39 |
| ВЛИЯНИЕ СОДОПИРОВАНИЯ Ca И Zn НА СТРУКТУРНЫЕ И ТРАНСПОРТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОЙНЫХ ПЕРОВСКИТОПОДОБНЫХ КОБАЛЬТИТОВ<br>Переверзев Д.И., Сунцов А.Ю.                                                                                                       | 40 |
| ПЭДОТ: ПСС - ПОЛИМЕРНЫЙ ПРОВОДНИК<br>Плетнев М. А., Шарина А. Н., Морозов А. В., Сибгатуллин Б. И.                                                                                                                                                      | 41 |
| ИМПУЛЬСНОЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ PtCu-ЭЛЕКТРОКАТАЛИЗАТОРОВ РЕАКЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КИСЛОРОДА<br>Пугачева А.В., Манжос Р.А., Комарова Н.С., Корепанов Я.И., Коткин А.С., Кривенко А.Г.                      | 42 |
| ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К СЕРИЙНОМУ ВЫПУСКУ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ<br>Сафронов А.Д., Калабина Н.А., Макарова А.С., Мехряков А.Я.                                                                                                                 | 43 |
| АНОДНЫЕ ОКСИДНЫЕ ПЛЕНКИ КАК КОРРОЗИОННЫЙ БАРЬЕР НА ПОВЕРХНОСТИ ДВУХ- И ТРЕХ- КОМПОНЕНТНЫХ СПЛАВОВ СИСТЕМЫ Ti - Co - Re - Ta.<br>Сюрин А. О., Кузьмин С.М., Чуловская С.А., Фишгойт Л. А.                                                                | 44 |
| ИЗУЧЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ ОТВЕРСТИЙ<br>Силкин С.А., Перков А.С., Лев Д.Е.                                                                                                                                       | 45 |
| РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ БЛИЖНЕГО ДЕЙСТВИЯ С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ МОБИЛЬНОСТИ И ГОТОВНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В МНОГОРАЗОВОМ РЕЖИМЕ<br>Степанов С.В., Волков С.С.                       | 46 |
| ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОТЕНЦИАЛЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИ НЕЙТРАЛЬНЫХ БИООБЪЕКТОВ<br>Тазина Т.В., Волков С.С.                                                                                                                                                              | 47 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| КИНЕТИКА ЭЛЕКТРОПОЛИМЕРИЗАЦИИ ЗАМЕЩЕННЫХ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВ В РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОСАЖДЕНИЯ<br>Тесакова М.В., Боков А.С., Парфенюк В.И.                                                                                                                            | 48 |
| ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ПОЛУЧЕНИЯ (ХИМИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПОЛИМЕРИЗАЦИЯ) НА СВОЙСТВА ПОЛИМЕРОВ НА ОСНОВЕ ЗАМЕЩЕННЫХ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВ<br>Тесакова М.В., Парфенюк В.И.                                                                                           | 49 |
| НАНОКОМПОЗИТЫ НА ОСНОВЕ МЕТАЛЛОПОРФИРИНОВ И АНИЛИНА, СИНТЕЗИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ<br>Тесакова М.В., Парфенюк В.И.                                                                                                                                     | 50 |
| ВЛИЯНИЕ ДЕФИЦИТА В А-ПОДРЕШЕТКЕ НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ФЕРРОКУПРАТОВ<br>Толстов К.С. , Протасова Е.И. , Коряков А.Д. , Сунцов А.Ю.                                                                                                                          | 51 |
| РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НИКЕЛИРОВАНИЯ ВЫСОКОПОРИСТОГО ЯЧЕИСТОГО МАТЕРИАЛА В ИМПУЛЬСНОМ РЕЖИМЕ ОСАЖДЕНИЯ С ПОСЛЕДУЮЩЕЙ МОДИФИКАЦИЕЙ ПОВЕРХНОСТИ.<br>Трофимов А.В., Шафеев Д. Р., Хазанов Н.А., Аснис Н.А., Ваграмян Т.А., Курдогло Е.Д., Ерещенко А.Е. | 52 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ПЛЁНОК ЛЕНГМЮРА-ШЕФЕРА НА ОСНОВЕ 5,10,15-ТРИ(4-АМИНОФЕНИЛ)-20-ФЕНИЛПОРФИРИНА<br>Филимонова Ю.А., Парфенюк В.И.                                                                                               | 53 |
| ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕСОРБЦИИ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА С ПОВЕРХНОСТИ $Pt, Pd_{1-x}(Mo_2C)/Cu$ -ЭЛЕКТРОДОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ГАЛЬВАНИЧЕСКИМ ВЫТЕСНЕНИЕМ<br>Ханин Д.А., Черкасов Д.И., Жуликов В.В., Кузнецов В.В., Подловченко Б.И.                                  | 54 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ РАСТВОРОВ ГЕКСАФТОРАРСЕНАТА ЛИТИЯ В СМЕШАННЫХ РАСТВОРИТЕЛЯ<br>Чекунова М.Д., Тюнина Е.Ю.                                                                                                                                            | 55 |
| КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА ИОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ РАСТВОРОВ 1:1 ЭЛЕКТРОЛИТОВ В АПРОТОННЫХ ДИПОЛЯРНЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ<br>Чекунова М.Д., Тюнина Е.Ю.                                                                                         | 56 |
| ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПОЗИТА НА ОСНОВЕ $Cu(II)5,15$ -ДИ(4-АМИНОФЕНИЛ)-10,20-ДИФЕНИЛПОРФИРИНА<br>Чуловская С.А., Кузьмин С.М., Парфенюк В.И.                                                                                                                  | 57 |
| СТАБИЛЬНОСТЬ КРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И ТЕРМОДИНАМИКА ОБМЕНА КИСЛОРОДОМ В ДВОЙНЫХ МАНГАНИТАХ $PrBaMn_{2-x}Fe_xO_{6-\delta}$<br>Шаламова А.М., Гробовой И.С. , Мычинко М.Ю. , Кудякова В.С. , Сунцов А.Ю.                                                          | 58 |
| ДВУМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ В ХИМИИ<br>Янилкин В.В., Фазлеева Р.Р., Насретдинова Г.Р.                                                                                                                                                                                      | 59 |
| ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНОВЫЙ КОМПЛЕКС ЖЕЛЕЗА КАК АКТИВНЫЙ МАТЕРИАЛ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПРОТЕКАНИЯ КИСЛОРОДНОЙ РЕАКЦИИ В $Li^+$ -СОДЕРЖАЩЕМ ЭЛЕКТРОЛИТЕ НА ОСНОВЕ ДМСО<br>Фокин Д.В., Панченко Н.В., Крюков А.Ю., Шкирдова А.О., Емец В.В., Андреев В.Н.                     | 60 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                    |    |

| СТЕНДОВАЯ СЕССИЯ                                                                                                                                                                                                                                                                |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| АДСОРБЦИЯ ДЕЙТЕРОПОРФИРИНА НА НИКЕЛЕ ИЗ НЕЙТРАЛЬНЫХ И ЩЕЛОЧНЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ<br>Андреева Н.П., Ларионов А.В., Шеханов Р.Ф., Агафонкина М.О., Графов О.Ю.                                                                                                                     | 61 |
| ОСОБЕННОСТИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРОФОРЕТИЧЕСКОГО ОКРАШИВАНИЯ<br>Бобров М.Н., Печенкина Е.С.                                                                                                                                                       | 62 |
| ВЛИЯНИЕ ИОНОВ НИКЕЛЯ И ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ НА МИКРОРЕЛЬЕФ ГЕТЕРОГЕННОЙ КАТИОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ МК-40<br>Бобров М.Н., Печенкина Е.С., Артамонова А.Р.                                                                                                                              | 63 |
| ПОЛУЧЕНИЕ СУСПЕНЗИИ ГРАФЕНОВЫХ ЧАСТИЦ МЕТОДОМ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ ГРАФИТА<br>Борисов А.М., Волосова М.А., Воробьева Е.А., Гапонов В.А., Людин В.Б. Овчинников М.А., Попов Н.С., Суминов И.В.                                                                      | 64 |
| АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СПИРТОВОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА<br>Войцык А.И., Барбин Н.М.                                                                                                                                                      | 65 |
| АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ИММУНОАНАЛИЗ НА МИКРОЧАСТИЦАХ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ДЕТЕКЦИЕЙ: МНОГОСЛОЙНЫЙ МИКРОФЛЮИДНЫЙ КАРТРИДЖ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ<br>Воробьева А.К., Константинова Т.С., Сорокина О.Н., Прусаков К.А., Алдаров К.Г., Басманов Д.В., Ерёмченко А.В., Курочкин И.Н. | 66 |
| ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛЬНОЙ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКИ БОКОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ЗАГОТОВКИ<br>Голубева Т.М., Тамбовская М.И., Морозов В.И., Анисимова М.А., Маркина Л.М., Кашина А.В., Мухачева Т.Л., Кусманов С.А.                                      | 67 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ОКИСЛЕНИЯ ПИРОКАТЕХИНА ПЕРСУЛЬФАТОМ КАЛИЯ КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ<br>Гороховская Э.А., Межуев Я.О., Щербаков В.В.                                                                                                                                     | 68 |
| КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ СОЕДИНЕНИЙ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ПАССИВАЦИИ АЛЮМИНИЕВЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ<br>Дидык А.А., Шлома О.А., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Ваграмян Т.А.                                                                                                           | 69 |
| ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДОПИРОВАННЫХ КАТОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НИКЕЛЬ-ОБОГАЩЕННЫХ СЛОИСТЫХ ОКСИДОВ<br>Каменский М.А., Иванова Е.А., Косых И.Н., Ларина М.В., Пакальнис В.В., Машьянова Л.В.                                                                           | 70 |
| ИМПУЛЬСНАЯ АКТИВАЦИЯ ЛИТИЕВОГО ПРОТИВОЭЛЕКТРОДА В ПОЛУЯЧЕЙКАХ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА<br>Кислов Д.А., Стенина И.А., Ярославцев А.Б.                                                                                                                        | 71 |
| ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ МЕТОД ОБРАБОТКИ -ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ХОНИГОВАНИЕ<br>Климов С.А.                                                                                                                                                                                                 | 72 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ ВЭС FeNiCoCuSn НА ОСНОВЕ РЕАКЦИИ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО ЗАМЕЩЕНИЯ<br>Колпаков М.Е., Дресвянников А.Ф., Сатараев Д.А., Ермолаева Е.А.                                                                                                   | 73 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ОКИСЛЕНИЕ РЕЗОРЦИНА ПРИ МАЛЫХ ЕГО КОНЦЕНТРАЦИЯХ В КОАКСИАЛЬНОМ БЕЗДИАФРАГМЕННОМ                                                                                                                                                                               | 74 |

|                                                                                                                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ЭЛЕКТРОЛИЗЕРЕ<br>Колпаков М.Е., Полыгалов Ю.Р., Дресвянников А.Ф., Ермолаева Е.А.                                                                                                                        |    |
| ИНТЕРКАЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В $Al_xV_2O_5$ КАТОДАХ В МАГНИЙ-СОДЕРЖАЩИХ АПРОТОННЫХ ЭЛЕКТРОЛИТАХ<br>Кондратьев В.В., Толстопятова Е.Г., Попов А.Ю., Елисеева С.Н.                                            | 75 |
| СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ПЕРЕХОДА К<br>ВЫСОКОНИКЕЛЕВЫМ КАТОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ В ЛИТИЙ-ИОННЫХ АККУМУЛЯТОРАХ<br>Косых И. Н., Коржаков А. А., Каменский М., Пакальнис В. В., Машьянова Л.В.                       | 76 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ НЕОДИМА В СПЛАВЕ Nd-Fe<br>МЕТОДОМ Э.Д.С.<br>Крылосов А.В. Ребрин О.И.                                                                                                             | 77 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ АЛЮМИНИЯ В ЭЛЕКТРОЛИТАХ<br>РАЗЛИЧНОГО КАТИОННОГО СОСТАВА<br>Кубанова М.С., Куриганова А.Б., Смирнова Н.В.                                                                    | 78 |
| ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ОТХОДОВ<br>ВОЛЬФРАМОКОБАЛЬТОВЫХ ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ В РАСТВОРЕ<br>КАРБОНАТА АММОНИЯ<br>Кузнецова О.Г., Левчук О.М.                                                             | 79 |
| ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЕ СУЛЬФОАЗОТИРОВАНИЕ<br>ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ<br>Мухачева Т.Л., Колесников А.М., Шаронова Е.Н., Боровская А.А., Золотов А.А., Ивкова Л.Г., Кусманова И.А., Кусманов С.А.          | 80 |
| ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ РАСТВОРОВ<br>ХЛОРИДА 1-БУТИЛ-3-МЕТИЛИМИДАЗОЛИЯ В НЕКОТОРЫХ ПОЛЯРНЫХ<br>РАСТВОРИТЕЛЯХ<br>Одинаев У.Н., Артемкина Ю.М., Щербаков В.В.                            | 81 |
| НОВЫЙ КАТОДНЫЙ МАТЕРИАЛ $La_{2/3}Cu_3Ti_{4-x}Fe_xO_{12}$ - ДЛЯ<br>ТВЕРДООКСИДНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА: ТЕРМИЧЕСКАЯ<br>УСТОЙЧИВОСТЬ И ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ<br>Пантюхина М.И., Неволина О.А.                 | 82 |
| НОВЫЕ СРЕДНЕ-ЭНТРОПИЙНЫЕ ОКСИДЫ НА ОСНОВЕ ХРОМИТОВ<br>$Nd_{0,25}Ln_{0,25}Gd_{0,25}Y_{0,25}CrO$ :<br>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В ТОТЭ<br>Пантюхина М.И., Шерстобитова Е.А., Кабанова Н. А., Неволина О.А. | 83 |
| АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ФТОРУГЛЕРОДНЫЕ ПОКРЫТИЯ,<br>ФОРМИРУЕМЫЕ ПРИ ПОМОЩИ ПЛАЗМЫ АТМОСФЕРНОГО ДАВЛЕНИЯ<br>Садеков Э.Р., Шведов А.В.                                                                            | 84 |
| ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ СПЛАВОВ<br>Re-Mo<br>Салахова Э.А., Тагиев Д.Б., Калантарова П.Э., Ибрагимова К.Ф., Гусейнова Р.Э., Джаббарова И.И., Пашаева А.М.                            | 85 |
| ЗАВИСИМОСТЬ СОСТАВ СПЛАВА Re-S-Cu ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ<br>И РАССЕИВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ЭЛЕКТРОЛИТА<br>Салахова Э.А., Тагиев Д.Б., Магеррамова А.Д., Гейбатова А.Ф., Ханкишиева Н.Н., Гулузаде Л.М.        | 86 |
| ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ NT-proBNP В СЫВОРОТКЕ КРОВИ<br>ЧЕЛОВЕКА МЕТОДОМ ИММУНОФЕРМЕНТНОГО АНАЛИЗА НА<br>МАГНИТНЫХ МИКРОЧАСТИЦАХ С ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИМ<br>ДЕТЕКТИРОВАНИЕМ СИГНАЛА                            | 88 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                       |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Сорокина О.Н., Константинова Т.С., Воробьёва А.К., Ерёменко А.В., Курочкин И.Н.                                                                                                                                                                                       |    |
| БЕСХРОМАТНАЯ ПАССИВАЦИЯ ОЛОВЯННОЙ ПОВЕРХНОСТИ В РАСТВОРАХ НА ОСНОВЕ ГЕКСАФТОРЦИРКОНИЕВОЙ КИСЛОТЫ<br>Сухорукова В.А., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Арбузова Д.М., Колесникова А.В.                                                                                     | 89 |
| ПАССИВАЦИЯ СЕРЕБРА В РАСТВОРАХ, СОДЕРЖАЩИХ ГЕКСАФТОРЦИРКОНИЕВУЮ КИСЛОТУ<br>Сухорукова В.А., Лактюшина Д.П., Абрашов А.А., Григорян Н.С., Руссу В.В., Колесникова А.В.                                                                                                 | 90 |
| ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОГО ПОЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ МДО-ПОКРЫТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СЛОЯ<br>Тамбовская М.И., Вдовиченко Р.А., Ивкова Л.Г., Боровская А.А., Карпова А.Ю., Смирнова Н.С., Кусманова И.А., Тамбовский И.В. | 91 |
| ГИБРИДНОЕ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКОГО ТИТАНА МАРКИ ВТ1-0<br>Тамбовский И.В., Комаров А.О., Голубева Т.М., Кашина А.В., Карпова А.Ю., Смирнова Н.С., Анисимова М.А., Маркина Л.М.                                                  | 92 |
| ПРЕИМУЩЕСТВА НЕРАСТВОРИМОГО АНОДНОГО МАТЕРИАЛА $PbO_2/Ti$ ПО СРАВНЕНИЮ С ДРУГИМИ НЕРАСТВОРИМЫМИ АНОДАМИ ПРИ РАБОТЕ В ВАННЕ УЛАВЛИВАНИЯ ПОСЛЕ ВАННЫ ЦИАНИСТОГО ЦИНКОВАНИЯ<br>Тураев Д.Ю.                                                                               | 93 |
| ДЛИТЕЛЬНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПРИ БОЛЬШОЙ ТОКОВОЙ НАГРУЗКЕ НЕРАСТВОРИМОГО АНОДНОГО МАТЕРИАЛА $PbO_2/Ti$ В ВАННЕ УЛАВЛИВАНИЯ ПОСЛЕ ВАННЫ ЦИАНИСТОГО ЦИНКОВАНИЯ<br>Тураев Д.Ю.                                                                                                | 94 |

#### Спонсоры конференции:



АО "Научно-производственное  
предприятие "Исток"  
имени А.И. Шокина

АО "Научно-производственное предприятие "Исток"  
имени А.И. Шокина  
141190, г. Фрязино, Московская область, Вокзальная ул., д.2а, корпус 1, комната 65, этаж 2  
Наш телефон: +7 (495) 465-86-80  
E-mail: [info@istokmw.ru](mailto:info@istokmw.ru)  
Сайт: <http://www.istokmw.ru/>



Научно-производственная компания SmartStat  
Современное оборудование для электрохимических измерений и испытаний SmartStat®  
Изготовитель: Electrochemical Instruments  
Россия, Московская область, г. Черноголовка  
Телефон: 8(495)720-31-57  
e-mail: Отдел продаж: [sales@smart-stat.ru](mailto:sales@smart-stat.ru)  
Адрес тех. поддержки: [potentiostat@mail.ru](mailto:potentiostat@mail.ru)  
Сайт: <https://smart-stat.ru/>



ОАО «Электонд»  
427968, Удмуртская Республика,  
г. Сарапул, ул. Калинина, д.3,  
тел./факс (34147) 4-27-53, 4-32-48  
e-mail: [elecond@elcudm.ru](mailto:elecond@elcudm.ru)  
Сайт: [www.elecond.ru](http://www.elecond.ru)

Российская научно-производственная компания SmartStat специализируется на разработке, серийном производстве и поставке современного оборудования для проведения электрохимических исследований и испытаний.



Наша миссия, это обеспечение российских ученых и инженеров высококачественным отечественным оборудованием уровня лучших европейских брендов с учетом локальных ценовых требований. Это стало возможным благодаря 20-тилетнему опыту непрерывной работы специалистов компании SmartStat именно в этом направлении.

Традиционная основа нашей продукции, это высокоточные исследовательские потенциостаты-гальваностаты, отличающиеся широкой функциональностью, высокой надежностью и безусловным качеством измерения. В нашем каталоге представлено оборудование в широком ценовом ассортименте, различающееся по функциональности. В 2025 году была запущена в серийное производство новая линейка современного многоканального оборудования для испытаний химических источников тока.

Продукция SmartStat разрабатывается и выпускается в России, поэтому всегда есть в наличии на нашем складе в Московской области. Только у нас вы получите полноценную техническую поддержку и помощь в подборе и эксплуатации оборудования, а также в проведении измерений и испытаний от экспертов со степенью ДХН по специальности электрохимия.



**АО "Научно-производственное  
предприятие "Исток"  
имени А.И. Шокина**

Научно-производственное предприятие "Исток" основано в 1943 г. как базовое предприятие по разработке и выпуску электронных приборов сверхвысоких частот (СВЧ) для всех видов связи и радиолокации.

В дальнейшем "Исток" стал не только центром отечественной сверхчастотной электроники, но и родоначальником ряда крупных предприятий в городах: Москва, Саратов, Ростов-на-Дону, Полтава, Киев и др.

"Истоку" принадлежит мировой приоритет в открытии лавинно-пролетного эффекта в полупроводниках, создании новых классов электровакуумных приборов - многолучевых клистронов, малошумящих электростатических усилителей и ламп обратной волны миллиметрового диапазона.

В настоящее время "НПП "Исток" обладает замкнутыми технологическими циклами разработки и производства СВЧ-транзисторов, монолитных интегральных схем и модулей любой функциональной сложности. На их основе создаются электровакуумные СВЧ-приборы и комплексированные устройства для малогабаритной радиолокационной аппаратуры.

Электронные приборы "Истока" полностью перекрывают см- и мм- диапазоны длин волн, вплоть до субмиллиметровых, с мощностями от единиц милливатт до мегаватт.

Приборы и аппаратура предприятия используются во многих отраслях науки и техники: радиолокации, средств радиоэлектронной борьбы, наземной и космической связи, ускорителях заряженных частиц, спектроскопии, медицине, металлургии и других.

В настоящее время, "Исток", продолжая исследовать новые области применения электроники, непрерывно наращивает объемы производства.

Контактная информация

**Наш адрес:**

141190, г. Фрязино, Московская область, Вокзальная ул., д.2а, корпус 1, комната 65, этаж 2

Наш телефон: +7 (495) 465-86-80

E-mail: [info@istokmw.ru](mailto:info@istokmw.ru)

<http://www.istokmw.ru/>



Предприятие разрабатывает и производит конденсаторы, которые применяются в авиационной и космической технике, средствах связи и радиолокации, преобразователях, медицинской аппаратуре, приборостроении, транспорте, системах обеспечения качества электроснабжения, бытовой электронике и других областях.





## Разработка и производство конденсаторов

### оксидно-электролитические алюминиевые конденсаторы

K50-15, K50-17, K50-27, K50-37, K50-68, K50-77, K50-80, K50-81, K50-83, K50-84, K50-85, K50-86, K50-87, K50-88, K50-89, K50-90, K50-91, K50-92, K50-93, K50-94, K50-95(чип), K50-96, K50-97(чип), K50-98, K50-99, K50-100, K50-101(чип), K50-102, K50-103, K50-104

### объемно-пористые танталовые конденсаторы

K52-1, K52-1M, K52-1БМ, K52-1Б, K52-9, K52-11, K52-17, K52-18, K52-19, K52-20, K52-21, K52-24, K52-26(чип), K52-27(чип), K52-28, K52-29, K52-30

### оксидно-полупроводниковые танталовые конденсаторы

K53-1А, K53-7, K53-65(чип), K53-66, K53-68(чип), K53-69(чип), K53-71(чип), K53-72(чип), K53-74(чип), K53-77(чип), K53-78(чип), K53-82

### суперконденсаторы (ионисторы)

K58-26, K58-27, K58-28, K58-29, K58-30, K58-31, K58-32, K58-33

### накопители электрической энергии на основе модульной сборки суперконденсаторов НЭЭ, МИК, МИЧ, ИТИ

Система менеджмента качества сертифицирована на соответствие требованиям ISO 9001

Россия, 427968, Удмуртская Республика, г. Сарапул, ул. Калинина, 3  
Тел.: (34147) 2-99-53, 2-99-89, 2-99-77, факс: (34147) 4-32-48, 4-27-53  
e-mail: [elecond-market@elcudm.ru](mailto:elecond-market@elcudm.ru), <http://www.elecond.ru>



# **СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРИКЛАДНОЙ ЭЛЕКТРОХИМИИ**

**XVI ПЛЁССКАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ**

**ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ**

**Редактор: *В.И. Парфенюк***

**Компьютерная верстка: *Е. С. Долинина***

*Тезисы докладов публикуются в авторской редакции*

**ISBN 978-5-905364-23-5**

