



Минобрнауки России
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук
(ИФХЭ РАН)

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор,
член-корреспондент РАН,
доктор химических наук
А.К. Буряк

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация на тему: «Формирование супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома» по научной специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии (технические науки) выполнена в Лаборатории строения поверхностных слоёв Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук.

В процессе подготовки диссертации Глухов Вячеслав Геннадьевич, «02» февраля 1995 года рождения, был:

- с 16.01.2019 г. по 19.09.2022 г. – инженером II категории Лаборатории строения поверхностных слоев Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук;
- с 19.09.2022 г. по настоящее время – младшим научным сотрудником Лаборатории строения поверхностных слоев Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук;
- с 07.10.2019 г. по 06.10.2023 г. – аспирантом Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук по направлению 05.17.03 – Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Кандидатские экзамены сданы согласно диплому об окончании аспирантуры: серия 107704 номер 0280925, выдан 04.10.2023 года Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук.

Научный руководитель – Поляков Николай Анатольевич, к.х.н. (специальность 05.17.03 «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии»), заведующий лабораторией Строения поверхностных слоёв Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук.

По результатам рассмотрения диссертации на тему: «Формирование супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома» принято следующее заключение.

Актуальность темы диссертационной работы обусловлена тем, что несмотря на ряд достоинств процессов формирования супергидрофобных поверхностей электрохимическими методами, в основном разрабатываемые по литературным данным супергидрофобные металлические осадки представлены дендритоподобными структурами, полученными в условиях диффузионных ограничений, что, несомненно, отрицательно сказывается на их механической прочности, поэтому практическое применение супергидрофобных покрытий на их основе малоперспективно. В связи с этим актуальной задачей является разработка электрохимических методов формирования супергидрофобных покрытий, обладающих улучшенными физико-механическими свойствами. Учитывая физико-механические свойства композиционных электрохимических покрытий (КЭП), а также особенности их роста и микроструктуры, перспективным является направление получения супергидрофобных покрытий на основе КЭП. Кроме того, формирование электрохимических осадков с развитой морфологией поверхности, обладающей необходимой для супергидрофобизации полимодальностью, представляет самостоятельный научный интерес, поскольку традиционно в гальванотехнике разрабатываются процессы получения покрытий с более сглаженной морфологией поверхности.

Научная новизна заключается в следующем:

- впервые показана возможность улучшения физико-механических свойств супергидрофобных электрохимических покрытий на основе меди и хрома путем их электроосаждения из электролитов-суспензий с нанодисперсными частицами. Установлено, что соосажденные в покрытие агломераты наночастиц одновременно дисперсно-упрочняют металлическую матрицу и являются базовыми субмикро- и микроструктурами с полимодальной шероховатостью, обеспечивающими супергидрофобные свойства КЭП после нанесения гидрофобизатора;
- впервые предложены КЭП Cu-SiC , Cu-MoS_2 , $\text{Cu-MoS}_2/\text{Cr}$, $\text{Cr-Nb}_2\text{N}+\text{Ta}_2\text{N}$, которые после обработки рядом гидрофобизаторов (стеариновая кислота, карнаубский воск и др.), характеризуются краевым углом смачивания $155-162^\circ$, отличаются на 2-3 порядка лучшей износостойкостью в сравнении с супергидрофобными дендритными электрохимическими покрытиями, описанными в литературе, и могут

быть использованы, в частности, для разделения полярных и неполярных жидкостей с эффективностью 94,5-99,9%.

Теоретическая и практическая значимость работы состоит в следующем:

- разработаны супергидрофобные КЭП Cu-SiC, Cu-MoS₂, Cu-MoS₂/Cr, Cr-Nb₂N и Ta₂N, сочетающие в себе высокое значение краевого угла смачивания, коррозионную устойчивость и сравнительную износостойкость. На их основе получены супергидрофобные сита для разделения полярных и неполярных жидкостей с высокими эксплуатационными свойствами. Показана их эффективность как в сборе масляных загрязнений с поверхности воды, так и регенерации нефтяных топлив от загрязнения влагой до допустимых значений;
- сформулированы общие физико-химические подходы для разработки процессов формирования супергидрофобных КЭП на основе меди и хрома.

Работа характеризуется логичностью построения, аргументированностью основных научных положений и выводов, а также четкостью изложения.

Основные положения диссертации получили полное отражение в 20 научных работах, в том числе 4 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science, Scopus, Chemical Abstracts, а также 16 тезисов докладов в материалах всероссийских и международных конференций. Получено 2 патента РФ.

Результаты диссертации представлены на международных и всероссийских конференциях, в том числе на: Всероссийской конференции с международным участием «Ресурсосберегающие и экологобезопасные процессы в химии и химической технологии» (Пермь, 2021 г.); Международных конференциях «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии» посвященная памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И. Вигдоровича (Тамбов, 2019, 2021, 2023 гг.); «Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов», памяти чл.-корр. РАН Ю.М. Полукарова (Москва, 2017, 2020, 2024 гг.); конференции «Обработка поверхности и защита от коррозии», посвящённой году науки и технологий в РФ и 100-летию высшего образования (РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, 2021 г.); конкурсах молодых учёных ИФХЭ РАН в рамках конференций ФИЗИКОХИМИЯ (Москва, 2019, 2020, 2021, 2022 гг.).

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах данных:

1. Polyakov N. A., Botryakova I. G., Glukhov V. G., Red'kina G. V., and Kuznetsov Yu I.. Formation and anticorrosion properties of superhydrophobic zinc coatings on steel // Chemical Engineering Journal. – 2021. – P. 127775. – doi.org/10.1016/j.cej.2020.127775 (Scopus, Web of Science)

2. Glukhov V.G., Botryakova I.G., Polyakov N.A. Mechanically Strong Superhydrophobic Coating Based on Cu-SiC Electrochemical Composite // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2023. – V. 64, № 1-3. – P. 15-23. – doi.org/10.1134/S1067821224600091 (**Scopus, Web of Science**)

3. Ботрякова И. Г., Афанасьевна А. В., Глухов В. Г., Поляков Н. А. О возможности формирования супергидрофобных хромовых покрытий из растворов Cr(III) // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2021. – Т. 29, № 3. – С. 28-32. (**Chemical Abstracts**)

4. Глухов В. Г., Ботрякова И. Г., Поляков Н. А. Влияние стеариновой кислоты и 1-додекантиола на супергидрофобные свойства электрохимических медных покрытий, полученных в условиях диффузионных ограничений // Практика противокоррозионной защиты. – 2023. – Т. 28, № 3. – С. 34-47. – doi.org/10.31615/j.corros.prot.2023.109.3-4 (**Chemical Abstracts**)

Патенты

1. Патент №2786261 С1 Российская Федерация, МПК С25D 15/00. Способ получения супергидрофобной поверхности на основе композитов меди: № 2022120294: заявл. 25.07.2022: опубл. 19.12.2022 / В.Г. Глухов, Н.А. Поляков, И.Г. Ботрякова; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук.

2. Патент №2806197 С1 Российская Федерация, МПК С25D 15/00, С25D 5/12, С25D 3/38. Способ получения механически прочных супергидрофобных поверхностей на основе двуслойных гальванических покрытий с матрицами из меди и хрома: № 2023106508: заявл. 20.03.2023: опубл. 27.10.2023 / В.Г. Глухов, Н.А. Поляков, И.Г. Ботрякова.

Публичные доклады на всероссийских и международных научных мероприятиях (конференциях, съездах, симпозиумах, конгрессах):

1. Глухов, В.Г., Получение супергидрофобных покрытий на меди с применением электрохимических методов / В.Г. Глухов, Н.А. Поляков, А.М. Семилетов, Ю.И. Кузнецов // I Международная конференция «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии», посвященная памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И. Вигдоровича, Тамбов, 23 – 25 октября 2019 года. – Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2019. – 456 с. – ISBN 978-5-905724-91-6. – С. 392-393.

2. Глухов, В.Г. Формирование супергидрофобных покрытий на меди с применением электрохимических методов / В.Г. Глухов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // ФИЗИКОХИМИЯ – 2019: XIV Конференция молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН. 2-6 декабря, 2019. Сборник тезисов докладов. – М.: ИФХЭ РАН, 2019. – 237с. ISBN 978-5-4465-2631-4 – С. 129-130.

3. Глухов, В.Г. Формирование супергидрофобных покрытий на меди с применением электрохимических методов / А.М. Семилетов, В.Г.

Глухов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков, // Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов: Тезисы докладов II Международной конференции, памяти чл.-корр. РАН Ю.М. Полукарова, Москва, 15 – 16 октября 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2020. – С. 46.

4. Поляков, Н.А. Функциональные свойства композиционных хромовых покрытий из электролитов Cr(III) / Н.А. Поляков, И.Г. Ботрякова, В.Г. Глухов, И.В. Малий, А.В. Афанасьева, В.С. Майорова // Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов: Тезисы докладов II Международной конференции, памяти чл.-корр. РАН Ю.М. Полукарова, Москва, 15 – 16 октября 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2020. – С. 61.

5. Афанасьева, А.В. Формирование супергидрофобных покрытий на хrome с применением электрохимических методов / А.В. Афанасьева, И.Г. Ботрякова, В.Г. Глухов, Г.В. Редькина, Н.А. Поляков // Тезисы докладов XV конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН «ФИЗИКОХИМИЯ – 2020» – Москва – 2020 – С. 84-85.

6. Глухов, В.Г. Формирование супергидрофобных покрытий на меди с применением электрохимических методов / В.Г. Глухов, А.М. Семилетов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // Физикохимия-2020: Сборник тезисов докладов XV конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН, Москва, 04 – 11 декабря 2020 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2020. – С. 86-87.

7. Глухов, В.Г. Влияние условий электролиза и компонентов электролита на свойства супергидрофобных покрытий на основе меди / В.Г. Глухов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // Успехи в химии и химической технологии. – 2021. – Т. 35, № 5(240). – С. 72-73.

8. Глухов, В.Г. Влияние условий электролиза и компонентов электролита на свойства супергидрофобных покрытий на основе меди / В.Г. Глухов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // II Международная конференция «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии», посвященная памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И. Вигдоровича, Тамбов, 27 – 29 октября 2021 года. – Тамбов: Чеснокова А.В., 2021. – 364 с. – ISBN 978-5-6046669-2-0. – С. 59-61.

9. Поляков, Н.А. Функциональные свойства композиционных электрохимических покрытий из растворов Cr(III) / Н.А. Поляков, И.Г. Ботрякова, В.Г. Глухов, И.В. Малий // II Международная конференция «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии», посвященная памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ

В.И. Вигдоровича, Тамбов, 27 – 29 октября 2021 года. – Тамбов: Чеснокова А.В., 2021. – 364 с. – ISBN 978-5-6046669-2-0. – С. 21-24.

10. Глухов, В.Г. Формирование супергидрофобных покрытий на меди с применением электрохимических методов / В.Г. Глухов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // Ресурсосберегающие и экологобезопасные процессы в химии и химической технологии [Электронный ресурс]: тезисы докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Пермь, 6–8 декабря 2021 г.) / отв. за вып. А. М. Елохов; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Электронные данные. – Пермь, 2021. – 5,5 Мб; 101 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/resursosberegayushchie-i-ekologobezopasnye-processy-v-himii.pdf>. – ISBN 978-5-7944-3752-2. – С. 15.

11. Афанасьева, А.В. Формирование супергидрофобных покрытий на хrome с применением электрохимических методов / А.В. Афанасьева, И.Г. Ботрякова, В.Г. Глухов, Г.В. Редькина, Н.А. Поляков // Физикохимия-2021: Сборник тезисов докладов XVI Конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН, Москва, 06 – 10 декабря 2021 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2021 – С. 85-86.

12. Глухов, В.Г. Электрохимические способы формирования супергидрофобных покрытий на основе меди и хрома / В.Г. Глухов, А.В. Афанасьева, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // Физикохимия-2021: Сборник тезисов докладов XVI Конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН, Москва, 06 – 10 декабря 2021 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2021 – С.89-90.

13. Глухов, В.Г. Общие подходы к формированию супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий / В.Г. Глухов, Едигарян К.А., И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // Физикохимия-2022: Сборник тезисов докладов XVII Конференции молодых ученых, аспирантов и студентов ИФХЭ РАН, Москва, 05 – 09 декабря 2022 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, 2022. «ФИЗИКОХИМИЯ - 2022» - Москва - 2022 – С. 118-119.

14. Глухов, В.Г. Супергидрофобные медные покрытия, полученные на предельном токе, и гидрофобизаторы для них / В.Г. Глухов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии: Материалы III Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии», посвященной памяти В.И. Вигдоровича, Тамбов, 18 – 20 октября 2023 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2023. – 427 с. – ISBN 978-5-6047822-7-9. – С.52-57.

15. Глухов, В.Г. Перспективы использования супергидрофобных композиционных покрытий для защиты от коррозии и разделения полярных и неполярных жидкостей / В.Г. Глухов, И.Г. Ботрякова, Н.А. Поляков // Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов: Тезисы докладов III Международной конференции памяти чл.-корр. РАН Ю.М. Полукарова, Москва, 26 – 27 ноября 2024 года. – Москва: Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 2024.С. 47.

16. Поляков, Н.А. О путях улучшения функциональных свойств хромовых покрытий / Н.А. Поляков, И.Г. Ботрякова, А.Б., Дровосеков, В.Г. Глухов, И.В. Малий // Фундаментальные и прикладные вопросы электрохимического и химико-каталитического осаждения и защиты металлов и сплавов: Тезисы докладов III Международной конференции памяти чл.-корр. РАН Ю.М. Полукарова, Москва, 26 – 27 ноября 2024 года. – Москва: Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН, 2024. – С. 41.

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положениям диссертация соответствует паспорту специальности научных работников 2.6.9. «Технология электрохимических процессов и защита от коррозии» в части:

п. 3. Электрохимические, химические, физические и комбинированные методы обработки поверхности материалов и нанесения покрытий. Гальванопластика и гальваностегия;

п. 5. Структура, защитные, механические, декоративные и другие свойства коррозионно-стойких материалов и защитных покрытий.

Автореферат отражает основное содержание диссертации.

Диссертация Глухова Вячеслава Геннадьевича является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей результаты, полученные на основании исследований, проведенных на высоком научном и техническом уровне с применением современных методов исследования. Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные автором, теоретически обоснованы и не вызывают сомнений. Представленные в работе результаты принадлежат Глухову Вячеславу Геннадьевичу; они оригинальны, достоверны и отличаются научной новизной и практической значимостью.

С учетом научной зрелости автора, актуальности, научной новизны и практической значимости работы, а также ее соответствия требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева», предъявляемым к подобным работам, диссертация на тему:

«Формирование супергидрофобных композиционных электрохимических покрытий на основе меди и хрома» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.9. Технология электрохимических процессов и защита от коррозии.

Диссертация рассмотрена на заседании секции при Ученом совете «Химическое сопротивление материалов, защита металлов и других материалов от коррозии и окисления» Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук, состоявшемся «08» октября 2025 года, протокол №7.

Задавали вопросы и приняли участие в обсуждении: д.х.н., проф., зав.лаб. Маршаков А.И., (заместитель председателя секции), к.х.н., в.н.с. Максаева Л.Б. (ученый секретарь секции), д.х.н., в.н.с. Авдеев Я.Г., д.х.н., зав.лаб. Андреев Н.Н., к.х.н., в.н.с. Андреева Н.П., к.х.н., вед. инж. Вершок Д.Б., д.х.н., проф., в.н.с. Гамбург Ю.Д., д.х.н., в.н.с. Гончарова О.А., к.х.н., зав.лаб. Душик В.В., к.ф-м.н., зам. директора Залавутдинов Р.Х., к.х.н., в.н.с. Игнатенко В.Э., к.т.н., с.н.с. Ильин А.Б., к.х.н., в.н.с. Касаткин В.Э., к.х.н., зав.лаб. Кузенков Ю.А., к.х.н., в.н.с. Лучкин А.Ю., к.х.н., с.н.с. Макарычев Ю.Б., к.х.н., в.н.с. Петрунин М.А., к.х.н., зав.лаб. Поляков Н.А., к.х.н., в.н.с. Редькина Г.В., к.х.н., с.н.с. Рыбкина А.А., к.х.н., с.н.с. Семилетов А.М., к.х.н., зав.лаб. Чиркунов А.А., к.т.н., зав.лаб. Щелков В.А..

Принимало участие в голосовании 23 человека. Результаты голосования: «За» - 23 человека, «Против» - 0 человек, «Воздержались» - 0 человек, протокол № 7 от «08» октября 2025 г.

Заместитель председателя секции,
доктор химических наук (05.17.03), профессор,
главный научный сотрудник лаборатории
коррозии металлов в природных условиях
ИФХЭ РАН
Ленинский пр. 31, корп.4
Тел.: (495) 334-98- 05



А.И. Маршаков

Ученый секретарь секции,
кандидат химических наук (05.17.03),
ведущий научный сотрудник лаборатории
коррозии металлов в природных условиях
ИФХЭ РАН
Ленинский пр. 31, корп.4
Тел.: (495) 330-15-01



Л.Б. Максаева