

Федеральный исследовательский центр «КазНЦ РАН»
Инновационно-производственный технопарк «Идея»
Академия наук Республики Татарстан
Инвестиционно-венчурный фонд РТ

**XIII КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
“Молодежь и инновации Татарстана”**

22 октября 2020 года

сборник материалов

Казань - 2020

УДК 544 (047.3)
ББК 24.3
К 65

Конференция организована при поддержке дирекции КФТИ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

Печатается в авторской редакции
Технический редактор: И.В. Яцык

К 65 Конференция молодых ученых «Молодежь и инновации Татарстана», 22 октября 2020 года. // Сборник материалов конференции. – Казань: 2020. – 42 с.

В данном сборнике содержатся материалы, представленные на конференцию молодых ученых «Молодежь и инновации Татарстана», проходившую 22 октября 2020 года. Тематика публикуемых работ охватывает широкий круг научных и прикладных проблем, которые исследуются в республике Татарстан.

Адресуется специалистам в области физики конденсированных состояний, радиоспектроскопии, молекулярной фотохимии, оптики кристаллов, медикам и биологам, а также аспирантам, магистрантам и студентам естественно - научных специальностей университетов.

ББК 24.3
© Авторы, 2020

ПРОГРАММНЫЙ И ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ КОНФЕРЕНЦИИ:

Синяшин О.Г., Директор ФИЦ КазНЦ РАН, академик РАН

Калачев А.А., Руководитель КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, профессор РАН

Салихов К.М., научный руководитель КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, академик РАН

Ибрагимов О.Е., Генеральный директор ЗАО «Инновационно-производственный Технопарк «Идея»

Арсланов В.А., Советник Президиума АН РТ, к.т.н.

Гараева Р.Р., начальник отдела развития инновационной деятельности Инвестиционно-венчурного фонда РТ

Гайнуллина Ф.К., начальник отдела развития инновационных программ ЗАО «Инновационно-производственный Технопарк «Идея»

Баскевич П.П., директор по инновациям АО КНИАТ

Воробьев Ю.Н., начальник отдела ГУП РТ ЦНТИ

Фаттахов Я.В., заведующий лабораторией ММФ КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, к.ф.-м.н.

Воронкова В.К., заведующая лабораторией СФСХ КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, д.ф.-м.н.

Абрамова З.И., профессор, главный научный сотрудник Института фундаментальной медицины и биологии К(П)ФУ, д.б.н.

Коновалов Д.А., научный сотрудник КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, к.т.н.

Шапошникова Т.С., старший научный сотрудник КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, к.ф.-м.н.

Яцык И.В., старший научный сотрудник КФТИ им. Е.К. Завойского ФИЦ КазНЦ РАН, к.ф.-м.н.

Содержание

Н2. МЕДИЦИНА И ТЕХНОЛОГИИ ЗДОРОВЬЕСБЕРЕЖЕНИЯ..... 7

Л. А. Алиуллина *Разработка технологии получения субстанции растительного происхождения из листьев *E. VIMINALIS*, перспективной в качестве лекарственного средства с антибактериальной активностью* 9

А. А. Баязитов *Датчик для приема ямр сигнала в низкополевым травматологическом томографе с полем 0.4 тл.*..... 13

М. Я. Фаттахова *Разработка программно-аппаратного комплекса для реабилитации пациентов с нарушениями голосо-речевой функции* 15

Н3. НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ..... 17

Е. М. Бегишев *Разработка научных основ получения магнитного полупроводника – диоксида титана (TiO_2) с примесью кобальта для индустрии энергонезависимой памяти*..... 19

А. П. Довженко *Разработка нанотрассера для контроля, мониторинга и поиска источника загрязнения пресных подземных вод* 23

А. С. Евдокимов *Разработка контрастного агента для магнито-резонансной томографии (мрт) на основе наночастиц гадолиния (III)* 25

Д.П. Павлов *Разработка аналога полевого транзистора на основе гетероструктуры, состоящей из кремниевой подложки и сегнетоэлектрика*..... 29

И.Ф. Тимербаев *Разработка способа и новый подход к выбору материалов для создания юстировочных образцов сканирующего электронного микроскопа*..... 31

Н5. БИОТЕХНОЛОГИИ 35

Б.Р. Исламов *Экзополисахариды пектобактерий: структура и свойства* 37

А.Е. Рассабина *Очистка меланина и перспектива его использования в качестве доступного биоматериала*..... 41

Н2. Медицина и технологии здоровьесбережения

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ СУБСТАНЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ИЗ ЛИСТЬЕВ *E. VIMINALIS*, ПЕРСПЕКТИВНОЙ В КАЧЕСТВЕ ЛЕКАРСТВЕННОГО СРЕДСТВА С АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

Л.А. Алиуллина

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420008, Россия, РТ, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18.

e-mail: aliullina98@mail.ru

E. viminalis представляет интерес для научных групп благодаря антимикробным и противовоспалительным свойствам. Уникальными соединениями эвкалиптов, ответственными за антимикробный эффект, являются формилированные производные флороглюцина [9,10,11]. В работе изучали антибактериальную активность экстрактов эвкалипта, полученных по запатентованной научной группой технологии и насыщенных формилированных производных флороглюцина, в отношении грамположительного микроорганизма *Staphylococcus aureus* 1]. В качестве коммерческого образца сравнения использовали «Хлорофиллипт» 1% раствор спиртовой.

В настоящее время в практике лечения инфекционно-воспалительных заболеваний полости рта и глотки успешно применяются системные и местные антибиотики. Однако в связи с высокими рисками развития антибиотикорезистентности проблема поиска препаратов данного спектра действия по-прежнему актуальна. Причём более конкурентоспособными в фармацевтической отрасли являются не воспроизведённые продукты (дженерики), а именно принципиально новые инновационные препараты, отличающиеся высокой эффективностью и безопасностью.

Важнейшими противоречиями в производстве препаратов на основе *E. viminalis* является то, что целевыми компонентами выпускаемого «Хлорофиллипта» признаются хлорофиллы, тогда как общепризнанным в мировой науке является связь между оказываемым антимикробным эффектом «вытяжек» эвкалиптов и проявляемыми эффектами в отношении грамположительных микроорганизмов (*Staphylococcus aureus*, в том числе MRSA, *Streptococcus oralis*, *Staphylococcus mutans*) [3,5,6,8]. Запатентованная технология экстракта [1] включает в себя новые подходы к извлечению формилированных производных флороглюцина, что позволяет избежать длительных многостадийных процедур очистки

экстрактов, снижает трудо- и энергозатраты цехов фармацевтического предприятия.

Работа является частью проекта, направленного на расширение отечественного ассортимента группы местных антибиотиков и антисептиков, применяемых для лечения инфекционно-воспалительных заболеваний полости рта и глотки, путём внедрения в медицинскую практику новых фитопрепаратов, безопасных, эффективных и доступных по цене широким слоям населения, что делает её актуальной и имеющей социально-экономическое значение.

Также следует отметить, что данное направление является одним из ведущих в области развития фармации (фармакогнозии) последних лет, что в свою очередь обусловлено наблюдаемой в последние годы тенденцией перехода к персонализированной медицине, высокотехнологичному здравоохранению и технологиям здоровьесбережения, в том числе за счет рационального применения лекарственных препаратов (прежде всего антибактериальных).

Целью работы является разработка инновационного способа извлечения формилированных производных флороглюцина из листьев *E.viminalis*, ответственных за антибактериальный эффект сырья, для расширения отечественного ассортимента группы местных антибиотиков и антисептиков, применяемых для лечения инфекционно-воспалительных заболеваний полости рта и глотки.

Материалы и методы

В исследовании использовали высушенные листья старых и молодых ветвей *E.viminalis* (Анапа, пос. Сукко, 2018 г. сбора) с исходным содержанием формилированных производных флороглюцина $2,76 \pm 0,05$ %. В рамках пробоподготовки к экстракционному процессу сырьё измельчали с помощью лабораторной зерновой мельницы до размера частиц не более 1 мм. Для взвешивания образцов использовали аналитические весы GR-200 (A & D, Япония) со стандартной точностью измерения 0,1 мг. В качестве экстрагента использовали гексан с классом чистоты «хч» (Экрос-1, Россия). В качестве аппаратного обеспечения экстракционного процесса использовали лабораторную водяную баню SUB Aqua Pro без перемешивания (Biosan-Grant, Латвия) с возможностью установки температурного режима процесса. Вакуум-упаривание экстракта осуществляли на ротационном испарителе IKA RV 10 digital V (IKA, Германия).

В рамках количественной стандартизации измерение оптической плотности растворов проводили на спектрофотометре. УФ-1800 (Ecoview, КНР). Соответствующие расчеты проводили с использованием удельного показателя государственного стандартного образца (ГСО) эвкалимина, равного 417 [4].

Антибактериальную активность экстракта оценивали с использованием метода двукратных серийных разведений в планшетах для мик-

робиологических испытаний, в жидкой питательной среде мясо-пептонного бульона (МПБ). Использовали тест-штаммы грамположительного микроорганизма – *S. Aureus*. Концентрации клеток тест-штаммов составили $1 \cdot 10^{-5}$ КОЕ/мл. Для сравнения результатов антимикробной активности дополнительно анализировали коммерческий образец – «Хлорофиллипт», 1% раствор спиртовой (ЗАО «Вифитех», Россия). Метод двухкратных серийных разведений позволяет установить минимальную ингибирующую концентрацию экстрактов на микроорганизмах [5,7]. Посевы инкубировали в термостате при температуре 37°C. Одновременно проводили контроль стерильности питательной среды и роста микроорганизмов.

Результаты оценивали визуально в отраженном свете, сравнивая прозрачность среды каждой пробирки с двумя контрольными, определяя наименьшую концентрацию экстрактов (испытуемый экстракт и «Хлорофиллипт»), обеспечивающую задержку роста тест-штамма (рис. 3).

Экстракты были получены по ранее запатентованной научной группой технологии [1] с использованием варианта классической экстракции на терморегулируемой водяной бане с обратным холодильником.

В ходе работы получен экстракт на основе листьев *E.viminalis* с выходом формилированных производных флороглюцина $90 \pm 0,5$ %. Содержание формилированных производных флороглюцина в экстракте составило 15,5 мг/мл.

Тестирование полученного экстракта и «Хлорофиллипта», 1% раствора спиртового на тест-штамме с грамположительным (*S. aureus*) морфотипом методом двукратных серийных разведений показало, что в разведении 1:256 испытуемый образец оказывает значительный бактериостатический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Патент №2572231 Российская Федерация МКИ А 61 К 36/61, В01D 11/02, А61Р 31/04. Способ получения антибактериального препарата из листьев эвкалипта прутовидного: №2014139368; заявл.29.09.14; опубл. 27.12.15/ Хазиев Р.Ш., Мусина Л.Т., Макарова (Халиуллина) А.С., Крашенинников А.Е.-6 с.: ил.- Текст непосредственный
- [2] Жумабекова С.А. *Антимикробная активность препаратов, содержащих хлорофиллы (обзор)* / С.А. Жумабекова, А.К. Айсанова, Т.Г. Анашева, и др./ Вестник АГИУВ. – 2013. – № 1. – С. 32
- [3] Андреева И.С. *Сравнительная оценка антимикробной активности некоторых перспективных лекарственных растений* / И.С. Андреева, И.Е. Лобанова, Г.И. Высочина, Н.А. Соловьянова / Растительный мир Азиатской России. – 2018. – Т. 1, № 29. – С. 91-99

- [4] Фармакопейная статья 2.5.01.07. *Эвкалипта прутовидного листа*/ Министерство здравоохранения Российской Федерации/ Государственная фармакопея Российской Федерации. –2018. – Т.4, №14, С.6641-6648
- [5] Моисеев, Д.В. *Антимикробная активность растительного сырья, содержащего фенольные соединения, в зависимости от типа упаковки и температурных режимов хранения* / Д.В. Моисеев, Ф.Д. Тапальский / Вестник ВГМУ. – 2014. – . – Т. 13, № 5. – С. 129-135
- [6] Тапальский, Д.В. *Антибактериальные свойства растительных экстрактов и их комбинаций с антибиотиками в отношении экстремально-антибиотикорезистентных микроорганизмов* / Д.В. Тапальский, Ф.Д. Тапальский, Г.И. Высочина. – Гомель, Видебск : Вестник, 2018. – 78-82 с.
- [7] Хазиев Р.Ш., Васильева М.В., Макарова (Халиуллина) А.С., Мусина Л.Т. *Количественное определение терпеноидных феноляльдегидов в листьях эвкалипта прутовидного*/ Р.Ш. Хазиев, М.В. Васильева, А.С. Макарова (Халиуллина) и др./ Химия растительного сырья. – 2013.- №3. – С.155-159.
- [8] *Antimicrobial activities of eucalyptus leaf extracts and flavonoids from Eucalyptus maculata* / Т. Takahashi, R. Kokubo, M. Sakaino // Letters in Applied Microbiology. – 2004. – . – № 39. – P. 60-64
- [9] *Quantification and Localization of Formylated Phloroglucinol Compounds (FPCs) in Eucalyptus Species*/ Bruna Marques dos Santos, Juliane F.S. Zibrandtsen// Frontiers in plant science – 2019. –V.10. – P.186
- [10] *Euglobal III a novel granulation inhibiting agent from Eucalyptus globulus Labill.*/ T.S. Sawada, M. Kozuka, T. Komiya et al.//Chemical and Pharmaceutical Bulletin. – 1982. – V.28, №8. – P. 609-634
- [11] *New formylated phloroglucinol compounds from Eucalyptus globulus foliage* / S. Chenavasa, C.Fiorini-Puybaretb.Joulia et al.//Phytochemistry Letters. – 2015. V.11 – P.69-73

ДАТЧИК ДЛЯ ПРИЕМА ЯМР СИГНАЛА В НИЗКОПОЛЕВОМ ТРАВМАТОЛОГИЧЕСКОМ ТОМОГРАФЕ С ПОЛЕМ 0.4 ТЛ

Баязитов А.А.

*Казанский физико-технический институт им Е.К. Завойского Каз НЦ
РАН, 420029, РТ, г. Казань, ул. Сибирский тракт 10/7
e-mail: bayazitov.alfis@kfti.knc.ru*

1.АКТУАЛЬНОСТЬ

Травматологический томограф в целом является комплексом преогромно аппаратного оборудования. В частности, приемный радиочастотный датчик, во многом определяющие чувствительность и отношение сигнал-шум томографа.

2.ВВЕДЕНИЕ

Целью данной работы является разработка и исследование датчика «Кисть» для травматологического ЯМР-томографа с полем 0.4 Тл (резонансная частота малогабаритного томографа 17,5 МГц). Объектом исследования данной работы является приемная система, предназначенная для обследования малых суставов человека. В работе исследуется влияние изменения параметров катушки от ее геометрии. При разработке датчика для данных типов томографов учитывались особенности малого размера зазора между полюсами магнита, размер датчика не превышает 206 мм, рабочая область датчика – сфера диаметром 150 мм. В состав датчика входит приемный контур, передающий контур, внешний экран. В работе приводится анализ однородности поля и добротности приемного контура и возможности их улучшения. Так как добротность приемного контура оказывает существенное влияние на качество получаемых изображений, важно сохранить её на высоком уровне при помещении датчика в магнит. Рассмотрена роль экрана для уменьшения влияния градиентных контуров магнита. Получены изображения кисти руки, отвечающие диагностическим требованиям.

3.ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данной работе описаны результаты исследования и разработки приемной части датчика. В датчике контура расположены следующим образом. Внутренний контур приемный, затем располагается передающий контур и после экран.

Применение экрана в системе позволяет уменьшить сохранить добротность приемного контура на уровне 157 в магните, в то время как без экрана добротность равна 73. Макет приемного контура был собран после проведения математического моделирования. Так же было измерена однородность поля приемного контура. Результаты сравнения показали минимальное отклонение формы поля от расчетных значений.

Собранный макет датчика потребовал дополнительную развязку приемного и передающего и приемного контура с целью уменьшения шумов вносимых передающим контуром. Оптимальная развязка достигается в момент когда сигнал возбуждения компоненты передающего контура достигает минимального значения в приемном контуре.

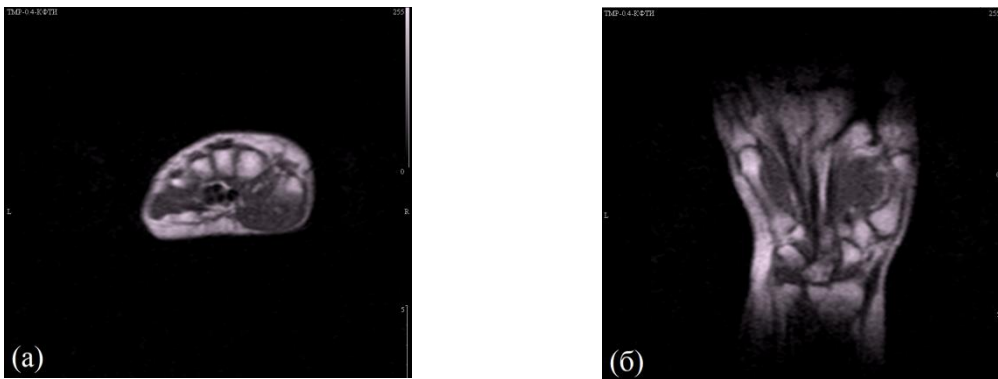


Рис.1 Томограммы кисти руки в в режиме T1-взвешенных изображений А- Трансаксиальный срез, б– корональный срез. Время повтора $TR = 300$ мс, время образования эха $TE = 15$ мс, толщина среза 5 мм.

С помощью макета датчика получены томограммы (рис.1) на специализированном магнитно-резонансном томографе с индукцией магнитного поля 0.4 Тл и отмечено их высокое качество для проведения диагностических мероприятий.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ПАЦИЕНТОВ С НАРУШЕНИЯМИ ГОЛОСО-РЕЧЕВОЙ ФУНКЦИИ

Авторы: М.Я. Фаттахова, Р.Ш. Хабипов

*Лаборатория методов медицинской физики КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН г.
Казань ул. Лобачевского 2/31*

**Научный консультант: заведующий кафедрой оториноларингологии КГМА, д.м.н., профессор В.Н. Красножен
mariam.fattakhova@gmail.com**

Проблема диагностики и реабилитации голосовых нарушений является достаточно актуальной в современном мире. На данный момент существует множество различных современных методов диагностики, в частности видеозендоскопия, видеостробоскопия, видеофиброскопия и NBI (узко-спектральная визуализация). В последние годы магнитно-резонансная томография показала свою большую эффективность в диагностике как новообразований гортани, так и в исследовании физиологии голосообразования в целом. [1]

В условиях труднодоступности всех вышеперечисленных методов исследования, а также в условиях пандемии, большую важность приобрели методы исследования с использованием искусственного интеллекта. Зарегистрированы патенты коллег из республики Корея [2] и Китая [3], которые позволяют с большой долей вероятности (точности) диагностировать заболевания голосового аппарата без физического присутствия фонiatра рядом с пациентом. Далее логично возникает вопрос, а что делать пациентам дальше, после того, как диагноз установлен. Как подобрать индивидуальный как для каждой патологии, так и для каждого пациента комплекс упражнений, обеспечить эффективную реабилитацию, получить обратную связь о прогрессе излечения, находясь под удалённым наблюдением лечащего врача-фонiatра и фонопеда?

Нами разработан программно-аппаратный комплекс для реабилитации пациентов с нарушениями голосо-речевой функции. Наша разработка позволяет быстрее достичь восстановления голосо-речевой функции и помогает обеспечить эффективность голосовых, резонаторных и дыхательных тренировок. В ходе тестового применения программно-аппаратного комплекса в реабилитационной практике получены результаты успешной реабилитации пациентов с различными патологиями голоса.

В октябре 2020 года нами было получено положительное решение по заявке на патент на изобретение 2020113670/14(023134) «Способ ди-

агностики и реабилитации пациентов с нарушениями голосо-речевой функции».

На рис.1 приведено окно сбора звуковых образцов разработанной нами программы. На рис.2 приведены спектрограммы голосов. Нами проведены исследования зависимости спектра голосов от типа патологии.

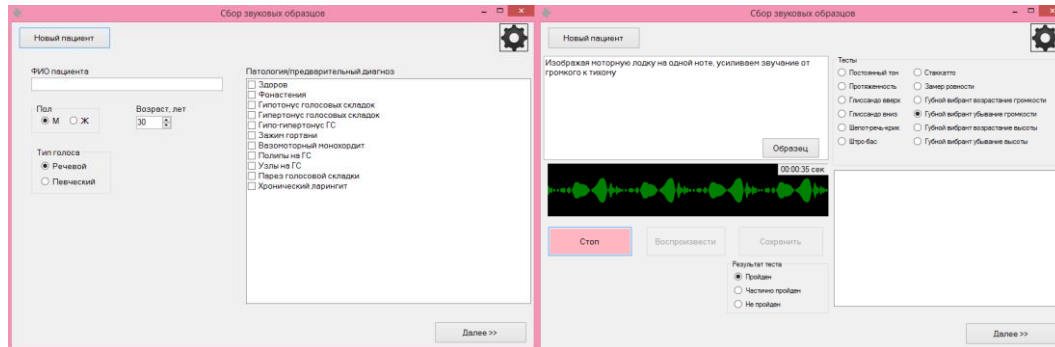


Рис. 1. Окно программы для сбора звуковых образцов

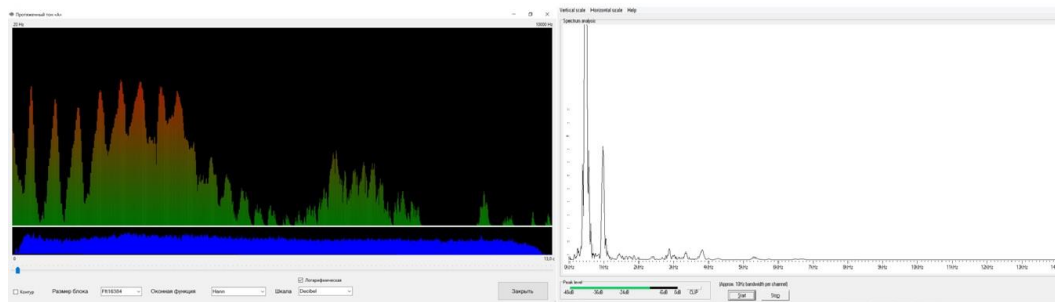


Рис. 2. Спектрограммы голосов

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Burdumy M, Traser L, Richter B, Echternach M, Korvink JG, Hennig J, Zaitsev M. One-Second Magnetic Resonance Imaging of a Three-Dimensional Vocal Tract to Measure Dynamic Articulator Modifications. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*. 2016; doi: 10.1002/jmri.25561.
- [2] Пат. 1019089550000 Республика Корея. МПК А61В 5/00 Н04М 1/725. Voice Disease Diagnosis System with Improved Impact of Environmental Variables through Machine Learning/ Kim, In Taekim, In Tae; заявл. 20.06.2018; опублик. 17.10.2018.
- [3] Пат. 103730130 Китай. МПК G10L 25/66 G10L 25/51 А61В 5/00. Detection Method and system for Pathological Voice / Liu Shanshan, Yan Nan, Wang Lan, Wang Zhijian; Заявители Shenzhen Institutes of Advanced Technology, Chinese Academy of Sciences; заявл. 20.12.2013; опублик. 16.04.2014.

ИЗ. Новые материалы и химические технологии

РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ПОЛУЧЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛУПРОВОДНИКА – ДИОКСИДА ТИТАНА (TiO₂) С ПРИМЕСЬЮ КОБАЛЬТА ДЛЯ ИНДУСТРИИ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМОЙ ПАМЯТИ

Е.М. Бегисhev^{1,2}, Р.И. Хайбуллин²

¹ *Институт Физики, Казанский Федеральный Университет, ул. Кремлевская 16а, 420111 Казань, Россия*

² *Казанский физико-технический институт им. Завойского, ФИЦ КазНЦ РАН, ул. Сибирский Тракт 10/7, 420029 Казань, Россия*
e-mail: begishev.evg@gmail.com

1. ВВЕДЕНИЕ

Количество информации, используемой в повседневной жизни, непрерывно возрастает. В связи с этим возникает насущная проблема хранения, обработки и передачи больших объемов данных. Растут и требования, предъявляемые к новым приборам полупроводниковой микроэлектроники, используемых для этих целей. Одним из решений проблемы является разработка новых ячеек памяти, которые могут хранить большой объем информации и иметь более высокую скорость ее обработки, и, при этом, обладать меньшим энергопотреблением по сравнению с существующими аналогами.

Известно, что мемристор является четвертым пассивным элементов электрической цепи [1]. Общепринято считать, что запоминающие устройства ReRAM (резистивная память с произвольным доступом), оперирующие на основе мемристорного эффекта, являются перспективной заменой существующим видам памяти. Следовательно, разработка новых материалов, проявляющих мемристорные свойства, является актуальной задачей современной науки.

В данном проекте предлагается разработать основные принципы и методы получения нового материала – магнитного оксидного полупроводника на основе диоксида титана, легированного кобальтом путем ионной имплантации, которая широко используется в современной кремневой микроэлектронике при создании СБИС.

Известно [2,3], что магнитные и электрические (в частности, мемристорные) свойства диоксида титана, содержащего примесь магнитных ионов переходной группы железа, существенно зависят от концентрации в его структуре кислородных вакансий. Метод ионной имплантации позволяет не только легко и просто легировать любой материал любой примесью (например, кобальтом) с различной концентрацией, но и создавать

в облученном слое оксида большое количество точечных дефектов [4], в частности, кислородные вакансии, наличие которых обуславливает мемристорный эффект в TiO_2 и в других оксидных материалах.

Целью данной работы является получение и характеристика нового материала – магнитного оксидного полупроводника на основе диоксида титана (TiO_2) с имплантированной примесью кобальта с важными для микроэлектроники магнитными и мемристорными параметрами. В долгосрочной перспективе – создать опытный образец рабочей ячейки энергонезависимой мемристивной памяти (магнитный мемристор) на основе вышеназванного материала.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для получения экспериментальных образцов нового материала ионы кобальта с энергией 40 кэВ будут имплантированы в (100)- и (001)-ориентированные монокристаллические пластинки рутила (TiO_2) на ионно-лучевом ускорителе *ИЛУ-3* (КФТИ ФИЦ КазНЦ РАН). Доза облучения будет варьироваться в диапазоне $(1-2) \times 10^{17}$ ион/см² при плотности ионного тока 2-8 мкА/см² и температуре облучаемой подложки 300-900 К. Часть полученных образцов будет отожжена в атмосфере воздуха или в условиях высокого вакуума (10^{-6} Торр) при температурах 900-1200 К. Таким способом, планируется получить образцы TiO_2 с примесью кобальта, которые будут проявлять как магнитные, так и мемристорные свойства, зависящие от режимов ионного облучения и последующего термического отжига.

Полученные образцы будут характеризоваться методами рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии, сканирующей электронной микроскопии, оптической спектроскопии и микроскопии, коэрцитивной магнитометрии, а также путем измерения магнитных и электрофизических параметров в широком температурном интервале 4-300 К на многофункциональном приборе *PPMS* (КФУ).

В ходе выполнения работы планируется:

1) Определить валентное состояние и измерить глубинные профили распределения концентрации примеси кобальта в имплантированном диоксиде титана;

2) Разработать методы управления над содержанием кислородных вакансий в образцах путем отжига образцов в условиях вакуума (повышение) или в атмосфере воздуха (понижение числа вакансий);

3) Исследовать оптические свойства образцов в зависимости от режимов их получения для выявления в образцах кислородных вакансий и определения их относительного содержания (концентрации);

4) Измерить магнитные и электрофизические свойства образцов в зависимости от режимов их получения и последующего отжига в широ-

ком температурном интервале и найти корреляцию между значениями намагниченности образцов и их электросопротивлением.

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Имеется небольшой задел по проекту. А именно, нами было показано, что наличие кислородных вакансий в имплантированном TiO_2 приводит к окрашиванию образцов в голубой цвет. Вследствие этого в оптических спектрах пропускания наблюдается широкая полоса поглощения в области 800-1400 нм с пиком на 1100 нм (рис.1). Имплантированные кобальтом пластинки TiO_2 проявляют анизотропный ферромагнетизм при комнатной температуре (рис. 2) и их электросопротивление зависит от величины протекающего через образец электрического тока – мемристорный эффект (рис.3).

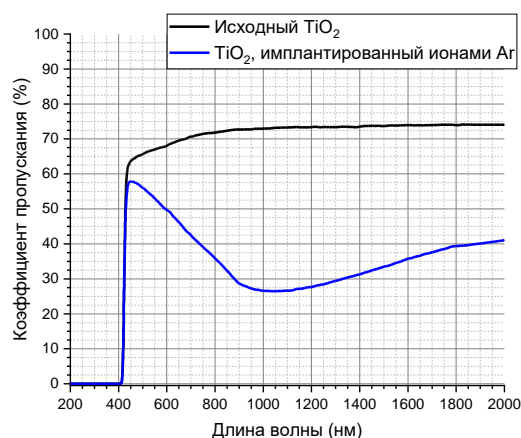
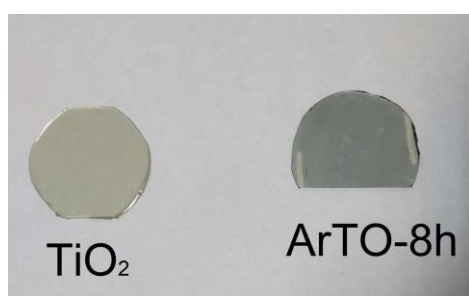


Рис. 1. Слева – фотографии исходного (TiO_2) и имплантированного ионами аргона (ArTO-8h) образцов диоксида титана. Справа – Соответствующие данным образцам спектры пропускания. Наличие кислородных вакансий (синий цвет) приводит к появлению широкой полосы поглощения в области 800-1400 нм.

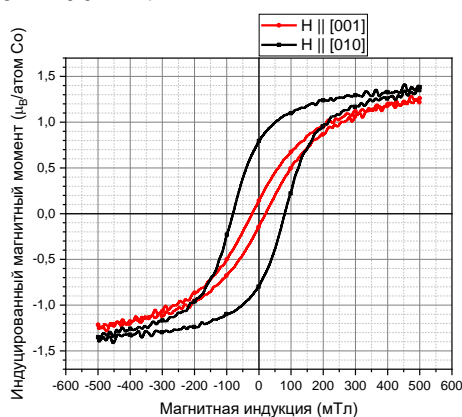


Рис. 2. Кривые намагничивания (100)-пластинки TiO_2 , имплантированного ионами Co, измеренные при различной ориентации магнитного поля ($T_{\text{изм.}} = 300 \text{ K}$).

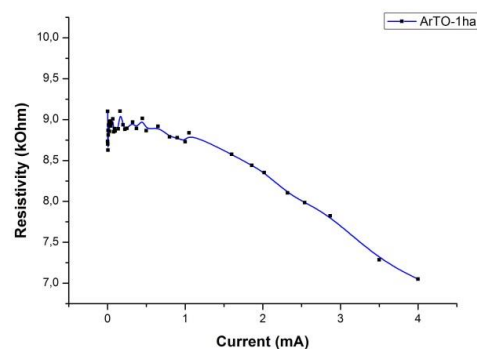


Рис. 3. Зависимость электрического сопротивления TiO_2 , содержащего кислородные вакансии, от величины протекающего через образец тока ($T_{\text{изм.}} = 300 \text{ K}$).

ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате проделанной работы будут найдены и оптимизированы режимы получения нового материала на основе диоксида титана, содержащего имплантированную примесь кобальта, с практически значимыми для микроэлектроники магнитными и мемристорными характеристиками. А именно, полученный материал будет проявлять ферромагнетизм с температурой Кюри выше комнатной и иметь высокие значения намагниченности. Материал будет проявлять основные свойства магнитного мемристора – его электросопротивление и намагниченность будет зависеть от содержания в нем кислородных вакансий. Основным ожидаемым результатом работы является установление корреляции между намагниченностью материала и величиной пропущенного через него электрического тока. Это позволит, в перспективе, создать новый тип ячейки энергонезависимой памяти (магнитный мемристор), в которой информация будет записываться путем пропускания импульсов электрического тока, а считываться путем регистрации магнитооптического эффекта Керра с помощью лазера.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] J.M. Tour, T. He, *Electronics: The fourth element*, Nature. **453**, вып. 7191 (2008) 42-43.
- [2] K. Kikoin, V. Fleurov, *Superexchange in dilute magnetic dielectrics: Application to (Ti,Co)O₂*, Physical Review B. **74** (2006) 174407 (9 pages).
- [3] Y.C. Bae, A.R. Lee, J.S. Kwak, et al. *Transition of metallic and insulating Ti sub-oxides in bipolar resistive switching TiO_x/TiO_y frameworks due to oxygen vacancy drifts*, Appl. Phys. A. **102(4)** (2011) 1009-1013.
- [4] X. Риссел, И. Руге *Ионная имплантация*, М.: Наука. (1983) 386 с.

РАЗРАБОТКА НАНОТРАССЕРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ, МОНИТОРИНГА И ПОИСКА ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

А.П. Довженко

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
e-mail: aleksej_dovghenko@mail.ru

Одним из самых значительных факторов загрязнения окружающей среды на данный момент являются опасные токсичные отходы, генерируемые производственными предприятиями. Стадии образования, сбора, транспортировки, обработки промышленных отходов связаны с риском их утечки и распространения в окружающую среду [1]. Для отслеживания в окружающей среде подобных объектов, как правило, используют трассерный метод, основанный на размещении в пределах производственного объекта специального маркирующего состава. Выход указанного состава за пределы исследуемого резервуара, говорит о его не герметичности и наличии загрязнения гидросферы от наблюдаемого объекта.

Для подобных исследований используют флуоресцентный маркер – флуоресцеин. Однако, он обладает рядом недостатков, включая использование большого количества щёлочи, как дополнительного компонента, и широкое повсеместное использование данного маркера [2]. Большое количество водообъектов (особенно в юго-восточной части Татарстана) уже обладают определенным содержанием флуоресцеина, что накладывает значительную погрешность на значение фоновой флуоресценции в сторону её увеличения. Подобное смещение градиента интенсивности отрицательно сказывается на точности измерений при проведении новых исследований. В связи с этим мы предлагаем углеродные квантовые точки (УКТ) в качестве трассеров нового поколения для проведения гидродинамических и эколого-гидрогеологических исследований [3].

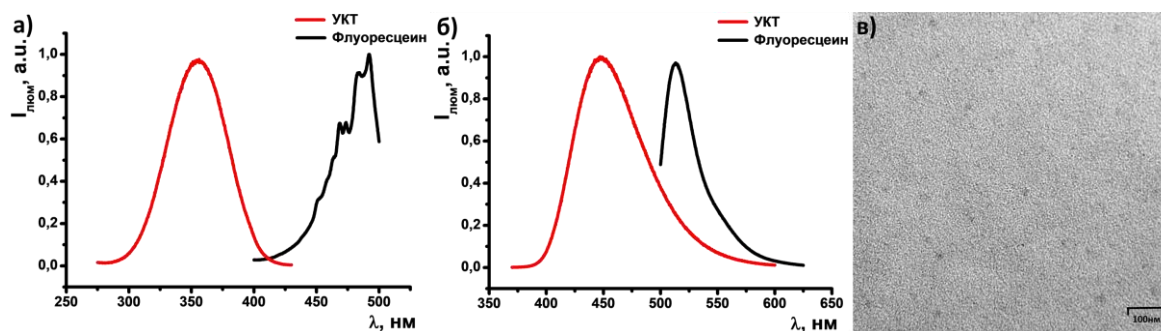


Рисунок: а) спектры возбуждения флуоресценции УКТ и флуоресцеина; б) спектры эмиссии УКТ и флуоресцеина; в) ПЕМ - изображение УКТ

В данной работе углеродные квантовые точки впервые будут рассматриваться в качестве альтернативы существующим флуоресцентным красителям для целей экологического мониторинга опасных производственных объектов (ОПО). Впервые подобраны синтетические условия получения субкилограммовых количеств углеродных точек микроволновым способом из углерод-, кислород- и азотсодержащих органических субстратов. Наноразмерный подход к решению данной проблемы позволяет устранить такие недостатки флуоресцентных красителей как окрашивание воды в местах водоотбора и необходимость добавления щелочи. Углеродные нанотрассеры отличаются низкой токсичностью по отношению к клеткам, а также высокой химической стойкостью, седиментационной и коагуляционной стабильностью. Высокий квантовый выход люминесценции углеродных точек (УТ) обеспечивает низкий предел обнаружения. Большой Стоксов сдвиг, характерный для разрабатываемых нанотрассеров, позволяет регистрировать люминесцентный отклик в более красной, чем классические флуоресцентные красители области электромагнитного спектра. Возможное наличие эмиссионных полос, например, флуоресцеина, сохранившегося от предыдущих исследований, либо всевозможных сопряженных органических соединений, имеющих на ОПО в области шурфования, не окажет мешающего воздействия на полосы УТ. Таким образом, разрабатываемые нанотрассеры обладают уникальными фотофизическими параметрами, отличными от существующих аналогов, что делает возможным надежную регистрацию их полос вне зависимости от присутствия органических примесей и в случае высокой минерализации исследуемых водных проб.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Battaglia D. et al. Fluorescent tracer tests for detection of dam leakages: The case of the Bumbuna dam - Sierra Leone // *Engineering Geology*. 2016. Vol. 205. P. 30–39.
- [2] Sabatini D.A., Austin T.A. Characteristics of Rhodamine WT and Fluorescein as Adsorbing Ground-Water Tracers // *Ground Water*. 1991. Vol. 29, № 3. P. 341–349.
- [3] Shi X. et al. Far-Red to Near-Infrared Carbon Dots: Preparation and Applications in Biotechnology // *Small*. 2019. Vol. 15, № 48. P. 1901507.

РАЗРАБОТКА КОНТРАСТНОГО АГЕНТА ДЛЯ МАГНИТО-РЕЗОНАНСНОЙ ТОМОГРАФИИ (МРТ) НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ГАДОЛИНИЯ(III)

А.С. Евдокимов, Р.Р. Заиров

ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»
e-mail: **artem090972@gmail.com**

Магниторезонансная томография является высокочувствительным неинвазивным методом диагностики заболеваний, получившим широкое распространение в современной медицине. Использование МРТ позволило изучить особенности строения человеческого организма в мельчайших деталях, а также регистрировать и визуализировать различия между опухолевыми и здоровыми тканями и органами. Использование магнитных контрастных агентов позволило существенно усилить контраст между больной и здоровой тканью, тем самым предопределив качественный скачок в развитии метода МРТ. Развитие метода МРТ как технологии ранней, чувствительной и специфической диагностики онкологических заболеваний и создание нового поколения МРТ КА [1] является первостепенной задачей исследователей в области медицины, биологии и химии.

В рамках проекта будут получены комплексы гадолиния(III) с каликсареновыми лигандами различной структуры (ди- и тетра-дикетоны) [2], методами спектрофотометрии и люминесцентной спектроскопии (для тербиевых аналогов) будет изучено комплексообразование в данных системах и определена стехиометрия образуемых комплексов по методу Жоба. По авторской методике полученных комплексные соединения гадолиния(III) будут переведены в состав гидрофильных коллоидных частиц. Будут изучены коллоидные характеристики (гидродинамический диаметр и электрокинетический потенциал) полученных частиц, а также их магнитно-релаксометрические параметры. Также будет оценена цитотоксичность полученных наночастиц по отношению к некоторым линиям нормальных (лимфоциты периферической крови человека, клетками печени Chang Liver) и опухолевых (HeLa, клетками карциномы гортани человека (Hep-2)) клеток.

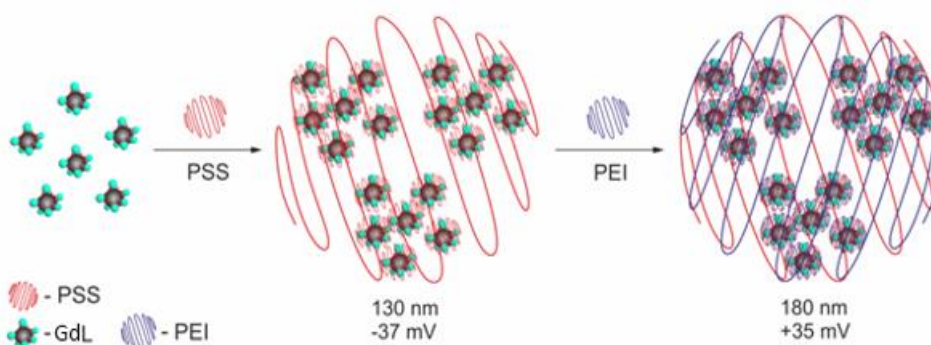


Рисунок: схема синтеза полиэлектролитных наночастиц на основе гадолиниевых комплексов

Как уже было сказано, использование парамагнитных зондов - контрастных агентов (КА) позволяет существенно усилить контраст между опухолевой и нормальной тканью, что обеспечивает качественно новый уровень диагностики раковых заболеваний, в том числе и на ранней стадии, методом магнито-резонансной томографии (МРТ). Нанопартикулярный подход к созданию нового поколения МРТ КА, используемый в данном проекте, позволит реализовать преимущества использования наночастиц, допированных ионами гадолиния, по отношению к молекулярным гадолинийсодержащим препаратам. Среди них низкая токсичность, возможность адресной доставки, то есть специфичность визуализации, а также превосходная (порой на один-два порядка более высокую) релаксивность. Таким образом, научно-технические результаты по данному проекту направлены на решение указанной проблемы и будут востребованы в современных медицинских и клиничко-диагностических центрах при проведении МРТ томографии с использованием высокоэффективных контрастных агентов.

Ранее в нашей исследовательской группе был разработан инновационный подход к получению парамагнитных коллоидов [3]. Он заключается в осаждении нерастворимого в воде комплекса гадолиния(III) из органического растворителя, смешивающегося с водой, какими могут быть низшие спирты, ацетон, ацетонитрил, диметилсульфоксид или диметилформамид в водный раствор полиэлектролита при интенсивном перемешивании. Наноразмерные частички осадка комплекса, склонные к агрегации, стабилизируются путем адсорбции полиэлектролита на их поверхности и приобретению поверхностного заряда наночастиц. В результате этого увеличивается число гадолиниевых центров в ядре наночастицы доступных к обмену молекулами воды на его поверхности, что приводит к усовершенствованию магнито-релаксационных параметров наночастиц по сравнению с литературными аналогами. Кроме того, предложенная стратегия синтеза позволяет расширить круг комплексных соединений лантаноидов(III), используемых для решения актуальных задач биоанализа и биомедицины в составе гидрофильных коллоидов. Простота и универсальность синтетического подхода позво-

ляют получить устойчивые функциональные коллоиды на основе как люминесцентных, так и парамагнитных комплексов нерастворимых в воде. С использованием указанного подхода впервые будут получены коллоидные частицы на основе хелатных комплексов гадолиния(III) с новыми каликсареновыми лигандами и исследованы их магнитно-релаксационные характеристики в водных растворах и плазме крови человека. По результатам проекта впервые планируется апробация на крысах при помощи медицинских томографов по результатам чего будет проведено сравнение с коммерчески доступными МРТ КА (Magnevist, Omniscan и др.).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] R. Zairov et al. / High performance magneto-fluorescent nanoparticles assembled from ter-bium and gadolinium 1,3-diketones // *Scientific Reports*, 2017, 7, Art. num. 40486.
- [2] S.V. Fedorenko et al. / Tuning the non-covalent confinement of Gd(III) complexes in silica nanoparticles for high T1-weighted MR imaging capability // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2017, 149, pp. 243-249
- [3] Fedorenko S. / One-pot embedding of iron oxides and Gd(III) complexes into silica nano-particles—Morphology and aggregation effects on MRI dual contrasting ability // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, V. 559, 2018, pp. 60-67

РАЗРАБОТКА АНАЛОГА ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА НА ОСНОВЕ ГЕТЕРОСТРУКТУРЫ, СОСТОЯЩЕЙ ИЗ КРЕМНИЕВОЙ ПОДЛОЖКИ И СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА

Д.П. Павлов

*Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского ФИЦ
Казанский научный центр РАН (420029, г.Казань, ул.Сибирский тракт,
10/7 Литера А)*

e-mail: dmitry.p.pavlov@gmail.com

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящий момент каждый микропроцессор, выпускаемый промышленностью изготовлен по планарной технологии. Элементом сложной структуры процессора является полевой транзистор, а главной задачей проектирования микропроцессора является увеличение плотности расположения транзисторов, создаваемых на подложке. В полевых транзисторах напряжение на затворе изменяет толщину канала проводимости между стоком и истоком, тем самым изменяя проводимость транзистора.

Технология, предлагаемая нами, представляет собой устройство на основе гетероструктуры Si/BSTO, в которой существует возможность управления электрической проводимостью внешним электрическим полем, где сам канал проводимости является двухмерным (порядок толщины этой области единицы нм). Подобные гетероструктуры потенциально могут быть использованы в дальнейшем как основа для новой архитектуры микроэлектронных устройств.

2. ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ПОЛЯРИЗАЦИИ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИКА В ГЕТЕРОСТРУКТУРЕ BSTO/КРЕМНИЙ

Идея заключается в использовании полярных свойств сегнетоэлектрической пленки BSTO гетероструктуры Si/BSTO. Характерное свойство сегнетоэлектриков заключается в существовании у них спонтанной поляризации. Эпитаксиальное напыление тонкой пленки сегнетоэлектрика на кремниевой подложке создает гетероструктуру, в которой спонтанная поляризация пленки, будучи направленной перпендикулярно плоскости интерфейса экранирует тонкий (квази-двумерный) слой в области полупроводниковой подложки. В этом слое, в следствие экранирования, возникает область с повышенной концентрацией носителей тока высокой подвижности - электронов проводимости или дырок, а это аналогично легированию.

Направление вектора спонтанной поляризации сегнетоэлектрика может быть изменено внешним электрическим полем: если "положить" вектор поляризации в плоскости интерфейса, то экранирование слоя при интерфейсе не происходит и гетероструктура проявляет полупроводниковые свойства проводимости, то есть закрыта.

Если поляризовать сегнетоэлектрическую пленку так, что вектор поляризации находится перпендикулярно плоскости интерфейса - происходит описанный в предыдущем абзаце процесс - электронная система перестраивается и проявляет уже металлические свойства. Что особенно важно - в очень тонкой области (по оценкам, порядка единиц нм). Более того, изменяя направление поляризации в этом случае на 180 градусов, существует заманчивая возможность переключить тип проводимости - с электронного на дырочный или наоборот. В этом заключается главная научная новизна предлагаемой идеи.

Стоит также отметить, что идея создания двумерного проводящего слоя не нова, однако требования, которые авторы предъявляют к качеству интерфейса очень высоки и включают атомарную гладкость подложки и пленки. В нашем случае таких жестких требований нет.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] A.Ohtomo and H.Y.Hwang, Nature (London) 427, 423 (2004).
- [2] I.Bozovic, G.Logvenov, M.A.J.Verhoeven, P.Caputo, E.Goldobin, and M.R.Beasley, Phys. Rev. Lett. 93, 157002 (2004).
- [3] V.M.Mukhortov, Y.I.Golovko, G.N.Tolmachev, and A.N.Klevtzov, Ferroelectrics 247, 75 (2000)

РАЗРАБОТКА СПОСОБА И НОВЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЮСТИРОВОЧНЫХ ОБРАЗЦОВ СКАНИРУЮЩЕГО ЭЛЕКТРОННОГО МИКРОСКОПА

И.Ф. Тимербаев^{1*}, Н.М. Лядов², И.А. Файзрахманов²

¹*Казанский федеральный университет, 420008 Казань, Россия*

²*Казанский физико-технический институт им. Е.К. Завойского –
обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН, 420029
Казань, Россия*

*e-mail: ilfat300398@mail.ru

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, сканирующий электронный микроскоп (СЭМ) является важным исследовательским инструментом в различных областях науки и высокотехнологичного производства. К одной из важнейших особенностей СЭМ относится возможность локального элементного анализа от В до U с помощью энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (ЭДС) [1].

Разрешающая способность современных СЭМ составляет ~1 нм. Однако на практике обычно используется разрешение ~10 нм. Этого вполне достаточно для большинства задач, которые ставятся перед СЭМ. Для юстировки СЭМ необходимо использовать калибровочные тест образцы. С помощью таких образцов сводятся к минимуму различного рода aberrации (астигматизм, сферическая и хроматическая aberrации), и проводится калибровка масштабной шкалы микроскопа. Способы получения тестовых образцов для калибровки масштабной шкалы СЭМ являются коммерческой тайной и не раскрываются.

Тест объекты со структурными элементами больше 1 мкм, становятся неактуальными. В связи с этим, появляется необходимость в новых субмикронных тест образцах. Не секрет, что для этих целей необходимо использовать физические методы, которые позволят независимо определять размеры наноструктур, относительно которых будет проводиться калибровка масштабной шкалы СЭМ. К таким наноструктурам можно отнести химически чистые тонкие плёнки ферромагнитных материалов (ФМ), толщину которых легко определить относительно их намагниченности насыщения. Однако использование ФМ в качестве юстировочных образцов на практике не встречается. Кроме того, существует вероятность появления размерных эффектов, что может негатив-

но повлиять на определение размеров наноструктур независимыми физическими методами.

В данной работе предлагается новый подход к выбору материалов для настройки (юстировки) сканирующих электронных микроскопов и разработке способа их создания. В основе предлагаемого способа лежит чёткий алгоритм действий по синтезу химически чистых тонких плёнок ферромагнитных материалов (Fe, Ni), исследованию их структуры и магнитных свойств и измерению толщины полученных плёнок.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Осаждение тонких плёнок Fe и Ni проводилось с использованием оригинальной методики ионного распыления [2]. Данная методика позволяет получать более чистые плёнки, поскольку область формирования ионов и область осаждения плёнок разделены, по аналогии с ионным ускорителем. В качестве рабочего газа использовался химически чистый ксенон ($E=1$ кэВ). Осаждение плёнок проводилось в условиях высокого вакуума (10^{-2} Па). В качестве подложек использовался монокристаллический Si с ориентацией (111).

В качестве СЭМ использовался «Zeiss EVO 50 XVP» с элементным анализатором «Inca energy-350». Фазовый состав исследовался методом рентгеновской дифракции (ДРОН-7, излучение $\text{CuK}\alpha$ с бета-фильтром), в обычной и скользящей геометриях. Магнитные свойства исследовались на экспериментальном магнитометре [3] и на PPMS-9.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате осаждения, были получены тонкие плёнки Fe и Ni на подложках из Si (111). Согласно СЭМ исследованиям, толщина полученных плёнок Fe и Ni составила ~ 300 и ~ 400 нм соответственно. Толщина плёнок является однородной по всей площади образца.

На рис. 1 представлены данные рентгеноструктурного анализа (РСА). В случае с плёнкой Fe (рис. 1а), основной пик наблюдается от плоскости (110), а в плёнках Ni (рис. 1б) основной пик от плоскости (111). В соответствии с формулой Дебая-Шеррера, размер области когерентного рассеяния в плёнках Fe и Ni составляет $\sim 5 - 10$ нм. Таким образом, синтезируемые плёнки являются текстурированными и нанокристаллическими.

На рис. 2 представлены петли магнитного гистерезиса полученных плёнок в геометрии *in-plane*. Поскольку намагниченность насыщения есть магнитный момент единицы объёма, постольку толщину ФМ плёнки можно оценить исходя из следующего выражения:

$$d = \frac{\mu}{S \cdot M_s}, \quad (1)$$

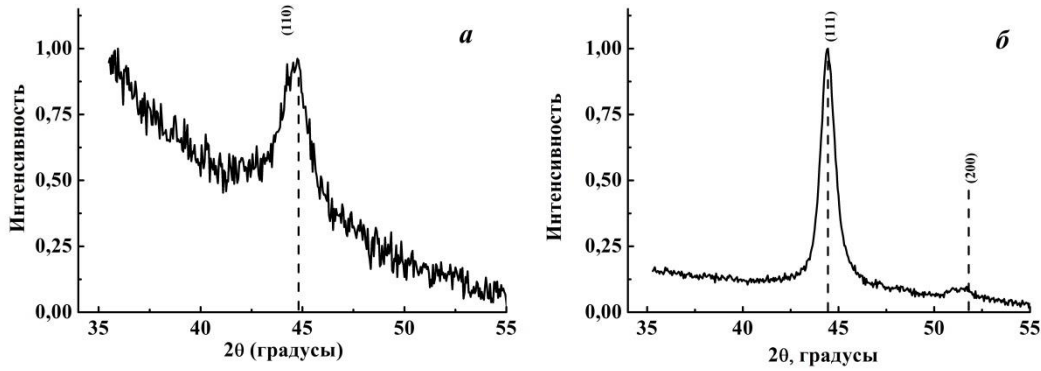


Рис. 1 Диффрактограмма плёнки Fe (а) и Ni (б).

где μ – магнитный момент, S – площадь образца и M_s – намагниченность насыщения (константа). Петли магнитного гистерезиса (рис. 2) имеют стандартный вид как для Fe, так и для Ni. Поэтому значение M_s железа ($M_{sFe}=1707$ Гс) и никеля ($M_{sNi}=485$ Гс) можно взять за константу, для оценки толщины плёнок [4].

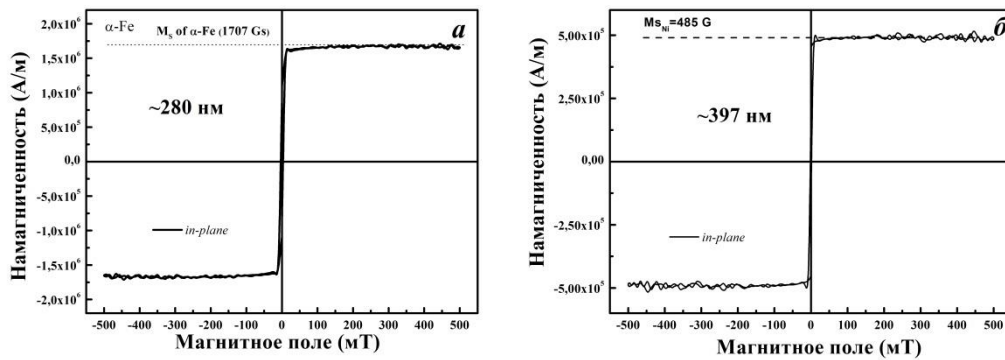


Рис. 2 Петли магнитного гистерезиса плёнок Fe (а) и Ni (б).

Толщина плёнки Fe (рис. 2а) составила ~ 280 нм, а толщина плёнки Ni ~ 397 нм. Видно, что толщина плёнки Fe на 20 нм меньше согласно данным магнитометрии, а толщина плёнки никеля примерно одинакова. Как показал элементный анализ, в плёнках Fe, содержание кислорода составляет ~ 8 ат.%, а содержание кислорода в плёнке Ni не обнаружено. Очевидно, что толщина плёнок Fe оценённая из данных магнитометрии и измеренная с помощью СЭМ меньше на 20 нм вследствие наличия немагнитной фазы оксида железа. Таким образом, можно заключить, что происходит частичное окисление плёнки Fe во время осаждения. Для того чтобы избавиться от частичного окисления, необходимо увеличить скорость осаждения плёнок.

3. ВЫВОДЫ

По результатам исследований, сделаны следующие выводы:

1. Полученные плёнки имеют однородное распределение по толщине, что очень важно для создания калибровочного тест объекта.
2. Окисление плёнки Fe во время осаждения, либо окисление после напуска атмосферы воздуха в вакуумную камеру приводит к появлению немагнитной фазы, и соответственно заниженному значению толщины.
3. Тонкие ФМ плёнки никеля в меньшей степени подвержены окислению, поэтому являются более предпочтительными для использования в качестве калибровочного тест объекта. Однако никель обладает меньшей M_s (485 Гс) по сравнению с железом ($M_s=1707$ Гс).

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Дж. Гоулдстейн, Д. Джой, Э. Лифшин, Д. Ньюбери, Ч. Фиори, П. Эчлин, Растровая электронная микроскопия и рентгеновский микроанализ. Книга 1, МИР, Москва (1984).
- [2] Н.М. Лядов, А.И. Гумаров, В.Ф. Валеев, В.И. Нуждин, В.А. Шустов, В.В. Базаров, И.А. Файзрахманов, ЖТФ. 86 (8) (2016) 118-124.
- [3] Б.В. Буров, Д.К. Нургалиев, П.Г. Ясонов. Коэрцитивный спектрометр. Авторское свидетельство СССР №851293. 1981.
- [4] Ch. Kittel, Introduction to Solid State Physics. University of California: Wiley, (1996).

Н5. Биотехнологии

ЭКЗОПОЛИСАХАРИДЫ ПЕКТОБАКТЕРИЙ: СТРУКТУРА И СВОЙСТВА

Б.Р. Исламов, В.Ю. Горшков

*КИББ – обособленное структурное подразделение ФИЦ КазНЦ РАН
(420111, Татарстан, г. Казань, Лобачевского, 2/31)
bah-islam80@mail.ru*

1. ВВЕДЕНИЕ

Многие фитопатогенные бактерии внутри растений образуют биопленкоподобные «многоклеточные» структуры, формирование которых обеспечивается внеклеточным матриксом, основным компонентом которого являются экзополисахариды или ЭПС [1,2,3,4]. ЭПС могут выступать в качестве загустителей, стабилизаторов и гелеобразователей, благодаря чему широко используются в пищевой, фармацевтической и биомедицинской промышленности. Такие физические свойства бактериальных экзополисахаридов объясняются, в частности, реологическими характеристиками [5].

При колонизации сосудов ксилемы растений, фитопатогенная бактерия *Pectobacterium atrosepticum* SCRI 1043 формируют агрегаты, а также особые биопленкоподобные «многоклеточные» структуры, названные бактериальными эмболами [6], которые необходимы для колонизации сосудов ксилемы. Однако ЭПС у этих бактерий до наших исследований не были идентифицированы.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ.

В ходе наших исследований были подобраны условия *in vitro*, при которых пектобактерии синтезируют ЭПС. Эти полимеры выделяли из бесклеточных супернатантов и фракционировали с помощью гелепроникающей хроматографии. Всего было выявлено две основные фракции полимеров с молекулярными массами от 100 до 800 кДа и менее 50 кДа. Мы акцентировали своё внимание на доминирующей фракции полимеров (100-800 кДа). С помощью ЯМР нами была определена молекулярную структуру ЭПС. Регулярное звено представляет собой пентасахарид (рисунок 1), остов которого состоит из остатков α -галактопиранозы, α -маннопиранозы и α -рамнопиранозы, соединенных 1,2 и 1,4 типами гликозидной связи, соответственно. К α -маннопиранозильному остатку в положении O-3 присоединена боковая

цепь, включающая α -галактопиранозу и 10-и-углеродный разветвленный моносахарид эрвиниозу, соединенные 1,3-связью (рисунок 2) [7].

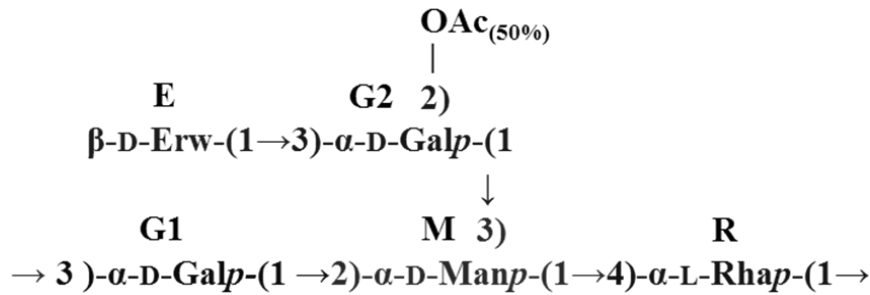


Рисунок 1. Структура регулярного звена ЭПС *Pba*.

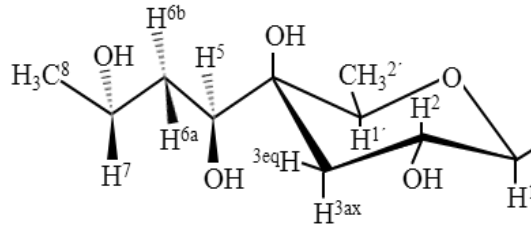


Рисунок 2. 10-и-углеродный моносахарид эрвиниоза.

На доминирующую фракцию полимеров (100-800 кДа) ЭПС пектобактерий были получены специфичные поликлональные антитела, с помощью которых было показано, что полимеры действительно входят в состав матрикса бактериальных эмболов. С помощью методов динамического рассеяния света и вискозиметрии, нами было показано, что ЭПС пектобактерий влияют на реологию водных растворов, увеличивая вязкость жидкостей.

В ходе наших исследований также было показано, что ЭПС пектобактерий выполняют протекторные функции, а именно, осуществляют детоксикацию АФК, которые активно образуются во время инфекции. Кроме того, было установлено, что ЭПС не принимают участия в качественном, вертикальном иммунитете: они и не индуцируют, и не блокируют эту форму иммунного ответа.

Таким образом, нами впервые были выявлены ЭПС пектобактерий, расшифрована их структура, доказано, что они синтезируются бактериями внутри инфицированных растений и, было установлено, что ЭПС, не обладая выраженными элиситорными свойствами, выполняют важные структурные и протекторные функции.

3. ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке государственного задания Федерального исследовательского центра "Казанский научный центр Российской академии наук".

ЛИТЕРАТУРА

- [1] G.C. Kubheka et al. *Colonization patterns of an mCherry-tagged Pectobacterium carotovorum subsp. brasiliense strain in potato plants*, *Phytopathology* (2013) 1268-1279.
- [2] D.H. Limoli, C. J. Jones, D. J Wozniak, *Bacterial extracellular polysaccharides in biofilm formation and function*, *Microbiol* (2015).
- [3] L.N. Moleleki et al. *A quorum sensing-defective mutant of Pectobacterium carotovorum ssp. brasiliense 1692 is attenuated in virulence and unable to occlude xylem tissue of susceptible potato plant stems*, *Molecular plant pathology* (2017) 32-44.
- [4] Vu B. et al. *Bacterial extracellular polysaccharides involved in biofilm formation*, *Molecules* (2009) 2535-2554.
- [5] A. Margaritis, G.W. Pace, *Microbial polysaccharides*. *Comprehens Biotechnol* (1985).
- [6] V. Gorshkov et al. *Dissociation of a population of Pectobacterium atrosepticum SCRI1043 in tobacco plants: formation of bacterial emboli and dormant cells*, *Protoplasma* (2014) 499-510.
- [7] V. Gorshkov et al. *Pectobacterium atrosepticum exopolysaccharides: identification, molecular structure, formation under stress and in planta conditions*, *Glycobiology* (2017) 1016-1026.

ОЧИСТКА МЕЛАНИНА И ПЕРСПЕКТИВА ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ ДОСТУПНОГО БИОМАТЕРИАЛА

А.Е. Рассабина, О.П. Гурьянов, Ф.В. Минибаева

*Казанский институт биохимии и биофизики ФИЦ КазНЦ РАН
420111, Российская Федерация, г. Казань, ул. Лобачевского, 2/31, а/я
261*

AERassabina@yandex.ru

В настоящее время с развитием биоинженерии все больше растет интерес к природным биоматериалам. Создание и конструирование на их основе полупроводников, биосенсоров и фотопротекторов требует получения и изучения новых веществ со стабильными биохимическими и механическими свойствами. Таким биоматериалом может служить темный пигмент меланин. Меланин представляет собой высокополимерный пигмент, содержащий фенольные и индольные группы. Меланин придает черную, коричневую, красную или рыжую окраску различным живым организмам, включая человека. В зависимости от наличия тех или иных промежуточных метаболитов, различают следующие основные типы меланинов: эумеланин, феомеланин, 1,8-дигидроксинафталин (DHN)-меланин, алломеланин, нейромеланин, пиомеланин, сепия меланин [1,2]. Данный полимер имеет противоречивую нерегулярную молекулярную структуру, зависящую от условий полимеризации, и поэтому способен к модификации [3]. Меланин поглощает свет в широком диапазоне спектра, проявляет антиоксидантную, антибактериальную, сорбционную и фотопротекторную активность. Этот пигмент встречается в различных живых организмах, однако выделение меланина из таллома лишайника является перспективным направлением.

Протекторные свойства меланинов, особенно при действии на организмы света в УФ диапазоне и света высокой интенсивности, вызывают большой интерес исследователей к структуре этих полимеров [4]. В настоящее время появляется информация о защитной роли меланинов в талломах лишайников при световом стрессе. Кроме того, меланины лишайников могут образовывать комплексы с различными металлами и полимерами, например, хитином, который является компонентом клеточной стенки микобионта [4,5].

Меланины являются активными акцепторами и донорами электронов и обладают антиоксидантной активностью. Методом ИК-спектроскопии нами было установлено, что меланин, выделенный из лишайника *Pseudevernia furfuracea* (Псевдеверния зернистая) имеет характерные полосы в области 2610-3000 см⁻¹, что свидетельствует о наличии эумеланина (Рис.1).

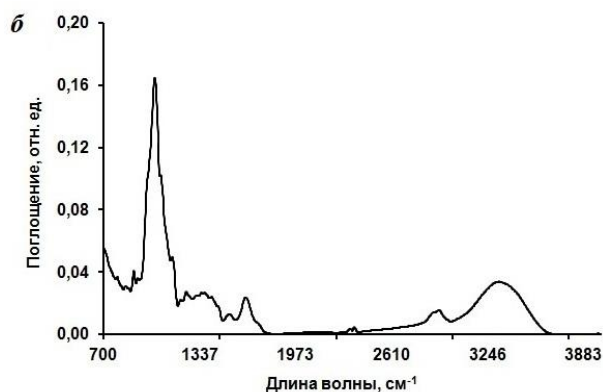


Рис.1. ИК-спектр меланина, выделенного из лишайника *P. furfuracea*

Известно, что меланины могут легко связывать потенциально токсичные металлы в лишайниках, благодаря наличию карбоксильных и гидроксильных функциональных групп [6]. Данная особенность делает лишайники индикаторами загрязнения окружающей среды, а меланин-универсальным сорбентом.

Обнаруженные нами свойства меланинов лишайников указывают на возможность их использования для создания наночастиц с целью дальнейшего применения в области биоинженерии, оптоэлектронных технологий, медицины. Меланины проявляют широкий спектр активности, и поэтому могут найти применение в медицине, в сельском хозяйстве, в пищевой и химической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] F. Solano, *New Journal of Science*, Spain (2014).
- [2] Y. Liu, J.D. Simon, *Pigment Cell Research*, USA (2003).
- [3] L. Huang, M. Liu, H. Huang, Y. Wen, X. Zhang, Y. Wei, *Biomacromolecules*, (2018).
- [4] G.F. Grossi, M. Durante, G. Gvalanella, M. Pugliese, I. Mosse, *Radiat Environ Biophys*, (1998).
- [5] А.Е. Рассабина, О.П. Гурьянов, Р.П. Бекетт, Ф.В. Минибаева, *Биохимия*, Россия (2020).
- [6] В.П. Курченко, И.А. Багманян, В.Е. Мямин, О.И. Бородин, Ю.Г. Гигиняк, *Труды БГУ*, Беларусь (2016).