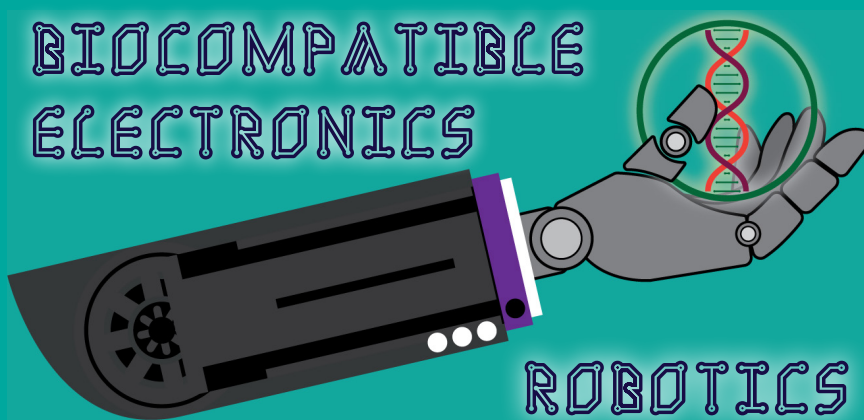


III Всероссийская школа-
конференция с международным
участием по биосовместимой
электронике и робототехнике

Книга тезисов



16-20 июня, 2024

Петрозаводск, Россия

Отель Фрегат

<https://biocer.ru/2024-page/>

III Всероссийская школа-конференция с международным участием по биосовместимой электронике и робототехнике – 2024

Организаторы

Министерство Науки и Образования Российской Федерации

Российский Научный Фонд (РНФ)

Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова
Российской Академии Наук (ИСПМ РАН)

Институт ЭлементоОрганических Соединений им. А.Н. Несмеянова
Российской Академии Наук (ИНЕОС РАН)

ООО “МЕСОЛ”

Тематики школы-конференции

- 1) Биосовместимые/биodeградируемые материалы для ортопедии, хирургии и протезирования**
- 2) Функциональные материалы для протезирования/восстановления функций глаза**
- 3) Полимеры и композиты для актюаторов и сенсоров (искусственная мышца, искусственная кожа), в т.ч. с функциями самозалечивания**
- 4) Биосовместимые электронные устройства для диагностики и лечения различных заболеваний человека и животных**
- 5) Электронные устройства для протезирования и/или создания искусственных органов обоняния (электронный нос, электронный язык)**
- 6) Подходы к развитию искусственного интеллекта, нейросетей, анализу больших данных, машинному обучению для использования в робототехнике и биоэлектронике**

Председатель школы-конференции

д.х.н. член-корр. РАН Сергей Анатольевич Пономаренко (Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова Российской Академии Наук, Россия)

Программный комитет

д.х.н. член-корр. РАН Сергей Анатольевич Пономаренко (Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова Российской Академии Наук, Россия)

д.х.н. академик РАН Азиз Мансурович Музафаров (Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской Академии Наук, Россия)

д.х.н. член-корр. РАН Сергей Николаевич Чвалун (НИЦ "Курчатовский Институт", Россия)

д.ф.-м.н. Елена Юльевна Крамаренко (Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Россия)

к.х.н. Александра Александровна Калинина (Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова Российской Академии Наук, Россия)

Организационный комитет

д.х.н. Елена Валериевна Агина – *Председатель*

к.х.н. Виктория Петровна Гайдаржи – *ученый секретарь*

к.х.н. Аскольд Альбертович Труль

Алина Гайфетдиновна Хмельницкая

Ярослава Олеговна Титова

Книга тезисов. III Всероссийская школа-конференция с международным участием по биосовместимой электронике и робототехнике – 2024 // Институт Синтетических Полимерных Материалов им.Н.С.Ениколопова РАН. - Москва, 2024. - 63 страницы.
ISBN 978-5-6043936-5-9.

ISBN 978-5-6043936-5-9



Программа

Воскресение, 16^е июня

08:00 – 10:00	Прибытие на вокзал Петрозаводска/Свободное время
10:00 – 12:15	Обзорная экскурсия по Петрозаводску
12:15 – 14:00	Заселение в гостиницу/Свободное время
14:00 – 14:15	<u>Открытие Школы-конференции</u>
14:15 – 15:30	<u>Вводная лекция.</u> Gagik Ghazaryan. A Close Look at Dielectric Elastomer Actuators
15:30 – 22:00	Свободное время

Понедельник, 17^е июня

	Председатель сессии: <i>Елена Агина</i>
10:00 – 10:45	<u>Л-1.</u> Музафаров А.М. Особенности Организации Научных Исследований в Институтах РАН на Современном Этапе
10:45 – 11:30	<u>Л-2.</u> Елена Крамаренко. Функциональные Полимерные Композиты для Мягкой Робототехники
11:30 – 12:15	<u>Л-3.</u> Алексей Максимкин. Электроактивные и Пневматические Полимерные Актуаторы
12:15 – 12:35	<u>У-1.</u> Игорь Безсуднов. Циклические Испытания Термомеханических Мышц, Способ Определения Количества Циклов Актюации
12:35 – 12:55	<u>У-2.</u> Артем Вдовиченко. Электропроводящие Полимерные Композиты на Основе Ацетата Целлюлозы
12:55 – 13:05	<u>У-3.</u> Алина Хмельницкая. ПДМС/MQ Композиты и Актуаторы на их Основе
13:05 – 13:15	<u>У-4.</u> Диана Борисова. Использование Силиконовых ПАВ в Микроэлектронике
13:15 – 13:25	<u>У-5.</u> Елена Клеймюк. Изучение Термических и Диэлектрических Свойств Привитых Сополимеров на Основе Поливинилиденфторида с Привитыми Цепями Полиэтилметакрилата и Полиакрилонитрила, а Также Пленок на их Основе
13:25 – 14:00	Стендовые доклады
14:00 – 15:00	<u>Обед</u>
15:00 – 17:00	Круглый стол по тематике дня

Вторник, 18^е июня

	Председатель сессии: <i>Валерий Кривецкий</i>
10:00 – 10:45	Л-4. <i>Мария Калинина.</i> Самосборка Ультратонких Гибридных Материалов для Органической Электроники
10:45 – 11:30	Л-5. <i>Сергей Пономаренко.</i> ПЭДОТ:ПСС для Органической Биоэлектроники
11:30 – 11:50	У-6. <i>Олег Борщев.</i> Новые Органические Люминофоры на Основе 2,1,3-Бензотиадиазола для Органической Электроники и Фотоники
11:50 – 12:10	У-7. <i>Виктория Гайдаржи.</i> Влияние Полимерных Диэлектриков на Электрические и Сенсорные Свойства Печатных Органических Полевых Транзисторов
12:10 – 12:30	У-8. <i>Полина Шапошник.</i> Стабильные Органические Полупроводниковые Материалы на Основе Бензотиенобензотиофена для Применения в Электролитических Полевых Транзисторах
12:30 – 12:50	У-9. <i>Ирина Гудкова.</i> Особенности Реакции Восстановления Кето-Группы при Синтезе Алкилзамещенных Производных Бензотиено[3,2-b][1] Бензотиофена
12:50 – 13:00	У-10. <i>Ярослава Титова.</i> ОЭХТ на Основе PEDOT:PSS для Анализа Биологических Сред
13:00 – 13:10	У-11. <i>Екатерина Сорокина.</i> Синтез Кремнийорганических Сополимеров с Привитыми Биотин-Содержащими Фрагментами ВТВТ Для Применения в Качестве Биосенсоров
13:10 – 13:20	У-12. <i>Роман Поляков.</i> Новые Полимерные Материалы для Устройств Носимой Электроники
13:20 – 13:30	У-13. <i>Лев Левков.</i> Полимерные Полупроводники с Высокой Подвижностью Носителей Заряда для Органических Полевых Транзисторов
13:30 – 13:40	У-14. <i>Евгений Заборин.</i> Перспективные Полисилоксаны, Модифицированные Диалкилпроизводными ВТВТ для Устройств Органической Электроники
13:40 – 13:50	У-15. <i>Дмитрий Гайков.</i> Новый Подход к Получению Кремнийорганических Люминесцентных Фотоотверждаемых Пленок
13:50 – 14:00	У-16. <i>Елизавета Боброва.</i> Синтез и Свойства Новых Производных ВТВТ для Органической Электроники
14:00 – 15:00	Обед
15:00 – 17:30	Круглый стол по тематике дня

Среда, 19^е июня

	Председатель сессии: <i>Елена Крамаренко</i>
10:00 – 10:45	Л-6. <i>Елена Агина.</i> Возможности Дифференциальной Диагностики Социально Опасных Заболеваний Путем Анализа Выдыхаемого Воздуха с Использованием «Электронного Носа»
10:45 – 11:30	Л-7. <i>Елена Завьялова.</i> Перспективы Применения ДНК-аптамеров в Качестве Узнающих Элементов Тест-Систем и Сенсоров
11:30 – 11:50	У-17. <i>Елена Пойманова.</i> Аптасенсоры на Основе Органических Полевых Транзисторов и Трековых Мембран
11:50 – 12:10	У-18. <i>Аскольд Труль.</i> Электронный Нос на Основе Силоксановых Димеров ВТВТ с Различной Длиной Концевой Алкильной Группы
12:10 – 12:30	У-19. <i>Валерий Кривецкий.</i> Оптимизация Температурной Модуляции и Алгоритмов Обработки Данных Полупроводниковых МЭМС Газовых Сенсоров для Повышения Селективности и Стабильности Определения Газов
12:30 – 12:40	У-20. <i>Антон Абрамов.</i> Портативный Электронный Нос на Основе Массива OFET и MOS Датчиков с Дифференциальной Газовой Ячейкой для Анализа Выдыхаемого Воздуха
12:40 – 12:50	У-21. <i>Елена Кретьова.</i> Биосенсор на Основе Органического Полевого Транзистора с Электролитическим Затвором с Использованием Аптамера I-Мотив
12:50 – 13:00	У-22. <i>Полина Караман.</i> Свойства Рецепторной Платформы на Основе Олигосахаридов в Составе Органических Полевых Транзисторов с Электролитическим Затвором
13:00 – 13:10	У-23. <i>Владислав Пойманов.</i> Статистический Подход к Обработке Данных Неинвазивных Исследований Социально-Значимых Заболеваний
13:10 – 13:20	У-24. <i>Дарья Стаканова.</i> Новые Люминофоры на Основе 2,1,3-Бензотиадиазола, Содержащие в Своем Составе Фенильные, Тиофеновые и Различные Концевые Заместители
13:20 – 13:30	У-25. <i>Богдан Кулешов.</i> Органический Полевой Транзистор с Электролитическим Затвором с Рецепторным Слоем на Основе Краун-Эфира
13:30 – 13:40	У-26. <i>Елизавета Папковская.</i> Синтез и Свойства Соединений, Поглощающих в БИК Спектральном Диапазоне, и их Применение в Органических Солнечных Батареях
13:40 – 13:50	У-27. <i>Валерий Постников.</i> Сольватокристаллы на Основе Линейных Тиофен-Фенил-Бензотиадиазолов
13:50 – 14:00	У-28. <i>Ирина Чуйко.</i> Сопряженные Полимеры на Основе Трифениламина с Различными Боковыми Электроноакцепторными Группами
14:00 – 15:00	Обед
15:00 – 17:00	Круглый стол по тематике дня

Четверг, 20^е июня

	Председатель сессии: <i>Сергей Пономаренко</i>
10:00 – 10:45	Л-8. <i>Юрий Лупоносков.</i> Органические Сопряженные Молекулы Донорно-Акцепторного Типа для Биомедицины
10:45 – 11:30	Л-9. <i>Никита Седуш.</i> Биodeградируемые Полимеры и Олигомеры для Технологий Медицинской 3D-Печати
11:30 – 12:15	Л-10. <i>Андрей Сосорев.</i> Синие Органические Светодиоды – Достижения, Проблемы и Перспективы
11:30 – 12:15	У-29. <i>Мухамед Хавпачев.</i> Крейзинг как Эффективный Метод Получения Смесей из Гидрофобного Полилактида и Гидрофильных Биосовместимых Полимеров
11:30 – 12:15	У-30. <i>Дмитрий Балакирев.</i> Влияние Светоконвертирующих Фотолюминесцентных Укрывных Материалов на Рост и Продуктивность Растений Салата, Капусты Белокочанной и Горчицы Сарептской
11:30 – 12:15	У-31. <i>Иван Дядищев.</i> Синтез и Свойства Нефуллереновых Акцепторов на Основе Конденсированных Тиенопирролоиндолов и Неконденсированных Олиготиофенов для Органических Солнечных Батарей
12:15 – 12:35	У-32. <i>Юлия Исаева.</i> Наночастицы на Основе Органических Сопряженных Донорно-Акцепторных Материалов для Биомедицинских Приложений
13:15 – 14:00	Круглый стол по тематике дня
14:00 – 14:30	Заккрытие школы-конференции.
14:30 – 17:00	Обед. Выселение из отеля.

Стендовые доклады

Понедельник, 17^е июня

Анна Кешик	П1	Создание ОПТЭЗ-Сенсора для Определения Катионов Тяжёлых Металлов
Дарья Кошкина	П2	Новые Подходы к Определению Массовых Долей Алюминия, Фосфора, Кремния в Ферросплавах Методом АЭС-ИСП
Данила Красников	П3	Разработка Методов Коррекции Базовой Линии для Повышения Достоверности Расчётов Сенсорных Свойств Органических Полевых Транзисторов с Различными Полимерными Диэлектриками
Дарьяна Кубинская	П4	Совместимые Электроды на Основе Полидиметилсилоксана и Углеродных Наполнителей
Богдана Малык	П5	Крейзинг Волокон и Пленок Полилактида в Растворах Биосовместимых Полимеров
Татьяна Попырина	П6	Твердофазный Синтез Производных Хитозана и Галловой Кислоты

Пленарные лекции

A Close Look at Dielectric Elastomer Actuators

G. Ghazaryan^{1}, A.G. Khmel'nitskaia¹, A.A. Kalinina¹, S.A. Ponomarenko¹*

¹Enikolopov Institute of Synthetic Polymer Materials RAS

*e-mail: gagik@ispm.ru

Artificial muscles are soft actuators capable of generating force and shape change in response to external stimuli, such as pH, temperature, humidity, and electric and magnetic fields. The force and strain generated by most soft actuators are too small to be used as artificial muscles. The most promising technology closely emulating natural muscles is dielectric elastomer actuators (DEA). They are soft capacitors that deform when electrically charged and recover the initial shape when discharged due to the elastic restoring forces. In addition to general requirements – reliability, compactness, durability, adaptability, etc. – the DEAs should be operable at low voltages. However, existing DEAs do not meet the safety standard for such applications because of the high driven voltages.

Pelrine's model suggests two ways to achieve high thickness strain (s_z) at low voltages (V): increase the ratio between the relative dielectric constant (ϵ) and the Young's modulus (Y), and decrease the DE film thickness (z):

$$s_z = -\epsilon_0 \frac{\epsilon}{Y} \left(\frac{V}{z}\right)^2 \quad (1)$$

where ϵ_0 is the free-space permittivity ($8.85 \times 10^{-12} \text{ F m}^{-1}$) in Eq. 1.

Here I will discuss the classes of commonly used DE materials, and highlight the main approaches to achieve materials with favorable ϵ/Y ratios. An example of the DE material classes with their electro-mechanical characteristics is presented in Fig 1. The trade-off lines correspond to various ϵ/Y ratios.

I will, also, briefly discuss the carbon nanotube (CNT) thin film deposition technique (40–50 nm thick) on DE membranes.

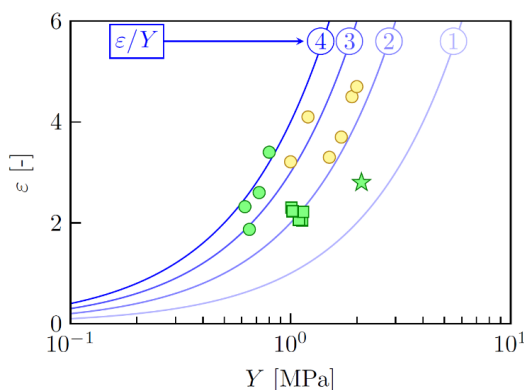


Fig. 1. An Ashby plot of dielectric constant (ϵ) vs Young's modulus (Y) of some DE materials: siloxanes (green) and acrylates (yellow).

This work was supported by RSF (project № 19-73-30028-P).

Особенности Организации Научных Исследований в Институтах РАН на Современном Этапе

А.М. Музафаров^{1}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: aziz@ispm.ru

В докладе будут рассмотрены принципиальные отличия в организации научных исследований в странах западной цивилизационной платформы и советско-российской научной школы. Понятие фундаментальности, мотивация, координация больших и малых проектов и программ.

Организация публикационной активности. Прокрустово ложе количественных и качественных оценок публикационной активности. Статьи и патенты, существует ли золотое сечение? Что и как нужно докладывать на конференциях. Нужны новые формы обмена научной информацией.

Функциональные Полимерные Композиты для Мягкой Робототехники

Е.Ю. Крамаренко^{1, 2}*

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет

²Институт синтетических полимерных материалов РАН им. Н.С. Ениколопова
*e-mail: kram@polly.phys.msu.ru

В настоящее время большое внимание уделяется разработке мягких роботов, которые, в отличие от обычных жестких, изготавливаются из гибких материалов и обладают целым рядом преимуществ, в частности, в адаптации к сложной среде, выполнении автономных задач и имитации движений и функций биологических систем, что потенциально может быть использовано для создания более совместимых и безопасных устройств для медицины. Развитие данной области неразрывно связано с созданием новых материалов, которые не только дают возможность реализации сложных конфигураций мягких роботов с применением 3д-печати, но также и обеспечивают приведение их в действие и бесконтактную манипуляцию за счет внешних стимулов, таких как магнитные и электрические поля, свет, и др. В данном докладе основное внимание будет уделено направлениям развития магнитоактивных полимерных материалов, представляющих собой полимерные среды с диспергированными в них магнитными микрочастицами, а также методов придания им светочувствительных свойств. Будут обсуждаться возможности дизайна термоактивных полимерных матриц на основе полиуретанов и полидиметилсилоксанов, пригодных для использования в 3д-печати, а также методы программирования их свойств за счет создания анизотропии распределения магнитных частиц в полимерной матрице. Кроме того, в докладе будет приведен обзор методов управления движением мягких роботов на основе магнитоактивных полимерных композитов посредством конфигурирования внешних магнитных полей.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 23-43-00057).

Электроактивные и Пневматические Полимерные Актуаторы

А.В. Максимкин^{1}, Т. Дайлоб¹, П.В. Жемчугов¹, Д.Г. Ладохин¹, Е.С. Степичева¹,
Г. Савельев¹, А.В. Горина¹, Е.А. Юсуповская¹, Д.В. Тельшиев¹*

¹ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский
Университет)

*e-mail: maksimkin_a_v@staff.secnenov.ru

Для создания новых медицинских устройств требуется использование новых систем актуаторов, способных обеспечивать плавность движений (отсутствие инерционности), обладающих компактными размерами, бесшумностью работы, безопасностью использования по отношению к человеку и высоким КПД. В роли таких актуаторов лучше всего подходят полимерные бионические актуаторы, способные генерировать сложные движения, приближенные к движениям биологических мышц, под действием различных раздражителей (источников энергии). Если рассматривать использование таких полимерных актуаторов только для медицины, то их практические применения являются безграничными – это создание искусственных органов, мягких экзоскелетов, бионических протезов, роботов помощников для хирургов, различных реабилитационных устройств и т.д.

В работе рассмотрены две основные системы полимерных приводов на базе пневматических и электроактивных полимерных актуаторов. Пневматические актуаторы работают за счет энергии сжатого газа. Предложен собственный метод получения классических пневматических актуаторов МакКиббена, работающих в качестве линейных актуаторов, измерены функциональные свойства в зависимости от свойств матрицы эластомеров. Разработаны 3D модели дизайна бескаркасных пневмоактуаторов на эластомерной основе, описывающие отклик пневматических актуаторов на увеличение давления в системе. На сегодняшний день пневматические актуаторы являются наиболее безопасными по отношению их применения к человеку, что открывает большие перспективы для их использования уже сегодня. На основе пневматических бескаркасных актуаторов и актуаторов МакКиббена нашей командой были разработаны два прототипа мягких роботизированных перчаток для реабилитации пациентов с различными неврологическими заболеваниями, страдающими от потери двигательной функции одной или обеих рук. Мягкие роботизированные перчатки обеспечивают возможность сгибания/разгибания пальцев кистей рук в автоматическом режиме по заданной программе.

В базе электроактивных актуаторов приведены результаты исследований для ионно-полимерных актуаторов, актуаторов на основе эластомеров диэлектриков и электрогидравлических полимерных актуаторов. Рассмотрены принципы сборки таких актуаторов и их функциональные свойства, основные факторы и возможные пути их решения, ограничивающие сегодня использование таких систем в реальных устройствах. На базе электроактивных актуаторов рассмотрены реальные примеры создания таких устройств, как противопрележневые матрасы и перекачивающие мембраны.

Данная работы выполнена при поддержке передовой инженерной школы "Интеллектуальные системы тераностики" Институт бионических технологий и инжиниринга Сеченовский университет).

Самосборка Ультратонких Гибридных Материалов для Органической Электроники

А.И. Звягина¹, А.Е. Александров¹, А.Р. Тамеев¹, М.А. Калинина^{1*}

¹ Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН

*e-mail: kalinina@phyche.ac.ru

Ультратонкие гибридные материалы представляют собой интенсивно развивающийся класс наноструктур, сочетающих в себе преимущества органических соединений с их химическим и функциональным разнообразием с механической стабильностью, оптическими и электрофизическими свойствами неорганических веществ.¹⁻³ Взаимодействия между органическими и неорганическими компонентами, инициирующие процессы обмена зарядами и энергией в гибридных структурах, могут приводить к улучшению свойств гибридов относительно исходных компонентов или даже к появлению новых физико-химических эффектов в этих материалах [2, 3]. Гибридные нанопленки, способные преобразовывать свет в электрический сигнал, особенно полезны для нанoeлектроники, поскольку могут способствовать решению некоторых из наиболее сложных проблем в этой области, таких как высокая стоимость, низкая эффективность и/или фотостабильность солнечных элементов.

Самосборка на границах раздела фаз – эффективный инструмент для интеграции органических и неорганических соединений в гибридные наноструктуры. Межфазная граница сама по себе является удобной платформой для упорядочивания компонентов с желаемой молекулярной ориентацией в ультратонкие слои. Возможность управлять молекулярной упаковкой особенно важна для светопоглощающих нанопленок, содержащих ароматические хромофоры, которые демонстрируют сильную зависимость эффективности поглощения от их ориентации относительно падающего света. Поскольку межфазная самосборка протекает за счет взаимодействий компонентов на наномасштабе, этот вид структурирования также позволяет обеспечить эффективного переноса энергии/заряда в ультратонких гибридах. Еще одно важное преимущество самосборки на границах раздела фаз это возможность комбинировать компоненты с различной растворимостью и тем самым расширить разнообразие свойств, проявляемых получаемыми гибридами.

В докладе рассматриваются основные стратегии получения ультратонких гибридных материалов с полезными оптическими, электрическими и фотоэлектрическими свойствами с помощью эпитаксиальной и одностадийной самосборки на различных межфазных границах.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № (№ 23-73-00095).

¹ Zvyagina A.I., Alexandrov A.E., Averin A.A., Senchikhin I.N., Sokolov M.R., Ezhov A.A., Tameev A.R., Kalinina M.A. *Langmuir*. 2022, **21** (49), 15145-15155.

² Gusarova E. A., Zvyagina A.I., Alexandrov A.E., Averin A.A., Tameev A.R., Kalinina M.A. *NJC*. 2023, **47** (6), 2847-2857.

³ Gusarova E. A., Zvyagina A.I., Alexandrov A.E., Averin A.A., Kuzmina N. V., Shabatin A. V., Tameev A.R., Kalinina M.A. *Colloids Interface Sci. Commun.* 2022, **21** (49), 15145-15155.

ПЭДОТ:ПСС для Органической Биоэлектроники

С.А. Пономаренко^{1}*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской Академии Наук

*e-mail: ponomarenko@ispm.ru

Среди проводящих полимеров особое место занимает комплекс поли(3,4-этилендиокситиофена) с полистиролсульфокислотой (ПЭДОТ:ПСС, Рис. 1а) благодаря способности образовывать стабильные водные дисперсии, а также высокой стабильности получаемых из них тонких функциональных пленок и покрытий с регулируемой проводимостью и прозрачностью, которые находят применение в различных областях электроники.¹ В настоящее время ПЭДОТ:ПСС является одним из наиболее востребованных материалов в органической биоэлектронике благодаря своей биосовместимости и наличию как электронной, так и ионной проводимости.² Он также активно применяется в качестве электродов для печатных мкльтисенсоров на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором (ОПТЭЗ), являющихся одним из основных устройств органической биоэлектроники.³ Несмотря на разнообразие коммерчески доступных марок ПЭДОТ:ПСС для тех или иных применений, использование его в струйной печати ограничено из-за необходимости четкого контроля за размером частиц дисперсии (Рис. 1б), ее вязкости, поверхностного натяжения и других характеристик. При этом возможна доработка наиболее распространенных коммерческих марок ПЭДОТ:ПСС с целью оптимизации его характеристик для печати на струйном принтере и повышения адгезии к печатной поверхности.⁴ В докладе будут рассмотрены история разработки ПЭДОТ:ПСС, его основные характеристики и способы их регулирования, а также примеры использования в органической биоэлектронике.

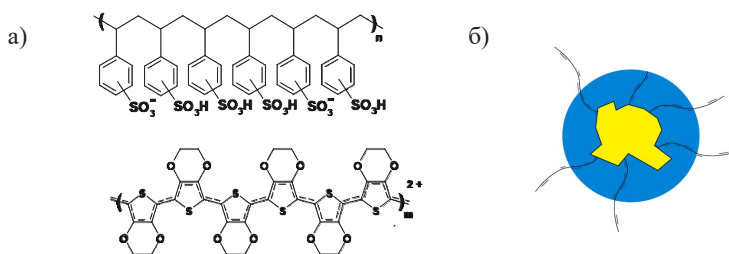


Рис. 1. Химическая формула ПЭДОТ:ПСС (а) и схема строения его наногеля (б).

Работа поддержана Российским научным фондом (проект № 19-73-30028).

¹ A. Elschner, S. Kirchmeyer, W. Lövenich, U. Merker, K. Reuter. PEDOT: Principles and Applications of an Intrinsically Conductive Polymer, Taylor & Francis, 2011, 355 p.

² Шапошник П.А., Запуниди С.А., Шестаков М.В., Агина Е.В., Пономаренко С.А., *Успехи химии*, 2020, **89**(12), 1483-1506

³ Кулешов Б.С., Завьялова Е.Г., Пойманова Е.Ю., Абрамов А.А., Пономаренко С.А., Агина Е.В., *Успехи химии*, 2024, **93**(4), RCR5116

⁴ Титова Я.О., Пойманова Е.Ю., Труль А.А., Агина Е.В., Пономаренко С.А., *Известия АН. Сер. Хим.*, 2023, **72**(5), 1130-1138

Возможности Дифференциальной Диагностики Социально Опасных Заболеваний Путем Анализа Выдыхаемого Воздуха с Использованием «Электронного Носа»

Е.В. Агина^{1}, А.А. Абрамов¹, А.А. Труль¹, Е.Ю. Пойманова¹, В.Д. Пойманов¹,
Г.А. Шипулин², С.В. Сидоренко³*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

²Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью ФМБА России

³Детский научно-клинический центр инфекционных болезней ФМБА России

*e-mail: agina@ispm.ru

В последние годы возрос интерес к неинвазивной диагностике широкого спектра заболеваний по составу выдыхаемого воздуха. Одной из целей такой диагностики является предварительная постановка дифференциального диагноза при госпитализации пациентов. К числу состояний, сложно диагностируемых при поступлении в стационар, входят такие социально опасные заболевания, как COVID-19, коклюш, туберкулез, которые могут маскироваться за другими пульмонологическими заболеваниями, в частности, пневмониями, бронхитами и др. Особое внимание мировых исследователей привлечено к диагностике COVID-19¹, однако резкий рост заболеваемости коклюшем и туберкулезом, наблюдаемый в постпандемийный период, также требует пристального рассмотрения.

В докладе будут рассмотрены подходы к дифференциальной диагностике перечисленных заболеваний по составу выдыхаемого воздуха, в т.ч. на фоне отягощенного анамнеза. Будут представлены возможности и ограничения разработанного нами портативного устройства-газоанализатора «электронный нос». Будет показано влияние метода математической обработки данных выдохов на достоверность постановки диагноза на примере ОРВИ и пневмонии; обсуждены такие проблемы, как старение сенсоров, входящих в массив Электронного носа, а также дрейф базовой линии и способы его преодоления.

Будут продемонстрированы полученные результаты по диагностике COVID-19 с доказанной чувствительностью, близкой к 100% и специфичностью более 90% в случае пациентов с неотягощенным анамнезом и более 80% в случае пациентов с сопутствующими заболеваниями (астма, сахарный диабет, ХПН, ХСН и др.).

¹ Long GA, Xu Q, Sunkara J, Woodbury R, Brown K, Huang JJ, et al. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*. 2024, **116309**.

Перспективы Применения ДНК-Аптамеров в качестве Узнающих Элементов Тест-Систем и Сенсоров

Е.Г. Завьялова^{1,2,}, А.К. Кешек^{1,2}, Е.А. Кретова², П.А. Шапошник^{1,2}, Е.Ю. Пойманова², Е.В. Азина²*

¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет;

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН
*e-mail: zlenka2006@gmail.com

Аптамеры – узнающие элементы на основе фрагментов нуклеиновых кислот, которые образуют уникальную пространственную структуру и специфически связывают аналиты. Константы диссоциации комплексов аптамер-белок сопоставимы с константами комплексов антитело-антиген. Аптамеры можно разработать к токсичным и неиммуногенным аналитам, а синтез аптамеров проводят с помощью автоматического синтезатора с возможностью сайт-специфической модификации последовательностей. Эти обстоятельства делают аптамеры на основе нуклеиновых кислот привлекательными узнающими элементами, которые могут быть применены для создания биосенсоров.

Несколько ДНК-аптамеров были изучены в качестве узнающих элементов для органических полевых транзисторов с электролитическим затвором (ОПТЭЗ, EGOFET). Аптамер RHA0385 имеет структуру G-квадруплекса и связывает рекомбинантный белок гемагглютинин, а также вирионы вируса гриппа А при рН от 6 до 8. Аптамер BV42 имеет структуру i-мотива (Рис.1) и связывает рекомбинантный белок гемагглютинин, а также вирионы вируса гриппа А при рН от 6, не работая при рН 8. рН-зависимость связана с рН-зависимостью структуры аптамера: i-мотив разрушается при рН 8. Интересно, что при рН 8 BV42 способен связывать катионы серебра, образуя металлоорганический комплекс цитозин- Ag^+ -цитозин. Более того, рН-зависимую сборку структуры i-мотива можно использовать для определения рН среды. Также были исследованы G-квадруплексе-содержащие аптамеры к катионам Pb^{2+} и аптамеры, образующие металлоорганический комплекс тимин- Hg^{2+} -тимин. Для всех перечисленных комплексов удалось зафиксировать специфический отклик устройств ОПТЭЗ, модифицированных аптамерами, а также получить зависимости откликов от концентрации аналитов. Таким образом, продемонстрирована возможность определения эффектов связывания аналита и/или изменения конформации ДНК-аптамеров с помощью ОПТЭЗ.

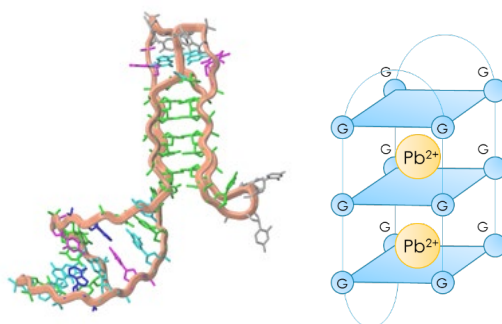


Рис. 1. Примеры структур ДНК-аптамеров к гемагглютинину вируса гриппа А (слева) и катионам свинца (II) (справа).

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 23-73-00103).

Органические Сопряженные Молекулы Донорно-Акцепторного Типа для Биомедицины

Ю.Н. Лупоносов^{1}*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук

*e-mail: luponosov@ispm.ru

Органические сопряженные материалы, благодаря близкому элементному содержанию к клеточному составу человека могут обладать высокой биосовместимостью. Широкие возможности органической химии позволяют не только тонко настраивать комплекс их физико-химических свойств, но также функциональность, липофильность, получать водорастворимые соединения или соединения, способные образовывать стабильные дисперсии наночастиц. Вместе со способностью сопряжённых молекул поглощать и излучать свет, выступать в качестве сенсibilизаторов молекул кислорода, а также проводить заряды, это открывает широкие возможности их использования в целом ряде применений в биологии и медицине.^{1,2} Среди различных классов органических сопряженных соединений особый интерес представляют соединения донорно-акцепторного типа, поскольку они обладают настраиваемой и, как правило, довольно узкой оптической щелью. Последнее позволяет получать соединения с поглощением и излучением света в красном и ближнем инфракрасном спектральных диапазонах, т.е. биологически полупрозрачных спектральных диапазонах. Такие материалы и подход активно исследуются для диагностики и терапии различных заболеваний. Органические полупроводники, благодаря настройки их спектральных откликов также могут быть использованы как искусственные фоторецепторы сетчатки глаза человека.²⁻⁴ Возможность печати тонких слоев органических полупроводниковых материалов, в том числе на гибких подложках, позволяет создавать сложные полноцветные протезы сетчатки глаза человека.³ В докладе будет представлен обзор работ и современных подходов, направленных на разработку функциональных материалов на основе донорно-акцепторных органических соединений для медицины и биоэлектроники.

Работа поддержана Российским научным фондом (номер гранта 19-73-30028-П).

¹ L. Lia, Y. Chen, W. Chen, Y. Tan, H. Chen, J. Yin, *Chinese Chemical Letters*, 2019, **30**, 1689

² Maya-Vetencourt, J.F., Manfredi, G., Mete, M. et al. *Nat. Nanotechnol.*, 2020, **15**, 698.

³ M. Skhunov, A.N. Solodukhin, P. Giannakou, L. Askew, Yu. N. Luponosov, D.O. Balakirev, N.K. Kalinichenko, I. P. Marko, S.J. Sweeney, S.A. Ponomarenko, *J. Mater. Chem. C*, 2021, **9**, 5858.

⁴ A.L. Mannanov, D.O. Balakirev, E.D. Papkovskaya, A.N. Solodukhin, Yu.N. Luponosov, D.Yu. Paraschuk, S.A. Ponomarenko, *Molecules*, 2023, **28**(1), 368

Биодеградируемые Полимеры и Олигомеры для Технологий Медицинской 3D-Печати

Н.Г. Седуш^{1,2}, А.Е. Крупнин², М.М. Александян³, С.Н. Чвалун^{1,2}*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

²Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

³Российский научный центр хирургии им. академика Б.В. Петровского

*e-mail: nsedush@ispm.ru

Биодеградируемые биосовместимые полимеры на основе циклических сложных эфиров активно применяются для создания изделий медицинского назначения: матриц и скаффолдов для тканевой инженерии, хирургических нитей, сосудистых стентов, а также широкого спектра изделий для травматологии, ортопедии и челюстно-лицевой хирургии. В последнее время для изготовления таких имплантируемых изделий все чаще используются аддитивные технологии. 3D-печать обеспечивает возможность оперативного изготовления имплантатов сложной конструкции, в том числе персонализированных, т.е. спроектированных для конкретного пациента с учетом особенностей его анатомии и патологии. Однако крайне ограниченный выбор доступных для 3D-печати биодеградируемых материалов медицинской чистоты значительно тормозит развитие этого направления. Поэтому актуальной задачей является создание материалов в различных формах (прутки, порошки, УФ-отверждаемые композиции) для соответствующих технологий 3D-печати. При этом для регулирования физико-химических характеристик и сроков деградации конечных изделий важно создать материалы не только разной формы, но и разного химического состава. В докладе будут представлены разработанные подходы для получения биоразлагаемых материалов на основе олигомеров и полимеров лактида и ϵ -капролактона для технологий FDM, SLA, SLS-печати, а также биопечати. Будут представлены примеры применения созданных материалов в 3D-печати биодеградируемых скаффолдов, спинальных и сосудистых имплантатов.

Синие Органические Светодиоды – Достижения, Проблемы И Перспективы*А. Ю. Сосорев^{1*}*¹Институт синтетических полимерных материалов РАН*e-mail: sosorev@ispm.ru

Органические светодиоды сочетают высокую яркость и контрастность с относительной простотой производства и возможностью миниатюризации. В связи с этим, они являются основой современных средств визуализации информации, в том числе дисплеев и микродисплеев, без которых невозможно себе представить развитие цифровых технологий. В настоящий момент, в зелёных и красных коммерчески доступных органических светодиодах используются материалы второго (основанные на фосфоресцирующих металлоорганических комплексах) или третьего (основанные на люминофорах, проявляющих эффект термически активированной замедленной флуоресценции, TADF) поколения. Такие материалы позволяют достичь 100%-ной внутренней квантовой эффективности. Однако, для синих органических светодиодов проблема создания стабильных материалов второго или третьего поколения до сих пор не решена, вследствие чего в коммерческих образцах таких светодиодов используются материалы первого поколения, эффективность которых существенно ниже.

В настоящем докладе будет освещён прогресс в области создания синих органических светодиодов в мире в целом и в нашей лаборатории – в частности. Особое внимание будет уделено недавно появившимся материалам с узким спектром люминесценции (менее 25 нм), позволяющим получить высокую чистоту цвета. Будет проиллюстрировано, как многомасштабное компьютерное моделирование может помочь с эффективным выбором наиболее подходящих соединений среди практически неограниченного множества органических полупроводников, в частности, когда оно может предоставить только качественные, а когда – и количественные характеристики. Наконец, будут проанализированы причины, препятствующие достижению приемлемой для практического применения стабильности синих органических светодиодов второго и особенно третьего поколения, и намечены пути их устранения.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (Госзадание № FFSM-2022-0004)

Устные доклады

Циклические Испытания Термомеханических Мышц, Способ Определения Количества Циклов Актуации

И.В. Безсуднов^{1*}, А.Г. Хмельницкая¹, К.З. Мягова¹, А.А. Калинина¹, С.А. Пономаренко¹

¹ Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: bezsudnov_iv@ispm.ru

Испытывался вспененный силиконовый композит, матрица - коммерчески доступный двухкомпонентный полидиметилсилоксан Ecoflex 00-50, поры заполнены легко летучей жидкостью, такой композит впервые был описан в¹. Используемая жидкость, например, метанол, этанол и т.п., имеет невысокую температуру кипения (до 150 °С) и при нагреве композита претерпевает фазовый переход жидкость-газ, газ расширяясь увеличивает размер образца композита. Высокий коэффициент диффузии спиртов через силиконовую матрицу ограничивает использование композита на открытом воздухе.

Для определения возможного числа срабатываний при циклах нагрев-охлаждение был использован прибор PARUS (ИСПМ) в циклическом режиме. При подготовке образцов к испытаниям обязательно проводилась т.н. процедура восстановления описанная в².

Типичный вид зависимости деформация образца – время испытаний показана на Рис.1. Поскольку амплитуды расширения первых циклов нагрева линейно уменьшаются, а для последующих циклов они становятся близкими к нулю, зависимость позволяет определить количество допустимых циклов нагрева композита (актуации), используя экстраполяцию начального линейного участка до значения нулевой деформации (см. пунктирную линию на рис. 1). Для образца, представленного на рис. 1, общее количество циклов равно 8.

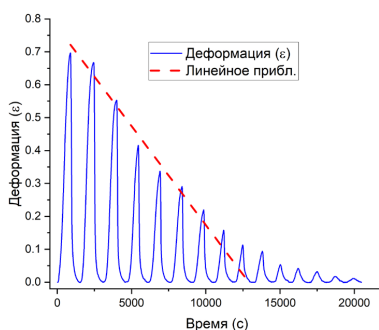


Рис. 1. Циклические испытания композита, рабочий растворитель – пропанол.

Были испытаны следующие жидкости (спирты): метанол, этанол, изопропанол, пропанол и бутанол. Количество циклов актуации составило 9, 5, 9, 8, 8, соответственно.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028-П).

¹ A.Miriyev, K.Stack, H.Lipson, *Nat. Commun.* **8** (2017)

² A.Miriyev, C.Trujillo, G.Caires, H.Lipson, *MRS Commun.*, doi:10.1557/mrc.2018.30

Электропроводящие Полимерные Композиты на Основе Ацетата Целлюлозы

Н.А. Шарикова¹, А.Ю. Вдовиченко^{1,2*}, Д.Ю. Стоярова¹, С.Н. Чвалун^{1,2}

¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

*e-mail: VdArtem@ispm.ru

Электропроводящие полимерные композиты - материалы, уже нашедшие применение в различных сферах. Развитие мягкой робототехники, возобновляемой энергетики и биомедицинских технологий требует создания новых электропроводящих материалов с уникальным сочетанием свойств. Это могут быть эластичность, легкость, биосовместимость и многие другие. В частности – для создания биотопливных элементов, имплантов и клеточных скаффолдов требуются гибкие биоинертные высокопористые электропроводящие материалы. Один из простых, дешевых и технологичных методов создания таких материалов – введение в полимерную матрицу углерода в различных модификациях, а придание им высокопористой структуры – путем лиофилизационной сушки полимерного раствора. Этот метод позволяет создавать материалы с высокой удельной поверхностью и различной структурой пор, в том числе ориентированных в одном направлении.

Целью данной работы было получение проводящих полимерных композитов на основе ацетата целлюлозы и углеродных наполнителей: теуглерода, терморасширенного графита и аминированного графена методом лиофилизации из раствора, а также исследование их механических и электрических свойств. Были синтезированы губчатые материалы на основе АЦ с различным содержанием наполнителя, исследованы их микроструктура, механические и электрические свойства. Материалы обладают ориентированной пористой структурой с характерным диаметром пор порядка десятка микрон и пористостью выше 95%. В зависимости от концентрации наполнителя проводимость может достигать 10^{-2} См/см, рассчитаны пороги перколяции для всех систем. Механические свойства позволяют использовать их в качестве электродов для топливных элементов или клеточных матриксов.

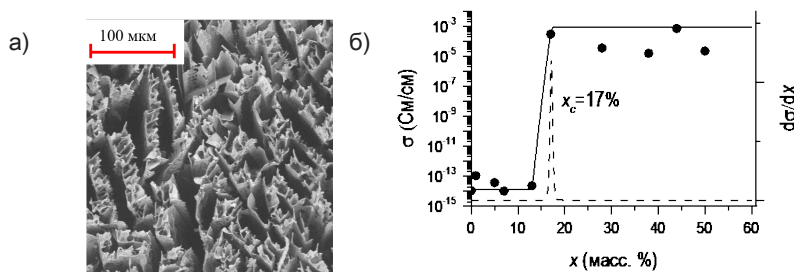


Рисунок 1. а) Электронная микрофотография образца композита с 13 масс.% теуглерода, б) зависимость проводимости композитов ацетат целлюлозы-теуглерод в зависимости от степени наполнения.

ПДМС/MQ Композиты и Актуаторы на их Основе

А.Г. Хмельницкая^{1}, Г.С. Казарян¹, А.А. Калинина¹, С.А. Пономаренко¹,
А.М. Музафаров¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: alina.khmelnitskaya@ispm.ru

В последние годы активно растет спрос на мягкие растяжимые датчики, используемые в носимой электронике и мягкой робототехнике.^{1,2} Среди таких материалов наибольший интерес представляют силиконовые эластомеры с высокой растяжимостью. Высокая растяжимость обеспечивает долговременную стабильность устройства и позволяет совершать большие деформации. Ранее было наглядно продемонстрировано, что эффективность работы ДЭА зависит от соотношения диэлектрической проницаемости эластомерного материала к модулю Юнга ϵ_r/Y .

В данной работе будут представлены результаты по созданию кругового диэлектрического эластомерного актуатора (ДЭА) (рис.1) на основе высокомолекулярного полидиметилсилоксана (ПДМС) и MQ-сополимеров. В качестве сравнения был получен аналогичный актуатор на основе коммерчески доступного силикона Elastosil 2030.

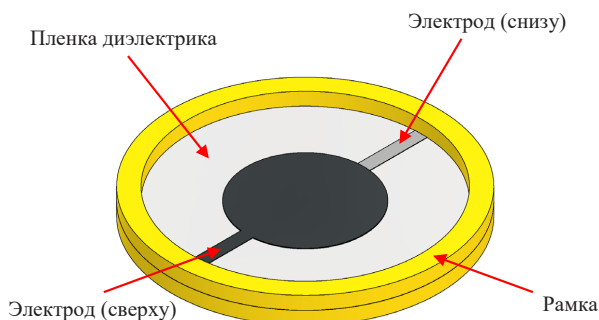


Рис. 1. Схематическое изображение кругового ДЭА

По результатам исследований продемонстрировали эффективность равноосного прерастяжения пленок диэлектрика. Показано, что устройства на основе молекулярных композитов демонстрируют лучшие значения параметра ϵ_r/Y по сравнению с коммерчески доступным силиконом (3.7 и 1.5, соответственно). Помимо этого, возможность модификации в широких пределах ПДМС/MQ композитов делает их перспективными кандидатами в качестве диэлектрического слоя для создания ДЭА.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028-П).

¹ Bezsudnov, I. V. E., Khmelnitskaia, A. G., Kalinina, A. A., Ponomarenko, S. A. *Uspehi himii*, 2023, **92**(2), 1-44.

² Hu, P., Madsen, J., Skov, A. L. *Nature communications*, 2022, **13**(1), 370.

Использование Силиконовых ПАВ в Микроэлектронике

Д.М. Борисова^{1}, А.А. Калинина¹, А.М. Музафаров^{1,2}*

¹ Институт синтетических полимерных материалов РАН

² Институт элементоорганических соединений РАН

*e-mail: borisova@ispm.ru

Кремнийорганические ПАВ (КО ПАВ) — это огромный класс элементоорганических соединений, которые имеют богатое и разнообразное применение, включая пеногасители, смазочные материалы, защитные покрытия и т.д. Постоянный интерес к этим материалам объясняется уникальным сочетанием их свойств, таких как химическая и физическая инертность, особую устойчивость к озону и коронному разряду, отличную пленкообразующую способность, хорошую термоокислительную и ультрафиолетовую (УФ) стабильность, высокую гибкость макромолекулярной цепи, низкие диэлектрические постоянные, поверхностную энергию и температуру перехода, проницаемость для различных газов и многие другие¹.

Амфифильные кремнийорганические ПАВ состоят из двух структурных блоков: гидрофобных полидиметилсилоксановых фрагментов и связанных с ними полярных групп. По эффективности они во многом превосходят обычные ПАВ из-за особенностей строения полисилоксановой цепи².

Целью данного доклада — анализ литературных данных, посвященных применению кремнийорганических олигомеров и полимеров в микроэлектронике, в органических полупроводниковых материалах, в элементах солнечных батарей.

Помимо химической модификации силиконов, для придания материалам определенных свойств, его поверхность может быть покрыта слоем кремнийорганических соединений³. Силанизация кремниевых подложек оксидным слоем активно изучается для применения в микроэлектронике. Самособирающиеся слои алкоксисиланов могут быть осаждены на кремниевую подложку для использования в качестве барьерных и адгезионных слоев в полупроводниковых устройствах⁴. Метод силилирования из сверхкритического CO₂ активно используется в первую очередь из-за возможности равномерного осаждения материала на подложки со сложной геометрией поверхности⁵. В литературе⁶ известно использование силоксанов, силесквиоксанов и силиконов в органических полупроводниковых материалах. Включение кремнийорганических групп в органические светоизлучающие материалы привело к значительным улучшениям, особенно для тех, которые имеют плохую термическую стабильность и высокие синглетные или триплетные энергетические уровни⁷.

В докладе будет показан актуальный литературный обзор по последним достижениям использования силоксановых ПАВ в микроэлектронных устройствах.

Данная работы выполнена при поддержке РФФИ (проект № 21-73-30030).

¹ Racles C. et al. *Reactive and Functional Polymers Volume One: Biopolymers, Polyesters, Polyurethanes, Resins and Silicones*. 2020, 235-291.

² Злотин С. Г. и др. *Успехи химии*. 2023. **92**(12) 1-187.

³ Sizov V. E. et al. *Polymers*. 2022, **14**(12), 2367.

⁴ Rébiscoul D. et al. *The Journal of Supercritical Fluids*. 2009, **51**(2), 287-294.

⁵ Sanli D., Erkey C. *Journal of materials science*. 2015, **50**, 7159-7181.

⁶ Sun D. et al. *Journal of Materials Chemistry C*. 2015, **3**(37), 9496-9508.

⁷ B. A. Kamino, T. P. Bender. *Chem. Soc. Rev.* 2013, **42**, 5119–5130

Изучение Термических и Диэлектрических Свойств Привитых Сополимеров на Основе Поливинилиденфторида с Привитыми Цепями Полиэтилметакрилата и Полиакрилонитрила, а Также Пленок на их Основе

Е.А. Клеймюк^{1}, И.В. Безсуднов¹, А. И. Бузин¹, В.Г. Шевченко¹, Ю.Н. Лупоносов¹,
С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: kleymuuk@ispm.ru

Полученные ранее методом фотоиндуцированной обратимо-деактивационной радикальной полимеризации (RDRP) сополимеры на основе поливинилиденфторида с привитыми цепями полиэтилметакрилата (ПЭМА)¹ и полиакрилонитрила (ПАН)² (Рис.1) обладают хорошими пленкообразующими свойствами. В связи с этим были выявлены закономерности для пленок двойных и тройных сополимеров с различным содержанием привитых цепей.

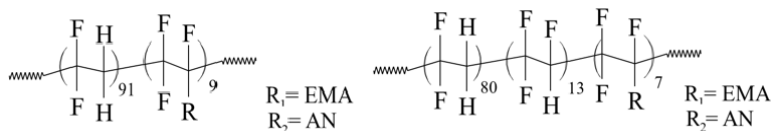


Рис. 1. Двойные и тройные сополимеры на основе поливинилиденфторида с привитыми цепями ПЭМА и ПАН.

В частности, исследование термических свойств показало, что увеличение содержания привитых цепей в сополимерах приводит к снижению степени кристалличности и улучшению пленкообразующих свойств, а также влияет на уменьшение температуры деструкции полимера.

Исследована возможность использования сополимеров с ПЭМА в качестве емкостных датчиков давления, для которых чувствительность и диапазон работы меняется с изменением степени прививки ПЭМА. Двойные сополимеры оказались наиболее перспективным материалом для датчиков давления, так как они показывают высокую воспроизводимость отклика и низкий гистерезис.

Данная работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028П).

¹ Е.А. Клеймюк, А.И. Косякова, А.И. Бузин, В.Г. Шевченко, Ю.Н. Лупоносов, С.А. Пономаренко, *ВМС. Серия С*, 2022, **64**(2), 218–228.

² Khudyshkina A.D., Luponosov Yu.N., Shevchenko V.G., Ponomarenko S.A., *EXPRESS Polym. Lett.*, 2021, **15** (10), 957–971.

Новые Органические Люминофоры на Основе 2,1,3-Бензотиадиазола для Органической Электроники и Фотоники

О.В. Борщев^{1}, В.В. Попова¹, Н.М. Сурин¹, С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: borshchev@ispm.ru

Одним из основных направлений развития химической науки является создание материалов с заданными свойствами. Понимание основных закономерностей структуры-свойств для различных классов соединений позволяет значительно сократить исследовательские работы по созданию новых материалов и тем самым снизить их стоимость. Поэтому основной научной задачей данной работы является выявление закономерностей структуры-свойств новых органических люминофоров, содержащих 2,1,3-бензотиадиазольный фрагмент, и оценка возможности практического применения новых молекул в органической электронике и фотонике.

Интерес к олигомерам на основе 2,1,3-бензотиадиазола обусловлен уникальными оптическими и электрическими свойствами этих молекул^{1,2,3}. Такие олигомеры отличаются высокой термостойкостью, большим коэффициентом поглощения, подходящими для применения в органической фотонике и электронике значениями высшей заполненной и низшей свободной молекулярных орбиталей, а также сильным межмолекулярным π - π взаимодействием. В данной работе впервые синтезирован ряд люминофоров, содержащих 2,1,3-бензотиадиазол, 1,4-диметилбензол и бензольные фрагменты. Показано, что добавление 1,4-диметилбензола к 2,1,3-бензотиадиазолу приводит к увеличению угла скручивания между этими блоками и, как следствие, к смещению максимума спектра поглощения в синюю область спектра. Интересно отметить, что существенного снижения квантового выхода люминесценции в растворах не происходит.

Органические люминофоры на основе 2,1,3-бензотиадиазола могут быть использованы в различных устройствах органической фотоники и электроники, таких как спектрально-сдвигающие волокна⁴, жидкие сцинтилляции⁵, органические светодиоды (OLED)⁶, фотоэлектрические устройства CIGS⁷. Коммерциализацией новых материалов занимается стартап-компания "Люминесцентные инновационные технологии" (LumInnoTech LLC).

Все подробности можно найти на сайте www.luminnotech.com

Работа была выполнена при поддержке РФФИ (проект № 22-13-00255).

¹ Skorotetcky M.S., Krivtsova E.D., Borshchev O.V., et al., *Dyes and Pigments*, 2018, **155**, 284-291.

² V. A. Postnikov, N. I. Sorokina, A. A. Kulishov, et al., *Acta Cryst.*, 2022, **B78**, 261–269

³ A.A. Kulishov, V.A. Postnikov, M.S. Lyasnikova, et al., *Phys. Solid State*, 2019, **61**(12), 2438-2441

⁴ O. Borshchev, A.B.R. Cavalcante, L. Gavardi et al., *JINST* 2017. **12**. P05013

⁵ A. Sidorenkov, O. Borshchev, A. Fazliakhmetov et al., *Eur. Phys. J. C*, 2022. Article number: **1038**

⁶ Y.N. Luponosov, N.M. Surin, et al., *Org. Photonics Photovolt.*, 2015, **3**, 148-155

⁷ T. Uekert, A. Solodovnyk, S. Ponomarenko et al., *Sol. Energy Mat. Sol. Cells*, 2016, **155**, 1-8.

Влияние Полимерных Диэлектриков на Электрические и Сенсорные Свойства Печатных Органических Полевых Транзисторов

В.П. Гайдаржи^{1}, А.А. Труль¹, В.А. Нагорный², Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко^{1,2}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Московский Физико-Технический Институт

*e-mail: v.gaidarzhi@ispm.ru

Разработка высокоэффективных газовых сенсоров является актуальной задачей на сегодняшний день как с точки зрения мониторинга состава атмосферного воздуха, так и с точки зрения специальных приложений, таких как диагностика широкого спектра заболеваний верхних дыхательных путей по анализу выдыхаемого воздуха или мониторинг качества пищевых продуктов.

Работа представляет собой один из этапов создания гибких полимерных газовых сенсоров на основе органических полевых транзисторов (ОПТ) и посвящена выявлению зависимостей электрических и сенсорных свойств таких устройств от характеристик полимерного диэлектрического слоя ОПТ. Изучено влияние материала диэлектрического слоя, а также условий его нанесения на полимерную подложку. Обнаружено, что морфология поверхности и свойства полупроводникового слоя, сформированного поверх полимерного диэлектрика методом термического напыления в вакууме, сильно зависят от величины поверхностной энергии использованного диэлектрика, тогда как шероховатость слоя полупроводника значимого влияния не оказывает.

Было показано, что наилучшие электрические характеристики демонстрируют ОПТ на основе диэлектрика с наибольшей величиной поверхностной энергии - полиметилметакрилата. При этом вне зависимости от диэлектрика все устройства демонстрируют высокую сенсорную чувствительность к диоксиду азота, близко совпадающую с чувствительностью аналогичных устройств, изготовленных на кремниевых подложках с использованием исследуемых диэлектриков в качестве интерфейсных слоев, а также лучшую по сравнению с кремниевыми образцами способность к восстановлению первоначальных свойств в чистом воздухе, что открывает широкие перспективы коммерческого использования разработанных полимерных газовых сенсоров.

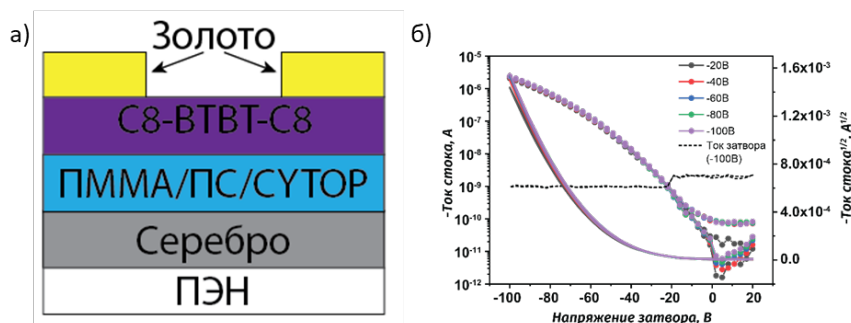


Рис. 1. Схема устройства полимерного ОПТ для изучения сенсорных свойств устройств с различными диэлектриками (а), Типичные передаточные характеристики изготовленных ОПТ на основе ПММА (б).

Данная работы выполнена при Минобрнауки РФ (Госзадание № FFSM-2022–0001).

Стабильные Органические Полупроводниковые Материалы на Основе Бензотиенобензотиофена для Применения в Электролитических Полевых Транзисторах

П.А. Шапошник^{1,2}, Е.Ю. Пойманова¹, А.А. Труль¹, Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко^{1,2}

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Московский государственный университет, Химический факультет

*e-mail: ponomarenko@ispm.ru

Органические полевые транзисторы с электролитическим затвором (ОПТЭЗ) — это электронные устройства, представляющие большой интерес как платформа для биосенсоров с высокой чувствительностью. Однако широкому практическому применению ОПТЭЗ препятствует низкая стабильность слоя органического полупроводника (ОП) при хранении. Поэтому целью нашей работы стала разработка ОП, который сочетал бы в себе высокие электрические характеристики со стабильностью морфологии тонкой пленки и электрических характеристик устройства. Мы исследовали ОПТЭЗ, приготовленные с использованием двух органических полупроводниковых материалов: коммерчески доступного 2,7-диоктил[1]бензотиено[3,2-b]бензотиофена (С8-ВТВТ) и силоксанового димера ВТВТ, D2-Und-ВТВТ-Нех (рис. 1). Устройства на основе этих материалов после изготовления характеризуются как высокой удельной передаточной проводимостью, так и коэффициентом включения/выключения устройств. Чтобы оценить срок хранения ОПТЭЗ, мы хранили транзисторы в условиях окружающей среды и периодически измеряли их передаточные характеристики, используя в качестве электролита воду. ОПТЭЗ на основе С8-ВТВТ продемонстрировали резкое снижение соотношения ON/OFF в течение трех недель, что было связано с реорганизацией тонкой пленки из поверхностной в объемную фазу, что приводит к расслоению пленки ОП на отдельные кристаллы. Благодаря свойствам молекул димера (объемная, но гибкая дисилоксановая группа, связывающая вместе два фрагмента ВТВТ), пленки D2-Und-ВТВТ-Нех имеют более стабильную морфологию и электрические характеристики. Было продемонстрировано, что устройства ОПТЭЗ на основе D2-Und-ВТВТ-Нех могут храниться без каких-либо дополнительных мер предосторожности не менее 4 месяцев.

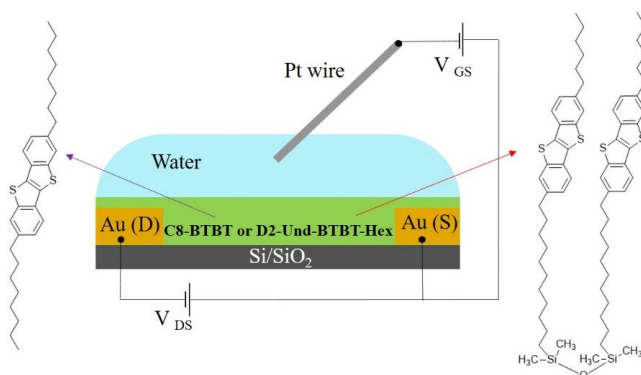


Рис. 1. Схема ОПТЭЗ на основе С8-ВТВТ и на основе D2-Und-ВТВТ-Нех.

Данная работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028-П).

Особенности Реакции Восстановления Кето-Группы при Синтезе Алкилзамещенных Производных Бензотиено[3,2-b][1] Бензотиофена

И.О. Гудкова^{1}, Е.А. Сорокина¹, Е.А. Заборин¹, О.В. Борцев¹, С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова
Российской академии наук
*e-mail: i.gudkova@ispm.ru

В настоящее время синтез и изучение свойств новых органических полупроводниковых материалов является перспективным направлением в науке, поскольку такие материалы используются в качестве активных слоев в различных оптоэлектронных устройствах^{1,2}. Алкилпроизводные бензотиено[3,2-b][1]бензотиофена (ВТВТ) используются в качестве полупроводников, что обусловлено их хорошей растворимостью, высокой кристалличностью, а также относительной простотой модификации функциональных групп³, материалы на их основе демонстрируют высокую подвижность носителей заряда и высокую термическую стабильность⁴. Синтетическая стратегия получения таких соединений заключается в ацилировании по Фриделло-Крафтсу 2 и 7-го положений ядра ВТВТ с последующим восстановлением кето-группы⁵. Эффективность протекания стадии восстановления напрямую зависит от выбора восстанавливающего агента. В данной работе представлены различные подходы к получению моно- и диоктилзамещенных производных ВТВТ - **C8-ВТВТ** и **C8-ВТВТ-C8** (схема 1). Для восстановления кето-группы были исследованы три типа систем: смесь алюмогидрида лития (LiAlH₄) и хлорида алюминия (AlCl₃), боргидрида натрия (NaBH₄) и хлорида алюминия (AlCl₃), а также гидразин гидрата (N₂H₄×H₂O) с КОН.

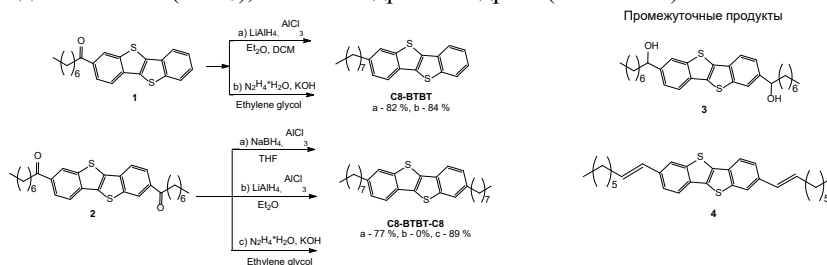


Схема 1. Методы восстановления кето-группы при синтезе **C8-ВТВТ** и **C8-ВТВТ-C8**.

В результате работы было показано, что наиболее эффективное восстановление протекает с использованием гидразин гидрата (N₂H₄×H₂O/КОН). Однако, в случае получения монозамещенного производного **C8-ВТВТ** использование системы LiAlH₄/AlCl₃ является не менее эффективным, в то время как в случае получения **C8-ВТВТ-C8** в результате реакции преимущественно образуется промежуточный продукт **3** и дальнейшее восстановление не протекает. Использование системы с боргидридом натрия (NaBH₄) приводит к образованию целевого соединения **C8-ВТВТ-C8**, однако, образуется большое количество промежуточного продукта **4**, которые требует дополнительного восстановления.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028-П).

¹ Can, A., Facchetti, A., Usta, H. *J. Mater. Chem. C* 2022, **10**, 8496–8535.

² Ma, S., Zhang, H., Feng, K., Guo X. *Chem. Eur. J.* 2022, **28**, e202200222.

³ He, Y., Xu, W., Murtaza, I., at al. *RSC Adv.* 2016, **6**, 95149-95155.

⁴ Xie P., Liu T., Sun J., at al. *Adv. Funct. Mater.* 2022, **32**, 2200843.

⁵ Amin, A., Reuter, K., Meyer-Friedrichsen, T., at al. *Langmuir*, 2011, **27**, 15340–15344.

ОЭХТ на Основе PEDOT:PSS для Анализа Биологических Сред

Я.О. Титова^{1*}, Е.Ю. Пойманова¹, А.А. Труль¹, Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко¹

¹Институт Синтетических Полимерных Материалов РАН им. Н.С. Ениколопова
²Московский государственный университет М.В. Ломоносова, Химический факультет

*e-mail: yaroslava.titova@ispm.ru

Органические электрохимические транзисторы (ОЭХТ) являются многообещающей платформой для создания биосенсорных устройств, обладающих сверхвысокой чувствительностью. В настоящее время одним из наиболее используемых проводящих полимерных материалов в качестве активного слоя является PEDOT:PSS, представляющий собой комплекс поли(3,4- этилендиокситиофена) с полистиролсульфокислотой. Функционализация активного слоя с помощью биорецепторов позволяет создавать компактные устройства, которые могут быть задействованы по принципу лаборатория-на-чипе, что упрощает своевременную диагностику заболеваний.

В данной работе представлен способ модификации поверхности PEDOT:PSS соляным раствором гексиламина, который позволяет в дальнейшем интегрировать тонкопленочный биорецепторный слой на основе смеси силоксанового димера BTBT (D2-Нерт-BTBT-Нех) и специально разработанного биотинового BTBT-производного (BTBT-биотин) при помощи метода Ленгмюра-Шеффера¹. Биотинилированный слой обеспечивает связывание белка стрептавидина (рис. 1), что создаёт платформу для дальнейшего биораспознавания с использованием аптамеров и вирусов.

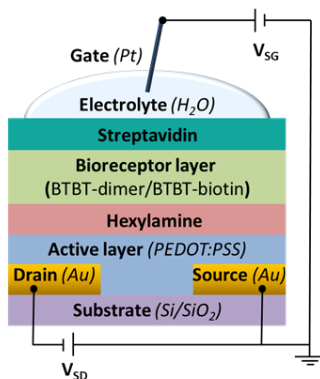


Рис. 1. Архитектура ОЭХТ с активным слоем на основе PEDOT:PSS.

Работа выполнена при поддержке госзадания FFSM-2022-0001.

¹ E.Yu. Poimanova et al. ACS Applied Materials & Interfaces. 2022, 14, 16462.

Синтез Кремнийорганических Сополимеров с Привитыми Биотин-Содержащими Фрагментами ВТВТ для Применения в качестве Биосенсоров

Е.А. Сорокина*, И.О. Гудкова, О.В. Борщев, С.А. Пономаренко

Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова
Российской Академии Наук
*e-mail: e.sorokina@ispm.ru

Наличие определенных биологических молекул в жидкостях организма может быть использовано в качестве индикатора для выявления ряда заболеваний на ранней стадии. В качестве таких биосенсоров могут выступать устройства на основе органических полупроводников, например, [1]бензотиено[3,2-*b*]бензотиофена (ВТВТ), поскольку они демонстрируют хорошие электрические характеристики в органических электролитических транзисторах (ОПТЭЗ)^{1,2}. Имобилизация биорецепторов на поверхности органического полупроводника или затвора транзистора путем закрепления на них биологических рецепторов, специфичных для соответствующих биоаналитов, обеспечивает связывание с целевой биологической молекулой, что гарантирует селективность устройства.

Синтез исходных производных ВТВТ осуществляли в одну стадию из коммерчески доступных реагентов с последующим селективным ацилированием по Фриделю-Крафтсу в 2,7-положения ВТВТ и восстановлением полученных кето-групп. Введение биотинового фрагмента осуществляли по реакции азид-алкинового циклоприсоединения в присутствии ионов меди (I) (схема 1).

Химическая структура и чистота всех полученных соединений были доказаны методами ЯМР в сочетании с данными аналитической ГПХ. Полученные сополимеры изучали методами ДСК, ТГА, ГПХ. Полноту прохождения реакции контролировали методом ЯМР анализа. Исследование полученного полимера методом ТГА показало, что термическая и термоокислительная стабильность (потеря 5 % массы) оказалась равной 310 °С и 307 °С соответственно.

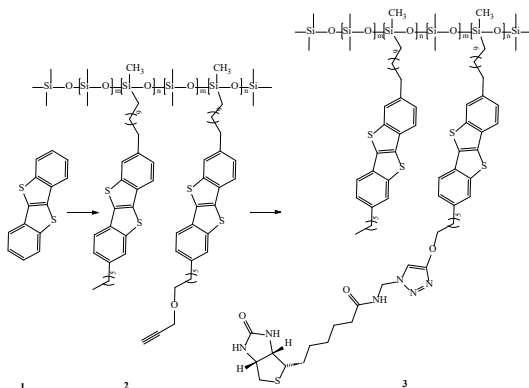


Схема 1. Структурные формулы синтезированных сополимеров

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028).

¹ Takimiya, K., Osaka, I., Mori, T., & Nakano, M. *Accounts of Chemical Research*, 2014, **47**(5), 1493–1502.

² Di Lauro, M., Berto, M., Giordani, M., Benaglia, S., Schweicher, G., Vuillaume, D., Biscarini, F. *Advanced Electronic Materials*, 2017, **3**(9), 1700159.

Новые Полимерные Материалы для Устройств Носимой Электроники

Р.А. Поляков^{1}, О.В. Борщёв¹, С.А. Пономаренко¹*

Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: r.polykov@ispm.ru

В настоящее время активно развиваются разнообразные носимые устройства на основе органических светоизлучающих диодов (ОСИД). На данный момент хорошо изучены ОСИД на основе низкомолекулярных веществ, однако, они могут ограничивать достижение оптимальных характеристик при создании дисплеев распространёнными производственными методами¹. Таких недостатков лишены полимерные светоизлучающие диоды (ПСИД), которые обладают малым весом, высокой технологичностью, оптимальной переработкой из раствора и хорошими функциональными характеристиками.

Изучение влияния архитектуры полимера на свойства материала является очень важной фундаментальной и прикладной задачей. Описано множество разнообразных структур с различным расположением полупроводящей матрицы и электролюминесцирующего допанта: проводящие полимеры (проводящий фрагмент составляет главную цепь полимера) с сопряжённой и несопряжённой главной цепью, полимеры с фрагментами допанта в качестве боковых заместителей, дендримерные структуры². Для большинства таких архитектур для формирования допанта используются такие гетероциклические фрагменты как карбазол, трифениламин, акридин, дибензосульфоксид, феноксазин и их производные³. В работе будут синтезированы и исследованы свойства новых полимеров, сочетающих в своем строении полупроводниковые и излучающие фрагменты.

В настоящей работе проведён литературный обзор наиболее перспективных полимерных материалов для устройств носимой электроники, основывающихся на ПСИД, разработаны наиболее многообещающие структуры, построены схемы синтеза для их получения, а также представлены первые результаты по данному исследованию.

Данная работы выполнена при поддержке проекта госзадания (проект FFSM-2024- 0003)

¹ Endo A., Ogasawara M., Takahashi A., Yokoyama D., Kato Y., and Adachi C. *Adv. Mater. Weinheim* 2009, 21, 4802–4806.

Guo J. J., Li X. L., Nie H., Luo W. W., Gan S. F., Hu S. M., et al. *Adv. Funct. Mater* 2017, 27, 13

² Yin X, He Y, Wang X, Wu Z, Pang E, Xu J and Wang J. *Front. Chem.* 2020 8:725

³ Hu, Y., Cai, W., Ying, L., Chen, D., Yang, X., Jiang, X.-F., et al. *J. Mater. Chem. C* 2018, 6, 2690–2695.

Rao J. C., Liu X. R., Li X. F., Yang L. Q., Zhao L., Wang S. M., et al. *Angew. Chem. Intern. Edition* 2020, 59, 1320–1326

Yang Y. K., Wang S. M., Zhu Y. H., Wang Y. J., Zhan H. M., and Cheng Y. X. *Adv. Funct. Mater.* 2018a, 28:1706916

Yang Y., Zhao L., Wang S., Ding J., and Wang L. *Macromolecules* 2018b, 51, 9933–9942.

Полимерные Полупроводники с Высокой Подвижностью Носителей Заряда для Органических Полевых Транзисторов

Л.Л. Левков^{1}, О.В. Борщев¹, С.А. Пономаренко^{1,2}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Московский Государственный Университет, химический факультет

*e-mail: l.levkov@ispm.ru.ru

Полимерные полупроводники с высокой подвижностью носителей зарядов необходимы для создания органических полевых транзисторов (ОПТ), используемых в быстродействующих устройствах органической электроники: гибкие экраны, сенсоры, носимая электроника. Ключевыми техническими характеристиками таких устройств являются продолжительный срок эксплуатации и низкое энергопотребление.¹ Преимуществами органических полевых транзисторов с проводящими каналами из полимерных материалов по сравнению с традиционными кремниевыми транзисторами являются сохранение характеристик при упругих деформациях, биосовместимость, низкий вес и низкая стоимость массового производства за счёт возможности переработки растворными методами. Направленный поиск таких материалов представляет собой актуальную комплексную задачу.²

Поиску наиболее эффективных материалов способствует систематизация разнообразия полупроводниковых материалов на основе полимеров. В докладе предложены два подхода к классификации полимерных материалов с высокой подвижностью носителей заряда для проводящих каналов ОПТ: (1) по степени однородности состава на молекулярном и надмолекулярном уровне, (2) по степени упорядоченности надмолекулярной структуры. Рассмотрены особенности способов синтеза и технологии получения полимерных полупроводников разных типов, а также проведена оценка перспектив их применения в устройствах органической биосовместимой электроники.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (тема госзадания FFSM-2024-0003)

¹ P.A.Shaposhnik, S.A.Zapunidi, M.V.Shestakov, E.V.Agina, S.A.Ponomarenko, *Russ. Chem. Rev.*, 2020, **89** (12), 1483

² A. L. Liu, M. Lee, R. Venkatesh, J. A. Bonsu, R. Volkovinsky, J. C. Meredith, E. Reichmanis, and M. A. Grover, *Chemistry of Materials*, 2023, **35** (21), 8816

Перспективные Полисилоксаны, Модифицированные Диалкилпроизводными ВТБТ для Устройств Органической Электроники

Е.А. Заборин^{1}, О.В. Борщев¹, В.П. Гайдаржи¹, В.В.Городов¹, С.А. Пономаренко¹*

¹ИСПМ РАН, г. Москва

*e-mail: zaborin@ispm.ru

Кремнийорганические производные несимметричных производных диалкил-[1]бензотиено[3,2-b][1]бензотиофена (ВТБТ) образуют тонкие слои органических солнечных элементов (OSC), переносящие заряд большой площади, что приводит к превосходному считыванию. свойства органических полевых транзисторов (ОПТ)¹. Эти новые материалы сочетают в себе, помимо высокой дырочной подвижности носителей заряда, термическую и воздушную стабильность, а также высокую растворимость в обычных органических растворителях². 1,3-бис{11-(7-гептил[1]бензотиено[3,2-b][1]бензотио-2-ил)гексил}-1,1,3,3-тетраметилдисилоксан (ВТБТ-димер) был нанесен на органические полевые транзисторы с электролитным управлением для изготовления вирусного биосенсора³.

Переход к полимерным производным несимметричного диалкила ВТБТ может обеспечить функциональные материалы со свойствами переноса заряда и механическими свойствами, пригодными для струйной печати. Таким образом, были синтезированы полимерные щетки с полисилоксановой основной цепью, содержащей боковые цепи 2-ундецил-11-ен-7-гексил[1]бензотиено[3,2-b][1]бензотиофеновых фрагментов, показывающие хорошие термические и термоокислительные свойства. стабильности⁴.

В данной работе получены и изучены методами термогравиметрического и дифференциального калориметрического анализа полимерные бутсы с более длинными концевыми алкильными фрагментами, а также их смеси с диоктил-ВТБТ. Тонкие пленки были нанесены смесями и исследованы методом атомно-силовой микроскопии (АСМ).

Работ выполнена при поддержке гранта РФФ № 19-73-30028.

¹ Bayn, A.; Feng, X.; Müllen, K.; Haick, H. *ACS Appl. Mater.* 2013, **5**, 3431–3440.

² Trul A.A., Chekusova V.P., Anisimov D.S., Borshchev O.V., Polinskaya M.S., Agina E.V., Ponomarenko S.A. *Adv. Electron. Mater.* 2022. **8**. 2101039.

³ E. Y. Poimanova, E. G. Zavyalova, E. A. Kretova, A. A. Abramov, A. A. Trul, O. V. Borshchev, A. K. Keshek, S. A. Ponomarenko & E. V. *Chemosensors* 2023, **11**(8), 464.

⁴ Zaborin E.A., Borshchev O.V., Skorotetskii M.S., V. V. Gorodov, A. V. Bakirov, M. S. Polinskaya, S. N. Chvalun & S. A. Ponomarenko. *Polym. Sci. Ser. B* 2022., **64**, 841–854.

Новый Подход к Получению Кремнийорганических Люминесцентных Фотоотверждаемых Пленок

Д.К. Гайков^{1}, О.В. Борцев¹, С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: d.gaikov@ispm.ru

Олигосилоксаны, содержащие повторяющиеся связи $-(Si-O)$, являются синтетическими полимерами с уникальной структурой, играющими важную роль в различных областях применения, таких как фоторезисты, газоразделительные мембраны, защитные покрытия, эластомеры и другие. Был разработан быстрый и простой метод получения гибких и гидрофобных олигосилоксанов путем совместной конденсации γ -тиопропилтриметоксисилана с гексаметилдисилоксаном и винилтриметоксисилана с гексаметилдисилоксаном в уксусной кислоте. Структура полученных соединений была подтверждена с помощью ЯМР. Для создания люминесцентных композиций было проведено иницируемое светом сшивание люминофора с виниловыми фрагментами с тиоловым олигомером, а затем добавлен винилсодержащий олигомер. Тонкие пленки композиции получены методом спин-коатинга и фотоотверждены при помощи ультрафиолетового света, образуя нерастворимый люминесцентный полимер с формой спектра, соответствующей введенному люминофору.

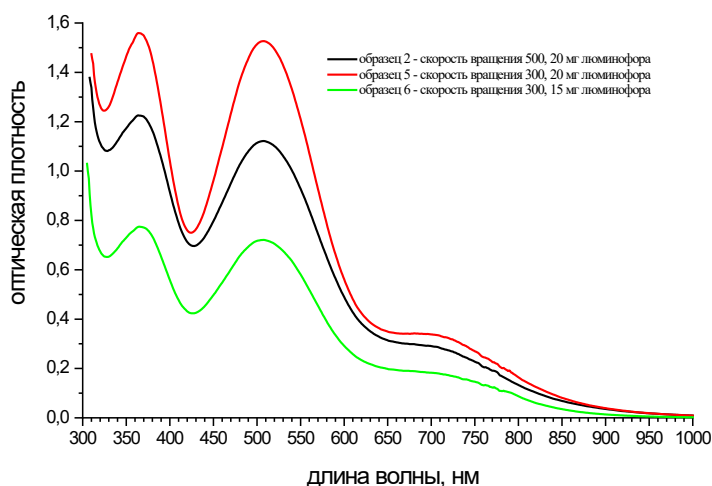


Рис. 1 – Оптическая плотность исследуемых пленок.

Спектры поглощения исследуемых образцов показывают широкую слабую полосу поглощения в длинноволновой области (более длинную, чем у люминофора, введенного в композицию). Эта полоса, вероятно, вызвана агрегацией молекул люминофора, даже при его закреплении в матрице. По грубой оценке, флуоресценция люминофора затухает в пленках, и квантовый выход составляет не более 6%. Увеличение количества люминофора в образцах и уменьшение скорости вращения подложки повышает коэффициент экстинкции.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (тема госзадания FFSM-2022-0004).

Синтез и Свойства Новых Производных ВТВТ для Органической Электроники

Е.А. Боброва^{1}, О.В. Борцев¹, С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: e.bobrova@ispm.ru

Исследование новых молекул и их свойств играет ключевую роль в различных областях современной науки и технологии. Тиено-тиофены за последнее десятилетие стали отличной основой для разработки дырочно-транспортного материала для органической электроники¹. Однако производные ВТВТ различными группировками, содержащими азот и их характеристики переноса электронов остаются в значительной степени неизученными. Благодаря чему получение и исследование структур на основе ВТВТ и различных азотсодержащих прекурсоров является необходимой частью поиска материалов с оптимальными опτικο-электронными свойствами.

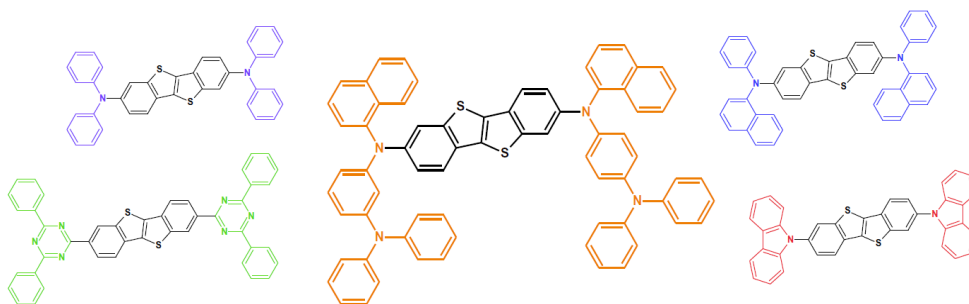


Рис. 1. Структуры новых производных ВТВТ

Задачей данной работы является синтез новых структур, представленных на рисунке 1, на основе производных ВТВТ, и исследование их оптических и термических свойств. С предварительно полученным дибром-производным ВТВТ были проведены реакции сочетания Бухвальда-Хартвига с различными аминами и реакции Судзуки-Мияуры с пинаколилбораном дифенилтриамина, катализируемые комплексами палладия, и реакции Ульмана, катализируемые солями меди. Полученные соединения были очищены посредством флэш-хроматографии и перекристаллизации, а структура была установлена и подтверждена современными методами анализа.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028-П).

¹ Kiyota Y., Kadoya I., Yamamoto K., Iijima K., Higashino T., Kawamoto T., Takimiya K., Mori T. *J. Am. Chem. Soc.* 2016

Аптасенсоры на Основе Органических Полевых Транзисторов и Трековых Мембран

*Е.Ю. Пойманова¹, Е.А. Кретова¹, Е.Г. Завьялова², А.Н. Нечаев³, С.А. Пономаренко^{1,2},
Е.В. Агина^{1,4}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Московский государственный университет, Химический факультет

³Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория ядерных реакций

⁴Московский государственный университет, Факультет фундаментальной физико-химической инженерии

*e-mail: poymanova@ispm.ru

Биосенсоры на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором (ОПТЭЗ) являются перспективными устройствами для биологических исследований и клинической диагностики благодаря присущим им преимуществам, таким как экономичность в использовании и чувствительность для измерений. Тем не менее они имеют и некоторые недостатки. Одной из основных проблем является сложность или невозможность повторного использования устройства. Даже в тех случаях, когда возможно восстановить биочувствительный слой, это сопряжено с трудоемкими процедурами, которые часто приводят к ослаблению чувствительности. Зачастую биочувствительность ОПТЭЗ реализуется за счет модификации затвора или поверхности органического полупроводника (ОП) транзистора. В данной работе предложен новый подход к созданию рецепторного слоя в составе аптасенсора на основе ОПТЭЗ с помощью трековых мембран. Трековая мембрана из ПЭТФ с размером пор 60 нм с напыленным слоем золота (10 нм) располагается на поверхности ОП, выступая в роли биорецепторного слоя за счет модификации ДНК-аптамером (рис.1). Слой ОП в составе ОПТЭЗ изготовлен методом дозирующего лезвия из смеси 2,7-диоктил[1]бензотиено[3,2-*b*]бензотиофена (С8-ВТВТ-С8) с полистиролом. После проведения измерений с мембраной на поверхности ОПТЭЗ устройство сохраняет свои электрические характеристики и пригодно для повторного использования.

Предел обнаружения вируса гриппа А с помощью данного сенсора – $1 \cdot 10^5$ ВЧ/мл (вирусных частиц на мл), превосходит тест-системы экспресс-анализа на основе антител ($1 \cdot 10^6$ - $4 \cdot 10^8$ ВЧ/мл), но уступает методу ПЦР ($3 \cdot 10^2$ - $1,2 \cdot 10^3$ ВЧ/мл). Данный подход открывает возможность создания многоразового биосенсора, что не было возможно при модификации рецепторным слоем непосредственно полупроводника.

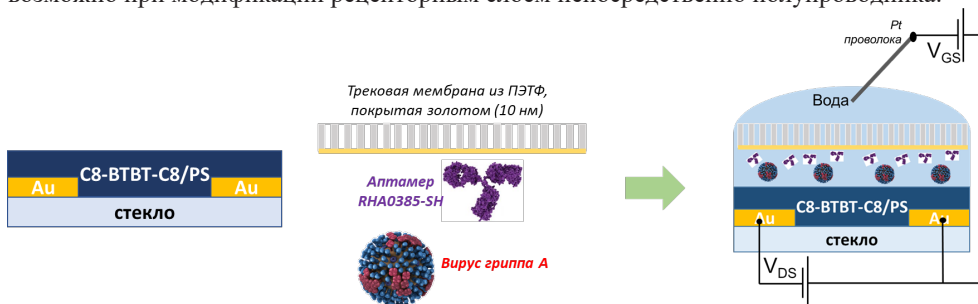


Рисунок 1. Схема создания аптасенсора на основе органического полевого транзистора и трековой мембраны.

Данная работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 23-73-00103).

Электронный Нос на Основе Силоксановых Димеров ВТВТ с Различной Длиной Концевой Алкильной Группы

А.А. Труль^{1}, В.П. Гайдаржи¹, С.Х. Тоиров², М.С. Полинская¹, О.В. Борцев¹,
М.С. Скоротецкий¹, Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко^{1,2}*

¹Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

²Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

*e-mail: trul@ispm.ru

Задачи по мониторингу и количественному анализу различных газовых смесей становятся все более важными и актуальными, как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения персонализированной медицины. К таким задачам могут относиться анализ окружающего атмосферного воздуха, анализ свежести пищевых продуктов, диагностика заболеваний по анализу выдыхаемого воздуха и т.д., Тонкопленочные органические полевые транзисторы (ОПТ) являются перспективными сенсорными устройствами для детектирования низких концентраций различных газов благодаря их высокой чувствительности при комнатной температуре, низкому энергопотреблению и гибкой архитектуре. Такая хорошая чувствительность достигается за счет прямого взаимодействия между тонким проводящим слоем ОПТ и анализируемым веществом.¹ Ранее опубликованные работы показывают, что молекулы силоксановых димеров бензотиенобензотиофена (ВТВТ) успешно используются в таких устройствах, как ОПТ,² хемосенсоры³ и электронный нос.⁴ Обычно для варьирования чувствительности и селективности таких устройств используются различные рецепторные слои, в то время как лишь несколько работ посвящены электронному носу на основе ОПТ изготовленных из различных органических полупроводников.⁵ Следует отметить, что последний подход имеет некоторые преимущества, поскольку не требует изготовления дополнительных рецепторных слоев, которые могут повредить полупроводниковый слой ОПТ.

В этой работе было исследовано влияние длины концевой алкильной группы (от нуля до тринадцати атомов углерода) силоксановых димеров ВТВТ на электрические и сенсорные свойства ОПТ на их основе на примере детектирования различных целевых аналитов (аммиак, сероводород, диоксиды азота и серы). Исследованные устройства демонстрируют поведение, типичное для р-канальных устройств, а рассчитанные значения подвижности носителей заряда, пороговые напряжения и отношения токов включения-выключения составили 10^{-5} – 10^{-2} $\text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$, от -24 до +14 В и 10^2 – 10^7 , соответственно. Что касается сенсорных свойств, то устройства продемонстрировали явную разницу в чувствительности и селективности в зависимости от целевого аналита и использованного димера, что открывает путь к созданию электронного носа на основе ОПТ из органических полупроводников, химическая структура которых изменяется не сильно, что дает возможность формировать слои почти в одинаковых условиях.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 19-73-30028П).

¹ A. A. Trul et al., *J Mater Chem C*, 2018, **6**, 9649-9659.

² A. S. Sizov et al, *ACS Appl Mater Interfaces*, 2018, **10**, 43831–43841.

³ A. A. Trul et al., *Sens Actuators B-Chem*, 2020, **321**, 128609.

⁴ D.S. Anisimov et al. *Sci Rep*, 2021, **11**, 10683.

⁵ J.V.Chang et al. *Journal of Applied Physics*, 2006, **100** (1).

Оптимизация Температурной Модуляции и Алгоритмов Обработки Данных Полупроводниковых МЭМС Газовых Сенсоров для Повышения Селективности и Стабильности Определения Газов

И.В. Исаев^{1,2}, С.А. Доленко¹, В.В. Кривецкий^{2,3*}

¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, НИИ ядерной физики имени Д.В. Скобельцына

²НПК «Технологический центр»

³Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, химический факультет

*e-mail: vkrivetsky@inorg.chem.msu.ru

Циклическая модуляция рабочей температуры полупроводниковых газовых сенсоров на основе оксидов металлов в сочетании с методами машинного обучения для обработки данных является эффективным способом повышения селективности определения газов, стабильности отклика и понижения предела обнаружения. Внедрение такого подхода в практику сопряжено со сложностями переноса моделей сенсорного отклика между устройствами. Устойчивость моделей на основе машинного обучения во времени также недостаточна из-за эволюции отклика чувствительного элемента. Поэтому актуальным является систематический поиск оптимальных режимов температурной модуляции в сочетании с математическими алгоритмами предварительной обработки исходных сенсорных данных и понижения их размерности.

В данной работе проведено исследование зависимости эффективности качественного и количественного определения примесей индивидуальных газов в сухом воздухе в зависимости от длительности и характера цикла модуляции рабочей температуры металлоксидных МЭМС газовых сенсоров (Рис.1), а также применяемых алгоритмов обработки данных. В качестве последних использовались линейная и логистическая регрессия, градиентный бустинг над деревьями решений и искусственные нейронные сети (многослойные персептроны).

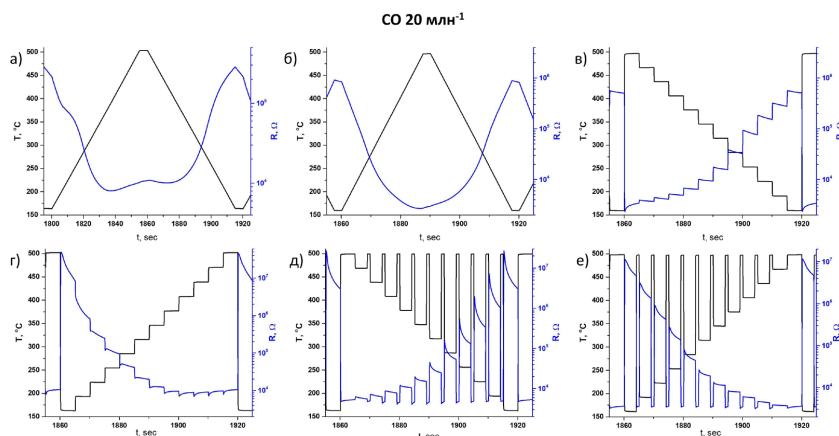


Рис.1 Режимы модуляции рабочей температуры сенсоров и отклик в CO 20 млн⁻¹.

Показаны преимущества режима линейного нагрева и охлаждения и режима ступенчатого нагрева над режимами с импульсным нагревом до максимальной рабочей температуры.

Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда № 22-19-00703.

Портативный Электронный Нос на Основе Массива OFET и MOS Датчиков с Дифференциальной Газовой Ячейкой для Анализа Выдыхаемого Воздуха

А.А. Абрамов^{1*}, Е.В. Агина¹

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Ениколопова РАН

*e-mail: abramov@ispm.ru

Выдыхаемый воздух содержит сотни летучих соединений, которые являются результатом обменных процессов в нашем организме. Продукты жизнедеятельности бактерий или вирусов вызывают соответствующие изменения в составе выдыхаемого воздуха. Аномалии в виде изменения характера состава летучих компонентов выдыхаемого воздуха могут предупреждать о скрытых заболеваниях или быть биосигнатурой, позволяющей диагностировать различные заболевания. Чтобы сосредоточиться на распознавании закономерностей, в нескольких исследованиях было предложено сочетание массивов неселективных датчиков газа и машинного обучения. Системы такого типа принято называть электронными носами. Целью этой работы была разработка устройства, включающего себя набор новых датчиков на основе органических полевых транзисторов, ранее разработанных в нашей лаборатории. Кроме того, для расширения области исследования в систему были добавлены коммерческие металлооксидные сенсоры.

Сенсоры на основе тонкопленочных органических полевых транзисторов (OFET) перспективны для многих сенсорных приложений в области обнаружения небольших количеств различных видов летучих веществ. Перекрестная чувствительность датчиков OFET способствует использованию множества датчиков для приложений электронного носа.¹ В данной конструкции в составе массива датчиков используется специальное устройство, состоящее из многоканального источника-измерителя и газовой ячейки. Газовые сенсоры второго типа, используемые в предлагаемом устройстве, представляют собой коммерческие металлооксидные сенсоры. Чувствительность датчиков можно контролировать, изменяя свойства материала поверхности, а также настраивать путем регулировки мощности нагревателя и напряжения смещения^{2,3}, что в нашем случае осуществляется с помощью микроконтроллера и встроенного программного обеспечения. Для учета состояния окружающего воздуха в устройство добавлена вторая газовая ячейка, целью которой является отбор проб окружающего воздуха одновременно с отбором проб выдыхаемого воздуха. Это позволяет распознавать сигнал, обусловленный выдыхаемым воздухом, при наличии в воздухе загрязнений и запахов

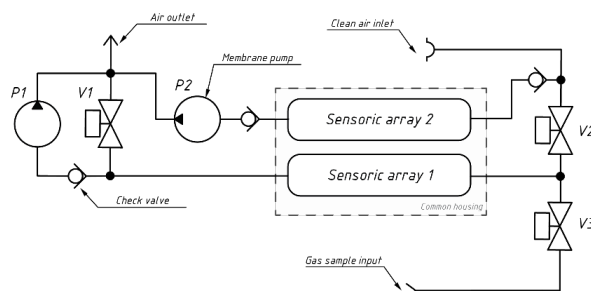


Рис. 1 — Принципиальная схема устройства

¹ D. Anisimov et al, *Scientific Reports*, 2021, **11**.

² D. Marzorati et al, *Chemosensors*, 2021, **9**.

³ A. Varpula et al, *Sensors and Actuators B*, 2008.

Биосенсор на Основе Органического Полевого Транзистора с Электролитическим Затвором с Использованием Аптамера I-Мотив

Е.А. Кретова^{1}, Е.Ю. Пойманова¹, Е.Г. Завьялова^{1,2}, А.К. Кешек^{1,2}, С.А. Пономаренко^{1,2},
Е.В. Агина^{1,3}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Московский государственный университет, Химический факультет

³Московский государственный университет, Факультет фундаментальной физико-химической инженерии

*e-mail: e.kretova@ispm.ru

Органические полевые транзисторы с электролитическим затвором (ОПТЭЗ) широко используются в качестве платформы для биосенсоров, обеспечивая низкие пределы детектирования аналита и высокую специфичность. В качестве узнающих элементов для биосенсоров на основе ОПТЭЗ используют антитела, ферменты, белки, аптамеры. По сравнению с антителами и ферментами аптамеры устойчивы к теплу, изменению рН и химически агрессивным условиям, что делает их более эффективными для практического применения. Таким образом, использование аптамеров открывает метод чувствительного, селективного и доступного обнаружения биомолекул. Кроме того, благодаря своей уникальной структуре аптамеры могут быть использованы для обнаружения нескольких аналитов в различных условиях. Это свойство аптамеров было исследовано в данной работе для определения возможности управления свойствами биосенсоров на основе ОПТЭЗ с помощью таких аптамеров.

В качестве платформы ОПТЭЗ использован описанный ранее подход к изготовлению биосенсора с активным полупроводниковым слоем на основе С8-ВТВТ-С8 в смеси с полистиролом и биорецепторным слоем на основе силоксанового димера ВТВТ и биотин-производного ВТВТ-биотин, данная платформа обеспечивает биотин-стрептавидиновое взаимодействие на поверхности полупроводникового слоя ОПТЭЗ. Стрептавидиновый слой был функционализирован узнающим элементом аптамером BV42, который имеет структуру i-мотива связывает вирионы вируса гриппа А при рН от 6, не работая при рН 8. Это продемонстрировано отсутствием смещения порогового напряжения и передаточной проводимости биосенсоров на основе ОПТЭЗ при рН 6 и рН 8. При рН 8 BV42 способен связывать катионы серебра, образуя металлоорганический комплекс цитозин- Ag^+ -цитозин, вызывая смещение передаточной проводимости в насыщенном режиме (g_m) биосенсора на основе ОПТЭЗ. Аптамер BV42 является рН-зависимым в пределах рН от 6 до 8, что можно использовать для определения рН среды. Ранее проведенные исследования показали, что полупроводниковый слой на основе С8-ВТВТ-С8 чувствителен к рН в диапазоне 2÷5,8, однако для биологических измерений расширение диапазона за счет чувствительности аптамера в диапазоне 6÷8 может иметь значительную практическую ценность.

Данная работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 23-73-00103).

Свойства Рецепторной Платформы на Основе Олигосахаридов в Составе Органических Полевых Транзисторов с Электролитическим Затвором

П.Н. Караман^{1}, Е.Ю. Пойманова¹, В.Б. Крылов², С.А. Пономаренко, Е.В. Агина*

¹Институт синтетических полимерных материалов Н.С. Ениколопова РАН

²Институт органической химии им. Н. Д. Зелинского РАН

*e-mail: p.karaman@ispm.ru

В настоящее время возрастает спрос на новые биологические и химические сенсоры. Устройства данного типа помогают проводить распознавание биологических объектов и химических соединений. Одной из перспективных платформ для сверхчувствительного, быстрого и надежного обнаружения биологических молекул для биоэлектронных датчиков в местах оказания медицинской помощи являются органические полевые транзисторы с электролитическим затвором (ОПТЭЗ). Способность давать отклик без меток с использованием простой электронной схемы считывания – одно из главных преимуществ таких устройств по сравнению с другими технологиями идентификации, такими как электрохимические или оптические устройства. Простую электронную схему можно легко миниатюризировать и удешевить, также используя, например, технологии печатных схем и гибкие материалы подложек. С помощью ОПТЭЗ-биосенсоров можно детектировать очень низкие концентрации аналитов. Такие технологии в медицине позволяют определять биомаркеры заболеваний на ранних стадиях. Одним из таких заболеваний является аспергиллез – грибковое заболевание человека, животных и птиц, вызываемое аспергиллами – плесневыми грибами рода *Aspergillus*. Выявление данного заболевания на ранних стадиях особенно критично для групп риска и для исключения рецидивов заболевания. На данный момент стандартом для определения плесневых грибов является тест на основе лизата амебоцитов *Limulus* (LAL), но тест имеет недостаток – большое количество ложноположительных результатов.

Данная работа направлена на изучение отклика биорецепторного слоя в ОПТЭЗ-биосенсоре, содержащем биотинилированные олигосахариды, родственные галактоманнану, β -(1→3)-D-глюкану, β -(1→6)-D-глюкану входящие в состав клеточной стенки гриба *Aspergillus*, на моноклональные антитела 7B8, 5H5, 2G11, специфичные к олигосахаридам соответственно, в качестве платформы для быстрой диагностики грибкового заболевания. Продемонстрирован специфический отклик ОПТЭЗ-биосенсора на олигосахариды: галактоманнан, β -(1→3)-D-глюкан, β -(1→6)-D-глюкан посредством моноклональных антител (5H5, 7B8, 2G11). На основе данных электрических характеристик и флуоресцентной микроскопии показана селективность устройства. Обнаруженные с помощью биосенсора концентрации моноклональных антител сопоставимы с результатами, получаемыми иммуноферментным анализом на основе антител, и могут конкурировать с тестом LAL.

Работа выполнена при поддержке проекта Госзадания № FFSM-2022-0001

Статистический Подход к Обработке Данных Неинвазивных Исследований Социально-Значимых Заболеваний

В.Д. Пойманов^{1}, Е.Ю. Пойманова¹, П.Н. Караман¹, Е.А. Кретова¹,
А.Г. Хмельницкая¹, А.А. Абрамов¹, А.А. Труль¹, Е.В. Агина¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: v.poymanov@ispm.ru

Статистическая обработка данных измерений является финальным этапом обучения устройств неинвазивной диагностики. На основании ее результатов делается вывод о возможности данного устройства различать интересующее заболевание на основании выдохов пациентов. Вместе с тем, качество диагностики определяется качеством получаемых данных, обусловленных стабильной работой ячеек устройства. Соответственно целью исследования является выбор оптимального метода классификации.

На примере отобранных для обучающей выборки данных по заболеваниям COVID 19, туберкулез и коклюш, приводится сравнительный анализ классификации пациентов следующими методами:

- t-критерий Стьюдента для оценки качества разделения отдельными сенсорами,
- Метод линейного дискриминантного анализа (реализуемый в Excel),
- Метод дискриминантного анализа с помощью пакета Statistica,
- Классификация с использованием факторного и кластерного анализа,
- Метод k ближайших соседей,
- Метод обучения, схожий с методом однослойной нейронной сети, в котором по обучающей выборке минимизируется функция ошибки подбором оптимальных весов,

Последний метод позволяет не только классифицировать заболевание, но и выбраковывать некачественные данные путем отсеечения больших значений функции ошибки при последовательном добавлении наблюдений.

Результаты обработки показывают установить диагноз с достоверностью около 96% для обучающей выборки и 90% - для тестовой.

Работа выполнена в рамках госзадания, тема № FFSM-2022–0001.

Новые Люминофоры на Основе 2,1,3-Бензотиадиазола, Содержащие в Своем Составе Фенильные, Тиофеновые и Различные Концевые Заместители

Д. Е. Стаканова^{1,2}, В. В. Попова¹, О. В. Борщев¹, Н. М. Сурин¹, Е. А. Свидченко¹,
С. А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н. С. Ениколопова РАН

²Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева

*e-mail: d.stkn@mail.ru

Люминофоры как функциональные материалы успешно применяются во многих областях науки и техники. Производные 2,1,3-бензотиадиазола играют важную роль среди таких материалов благодаря их уникальным оптическим и электронным свойствам. Люминесцентные свойства таких молекул можно регулировать с помощью различных донорных заместителей¹.

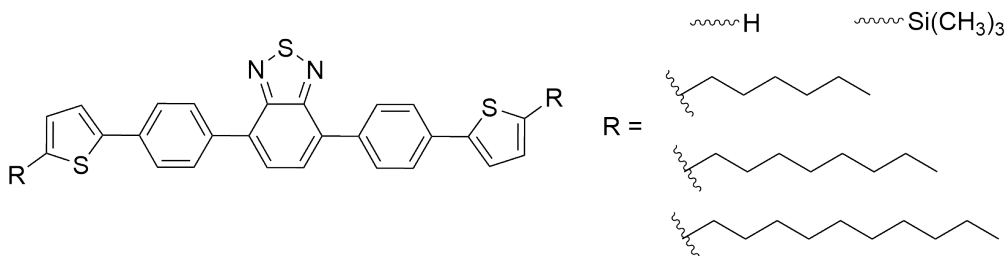


Рис. 1. Химическая структура полученных соединений

Основной целью работы является исследование взаимосвязи химической структуры и свойств данных систем. В связи с этим была синтезирована серия сопряженных соединений на основе 2,1,3-бензотиадиазола, которые содержат в своей структуре донорные тиофеновые и бензольные фрагменты, а также различные концевые заместители. Была разработана оптимальная методика получения данных соединений в условиях Pd-катализируемой реакции кросс-сочетания (Сузуки) двумя различными способами. Также исследованы спектральные характеристики полученных соединений в разбавленных растворах.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 22-13-00255).

¹ Skorotetcky M.S., Krivtsova E.D., Borshchev O.V., Surin N.M., Svidchenko E.A., Fedorov Y.V., Pisarev S.A., Ponomarenko S.A. *Dyes and Pigments*. 2018, **155**, 284-291.

Органический Полевой Транзистор с Электролитическим Затвором с Рецепторным Слоем на Основе Краун-Эфира

Б.С. Кулешов^{1}, Е.Ю. Пойманова¹, М.С. Скоротецкий¹, О.Б. Борщев¹, Г.В. Черкаев¹,
Е.В. Агина^{1,2}, С.А. Пономаренко^{1,3}*

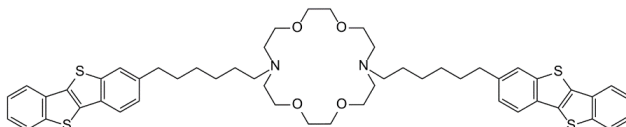
¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

²Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, факультет фундаментальной физико-химической инженерии

³Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, химический факультет

*e-mail: b.kuleshov@ispm.ru

Проблема создания сенсорного устройства, способного быстро и избирательно реагировать на ионы натрия и калия в биологических жидкостях является актуальной задачей для мониторинга состояния человека вне медицинского учреждения. Данная работа направлена на синтез соединения на основе краун эфира и бензотиено[3,2-*b*]бензотиофена (ВТВТ), а также создания органического полевого транзистора (ОПТЭЗ), использующего полученное соединение в качестве компонента рецепторного слоя для захвата ионов калия из раствора. Предлагаемый подход к созданию рецепторного слоя устройства основан на методе Ленгмюра-Шеффера и обеспечивает возможность создания универсальной платформы для дальнейшего распознавания ионов за счет использования краун-эфирных структур, которые могут связываться с поддерживающим слоем без существенного ухудшения электрических свойств ОПТЭЗ. В ходе данной работы был осуществлен синтез соединения, содержащего в своем составе сопряженный фрагмент ВТВТ и 4,13-диаза-18-краун-6 эфира, выполняющего роль рецепторного якоря для улавливания ионов из раствора аналита (Рис. 1).¹



Crown-C6-VTBT

Рис. 1. Структурная формула молекул рецепторного слоя.

Была разработана методика изготовления ОПТЭЗ устройства с рецепторным слоем, позволяющим избирательно связывать ионы калия в растворах с высокой ионной силой. Показано, что концентрация полученного вещества в рецепторном слое может достигать 50%_{масс.} Представлено доказательство концепции сенсорного отклика ОПТЭЗ на ионы калия в растворе, продемонстрированное смещением порогового напряжения на 33% при последовательном измерении ВАХ в растворах хлоридов калия и натрия. Предлагаемый подход к изготовлению рецепторного слоя обеспечивает возможность создания универсальной платформы для дальнейшего определения ионов за счет использования краун-эфирных структур, которые могут быть встроены в состав распознающего слоя без существенного изменения свойств ОПТЭЗ.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-73-30028)

¹ Б.С. Кулешов, Е. Ю. Пойманова, М. С. Скоротецкий, О.Б. Борщев, Г.В. Черкаев, Е. В. Агина, С. А. Пономаренко. Краун-эфир содержащее производное [1]бензотиено[3,2-*b*]бензотиофена для рецепторных слоев органических полевых транзисторов с электролитическим затвором. *Известия АН. Серия химическая*, принята в печать.

Синтез и Свойства Соединений, Поглощающих в БИК Спектральном Диапазоне, и их Применение в Органических Солнечных Батареях

Е.Д. Папковская^{1}, И.В. Дядищев¹, Д.О. Балакирев¹, А.К. Калининко¹, А.Л.Маннанов¹, Ю.Н. Лупоносов¹*

¹Институт Синтетических Полимерных Материалов имени Н.С. Ениколопова РАН, Москва, Россия

*e-mail: papkovskaya@ispm.ru

В настоящее время большой интерес мирового научного сообщества вызывает органическая фотовольтаика, в частности, органические солнечные батареи (ОСБ), как экологически чистый источник возобновляемой энергии. Эффективность преобразования энергии (КПД) ОСБ превышает 19%^{1,2} для устройств на основе аннелированных нефуллереновых акцепторных материалов (НФА)³ - сложных полиароматические соединения донорно-акцепторного типа с плоской и жесткой химической структурой, и КПД > 17%⁴ - для простых плоских НФА неаннелированного строения с объемными заместителями в структуре, препятствующими конформационным переходам молекулы. Несмотря на достигнутые успехи, для коммерциализации ОСБ на основе аннелированных НФА наиболее острой проблемой является трудоемкость и многостадийность их синтеза, что делает эти материалы очень дорогостоящими. В то время, как для реализации неаннелированных НФА остаются нерешенными вопросы стабильности, комплементарности донорных материалов для них и взаимосвязи структуры-свойства-производительности устройства. Кроме того, использование НФА, поглощающих в БИК диапазоне от 750 до 1200 нм, может значительно расширить спектральный диапазон поглощения активного слоя и повысить способность ОСБ к сбору фотонов, повысив КПД. Поэтому поиск структур с необходимыми физико-химическими свойствами для создания высокоэффективных ОСБ является важным и актуальным.

В данной работе разработан и осуществлен синтез новых потенциальных НФА. Комплексом современных физико-химических методов анализа доказаны структура и высокая чистота соединений. Полученные НФА обладают хорошей растворимостью во многих органических растворителях, достаточно высокой термической стабильностью, эффективным поглощением солнечного света в красном и БИК диапазонах как в растворах, так и в тонких пленках, имеют подходящие энергии уровней НСМО и ВЗМО для использования в качестве акцепторных материалов. Первые результаты тестирования новых НФА прототипах ОСБ в бинарных и тройных смесях с коммерческим донором РМ6 показали впечатляющие КПД более 17%.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-73-10198-П).

¹ Cui, Y., Xu, Y., et al. *Adv. Mater.* 2021, **33**, 2102420.

² Wan, J., Dyadishchev, I., Sun, R., et al. *J. Mater. Chem. A.* 2022, **10**, 17122-17131.

³ Papkovskaya, E.D., Wan, J., et al. *Energies.* 2023, **16**, 3443.

⁴ Li, D., Zhang, H., Cui, X., et al. *Adv. Mater.* 2024, **36**, 2310362.

Сольватокристаллы на Основе Линейных Тиофен-Фенил-Бензотиадиазолов

В.А.Постников^{1,2*}, *Т.А. Сорокин*^{1,2}, *А.А. Кулишов*^{1,2}, *Г.А. Юрасик*^{1,2}, *Н.И. Сорокина*¹,
*М.С. Лясникова*¹, *М.С. Скоротецкий*², *О.В. Борцев*², *Е.А. Свидченко*², *Н.М. Сурин*²

¹Курчатовский комплекс кристаллографии и фотоники НИЦ «Курчатовский институт»,

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

*e-mail: postva@yandex.ru

Линейные сопряженные молекулы с центральным бензотиадиазольным (ВТД) фрагментом и периферийными группами тиофена и фенила представляют большой интерес как высокостабильные донорно-акцепторные соединения с замечательными фотофизическими свойствами. В работе представлены результаты исследования фазового поведения, роста из растворов, структуры и оптико-флуоресцентных свойств кристаллов 4,7-бис(5-(4-(триметилсилил)фенил)тиофен-2-ил)бензотиадиазола (TMS-P-T-BTD) и его изомера 4,7-бис(4-(5-(триметилсилил)тиофен-2-ил)фенил)бензотиадиазола (TMS-T-P-BTD) (рис. 1а). Для TMS-T-P-BTD обнаружен редкий для линейных сопряженных молекул эффект избирательной сольватокристаллизации. Структура полученных монокристаллов TMS-P-T-BTD и TMS-T-P-BTD исследована методом монокристаллической рентгеновской дифракции при температурах 295 и 90 К. В элементарной ячейке кристалла TMS-P-T-BTD триклинного типа (пр. гр. P1, Z=1) установлен статистический беспорядок в расположении молекул, приводящий к появлению т. н. «средней» молекулой с двойкой (50%) ориентацией центрального ВТД-фрагмента (Рис. 1б). Для кристаллов TMS-T-P-BTD установлена селективность структуры к вхождению в элементарную ячейку триклинной модификации (пр. гр. P-1, Z=2) молекул ряда растворителей. В асимметричном блоке элементарной ячейки чистых и сольватированных кристаллов TMS-T-P-BTD находится две молекулы с различными конформациями (Рис. 1в). Для исследования оптико-флуоресцентных свойств в широком температурном интервале были использованы тонкие кристаллические пленки соединений, полученные методом вакуумного термического осаждения, и выращенные из растворов кристаллы.

а)

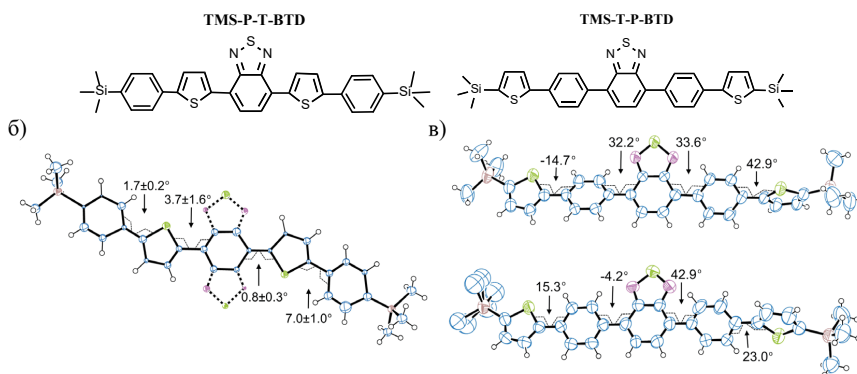


Рис. 1. Химические структурные формулы соединений (а); конформация молекулы TMS-P-T-BTD в кристалле при 90 К (б); два типа конформеров TMS-T-P-BTD в несольватированном кристалле при 295 К (тепловые эллипсоиды молекул на уровне вероятности 50%).

Работа выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-13-00255) с использованием оборудования ЦКП “Структурная диагностика материалов” НИЦ «Курчатовский институт» и ЦКП “Центр исследования полимеров” ИСПМ РАН.

Сопряженные Полимеры на Основе Трифениламина с Различными Боковыми Электроноакцепторными Группами

И.А. Чуйко^{1}, А.К. Калинин¹, Е.А. Свидченко¹, С.М. Перегудова¹, Ю.Н. Лупоносов¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова РАН

*e-mail: chuyko@ispm.ru

На сегодняшний день разработан широкий спектр органических дырочно-транспортных материалов, используемых в различных устройствах органической электроники. Среди них, полимеры на основе трифениламина (ТФА), обладающие такими свойствами, как высокая термическая стабильность, высокая температура стеклования, хорошая растворимость в органических растворителях, улучшенная адгезия к подложке, вызывают особый интерес у исследователей¹.

Часто для настройки оптоэлектронных свойств таких материалов к электронодонорному блоку ТФА присоединяют различные электроноакцепторные фрагменты^{2, 3}. Получая полимеры донорно-акцепторного (Д-А) строения, удается регулировать область поглощения света, энергию уровней ВЗМО и НСМО, подвижность зарядов, ширину запрещенной зоны и тем самым улучшать параметры устройств органической электроники.

Одним из наиболее известных методов синтеза полимеров на основе ТФА является окислительная полимеризация с FeCl_3 ⁴. Этот метод, в отличие от реакций кросс-сочетания, не требует использования дорогостоящих катализаторов и токсичных элементоорганических соединений, что в свою очередь упрощает и удешевляет процесс синтеза полимерных дырочно-транспортных материалов.

В работе представлен синтез методом окислительной полимеризации новых полимеров на основе ТФА Д-А строения, описаны их свойства, а также представлены первичные данные, собранные при исследовании материалов в устройствах органической электроники.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FFSM-2024-0003).

¹ Yena H.-J., Liou G.-S. *Prog. Polym. Sci.* 2019, **89**, 250-287

² Xie Y.-M., Yao Q., Xue Q., Zeng Z., Niu T., Zhou Y., Zhuo M.-P., Tsang S.-W., Yip H.-L., Cao Y. *Interdiscipl. Mater.* 2022, **1**, 281-293.

³ Gao Z., Zhao F., Ming S., Zhang Y., Zhao J. *Polymer.* 2023, **274**, 125908

⁴ Luponosov Y.N., Solodukhin A.N., Chuyko I.A., Peregudova S.M., Ponomarenko S.A. *New J. Chem.* 2022, **46**, 12311.

Крейзинг как Эффективный Метод Получения Смесей из Гидрофобного Полилактида и Гидрофильных Биосовместимых Полимеров

М.А. Хавначев^{1,2}, Б.В. Малык^{1,2}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко

*e-mail: bogdanamalyk@yandex.ru

В данной работе для создания смесей из гидрофобного полилактида (ПЛ) и гидрофильных биосовместимых полимеров (поливиниловый спирт (ПВС), поли-N-винилпирролидон (ПВП)) использовали метод классического крейзинга.

Крейзинг – это процесс образования в полимерном материале полостей (трещин), стенки которых соединены системой ориентированных и разобленных фибрилл, под действием механического поля. Важно отметить, что совмещение столь разнополярных полимеров (ПЛ и ПВС или ПЛ и ПВП) не представляется возможным с образованием высокодисперсной смеси каким-либо существующим способом без использования веществ-компатибилизаторов. Принципиальным отличием крейзинга от традиционно существующих способов смешения компонентов является тот факт, что для включения добавок в структуру полимера термодинамическая совместимость компонентов не является обязательным условием.

Полиэфирные волокна и пленки, наполненные гидрофильными полимерами, получали методом крейзинга путем прямого ориентационного растяжения изотропных образцов ПЛ в водно-этанольных растворах ПВС или ПВП различной концентрации (рис. 1).

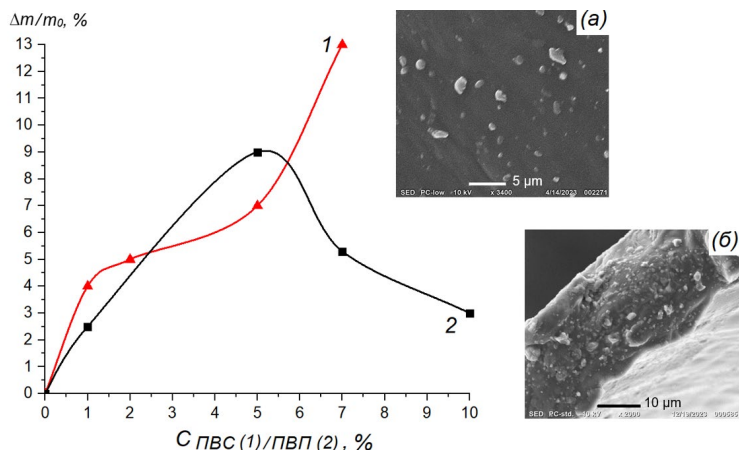


Рис. 1. Зависимость содержания (1) ПВС в волокнах и (2) ПВП в пленках ПЛ после вытяжки от концентрации полимеров в исходном растворе.

Установлено, что содержание полимерной добавки в волокнах и пленках ПЛ увеличивается по мере роста её концентрации в исходном водно-этанольном растворе, и достигает 13.0 (ПВС) и 9.0 мас. % (ПВП) (рис. 1, кривые 1 и 2). Методом сканирующей электронной микроскопии в матрицах ПЛ обнаружены частицы наполнителей с размерами $0.17 \div 2.11$ мкм (ПВС, рис. 1, вставка а) и $1.25 \div 3.15$ мкм (ПВП, рис. 1, вставки б). Обнаружено, что введение гидрофильных полимеров в волокна и пленки из гидрофобного ПЛ приводит к ускорению их гидролитического разложения в натрий-фосфатном буфере PBS (модельная среда, pH 7.4) при 37 °С.

Влияние Светоконвертирующих Фотолюминесцентных Укрывных Материалов на Рост и Продуктивность Растений Салата, Капусты Белокачанной и Горчицы Сарептской

Д.О. Балакирев^{1}, И.В. Дядищев¹, В.Д. Креславский², А.А. Кособрюхов², А.Ю. Худякова²,
Е.А. Свидченко¹, Н.М. Сурин¹, Н.С. Захарченко³, Е.Б. Рукавицова³, А.Е. Филонов⁴,
И.Ф. Пунтус⁴, А.Н. Звонарев⁴, С.А. Пономаренко¹, Р.Н. Храмов⁵, Ю.Н. Луносов¹*

¹ Институт синтетических полимерных материалов РАН

² Институт фундаментальных проблем биологии РАН

³ Филиал Института биоорганической химии РАН

⁴ Федеральный исследовательский центр «Пушинский научный центр биологических исследований РАН» Институт биохимии и физиологии микроорганизмов

⁵ Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН

*e-mail: balakirev@ispm.ru

Органические люминесцентные материалы широко используются в различных электронных и оптоэлектронных устройствах в связи с растущими потребностями науки и техники. Улучшение спектрально-люминесцентных характеристик таких материалов и углубленное понимание взаимосвязей «структура-свойство» остаются непростыми задачами, адресованными научному сообществу. Кроме того, общие тенденции времени диктуют и новые условия, где на стыке междисциплинарных исследований открываются новые области практического применения органических люминесцентных материалов. Одной из подобных областей междисциплинарного взаимодействия является практическая агрофотоника. Идея использования разных спектральных компонент света для управления развитием растений не нова, однако именно с развитием области органических источников света стала в полной мере реализуема. Как результат, подобные исследования представляют огромный интерес, поскольку открывают возможность максимального раскрытия генетического потенциала сельскохозяйственных культур растений без генетической модификации или увеличения использования химических веществ.

В рамках данной работы, была разработана, синтезирована и всесторонне исследована серия новых люминесцентных донорно-акцепторных органических люминофоров на основе трифениламинового электронодонорного фрагмента, сопряженного через тиофеновый фрагмент с различными по своей природе концевыми электроноакцепторными группами. В зависимости от природы электроноакцепторной группы максимумы люминесценции люминофоров демонстрировали значительную изменчивость, например, от 509 до 750 нм, а значения квантового выхода фотолюминесценции лежали в диапазоне 1–89%. Все люминофоры показали хорошую совместимость с полимерной матрицей, в которой квантовые выходы фотолюминесценции в целом выше (до 25 раз) по сравнению с соответствующими растворами или поликристаллическими пленками. Кроме того, был разработан и протестирован светопреобразующий укрывной материал на основе полипропиленового спанбонда, наполненного светоизлучающей добавкой на основе разработанного органического люминофора, с использованием которого было показано воспроизводимое усиление роста растений капусты белокачанной, салата, а также горчицы сарептской с увеличением общей сырой надземной биомассы растений в среднем на 20–40%.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 23-73-01278).

Синтез и Свойства Нефуллереновых Акцепторов на Основе Конденсированных Тиенопирролоиндолов и Неконденсированных Олиготиофенов для Органических Солнечных Батарей

*И.В. Дядищев¹, Дж. Ван², Е.А. Свидченко¹, Н.М. Сурин¹, А.В. Бакиров^{1,3},
С.М. Перегудова^{1,4}, С.А. Пономаренко¹, Дж. Мин², Ю. Н. Лупоносов¹*

¹ Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

² Институт перспективных исследований, Уханьский университет

³ Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

⁴ Институт элементоорганических соединений имени А.Н. Несмеянова, Российская академия наук

*e-mail: dyadischev_iv@ispm.ru

Последние достижения в области органической фотовольтаики достигли значительных результатов¹. Большая часть прогресса связана с разработкой новых светопоглощающих материалов – нефуллереновых акцепторов (НФА). Развитие донорных и акцепторных материалов привело к появлению tandemных органических солнечных батарей (ОСБ), которые позволили получить КПД более 20%². Однако одной из проблем таких НФА является их сложная молекулярная структура, требующая множества синтетических этапов, что увеличивает стоимость и трудоёмкость производства. Кроме того, разработка более простых химических структур НФА и поиск молекулярных инструментов для тонкой настройки их оптоэлектронных свойств остаются весьма актуальными задачами для дальнейшего практического применения.

В ходе данной работы были получены новые нефуллереновые акцепторы на основе тиено[3,2-*b*]тиено[2',3':4,5]пирроло[2,3-*f*]индола (ТРИС)³, тиено[2',3':4,5]тиено[3,2-*b*]тиено[2',3":4',5']тиено[2',3':4,5]пирроло[3,2-*g*]индола⁴ и 2,2'-(3,4-диметокситиен-2,5-диил)бистиено[3,2-*b*]тиофена и исследованы их термическая стабильность, фазовое поведение, оптические, электрохимические и фотоэлектрические свойства. Использование тройной смеси на основе РМ6:У6:ТРИС продемонстрировало превосходные фотоэлектрические свойства ОСБ с КПД 17,7%. Олиготиофены с алкилокси заместителями в конденсированном состоянии показали признаки формирования внутримолекулярного «замыкания» за счёт нековалентных O⋯S взаимодействий, что привело к существенному смещению спектров поглощения олигомеров в длинноволновую область по сравнению с раствором.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (грант № 19-73-10198-П).

¹ Yang Li, at.al. *Molecules*, 2022; 27 (6), 1800.

² Zheng Z., at.al. *Joule*, 2022; 6, 171–184.

³ Ji Wan, at.al. *J. Mater. Chem. A*, 2022, 10, 17122.

⁴ I.V. Dyadishchev, at.al. *Mendeleev Commun.*, 2023, 33, 393–396.

Наночастицы на Основе Органических Сопряженных Донорно-Акцепторных Материалов для Биомедицинских Приложений

Ю.А. Исаева^{1*}, А.Н. Ефремов^{1,2}, И.В. Дядищев¹, Д.О. Балакирев¹, Р.А. Акасов³,
Е.В. Хайдуков³, Ю.Н. Лупоносков¹

¹ Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

³ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова

*e-mail: yu.isaeva@ispm.ru

Фототерапия является перспективным методом лечения рака благодаря своей простоте, высокой эффективности и минимальной лекарственной устойчивости. Достижением в этой области является фототераностика, сочетающая диагностику и терапию с использованием светового возбуждения. Однако существующие материалы имеют недостатки, среди которых низкая эффективность, сложность синтеза и недостаточная специфичность доставки лекарств к опухоли. Целью нашего исследования было преодоление этих ограничений и создание фотосенсибилизаторов с использованием современных подходов. Донорно-акцепторные органические соединения, широко применяемые в органической электронике¹ и фотонике², в последнее время вызывают особый интерес в области биомедицины благодаря их способности к функционализации для специфического взаимодействия с опухолями, низкой токсичности, высокой биосовместимости и возможности настраиваемого поглощения света, включая ближний инфракрасный (БИК) диапазон спектра³.

В данной работе была синтезирована серия Д-А молекул на основе трифениламина (ТФА). Высокая чистота и заданная структура соединений была доказана комплексом современных физико-химических методов анализа. Исследование взаимосвязи между молекулярной структурой и свойствами таких соединений позволит оптимизировать их эффективность в фототерапии и влиять на специфичность по отношению к раковым клеткам. В этой связи было исследовано влияние структуры на оптические и электрохимические свойства, фазовое поведение и термостабильность полученных соединений. Затем были получены водные дисперсии наночастиц как на основе синтезированных молекул, так и в комплексе с амфифильными полимерными матрицами. Было исследовано влияние инкапсуляции в полимер на размер, стабильность, и цитотоксичность наночастиц. Наиболее перспективное из синтезированных веществ имело полумаксимальную ингибирующую концентрацию $IC_{50} = 0,02$ ммоль и индекс фототоксичности $PI = 50$. Его инкапсуляция в полилактид-блок-полиэтиленгликоль (PEG-PLA) привела к значениям $IC_{50} < 0,02$ ммоль и $PI > 50$. С использованием диацетата дихлордигидрофлуоресцеина (DCFDA) были получены флуоресцентные изображения при помощи конфокального лазерного сканирующего микроскопа Leica TCS SPE и показана генерация активных форм кислорода в клетках.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FFSM-2024-0003).

¹ Paek S., Qin P., Lee Y., Cho K.-T., Gao P., Grancini G., Oveisi E., Gratia P., Rakstys K., Al-Muhtaseb S., Ludwig C., Ko J., Nazeeruddin M. K. Adv. Mater. 2017, **29**, 1606555.

² Justin Thomas K. R., Lin J., Velusamy M., Tao Y.-T., Chuen C.-H. Adv. Funct. Mater. 2004, **14**, 83–90

³ Lu B., Huang Y., Zhang Z., Quan H., Yao Y. 2022, **6** (20), 2968-2993.

Стендовые доклады

Создание ОПТЭЗ-Сенсора для Определения Катионов Тяжелых Металлов

А.К. Кешек^{1,2}, Е.Г. Завьялова^{1,2}, П.А. Шапошник², Е.Ю. Пойманова²*

¹Московский государственный университет, Химический факультет

²Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: akeshek@list.ru

На сегодняшний день остро стоит вопрос загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, представляющими серьезную угрозу для экосистемы и здоровья человека из-за высокой токсичности. Для обнаружения и контроля за содержанием тяжелых металлов разрабатываются различные устройства, чувствительные даже к малым концентрациям металлов. Одними из таких устройств являются сенсоры на основе органических полевых транзисторов с электролитическим затвором (ОПТЭЗ), в которых в качестве распознающего элемента используются аптамеры – искусственно созданные короткие фрагменты ДНК или РНК, специфично связывающиеся с объектами-мишенями. Такие биосенсоры обладают рядом преимуществ, таких как высокая специфичность, высокая чувствительность, быстрота реакции, доступность наблюдения в реальном времени.

Исследование специфичности связывания ДНК-аптамеров с катионами металлов проводилось с помощью изотермической титрационной калориметрии (ИТК), позволяющей определить K_d , стехиометрию и другие термодинамические параметры комплексообразования по измерению тепла, выделенного или поглощенного в процессе реакции. По результатам ИТК были выбраны следующие аптамеры: PbGQ¹, обладающий $K_d = 270$ нМ; PbGQ2² с $K_d = 120$ нМ, специфичные к катионам свинца, и HgTT³ с $K_d = 620$ нМ, специфичный к катионам ртути.

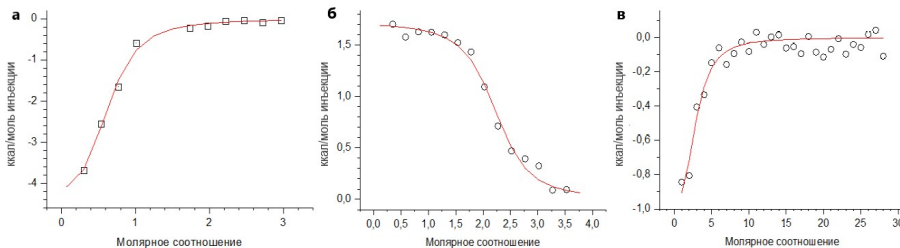


Рис. 1. Изотермы связывания аптамеров: а) PbGQ-Pb²⁺, б) PbGQ2-Pb²⁺, в) HgTT-Hg²⁺.

В ходе исследований на ОПТЭЗ-сенсоре специфичности обнаружения катионов свинца и ртути в водных растворах в присутствии катионов натрия было установлено, что сенсоры с аптамерами PbGQ и PbGQ2 не могут быть использованы в средах с высоким содержанием солей натрия (например, в соленых водах), в то время как работа сенсора с аптамером HgTT не зависит от концентрации солей натрия в растворе.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 23-73-00103.

¹ Gao F., Gao C., He S., Wang Q., Wuet A. *Biosens. Bioelectron.* 2016, **81**, 15–22.

² Park M., Ha H. D., Kim Y. T., Jung, J. H., et. al. *Anal. Chem.* 2015, **87**(21), 10969–10975.

³ Qi Y., Xiu, F.-R., Yu, G., Huang, L., Li, B. *Biosens. Bioelectron.* 2017, **87**, 439–446.

Новые Подходы к Определению Массовых Долей Алюминия, Фосфора, Кремния в Ферросплавах Методом АЭС-ИСП

Д.В. Кошкина^{1}, О.Ю. Шашканова¹*

¹Липецкий государственный технический университет, металлургический факультет,
Липецк, Россия

*e-mail: darya.kochk@yandex.ru

Качество продукции, выпускаемой металлургическими предприятиями, во многом определяется результатами химического анализа металлов, сплавов и вспомогательных материалов в том числе ферросплавов. Анализу ферросплавов уделяется повышенное внимание, поскольку они широко применяются в металлургии для удаления растворенного кислорода из расплавленного металла, для раскисления стали и в качестве легирующих элементов. В настоящее время ГОСТ и ТУ для анализа ферросплавов рекомендованы такие методы, как титриметрия, гравиметрия, спектрофотометрия. Наряду с этим развиваются и современные инструментальные методы анализа – рентгенофлуоресцентная и атомно-эмиссионная спектроскопия.

Метод АЭС ИСП положительно зарекомендовал себя в анализе материалов металлургического производства (конструкционных сталей, некоторых ферросплавов), поскольку имеет хорошие метрологические характеристики, позволяет определять макро- и микроконцентрации компонентов.

Целью данной работы является изучение условий и разработки метода автоклавной пробоподготовки ферромарганца и феррохрома в условиях микроволнового нагрева и последующего определения массовых долей алюминия, фосфора, кремния методом АЭС ИСП.

Компонент	Содержание, %		S _R
	Аттестованное значение	Найдено	
Ферромарганец			
Si	1,60	1,61±0,06	0,05
P	0,158	0,156±0,002	0,03
Феррохром			
Al	0,30	0,31±0,01	0,04
P	0,036	0,036±0,001	0,04
Si	2,08	2,07±0,06	0,06

Таблица 1. Результаты определения элементов в ферромарганце и феррохроме

¹ Чапала Ю.И., *Метотехника*. 2018. 15 с.

² Тормышева Е.А., *Материалы съезда аналитиков России «Аналитическая химия – новые методы и возможности»*. – М., 2010. С. 295.

**Разработка Методов Коррекции Базовой Линии для Повышения Достоверности
Расчётов Сенсорных Свойств Органических Полевых Транзисторов с
Различными Полимерными Диэлектриками**

Д.А. Красников^{1,2}, А.А. Труль¹, В.П. Гайдаржи¹, М.С. Полинская¹, О.В. Борцев¹,
Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко^{1,2}*

¹Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

²Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

*e- mail: danankr@gmail.com

Органические полевые транзисторы (ОПТ) являются перспективными устройствами для создания газочувствительных сенсоров благодаря высокой чувствительности, быстрому отклику, низкому энергопотреблению и гибкой архитектуре. В последние годы исследуются методы детектирования низких концентраций токсичных газов, что важно для мониторинга воздуха, контроля качества продуктов и диагностики заболеваний по выдыхаемому воздуху.^{1,2} Тем не менее остаются нерешенные проблемы, связанные с корректировкой базовой линии откликов сенсоров, что затрудняет получение достоверных результатов измерений. Методы коррекции базовой линии, такие как много-полиномиальные методы и вейвлет-анализ, применяемые в спектроскопии, могут быть адаптированы для газовых сенсоров на основе ОПТ.^{3,4} Выбор интерфейсного диэлектрика в структуре ОПТ значительно влияет на их сенсорные характеристики. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные различным полупроводниковым материалам, влияние интерфейсных диэлектриков изучено недостаточно.⁵

Целью данной работы было разработать метод коррекции базовой линии для повышения достоверности расчетов сенсорных свойств ОПТ. В рамках работы были разработаны и протестированы методы коррекции базовой линии, включающие аппроксимацию пиков линейными и полиномиальными функциями, а также их комбинированные варианты. Наиболее перспективным оказался комбинированный метод, который показал лучшие результаты по сравнению с традиционными методами. Предложен метод автоматизированного поиска пиков по производной, что является перспективным направлением для анализа данных в режиме реального времени. Результаты показали, что методы коррекции базовой линии, применяемые в спектроскопии, могут быть адаптированы для газовых сенсоров на основе ОПТ. Лучшие результаты достигнуты для методов на основе наименьших квадратов и вейвлет-анализа. В дальнейшем планируется продолжить разработку и тестирование этих методов на большем объеме данных и для различных газов.

Работа выполнена при поддержке Российского Научного Фонда (проект № 19-73-30028П).

¹ A. A. Trul et al., J Mater Chem C, 2018, 6, 9649-9659.

² D.S. Anisimov et al. Sci Rep, 2021, 11, 10683.

³ Z. M. Zhang et al., Analyst, 2010, 135, 1138-46.

⁴ S. J. Baek et al., Analyst, 2015, 140, 250-7.

⁵ V. P. Chekusova et al., Russ Chem Bull, 2022, 71, 1290-1299.

Совместимые Электроды на Основе Полидиметилсилоксана и Углеродных Наполнителей

Д.Я. Кубинская^{1}, А.Г. Хмельницкая², А.А. Калинина¹*

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

*e-mail: daryana.kubinskaya@googlemail.com

В связи с развитием микроэлектроники, робототехники и медицины возрастает потребность в разного рода устройствах: актуаторах, датчиках давления и других устройствах. К ним предъявляется ряд требований: они должны быть гибкими, обладать биосовместимостью, простотой изготовления, сохранять проводимость при деформации и растяжении^{1,2,3}. Особенный интерес представляют композитные материалы на основе диэлектрических эластомеров. Одной из ключевых составляющих гибких устройств являются совместимые электроды, которые должны деформироваться вместе с диэлектрическим слоем. Наиболее перспективными композитами в качестве гибких электродов представляются смеси на основе полидиметилсилоксана (ПДМС) и углеродных нанотрубок (УНТ).

При выборе методов получения подобных устройств необходимо учитывать склонность углеродных наполнителей к агрегации из-за высокой поверхностной энергии, что накладывает ограничения на получение подобных материалов. Одним из перспективных методов получения композитов на основе ПДМС и УНТ является метод напыления. Преимуществом метода является быстрота получения композита, невысокая стоимость оборудования и простота реализации. За счет нанесения проводящего слоя на полимерную подложку, устройство обладает высоким относительным удлинением и прочностью на разрыв, сохраняя проводимость при деформации и растяжении. Варьируя концентрацию УНТ и состав композитных материалов, можно создавать как гибкие электроды, так и датчики давления.

Целью нашей работы было получение проводящих эластомерных композитов на основе ПДМС и многостенных УНТ методом напыления, а также исследование их механических и проводящих свойств.

В докладе будут представлены результаты исследования механических и проводящих свойств, влияние состава композитов на свойства материала.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке РФФ (проект № 19-73-30028-П).

¹ Guo, Y., Liu, L., Liu, Y. et al. *Adv. Intell. Syst.* 2021. **3**, 2000282.

² Yamada, T., Hayamizu, Y., Yamamoto, Y. et al. *Nat. Nanotech.* 2011. **6**, 296-301.

³ Tian, S., Wang Y., Deng H. et al. *Soft. Sci.* 2023. **3**, 30.

Крейзинг Волокон и Пленок Полилактида в Растворах Биосовместимых Полимеров

Б.В. Малык^{1,3}, М.А. Хавначев^{2,3}*

¹Московский физико-технический институт

²Институт синтетических полимерных материалов РАН

³Институт физико-органической химии и углехимии им. Л.М. Литвиненко

*e-mail: bogdanamalyk@yandex.ru

В данной работе для создания смесей из гидрофобного полилактида (ПЛ) и гидрофильных биосовместимых полимеров (поливиниловый спирт (ПВС), поли-N-винилпирролидон (ПВП)) использовали метод классического крейзинга.

Крейзинг – это процесс образования в полимерном материале полостей (трещин), стенки которых соединены системой ориентированных и разобленных фибрилл, под действием механического поля. Важно отметить, что совмещение столь разнополярных полимеров (ПЛ и ПВС или ПЛ и ПВП) не представляется возможным с образованием высокодисперсной смеси каким-либо существующим способом без использования веществ-компатибилизаторов. Принципиальным отличием крейзинга от традиционно существующих способов смешения компонентов является тот факт, что для включения добавок в структуру полимера термодинамическая совместимость компонентов не является обязательным условием.

Полиэфирные волокна и пленки, наполненные гидрофильными полимерами, получали методом крейзинга путем прямого ориентационного растяжения изотропных образцов ПЛ в водно-этанольных растворах ПВС или ПВП различной концентрации (рис. 1).

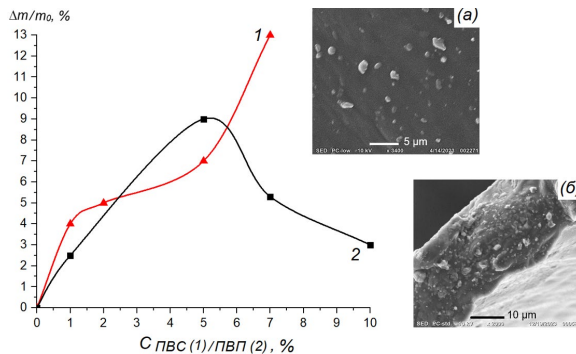


Рис. 1. Зависимость содержания (1) ПВС в волокнах и (2) ПВП в пленках ПЛ после вытяжки от концентрации полимеров в исходном растворе.

Установлено, что содержание полимерной добавки в волокнах и пленках ПЛ увеличивается по мере роста её концентрации в исходном водно-этанольном растворе, и достигает 13.0 (ПВС) и 9.0 мас. % (ПВП) (рис. 1, кривые 1 и 2). Методом сканирующей электронной микроскопии в матрицах ПЛ обнаружены частицы наполнителей с размерами $0.17 \div 2.11$ мкм (ПВС, рис. 1, вставка а) и $1.25 \div 3.15$ мкм (ПВП, рис. 1, вставки б). Обнаружено, что введение гидрофильных полимеров в волокна и пленки из гидрофобного ПЛ приводит к ускорению их гидролитического разложения в натрий-фосфатном буфере PBS (модельная среда, pH 7.4) при 37 °С.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, тема FFSM-2022-0003.

Твердофазный Синтез Производных Хитозана и Галловой Кислоты

Т.Н. Попырина¹, М.А. Хавначев¹, П.Л. Иванов¹, Н.Б. Свищева¹, Т.А. Аكوпова^{1}*

Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: akopova@ispm.ru

Галловая кислота (3,4,5-триоксibenзойная кислота), ароматическая гидроксикарбоновая кислота широко применяется для синтеза функциональных органических соединений, в том числе лекарственных препаратов. В пищевой промышленности её эфиры используют для придания композициям антиоксидантных свойств¹. Композиционные пленки на основе хитозана и галловой кислоты продемонстрировали высокую активность по отношению к большинству микроорганизмов по сравнению с пленками, содержащими только хитозан, сохраняя при этом механические и защитные свойства². Ковалентная сшивка с полисахаридом является одним из способов стабилизации антиоксидантов и улучшения их биодоступности. Экспериментальные данные, полученные как в *in vitro*, так и в *in vivo* экспериментах, свидетельствуют о значительной биологической активности модифицированного галловой кислотой хитозана, в частности в качестве ингибитора свободных радикалов, препятствующего повреждению клеточных систем³.

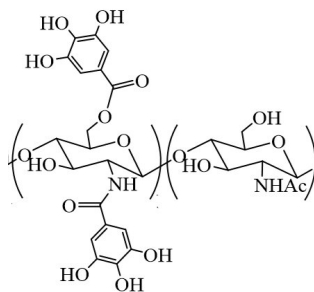


Рис. 1. Структура производного галловой кислоты и хитозана

Поскольку галловая кислота является твердым ограниченно растворимым соединением с высокой температурой плавления (220-240 °С), то представляло интерес изучить её взаимодействие с хитозаном в условиях твердофазного синтеза при приложении сдвиговых деформаций. В рамках представленной работы выполнен выбор условий проведения экспериментов с использованием опытно-промышленного двухшнекового экструдера, предназначенного для переработки твердых дисперсий. Экструдер оборудован наборными шнековыми элементами (с однонаправленным вращением) для регулирования интенсивности механического воздействия и контролируемым нагревом/охлаждением зон. При мольном соотношении галловая кислота : хитозан равном 0.7 в интервале температур 25-150 °С получен ряд образцов, частично растворимых и хорошо набухающих в нейтральных водных средах с образованием гелевых систем с характерной окраской. Полученные производные, предполагаемая структура которых представлена на рисунке, будут использованы для получения антибактериальных композиций на основе полисахаридов.

Данная работа выполнена при поддержке РНФ (проект № 24-23-20057).

¹ <https://bigenc.ru/c/galovaia-kislota-see37e/annotation>

² Луньков А.П., и др. *Прикладная биохимия и микробиология* 2018, **54**(5), 444-454

³ Варламов В.П., и др. *Успехи биологической химии* 2020, **60**, 317-368

Авторский указатель

	А		Звонарев, А.Н.	52
Абрамов, А.А.		17 40 42 45	Звягина, А.И.	15
Агина, Е.В.		17 18 29 30 32		
		39 40 42 43 44	И	
		45 46 58	Иванов, П.Л.	61
Акасов, Р.А.		54	Исаев, И.В.	41
Акопова, Т.А.		61	Исаева, Ю.А.	54
Александров, А.Е.		15		
Алексянн, М.М.		20	К	
	Б		Казарян, Г.С.	25
Бакиров, А.В.		53	Калинина, М.А.	15
Балакирев, Д.О.		48 52 54	Калинина, А.А.	23 25 26 59
Безсуднов, И.В.		23 27	Калиниченко, А.К.	48 50
Боброва, Е.А.		38	Караман, П.Н.	44 45
Борисова, Д.М.		26	Кешек, А.К.	18 43 56
Борщев, О.В.		28 31 33 34 35	Клеймюк, Е.А.	27
		36 37 38 40 46	Кособрюхов, А.А.	52
		47 49 58	Кошкина, Д.В.	57
			Крамаренко, Е.Ю.	13
Бужин, А.И.		27	Красников, Д.А.	58
	В		Креславский, В.Д.	52
Ван, Дж.		53	Кретьова, Е.А.	18 39 43 45
Вдовиченко, А.Ю.		24	Кривецкий, В.В.	41
	Г		Крупнин, А.Е.	20
Гайдаржи, В.П.		29 36 40 58	Крылов, В.Б.	44
Гайков, Д.К.		37	Кубинская, Д.Я.	59
Горина, А.В.		14	Кулешов, Б.С.	47
Городов, В.В.		36	Кулишов, А.А.	49
Гудкова, И.О.		31 33		
	Д		Л	
Дайюб, Т.		14	Ладохин, Д.Г.	14
Доленко, С.А.		41	Левков, Л.Л.	35
Дядищев, И.В.		48 52 53 54	Лупоносов, Ю.Н.	19 27 48 50 52
	Е			53 54
Ефремов, А.Н.		54	Лясникова, М.С.	49
	Ж			
Жемчугов, П.В.		14	М	
	З		Максимкин, А.В.	14
Заборин, Е.А.		31 36	Малык, Б.В.	51 60
Завьялова, Е.Г.		18 39 43 56	Маннанов, А.Л.	48
Захарченко, Н.С.		52	Мин, Дж.	53
			Музафаров, А.М.	12 25 26
			Мягкова, К.З.	23
			Н	
			Нагорный, В.А.	29
			Нечаев, А.Н.	39

	П			Х	
Папковская, Е.Д.	48		Хавпачев, М.А.	51 60 61	
Перегудова, С.М.	50 53		Хайдуков, Е.В.	54	
Пойманов, В.Д.	17 45		Хмельницкая, А.Г.	23 25 45 59	
Пойманова, Е.Ю.	17 18 30 32 39 43 44 45 47 56		Храмов, Р.Н.	52	
			Худякова, А.Ю.	52	
Полинская, М.С.	40 58				Ч
Поляков, Р.А.	34		Чвалун, С.Н.	20 24	
Пономаренко, С.А.	16 23 25 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 43 44 46 47 52 53 58		Черкаев, Г.В.	47	
			Чуйко, И.А.	50	
Попова, В.В.	28 46				Ш
Попырина, Т.Н.	61		Шапошник, П.А.	18 30 56	
Постников, В.А.	49		Шарикова, Н.А.	24	
Пунтус, И.Ф.	52		Шашканова, О.Ю.	57	
			Шевченко, В.Г.	27	
			Шипулин, Г.А.	17	
					Ю
Рукавцова, Е.Б.	52		Юрасик, Г.А.	49	
			Юсуповская, Е.А.	14	
					Г
			Ghazaryan, G.	11	
					К
Савельев, Г.	14		Kalinina, A.A.	11	
Свидченко, Е.А.	46 49 50 52 53		Khmelnitskaia, A.G.	11	
Свищева, Н.Б.	61				Р
Седуш, Н.Г.	20		Ponomarenko, S.A.	11	
Сидоренко, С.В.	17				
Скоротецкий, М.С.	40 47 49				
Сорокин, Т.А.	49				
Сорокина, Е.А.	31 33				
Сорокина, Н.И.	49				
Сосорев, А.Ю.	21				
Стаканова, Д.Е.	46				
Степичева, Е.С.	14				
Столярова, Д.Ю.	24				
Сурин, Н.М.	28 46 49 52 53				
					Т
Тамеев, А.Р.	15				
Тельшев, Д.В.	14				
Титова, Я.О.	32				
Тоиров, С.Х.	40				
Труль, А.А.	17 29 30 32 40 45 58				
					Ф
Филонов, А.Е.	52				

RSF

Russian
Science
Foundation

