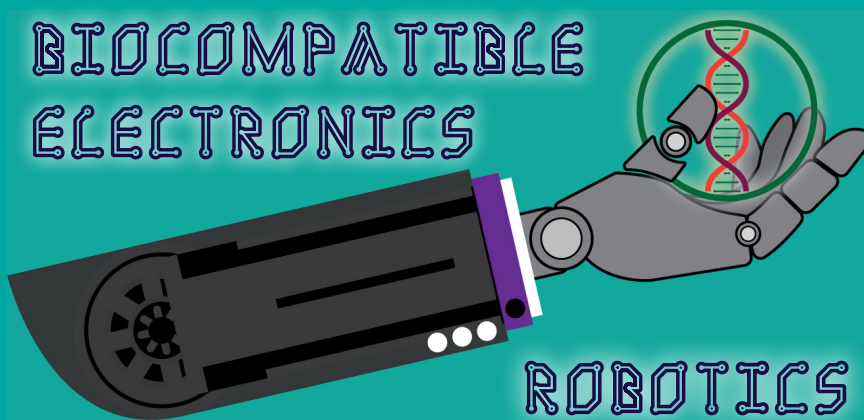


Всероссийская школа-
конференция с международным
участием по биосовместимой
электронике и робототехнике

Книга тезисов



22-26 мая, 2022

Нальчик, Россия

Отель Азимут

<http://ber2022.tilda.ws/ber2022>

Всероссийская школа-конференция с международным участием по биосовместимой электронике и робототехнике – 2022

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. Несмиянова
Российской Академии Наук (ИНЕОС РАН)

ООО “Технологии Печатной Электроники” (ООО Принтэлтех)

ООО “Эклогит”

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 (Институт Синтетических Полимерных Материалов им. Н.С. Ениколопова Российской Академии Наук, 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*
Виктория Петровна Гайдаржи – *ученый секретарь*

к.х.н. Аскольд Альбертович Труль

Dr.rer.nat. Александр Евгеньевич Литвинов

к.х.н. Елена Юрьевна Пойманова

Алина Гайфетдиновна Хмельницкая

Ярослава Олеговна Титова

Книга тезисов. Всероссийская школа-конференция с международным участием по биосовместимой электронике и робототехнике – 2022 // Институт Синтетических Полимерных Материалов им.Н.С.Ениколопова РАН. - Москва, 2022. - 46 страниц.
ISBN 978-5-6043936-3-5.

ISBN 978-5-6043936-3-5



Программа

Воскресение, 22^е мая

12:10 – 18:00	Заселение в гостиницу Азимут
13:00 – 14:00	Обед
18:00 – 18:15	Открытие школы-конференции. Вступительное слово А.М. Музофарова
	Председатель сессии: <i>Елена Агина</i>
18:15 – 19:00	<u>T-1.</u> Сергей Пономаренко. Сопряжение и Перенос Энергии в Органических Молекулах
19:00 – 19:45	<u>T-2.</u> Сергей Чвалун. Биоразлагаемые Полимеры и Композиционные Материалы для Хирургии: от Мономеров до Изделий
19:45 – 20:30	<u>T-3.</u> Елена Крамаренко. Магнитоактивные Эластомеры: Современное Состояние и Перспективы Применения в Медицине

Понедельник, 23^е мая

07:00 – 10:00	Завтрак
	Председатель сессии: <i>Александр Литвинов</i>
10:00 – 10:45	<u>T-4.</u> Елена Агина. «Электронный Нос»: Подходы к Изготовлению, Принцип Действия, Перспективные Применения
10:45 – 11:30	<u>T-5.</u> Елена Завьялова. ДНК как Узнающий Элемент Биосенсоров
11:30 – 11:55	<u>I-1.</u> Елена Пойманова. Биораспознающий Слой как Основа Платформы для Биосенсинга на Основе Органических Полевых Транзисторов с Электролитическим Затвором
11:55 – 12:20	<u>I-2.</u> Аскольд Труль. Детектирование Токсичных Газов с Помощью Органических Полевых Транзисторов
12:20 – 12:45	<u>I-3.</u> Валерий Кривецкий. Газовые Сенсоры для Машинного Обоняния
12:45 – 13:00	<u>O-1.</u> Антон Абрамов. Практические Применения и Электрическая Безопасность Биоимпедансометрии
13:00 – 13:15	<u>O-2.</u> Полина Шапошник. Органический Электролитический Транзистор на Основе 2,7-Диоктил [1]Бензотиено[3,2-В]Бензотиофена как Мультипараметрический Сенсор на PH
13:15 – 13:30	<u>O-3.</u> Виктория Гайдаржи. Изготовление Структурированного Полимерного Субстрата для Создания на его Основе Печатного Полимерного ОПТ
13:30 – 13:45	<u>O-4.</u> Ярослава Титова. Изготовление Прототипов Сенсорных Устройств Методом Струйной Печати
13:45 – 14:00	<u>O-5.</u> Марина Полинская. Олиготиофенсодержащие Кремнийорганические Мультиподы для Органической Электроники
14:00 – 15:00	Обед

15:00 – 17:00	Круглый стол по тематике дня
---------------	-------------------------------------

Вторник, 24^е мая

07:00 – 10:00	Завтрак
	Председатель сессии: <i>Елена Агина</i>
10:00 – 10:45	<u>T-6.</u> Юрий Лупоносов. Донорно-Акцепторные Производные Олиготиофенов для Опто- и Биоэлектроники
10:45 – 11:30	<u>T-7.</u> Павел Балабан. Биомедицинские Технологии Восстановления Зрения
11:30 – 12:15	<u>T-8.</u> Андрей Сосорев. Роль Компьютерного Моделирования в Установлении Связей Между Структурой и Свойствами Органических Полупроводников
12:15 – 12:30	<u>O-6.</u> Артур Маннанов. Спектрально Селективные Однокомпонентные Органические Фотодетекторы на Основе Донорно-Акцепторных Сопряженных Молекул
12:30 – 12:45	<u>O-7.</u> Максим Скоротецкий. Синтез и Свойства Гетероаценов для Органической Электроники
12:45 – 13:00	<u>O-8.</u> Елена Клеймюк. Сополимеры на Основе Поливинилиденфторида с Привитыми Цепями Полиэтилметакрилата: Синтез, Термические и Диэлектрические Свойства
13:00 – 13:15	<u>O-9.</u> Евгений Заборин. Перспективные Полимерные Материалы на Основе ПДМС и Диалкилпроизводного ВТВТ для Органической Электроники
13:15 – 13:40	<u>I-4.</u> Владислав Пойманов. Логические Устройства на Основе Магнонов
14:00 – 15:00	Обед
17:05 – 17:30	Круглый стол по тематике дня

Среда, 25^е мая

07:00 – 10:00	Завтрак
	Председатель сессии: <i>Елена Крамаренко</i>
10:00 – 10:45	<u>T-9.</u> Александра Калинина. Силоксановые Композиты для Диэлектрических Актюаторов: Современное Состояние в Области Получения и Перспективы Развития
10:45 – 11:10	<u>I-5.</u> Александр Тарасенков. Полидиметилсилоксановые Композиции, Наполненные Кремнеземной Компонентой, Отвержденные Металлоалкоксисилоксанами: Диэлектрические и Механические Свойства
11:10 – 11:35	<u>I-6.</u> Gagik Ghazaryan. A Concise Guide to Spring-Roll Actuator Assembly
11:35 – 11:50	<u>O-10.</u> Алина Хмельницкая. Эластомерные Композиции на Основе Полисилоксанов и Углеродных Наполнителей

11:50 – 12:15	I-7. Валерий Постников. Об Особенности Роста Кристаллов Линейных Сопряженных Молекул
12:15 – 14:00	Стендовые доклады
14:00 – 15:00	Обед
15:00 – 17:00	Круглый стол по тематике дня

Четверг, 26^е мая

07:00 – 9:00	Завтрак
	Председатель сессии: <i>Сергей Пономаренко</i>
09:00 – 09:45	T-10. Александр Литвинов. Сенсорные Стартапы. Идеи для Новых Устройств
09:45 – 10:15	Круглый стол по тематике дня
10:15 – 10:30	Закрытие школы-конференции. Заключительное слово С.А. Пономаренко

Стендовые доклады

Среда, 25^е мая, 12:15

Олег Борщев	P1	Новые Эффективные Люминофоры для Биосовместимой Электроники
Иван Дядищев	P2	Синтез и Свойства Сопряжённых Электроакцепторных Олигомеров для Органической Фотовольтаики
Дарьяна Кубинская	P3	Эластомерные Композиты на Основе Силоксанов и Углеродных Наночастиц
Лев Левков	P4	Новые Кремнийорганические Наноструктурированные Люминофоры с Акцептором Тиенил-Замещённый 2,1,3-Бензотиадиазол
Елизавета Папковская	P5	Новые Донорно-Акцепторных Олигомеры – Нефуллереновые Акцепторы для Органических Солнечных Батарей: Синтез и Свойства
Ирина Чуйко	P6	Синтез Новых Гомополимеров на Основе Трифениламина Донорно-Акцепторного Строения

Пленарные лекции

Сопряжение и Перенос Энергии в Органических Молекулах

С.А. Пономаренко^{1*}, О.В. Борцев¹, Ю.Н. Луносов¹, С.А. Писарев¹, Н.М. Сурин¹

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

*e-mail: ponomarenko@ispm.ru

Активное развитие органической электроники и фотоники требует поиска новых высокоэффективных функциональных органических материалов, обладающих полупроводниковыми, светоизлучающими или поглощающими свет свойствами. Большое разнообразие структур органических молекул приводит к различным путям внутримолекулярного сопряжения, которые влияют на их граничные молекулярные орбитали, ширину запрещенной зоны, оптические и полупроводниковые свойства. Понятия линейного, перекрестного и омнисопряжения, введенные Хьюммеленом в 2004 году, не только приводят к пониманию различий в оптических свойствах многих сопряженных молекул различной молекулярной архитектуры, но и позволяют создавать новые органические молекулы с линейными π -сопряженными путями между различными заместителями.¹

В докладе будет представлено сравнение нескольких классов органических молекул с различными путями сопряжения, особенности их синтеза, свойства и применение в органических электронных и фотонных устройствах (Рис. 1). Разветвленные молекулы на основе 1,3,5-замещенного бензола, изначально считавшиеся Хуммеленом несопряженными, позже стали рассматривать как мета-сопряженные молекулы, с небольшим влиянием мета-заместителей на свойства. Показано, что разветвленные олигоарилсиланы не являются единичными сопряженными молекулами, что приводит к проявлению свойств молекулярной антенны со сверхбыстрым внутримолекулярным переносом энергии между их ветвями.² В то же время, донорно-акцепторные молекулы на основе трифениламина полностью сопряжены и проявляют внутримолекулярный перенос энергии, приводящий к узкой запрещенной зоне.³ Изменение молекулярной структуры таких молекул позволяет настраивать их оптические свойства для различных устройств оптоэлектроники, даже для таких экзотических, как полноцветная искусственная сетчатка глаза.⁴

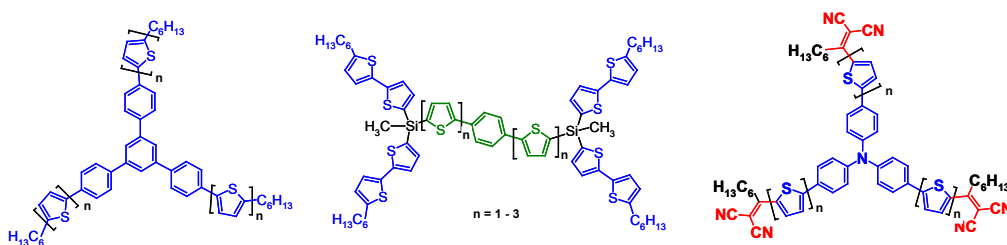


Рис. 1. Примеры π -сопряженных молекул с различными путями сопряжения и внутримолекулярного переноса энергии.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 19-73-30028).

¹ M.H. Veen, et. al., *Adv. Funct. Mater.* 2004, **14** (3), 215

² S.A. Ponomarenko, et. al., *J. Mater. Chem. C*, 2019, **7** (46), 14612

³ Yu.N. Lunosov, et. al., *Dyes and Pigments*, 2020, **179**, 108397

⁴ M. Skhunov, et. al., *J. Mater. Chem. C*, 2021, **9**, 5858

Биоразлагаемые Полимеры и Композиционные Материалы для Хирургии: от Мономеров до Изделий

С.Н. Чвалун^{1,2}*

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

²НИЦ «Курчатовский институт»

Развитие современных медицинских технологий требует разработки широкого ассортимента биоразлагаемых полимерных и композиционных материалов различной морфологии, с регулируемыми физико-механическими характеристиками и заранее заданными сроками деградации. Биосовместимые полимерные материалы широко применяются в самых различных областях медицины и фармацевтики. На основе полимеров синтетического и природного происхождения производятся шовные нити, сетки, ожоговые и раневые повязки, стенты, крепежные изделия для фиксации переломов и многие другие важнейшие медицинские изделия. В челюстно-лицевой хирургии на смену металлическим пластинам и винтам постепенно приходят аналоги, произведенные из биodeградируемых полимеров. Применение таких материалов позволяет повысить эффективность лечения пациентов, а также сократить срок терапии за счет отказа от повторной операции для удаления изделия. В последнее время биосовместимые и биodeградируемые полимеры активно применяются в регенеративной медицине для изготовления скаффолдов – конструкций, поддерживающих клетки при выращивании биоискусственных органов и тканей, в том числе костей. Такой широкий ассортимент изделий и систем невозможно создать без глубокого понимания взаимосвязи молекулярного строения, надмолекулярной структуры и свойств полимеров. Разработанные методы синтеза обеспечивают гибкое «конструирование» биоразлагаемых полиэфиров заданного состава. Важно, чтобы полученные полимеры отвечали строгим требованиям, предъявляемым к материалам медицинского назначения.

В настоящее время важно решить не только острый вопрос импортозамещения, но и создать научно-технологические основы производства функциональные полимерных материалов нового поколения. Такие материалы должны обладать биоактивными свойствами, содержать различные терапевтические агенты, запрограммированным образом реагировать на внешние стимулы и др. Для развития персонализированной медицины важно создать материалы для аддитивных технологий (3D-печати и биопечати). В докладе будут представлен краткий обзор биосовместимых и биоразлагаемых полимеров и сфер их применения, а также рассмотрены разработанные методы получения биоразлагаемых полимерных и композиционных материалов, представлены созданные на их основе медицинские изделия.

Магнитоактивные Эластомеры: Современное Состояние и Перспективы Применения в Медицине

Е.Ю. Крамаренко^{1,2*}

¹Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Физический Факультет

²Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: kram@polly.phys.msu.ru

Магнитоактивные эластомеры (МАЭ) – полимерные сетки с внедренными в них магнитными микро- и/или наночастицами – привлекают все возрастающий интерес специалистов благодаря широкому кругу физических явлений, которые демонстрируют эти материалы во внешних магнитных полях, и возможностям их практического применения. Среди наиболее интересных и ярких эффектов, проявляемых МАЭ, в первую очередь, отмечают магнитореологический эффект – значительное изменение вязкоупругих свойств композита в магнитных полях, (см., например, - обзоры^{i,ii,iii}). В частности, модуль упругости этого композита на основе мягких силиконовых матриц может возрастать на один-четыре порядка величины в относительно небольших магнитных полях до 300 мТл. Необычные свойства МАЭ заключаются также в ряде других эффектов, среди которых [1-3]:

- магнитодеформационный эффект – это уникальная способность к быстрым и контролируемым деформациям материала как в градиентных, так и в пространственно-однородных в магнитных полях;
- эффект памяти формы или эффект пластичности, индуцированной магнитным полем;
- магнитодиэлектрический эффект, а именно, управляемые магнитным полем эффективная диэлектрическая проницаемость и проводимость магнито-полимерных композиций; и другие.

В докладе будут описаны физические основы наблюдаемых в МАЭ явлений и влияние на них основных компонентов материала – полимерных матриц и магнитных наполнителей. Особое внимание будет уделено результатам создания новых дисперсионных сред для МАЭ на основе молекулярных щеток^{iv}.

Кроме того, будут продемонстрированы возможности применения МАЭ в медицине, в частности, в офтальмологии для лечения отслоек сетчатки глаза^v.

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 19-13-00340-П).

ⁱ Shamonin M., Kramarenko E.Yu., In: *Novel Magnetic Nanostructures*, Elsevier, 2018, 221–245.

ⁱⁱ Kramarenko E.Yu., Stepanov G.V., Khokhlov A.R. Magnetically active silicone elastomers: twenty years of development. *INEOS OPEN*, 2019, 2 (6), 178–184. *Organomet.Chem.* 2003, **21**(1), 144-150.

ⁱⁱⁱ Alekhina Iu., Kramarenko E., Makarova L., Perov N. In: *Magnetic Materials and Technologies for Medical Applications*. Ed.A.M. Tishin, Elsevier Ltd., 2021, 501-526.

^{iv} Kostrov S.A., Dashtimoghadam E., Keith A.N., Sheiko S.S., Kramarenko E.Yu. *ACS Appl. Mater. Interfaces* 2021, **13**, 38783–38791.

^v Alekhina Yu.A., Makarova L.A., Kostrov S.A., Stepanov G.V., Kazimirova E.G., Perov N.S., Kramarenko E.Yu. *J. Appl. Polym. Sci.* 2019, **136** (17), 47425.

«Электронный Нос»: Подходы к Изготовлению, Принцип Действия, Перспективные Применения

Е.В. Агина^{1}, В.П. Чекусова¹, А.А. Абрамов¹, Д.С. Анисимов¹, А.А. Труль¹,
С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН
*e-mail: agina@ispm.ru

Обоняние – жизненно важная функция человеческого организма, которая широко используется во многих отраслях промышленности, при этом органолептический анализ с использованием людей или специально обученных животных сложен и дорогостоящ, поэтому крайне актуальным является замещение естественного обоняния его искусственным аналогом, так называемым «электронным носом». Электронный нос в большинстве случаев представляет собой массив полуселективных газовых сенсоров, имеющих различные принципы работы, дополненный методами машинного обучения и технологиями искусственного интеллекта.

В докладе будут рассмотрены основные существующие на данный момент подходы к созданию устройств класса «электронный нос», типы используемых в его составе датчиков и ограничения, препятствующие их широкому внедрению в индустрии. Также будут представлены результаты по созданию портативного «электронного носа» на основе массива тонкопленочных органических полевых транзисторов с различными рецепторными слоями из металлопорфиринов¹. В сочетании с алгоритмами машинного обучения разработанный электронный нос позволяет не только обнаруживать токсичные газы в сверхнизких концентрациях, но и эффективно распознавать их в широком диапазоне относительной влажности вплоть до 95%, обеспечивая, в том числе, возможность количественного определения. Кроме того, при помощи разработанного устройства продемонстрирована возможность определения порчи пищевых мясных продуктов на ранних стадиях (рис.1.), а также возможность неинвазивной экспресс-диагностики социально опасных заболеваний, передающихся воздушно-капельным путем и связанных с изменением метаболизма (на примере COVID-19), по анализу выдыхаемого человеком воздуха.

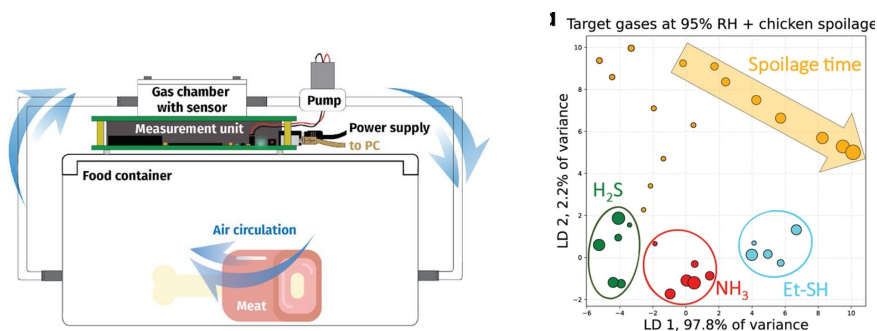


Рисунок 1 - Определение порчи продуктов при помощи электронного носа

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

¹ D.S. Anisimov, V.P. Chekusova, A.A. Trul, A.A. Abramov, O.V. Borshchev, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko. *Scientific Reports*. 2021, **11**:10683.

ДНК как Узнающий Элемент Биосенсоров

Е.Г. Завьялова^{1}*

¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова, Химический факультет

*e-mail: zlenka2006@gmail.com

Аптамеры – структурированные олигонуклеотиды, способные к специфическому связыванию аналитов. Константы диссоциации комплексов аптамер-белок находятся в диапазоне 10^{-12} - 10^{-10} М, что сопоставимо с аффинностью антител. В отличие от других узнающих элементов, аптамер можно разработать к аналиту любого класса, а сами аптамеры получают автоматическим химическим синтезом, при этом есть возможность сайт-специфического введения модификаций. Эти обстоятельства делают аптамеры на основе нуклеиновых кислот привлекательными узнающими элементами, которые могут быть применены для создания биосенсоров.

В настоящее время аптасенсоры – биосенсоры на основе аптамеров – активно разрабатываются с привлечением самых разных физических принципов детекции: от спектроскопии до электрохимических устройств. Одно из перспективных сочетаний – аптамеры и спектроскопия гигантского комбинационного рассеяния (ГКР), где аптамеры определяют специфичность определения аналита, а ГКР позволяет достичь высокой чувствительности сенсора.

В настоящее время первостепенной задачей является специфическое высокочувствительное определение вирусов с помощью экспресс-тестов. Мы предложили несколько ГКР-аптасенсоров со временем анализа менее 15 минут. Чувствительность составила: 1) $2 \cdot 10^5$ вирусных частиц гриппа А или SARS-CoV-2 в пробе для варианта сенсора с использованием коллоидного серебра; 2) $4 \cdot 10^3$ вирусных частиц гриппа А в пробе для варианта сенсора с использованием наноструктурированных подложек; и 3) $2 \cdot 10^2$ вирусных частиц гриппа А в пробе для варианта сенсора с использованием коллоидного серебра и префильтрации образца. Последний из перечисленных сенсоров сопоставим по чувствительности с полимеразной цепной реакцией с обратной транскрипцией, золотым стандартом диагностики респираторных вирусов.

Производные аденозина не вызывают иммунный, поэтому для их детекции невозможно использовать антитела. Нам удалось создать ГКР-аптасенсор, который определяет концентрацию аденозин монофосфата в диапазоне от $2 \cdot 10^{-9}$ до $2 \cdot 10^{-4}$ М.

Основываясь на этих результатах, представляется чрезвычайно перспективным поиск новых сочетаний аптамеров и методов и активных поверхностей, которые позволят достичь ультра-чувствительности методик.



Рис. 1. Схема сенсора для определения вируса гриппа А с префильтрацией.

Данная работы выполнена при поддержке РНФ (проект № 18-74-10019).

Донорно-Акцепторные Производные Олиготиофенов для Опто- и Биоэлектроники

Ю.Н. Луносов^{1*}

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

*e-mail: lunosov@ispm.ru

В докладе будет представлен молекулярный дизайн, синтез и комплексное исследование свойств серий донорно-акцепторных (Д-А) олигомеров разнообразного строения, имеющих в качестве сопряженного спейсера олиготиофеновые звенья. Будут рассмотрены закономерности в изменении свойств таких олигомеров в зависимости от параметров их химической структуры: природы донорного и акцепторного фрагмента, длины олиготиофенового спейсера между ними, длины алкильных групп и типа молекулярной архитектуры. Полученные олигомеры обладают комплексом ценных свойств и могут быть использованы в качестве функциональных материалов в ряде устройств органической электроники и фотоники: органические солнечные батареи,^{1,2} фотодетекторы,³ перовскитные светоизлучающие диоды⁴ и фотоэлементы,⁵ полимерные светопреобразующие покрытия для сельского хозяйства.⁶

Благодаря возможности тонко регулировать оптоэлектронные свойства полученных соединений удалось синтезировать соединения близкие по спектральным характеристикам к человеческим фоторецепторам сетчатки глаза и человека – колбочкам и палочкам. При облучении монохроматическим светом в условиях, моделирующих биологическую среду, напечатанных струйным принтером на подложках стекло/ZnO/ITO пикселей таких олигомеров удалось получить прототипы сетчатки глаза человека с фотооткликом близко соответствующий определенному виду колбочек и палочек.⁷ Показано также, что при облучении импульсами света клеток нейронов с нанесёнными на них наночастицами из Д-А олигомеров, происходит обратимое изменение межклеточного потенциала, что может быть также использовано как инновационный подход восстановления фоторецепторного слоя сетчатки глаза человека.

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

¹ Yu.N. Lunosov et. al., *Organic Electronics*, 2017, **51**, 180

² Yu.N. Lunosov et. al., *Dyes and Pigments*, 2020, **177**, 108260

³ Yu.N. Lunosov et. al., *Materials Today Energy*, 2021, **22**, 100863

⁴ C.Y. Chang et. al., *Journal of Materials Chemistry C*, 2019, **7**, 8634

⁵ A. F. Latypova, et. al., *ACS Applied Energy Materials* 2022, DOI: 10.1021/acsaem.1c03119

⁶ R. Khramov, et. al. *Frontiers in Plants Biology* 2022, **13**, 827679

⁷ M. Skhunov, et. al. *J. Mater. Chem. C*, 2021, **9**, 5858

Биомедицинские Технологии Восстановления Зрения

П.М. Балабан^{1}*

¹ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

*e-mail: pmbalaban@gmail.com

Среди возможных технологий восстановления полностью отсутствующего зрения у людей можно выделить три направления:

- 1) Оптогенетические технологии, которые предусматривают экспрессию чужеродных светочувствительных белков в клетках глаза, которые ранее не обладали светочувствительностью. В частности, при дегенерации фоторецептивных клеток сетчатки в сохранном глазу обычно есть сотни тысяч ганглиозных нервных клеток, отростки которых образуют оптический нерв. Экспрессия в них, с помощью вирусных векторов, опсинов приводит, как уже показано в отдельных работах, к различению крупных предметов, света и теней. В настоящее время идет интенсивная работа по улучшению чувствительности опсинов, приданию им оптимальных для человеческого глаза характеристик.
- 2) Вариантом первого направления можно считать эксперименты по использованию органических (полимерных) светочувствительных молекул, введение которых в глаз с отсутствующими фоторецепторами также может привести к восстановлению зрения.
- 3) Сравнительно старым путем восстановления зрения можно считать попытки введения тем или иным способом в глаз информации о зрительной среде. В последнее время в связи с развитием технологий эффективными могут быть стимулирующие нейроны импланты в зрительную кору, на которые перелается информация с видеокамеры. Ограничения этого подхода заключаются в недостаточности количества стимулирующих нейроны коры точек на импланте (пикселей), что связано с необходимостью подачи сравнительно сильного тока, и с реакцией клеток мозга на присутствие металлов в проводнике. Идеальным материалов для таких имплантов был бы неметаллический полимер с хорошей проводимостью.

Роль Компьютерного Моделирования в Установлении Связей Между Структурой и Свойствами Органических Полупроводников

А.Ю. Сосорев^{1,2,3*}

¹Институт биоорганической химии им. М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН,

²Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, физический факультет

³Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН

*e-mail: sosorev@physics.msu.ru

Одним из важных преимуществ органической (опто)электроники является то, что структура органических полупроводников (ОП) позволяет варьировать свойства этих материалов в широком диапазоне за счёт молекулярного дизайна. Для эффективного выбора наиболее подходящих материалов среди практически неограниченного множества олигомеров и полимеров необходим целенаправленный поиск материалов с требуемыми характеристиками. Скрининг и молекулярный дизайн таких ОП на основе компьютерного моделирования представляется наиболее перспективным методом этого поиска. Однако, если свойства отдельных молекул можно достаточно точно предсказать с помощью квантово-химических расчётов, то предсказание молекулярной упаковки (в частности, кристаллической структуры в кристаллических ОП) и связанных с ней свойств (например, подвижности зарядов) остаётся насущной проблемой для моделирования. В свете этого, установление связей между молекулярной структурой, кристаллической структурой и свойствами ОП крайне полезно для дизайна новых перспективных материалов. В настоящем докладе будут освещены примеры выявленных связей, в частности, влияние введения в молекулы ОП различных функциональных групп и электроотрицательных атомов (азота и фтора) на межмолекулярные взаимодействия и кристаллическую упаковку. Особое внимание будет уделено влиянию молекулярной структуры на динамический беспорядок – тепловые флуктуации интегралов переноса заряда между молекулами, которые, согласно современным представлениям, ограничивают транспорт заряда в наиболее эффективных ОП. В итоге, будет проанализировано, как небольшие изменения молекулярной структуры влияют на подвижность зарядов в кристаллических ОП. Наконец, будет рассмотрено влияние молекулярной структуры на транспорт заряда в экзотических для органической электроники материалах – биополимерах ДНК и РНК.

Данная работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 19-32-60081) и РНФ (проект № 18-12-00499П).

Силоксановые Композиты для Диэлектрических Актюаторов: Современное Состояние в Области Получения и Перспективы Развития

А.А. Калинина^{1}, А.Г. Хмельницкая¹, А.Н. Тарасенков¹, И.Б. Мешков¹, И.В. Безсуднов¹,
А.М. Музафаров¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН
*e-mail: kalinina@ispm.ru

Создание диэлектрических актюаторов является актуальным и развивающимся направлением современной электроники и робототехники. Диэлектрический актюатор представляет собой полимерную эластичную мембрану с нанесенными на нее электродами, подача напряжения на которые приводит к уменьшению толщины пленки и одновременному ее расширению в плоском направлении. Материалы для такой мембраны должны удовлетворять широкому кругу требований и, помимо выдающихся электрических характеристик, должны обладать высокой стабильностью, гибкостью, биосовместимостью и др. Силиконовые эластомеры являются одними из наиболее используемых диэлектрических ЭАП для преобразователей энергии благодаря воспроизводимости циклов, незначительной тенденции к эффекту Маллинза и старения, возможности работы в широком диапазоне температур. Однако низкое значение диэлектрической проницаемости силиконов (2-3 вместо возможных 2 – 8 для диэлектриков) обуславливает необходимость использования высокого напряжения для активации преобразователя энергии и как следствие не задействует весь потенциал механических свойств силиконов.

В докладе будут рассмотрены современные подходы к модификации силоксанов, направленные на повышение диэлектрической проницаемости эластомерных материалов на их основе и снижению необходимого для актюации напряжения.

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

Сенсорные Стартапы. Идеи для Новых Устройств

А.Е. Литвинов^{1}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: litvinov@ispm.ru

Научные разработки в области датчиков становятся основой для множества стартапов и спин-оффов в области медицины, food-tech, agri-tech. Часть из этих стартапов связана с разработкой самого датчика, другая же часть, может быть, даже большая, использует существующие датчики, фокусируясь на разработке программного обеспечения, интерфейса на мобильные устройства для потребителей или сервисных организаций (в т.ч. медицинских), а также на маркетинге и эргономике. Данный обзор посвящён разбору около 30 сенсорных стартапов. Особое внимание обращается на принцип работы устройства, поиск потребителя и выявление уникальных свойств. Данный обзор сделан с целью показать разнообразные подходы к коммерциализации датчиков, а также как источник вдохновения для создания новых устройств.

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

Sensors research is a source for a numerous startups and spin-offs in the fields of medicine, food-tech, agri-tech etc. Some startups develop sensor construction and principles, and the other part (which is the major part) is more devoted to software development, creation gadget interface for customers and service (including medical) organizations, and surely devoted to marketing and user experience. This report includes about 30 sensor startups. Most thorough attention was payed to the devices working principles, identification of the customer and selling points of the device. This review shows different approaches for building new sensor-based businesses, and it should become an inspiration to the audience to create new devices.

The work is supported by RSF (project № 19-73-30028).

Приглашенные доклады

Биораспознающий Слой как Основа Платформы для Биосенсинга на Основе Органических Полевых Транзисторов с Электролитическим Затвором

Е.Ю. Пойманова^{1}, П.А. Шапошник^{1,2}, Д.С. Анисимов¹, Е.Г. Завьялова², А.А. Труль¹,
М.С. Скоротецкий¹, В.В. Крылов³, Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко^{1,2}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Московский государственный университет, Химический факультет

³Институт органической химии РАН

*e-mail: poymanova@ispm.ru

Органические полевые транзисторы с электролитическим затвором (ОПТЭЗ) являются многообещающей платформой для сверхчувствительного, быстрого и надежного обнаружения биологических молекул с помощью недорогих биоэлектронных датчиков в местах оказания медицинской помощи. Биочувствительность ОПТЭЗ достигается за счет модификации одного из активных интерфейсов транзистора – затвора или поверхности органического полупроводника (ОП). Функционализация ОП с помощью биорецепторов дает особое преимущество, позволяя создавать компактные планарные устройства для дизайна лаборатории-на-чипе. Был предложен универсальный быстрый и простой метод, основанный на методах Доктора Блейда и Ленгмюра-Шеффера, для функционализации поверхности полупроводникового ОПТЭЗ 2,7-диоктил[1]бензотиено[3,2-*b*]бензотиофена (C₈-ВТВТ-C₈) с целью изготовления крупномасштабного слоя биораспознавания с огромной площадью участков для дальнейшей биомодификации на основе нового функционального производного ВТВТ, содержащего биотинные фрагменты – C₁₁-ВТВТ-C₆-biotin (рис. 1). Затем биотинилированный слой, прикрепленный к поверхности ОП, может быть легко функционализирован различными рецепторами с использованием хорошо изученной биотин-стрептавидиновой химии. Предложенный подход к созданию биорецепторного слоя дает возможность создать стрептавидиновую платформу для дальнейшего биораспознавания с использованием биотинилированных аптамеров, антител, вирусов и т. д., которые могут быть присоединены к биораспознающему слою без ухудшения свойств ОПТЭЗ. Разработанный полевой транзистор со слоем биораспознавания демонстрирует эффективную работу в растворах электролитов с высокой ионной силой, открывая возможность сенсинга в реальных биологических жидкостях.

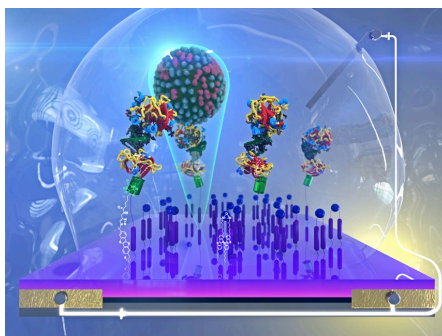


Рис. 1. Схема разработанного биосенсора на основе органического электролитического транзистора, чувствительного к вирусу гриппа А (H7N1)

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

Детектирование Токсичных Газов с Помощью Органических Полевых Транзисторов

А.А. Труль^{1}, В.П. Чекусова¹, Д.С. Анисимов¹, А.А. Абрамов¹, С.Х. Тоиров²,
М.С. Полинская², О.В. Борщев², М.С. Скоротецкий¹, Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко^{1,2}*

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

² Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

*e- mail: trul@ispm.ru

Мониторинг и количественный анализ различных газовых смесей, включая атмосферный воздух, запахи пищи, выдыхаемый воздух и т.д., становятся все более важными как с точки зрения безопасности, так и с точки зрения персонализированной медицины. Одно из перспективных направлений создания недорогого портативного газоанализатора с низким энергопотреблением основано на использовании (ультра)тонкопленочных органических полевых транзисторов (ОПТ) в качестве сенсорных устройств для обнаружения различных газов в воздушной атмосфере. Такие устройства достаточно перспективны благодаря сильной зависимости электрических свойств ОПТ от окружающей среды, которая достигается за счет непосредственного взаимодействия между токопроводящим слоем монослойных ОПТ и молекулами детектируемого газа.¹

В ходе доклада будет представлен новый, простой и быстрый метод изготовления многогазовых газовых сенсоров на основе ОПТ с функциональным монослоем Ленгмюра-Шеффера, которые могут быть использованы для детектирования различных полярных газов в реальном времени. Разработанные сенсоры демонстрируют предел детектирования NH_3 , H_2S и NO_2 до 50-70 млрд.⁻¹ в воздушной атмосфере с относительной влажностью до 90%. Для достижения селективности устройств было продемонстрировано два подхода. Первый подход основан на том, что отклик ОПТ на взаимодействие с различными токсичными газами связан с разнонаправленным изменением различных параметров такого ОПТ. Разработанная процедура оценки отклика сенсора позволяет полностью различить три газа, упомянутых выше, с помощью одного сенсорного устройства.² Основным недостатком такого подхода является строгое ограничение на количество газов, которые могут быть различимы с его помощью. Второй подход более универсален и основан на идее модификации устройства дополнительным рецепторным слоем металлосодержащего порфирина. Такая модификация увеличивает чувствительность устройства, а также позволяет регулировать селективность датчика, сохраняя время отклика и восстановления на том же уровне по сравнению с немодифицированными ОПТ.³ Более того, такая модификация позволяет создавать группы сенсоров разной селективности на одной подложке формируя систему типа «электронный нос».⁴

Кроме того, в ходе работ был обнаружен ряд особенностей тонкопленочных ОПТ, которые позволяют улучшить понимание механизмов работы датчиков и, соответственно, их сенсорные характеристики. В частности, обнаружены зависимости отклика сенсора от морфологии функционального слоя и от используемого интерфейсного диэлектрика в структуре ОПТ.

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

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.

Газовые Сенсоры для Машинного Обоняния

В.В. Кривецкий^{1,2*}¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова² НПК «Технологический центр»*e-mail: ykrivetsky@inorg.chem.msu.ru

В докладе рассматриваются базовые принципы функционирования обонятельной системы животных и человека, существенные с точки зрения разработки подходов к машинному обонянию. Проводится сравнение особенностей и характеристик разных типов газовых сенсоров – термokatалитических, электрохимических, оптических, сенсоров на основе проводящих полимеров, металлических наночастиц, металлооксидных полупроводников. Подробно рассматриваются подходы к применению металлооксидных сенсоров для создания систем машинного обоняния – модуляция рабочей температуры, создание массивов сенсоров на основе разных полупроводниковых оксидов, а также легированных оксидов и композитных материалов, математическая предобработка данных и алгоритмы машинного обучения. Показано, что применение одного металлооксидного сенсора на основе SnO₂ в режиме модуляции рабочей температуры достаточно для качественного и количественного определения индивидуальных газов и газовых смесей, в том числе в условиях длительной работы в среде реального городского воздуха^{1,2}. При этом, объединение сенсоров в массивы позволяет существенно повысить точность и стабильность определения. Высоко эффективным подходом для стабилизации работы подобных систем машинного обоняния является предобработка исходных данных, позволяющая минимизировать эффекты дрейфа, амплитудных флуктуаций и использовать статистический анализ формы отклика сенсора для машинного обучения систем типа «электронный нос».

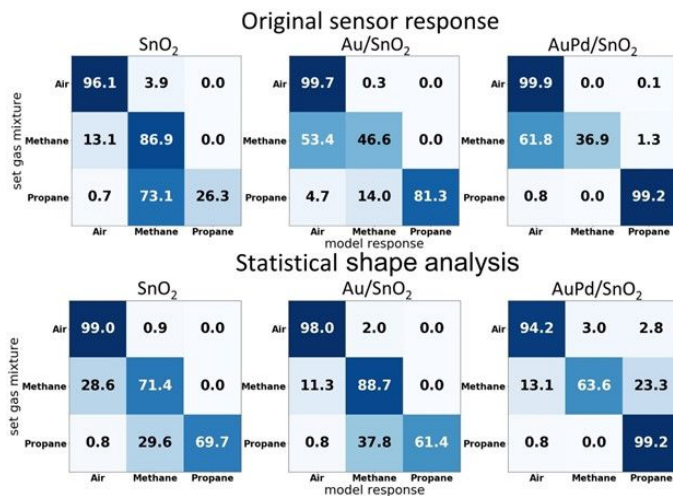


Рис. 1. Матрицы ошибок идентификации метана и пропана системами машинного обоняния на основе одного полупроводникового сенсора, показывающие преимущества предобработки исходного отклика с помощью статистического анализа форм.

¹ Krivetskiy, V. V.; Andreev, M. D et al. *Sensor Actuat B-Chem* **2021**, 329.

² Krivetskiy, V.; Efitorov, A. et al. *Sensor Actuat B-Chem* **2018**, 254, 502-513.

Логические Устройства на Основе Магнонов

В.Д. Пойманов

*e-mail: Vladislav.Poymanow@yandex.ru

Задачи оптимизации работы устройств являются актуальными на любом этапе развития технологий. Основными параметрами, определяющими качество их работы, являются энергоэффективность и быстродействие. В этой связи следует заметить, что в последнее десятилетие альтернативные классической электронике технологии составляют ей все большую конкуренцию.

Одна из них связана с использованием магнитных свойств материалов и к настоящему времени уже выделилась в отдельную область магнетизма – магнонику. В ней исследуется динамика малых возмущений намагниченности как альтернативный способ передачи сигналов, обладающий указанными выше преимуществами.

Свойства соответствующих квазичастиц предоставляют даже более широкие возможности управления сигналами, чем электроника. Одно из них, называемое киральностью прецессии (или магнитным псевдоспином), и возможность сравнительно простого способа ее переключения, дает возможность создания магнонного вентиля и селекции волн по этому параметру. Кроме того, указанное свойство дает возможность создавать простые устройства, в которых условия распространения сигналов в различных направлениях отличаются принципиально. На основе псевдоспина возможно реализовать классические устройства - магнонные мультиплексоры (NAND, XNOR), фазовращатели, дефлекторы и т.д.

Следует отметить, что в последнее время обнаружены и исследуются органические материалы, в которых возможно существование магнонов.

Полидиметилсилоксановые Композиции, Наполненные Кремнеземной Компонентой, Отвержденные Металлоалкоксисилоксанами: Диэлектрические и Механические Свойства

А.Н. Тарасенков^{1}, М.С. Паршина^{1,2}, Н.А. Тебенева¹, К.М. Борисов¹, Г.П. Гончарук¹,
В.Г. Шевченко¹, С.А. Пономаренко¹, А.М. Музафаров^{1,2}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Институт элементоорганических соединений РАН

*e-mail: antarr@bk.ru

Диэлектрические эластомеры или электроактивные полимеры (ЭАП) в настоящее время находят применение в двигателях, оптических устройствах, датчиках, накопителях энергии, робототехнике и т.д., включая применение в области создания искусственных мышц.¹ ЭАПы должны обладать способностью поляризоваться и изменять свой размер и форму под действием приложенного электрического поля, а также рядом повышенной диэлектрической проницаемостью, механической прочностью и способностью развивать большие обратимые деформации при сохранении проводимости. Силиконовые эластомеры обладают рядом особенностей, среди которых можно выделить широкий диапазон регулирования механических свойств и рабочих температур, длительный период эксплуатации, биостойкость и инертность, относительно низкие диэлектрические и механические потери. Однако, они обладают относительно низкой диэлектрической проницаемостью, что требует использования высокого напряжения для активации преобразователя энергии. Основными подходами к повышению диэлектрической проницаемости силиконовых материалов являются введение наполнителей и химическая модификация матрицы.^{2,3}

В настоящей работе были изучены диэлектрические и механические свойства широкого ряда силиконовых композиций на основе полидиметилсилоксана, наполненных кремнеземной компонентой и отвержденных металлоалкоксисилоксанами.⁴ Показано, что полученные системы являются типичными диэлектриками. Введение кремнеземной компоненты в сочетании с формированием металлосилоксановой сетки в материале может значительно увеличить его диэлектрическую проницаемость (до ~5-10) и проводимость в диапазоне частот 10^2 Гц по сравнению с коммерческими силиконами. Установлено, что изменение структуры и состава металлосилоксана, а также степени наполнения кремнеземом являются эффективными инструментами для изменения диэлектрической проницаемости материала. Изменяя функциональность и длину цепи каучука, а также скорость отверждения, можно влиять на механические свойства материала в широком диапазоне - прочность 2-10 МПа и относительное удлинение до 500% при чистых эластомерных свойствах до 200%. Данный подход к формированию материала открывает перспективы использования полученных систем в качестве диэлектрических эластомеров для специальных применений, таких как гибкие емкостные датчики или приводы для медицины и робототехники.

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

¹ Zhang J. et al. *IEEE transactions on robotics* 2019, **35**, 761.

² Faiza et al. *Polymers* 2021, **13**, 1400.

³ Sheima Y. et al. *Macromol. Rapid Commun.* 2019, **40**, 1900205.

⁴ Tarasenkov A.N. et al. *J. Organomet. Chem.* 2020, **906**, 121034.

A Concise Guide to Spring-Roll Actuator Assembly

G. Ghazaryan^{1}, A. Khmel'nitskaia¹, I. Bezsudnov¹, A. Kalinina¹, E. Agina¹, S. Ponomarenko¹*

¹Enikolopov Institute of Synthetic Polymeric Materials RAS

*e-mail: gagik@ispm.ru

Dielectric elastomer actuators (DEAs) are promising soft transducers, where the dielectric elastomer deforms in response to an applied electric field. Spring-roll actuator is a multilayer configuration of DEA comprising a DE film rolled around a spring core. Spring-roll actuators are strong and robust but because of the complexity of the fabrication process, its production is rather challenging. Here, we report a simple procedure for assembling a spring-roll actuator made of 3D printed plastic spring, a commercial DE film and carbon nanotube electrodes. We present a method for depositing the compliant electrodes on the DE film, followed by wrapping the latter around the spring.

Let us start with discussing the capacitance of the DE film and spring-roll actuators. Fig. 1 shows schematically their drawing directions. In theory, the capacitance dependence of these modules upon the drawing ratio is first and second order, respectively. Therefore, linear and quadratic models were fitted to the data (Fig. 1). Dielectric constant of the elastomer, calculated from the linear fit, matched with the value reported in the literature.

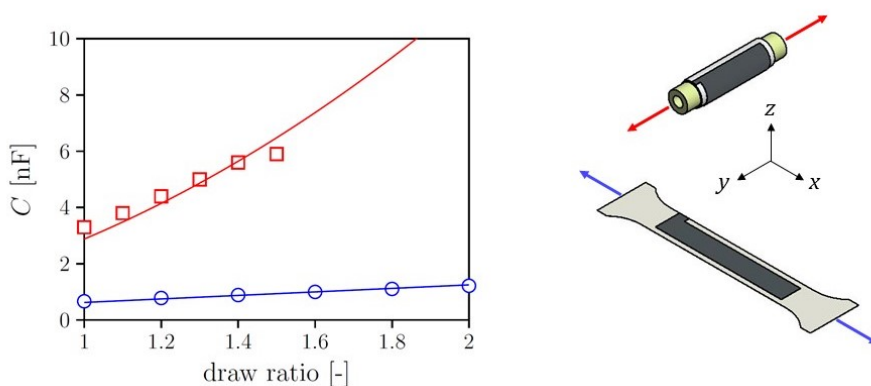


Fig. 1. (Left) Capacitance of DE actuator film (in blue) and spring-roll actuator (in red) as a function of drawing ratio. Marks represent the measured data, lines -- the fitting curves.

(Right) Schematics showing the stretching direction of the actuators.

We also exposed the DE film actuator to a mechanical loading-unloading. The performance remained consistent after applying 10^3 cycles at 0.05 Hz. These results indicate that the compliant electrodes were firmly adhered to the DE film surface.

In order to evaluate the actuation of the DE film actuator, we applied an increasing electric field to a uniaxially stretched strip. At 1.3 kV electric field, a lateral actuation with a strain of 20 % was achieved. The first results of the spring-roll actuator using hanging weights will be presented in this meeting.

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

Об Особенности Роста Кристаллов Линейных Сопряженных Молекул

В.А. Постников^{1}, А.А. Кулишов¹*

¹Федеральный научно-исследовательский центр «Кристаллография и фотоника» РАН

*e-mail: postva@yandex.ru

Получение проводящих π -сопряженных олигомеров около пятидесяти лет назад послужило мощным стимулом для развития нового междисциплинарного направления – органической электроники, которое в настоящее время интенсивно развивается. Из-за острой проблемы очистки от инородных примесей, а также из-за наличия нерегулярности структуры в виде аморфных фаз подвижность электрических зарядов в полимерных материалах имеет низкие значения. Уход от полимеров к коротким молекулам, состоящим из нескольких сопряженных звеньев – олигомерам, является эффективным подходом в устранении указанных недостатков материальной среды. В этой связи линейные π -сопряженные олигомеры представляют большой интерес для органической электроники и фотоники как материалы, на основе которых возможно сформировать методами роста из растворов или из пара качественные кристаллические структуры с низким содержанием дефектов и примесей, что обеспечивает высокие показатели электрических свойств в оптоэлектронных устройствах. Помимо этого структурное совершенство кристаллов сопряженных олигомеров позволяет тщательно исследовать строение молекулы и характер её взаимодействия с ближайшим окружением методами рентгеновской дифракции.

В работе обсуждаются родственные гомологические семейства линейных молекул, ацены (nA , $n=2..5$) и олигофенилены (nP , $n=2..6$), на предмет их кристаллизационных особенностей и возможности получения на их основе монокристаллов сантиметрового масштаба ($0.2 \div 2$ см) методами роста из раствора и паровой фазы. Данная задача особенно актуальна для высших представителей данных семейств ($n \geq 4$), представляющих интерес для органической оптоэлектроники и наименее исследованных, а в случае олигофениленов (4P, 5P, 6P) и вовсе не исследованных с точки зрения получения монокристаллов.

В отношении молекулярного строения линейные ацены характеризуются наличием жесткой формы с симметрией D_2 , а олигофенилены – гибкой конформационной структурой, допускающей вращения сопряженных фенильных групп относительно друг друга, причем симметрия D_2 имеет место лишь для плоской конфигурации, а в общем случае молекулы геометрически могут быть ассиметричными. Роль конформации молекул при кристаллизации для семейства олигофениленов ещё не изучена и по этой причине выбор родственной группы сравнения на примере жестких безконформационных аценов представляется вполне законным для анализа взаимосвязи «структура молекулы – рост и структура кристаллов».

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН

Устные доклады

Практические Применения и Электрическая Безопасность Биоимпедансометрии

А.А. Абрамов^{1}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: abramov@ispm.ru

Одним из перспективных направлений развития гибкой электроники являются носимые устройства для мониторинга состояния тела, например, датчик гидратации тела. Известные методы неинвазивного измерения гидратации основаны на импедансометрии тканей тела, способной также выявлять заболевания, сопровождающиеся изменением баланса мышечной массы, жировой массы и воды.¹

Электрические свойства тканей разделяют на активные и пассивные. К активным свойствам относят генерацию ионных токов в клетках и биопотенциалов. Пассивные электрические характеристики тканей проявляются при внешнем электрическом возбуждении. Импедансометрия относится к измерению пассивных электрических свойств тканей при возбуждении их током синусоидальной формы. Для преобразования данных импедансометрии в данные о свойствах тканей исследуемый тело или его участок представляют в виде эквивалентной электрической схемы из сопротивлений и емкостей, основываясь на моделях состава человеческого тела и электрических свойствах компонентов тела. Принимается, что жир и кости являются плохими проводниками, растворы электролитов внутри и вне клеток являются хорошими проводниками, а клеточные мембраны ведут себя как емкости. Широко используемой моделью является параллельное соединение сопротивления и последовательно включенных конденсатора и сопротивления, соответствующих внеклеточной воде и внутриклеточной воде с клеточными мембранами. Существует несколько методов измерения биоимпеданса. Исторически первым является метод SF-BIA (Single Frequency), представляющий собой измерения биоимпеданса при фиксированной частоте 50 кГц и позволяющий извлечь данные об общем содержании воды в организме. В методе MF-BIA (Multiple Frequency) используют две и более частот для исследования содержания внеклеточной воды и общего содержания воды. Наиболее сложным является метод биоимпедансной спектроскопии (BIS), основанный на измерении импеданса в широком диапазоне частот.² Для реализации указанных методов существуют интегрированные аппаратные решения в виде микросхем, полностью реализующих измерение импеданса с программно-перестраиваемой частотой возбуждающего сигнала. Ввиду того, что электроды измерителя закреплены на теле человека, к измерительному устройству предъявляются повышенные требования к электробезопасности. Измерения биоимпеданса обязаны подчиняться стандарту IEC 60601, который ограничивает пропускаемый через тело ток уровнем в 500 мкА для переменного тока при частоте 50 кГц, и 10 мкА для постоянного. Помимо установки ограничительных конденсаторов и резисторов в измерительных цепях необходимо обеспечить использование полной гальванической развязки для источников вторичного электропитания, а также для всех линий передачи данных ввиду вероятности наличия на металлических корпусах приборов переменного напряжения 110 вольт вследствие некачественного заземления устройств с импульсными преобразователями питания.

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

¹ Critcher, Freeborn, *Sensors*, 2021, **21**, 3013;

² Sami F. Khalil et al., *Sensors*, 2014, **14**, 10895-10928.

Органический Электролитический Транзистор на Основе 2,7-Диоктил [1]Бензотиено[3,2-В]Бензотиофена как Мультипараметрический Сенсор на рН

П.А. Шапошник^{1,2*}, Е.Ю. Пойманова², Д.С. Анисимов², А.А. Труль², Е.В. Агина²,
С.А. Пономаренко^{1,2}

¹Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

²Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: polinashaposhnik@gmail.com

Органические электролитические транзисторы (ОЭТ) – это тип электронных устройств, которые нашли множество различных применений в течение последнего десятилетия. Наиболее активно развивающаяся область применения ОЭТ – это биосенсоры. Биосенсоры на основе ОЭТ достигают пределов обнаружения, сравнимых с показателями иммуноферментного анализа.¹

Одним из первых практических применений ОЭТ было определение рН раствора.² В настоящий момент существует огромное количество чувствительных и надежных рН-сенсоров, однако сенсоры на основе ОЭТ обладают рядом преимуществ: например, возможность изготовления из мягких, гибких и биосовместимых материалов для мониторинга состояния организма, а также использование печатных технологий для снижения стоимости производства. Поэтому мы решили исследовать рН-зависимость электрических характеристик разработанного нами ранее³ ОЭТ на основе органического полупроводника 2,7-диоктил [1]бензотиено[3,2-в]бензотиофена (С8-ВТВТ).

Для исследования рН-зависимости характеристик ОЭТ на основе С8-ВТВТ мы варьировали рН электролита (0.1М NaCl), добавляя небольшие порции HCl и измеряя вольтамперные характеристик (ВАХ) транзистора. Из измеренных при разных значения рН передаточных ВАХ с помощью уравнения Шокли были рассчитаны основные электрические параметры (пороговое напряжение, передаточная проводимость, ток закрытого состояния). Все перечисленные параметры показали корреляцию с рН раствора, причем пороговое напряжение и ток закрытого состояния возрастали при добавлении кислоты, а передаточная проводимость снижалась. Это указывает на то, что в данной системе есть, как минимум, два процесса, связанных ростом количества протонов в растворе. Первый, предположительно, вызван допированием молекул С8-ВТВТ протонами, что приводит к сдвигу порогового напряжения в положительную область, а второй – нарушением сопряжения в кристаллах полупроводника, что ухудшает проводимость. Полученная зависимость порогового напряжения от рН демонстрирует достаточно высокую чувствительность, -55 мВ/рН, что приближается к теоретическому пределу чувствительности такого стандарта сенсоров, как ион-селективный полевой транзистор.

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

¹ E. Macchia et al., *Anal. Bioanal. Chem.* **2020**, 412 (4), 811–818.

² F. Buth et al., *Appl. Phys. Lett.* **2011**, 98 (15), 2009–2012.

³ P. Shaposhnik et al., *Dokl. Phys. Chem.* **2021**, 496 (2), 20–24.

Изготовление Структурированного Полимерного Субстрата для Создания на его Основе Печатного Полимерного ОПТ

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

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

²Московский Государственный Университет, Химический факультет

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

Целью данной работы являлась разработка универсального подхода к изготовлению структурированного полимерного субстрата исключительно печатными методами, без использования фотолитографии и напыления, для создания на его основе печатного полимерного полевого транзистора (ПППТ), подходящего для использования в качестве газового/жидкостного сенсора.

Печатные устройства были изготовлены на подложках из стекла (проводящего с ИТО и непроводящего) и полиэтиленафталата (ПЭН) в геометрии нижний контакт — нижний затвор. Проводящие контакты печатали серебряными чернилами, представляющими собой наноразмерные частицы серебра в растворителе: серебряная паста CRSN2442 (Sun Chemical) и серебряные чернила Silverjet DGP-40LT-15C (Sigma Aldrich). Для обеспечения достаточных адгезионных свойств чернил к подложке, поверхность субстрата обрабатывали олигомерным 3-аминопропилтриэтоксисиланом (О-АПТС) методом центрифугирования и АПТС из газовой фазы.¹ Нижний затвор печатали трафаретной (ТП) и струйной печатью (СП). Все условия печати были оптимизированы. Для обеспечения стабильности контактов, напечатанные электроды отжигали при температуре 150 градусов в вакуумном сушильном шкафу. Следует отметить, что отжиг при более низкой температуре или без вакуума не обеспечивает требуемой стабильности слоя, что приводит к повреждению контактов при формировании диэлектрического слоя.

Диэлектрический слой полистирола (ПС) наносили методом дозирующего лезвия (ДЛ), как одним из способов трафаретной печати. Качество диэлектрического слоя оценивали по морфологии АСМ, емкости слоя и плотности тока утечки. Наилучшие характеристики слоя (СКЗ = 0,26 нм, удельная емкость = 27 нФ/см²) были достигнуты для устройства, изготовленного на стеклянной подложке с струйно-печатными электродами и диэлектрическим слоем, полученным из толуола (90%)/о-ксилола (10%), раствор ФС с ММ= 280 тыс. г/моль при концентрации 60 мг/мл.

Измеренные электрические характеристики позволяют использовать напечатанные субстраты в качестве перспективной основы для последующего нанесения полупроводникового активного слоя и испытания их в качестве газовых сенсоров.

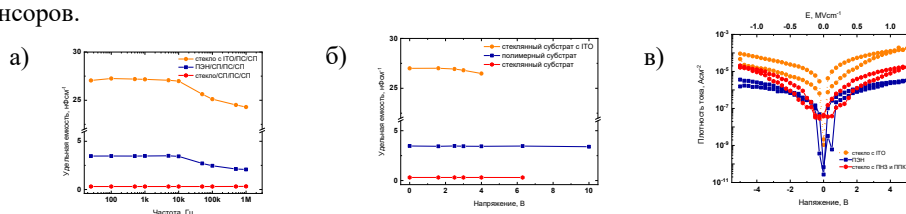


Рис. 1. Типичные зависимости удельной емкости от частоты (а) и напряжения (б), плотности тока утечки от напряжения (в)

Данная работы выполнена при поддержке РФФИ (проект № 20-33-90236).

¹ M.N. Kirikova, et.al, *J.Mater. Chem. C.*, 2016, **4(11)**, 2211–2218

Изготовление Прототипов Сенсорных Устройств Методом Струйной Печати

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

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

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

Проводящие полимеры нашли широкое применение в производстве биосенсоров в различных областях, таких как мониторинг окружающей среды, иммуносенсоры, анализ пищевых продуктов, рН-сенсоры и др. Один из перспективных полимерных материалов PEDOT:PSS, представляющий собой водную суспензию комплекса поли(3,4-этилендиокситиофена) с полистиролсульфокислотой, широко используется в областях биоаналитики благодаря присущим ему свойствам переноса заряда и биосовместимости.¹ На базе такого полимера можно создать достаточно простые устройства в области био- и хемосенсоров, позволяющие достичь сверхвысокой чувствительности, - органические электрохимические транзисторы (ОЭТ),² которые могут быть изготовлены на различных субстратах с использованием растворных методов, включая струйную печать. Преимуществами последнего бесконтактного растворного метода являются высокая скорость точечной печати функциональных слоёв требуемой формы и размера при достаточно низкой стоимости печати.³

В ходе выполнения работы были изготовлены ОЭТ на основе композиции PEDOT:PSS PH 1000 на кремниевых подложках (рис. 1а). Для решения проблемы деламинации плёнки PEDOT:PSS при взаимодействии с жидкостями поверхность кремниевых подложек химически модифицировали (3-аминопропил) триэтоксисиланом (APTS). Исследование условий работы изготовленных устройств изучали в физиологических растворах со сложным ионным составом – растворах Рингера и Рингера-Локка, отличающиеся тем, что последний имеет в своем составе глюкозу. На рис. 1б показаны типичные передаточные характеристики изготовленных ОЭТ в воде, растворе Рингера и Рингера-Локка. Видно, что параметры устройства (ток, пороговое напряжение) меняются при переходе от раствора Рингера к раствору Рингера-Локка, что может свидетельствовать о возможности детектирования глюкозы с помощью таких устройств и делает их перспективными с точки зрения сенсорных приложений.

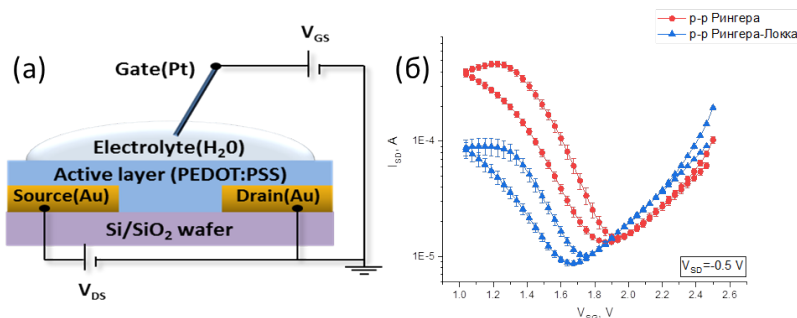


Рис 1. Архитектура устройства (а), типичные передаточные характеристики устройств в различных условиях при $V_{SD} = -0.5$ В (б).

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

¹ Liao, Jianjun, et al. *Sensors*, 2019, **19**(2), 218.

² P.A. Shaposhnik, et al, *Rus. Chem. Rev.*, 2020, **89**(12), 1483-1506.

³ Al-Halhouli, et al. *J. Sensor Review*, 2018, **38**(4), 438–452.

Олиготиофенсодержащие Кремнийорганические Мультиподы для Органической Электроники

М.С. Полинская^{1}, Ю.Н. Луносов¹, О.В. Борцев¹, J. Gülcher², U. Ziener², A. Mourran³, J. Wang³, М.И. Бузин⁴, А.М. Музафаров¹, С.А. Пономаренко¹*

¹ Институт синтетических полимерных материалов РАН

² University of Ulm, Institute of Organic Chemistry III

³ Interactive Materials Research, DWI an der RWTH Aachen e.V.

⁴ Институт элементорганических соединений РАН

*e-mail: polinskaya@ispm.ru

Выдающиеся полупроводниковые и электрооптические свойства, проявляемые π -сопряженными олигомерами и полимерами, позволяют использовать такие соединения в качестве функциональных элементов для органической электроники. Среди подобных материалов олиго- и политиофены, обладающие проводимостью р-типа, представляют особый интерес благодаря их высокой подвижности носителей заряда, хорошей растворимости в органических растворителях и интенсивному поглощению в видимом диапазоне спектра. Таким образом, интересен синтез различных карбосилансилоксановых производных олиготиофенов с большой длиной сопряжения молекулы и изучение влияния различных молекулярных параметров на их физико-химические свойства. В этой работе¹ основное внимание было уделено синтезу новых линейных и разветвленных олиготиофенсодержащих карбосилансилоксанов с алифатическими спейсерами от C3 до C11, различной степенью разветвления концевых заместителей и длиной сопряжения от кватер- (4Т) до септителиофена (7Т).

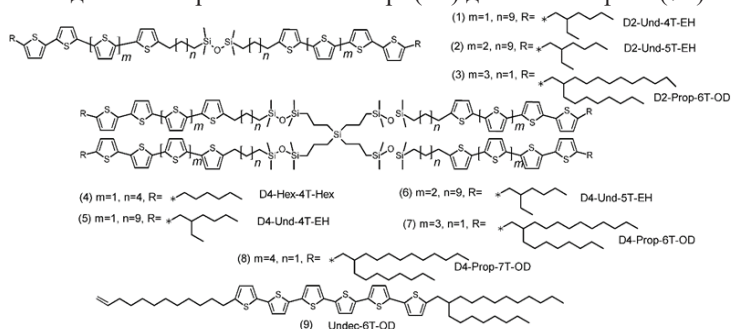


Рис. 1. Структурные формулы синтезированных олиготиофенсодержащих карбосилансилоксанов

Синтезированный ряд соединений позволил проследить влияние каждого структурного фрагмента молекулы на фазовое поведение, агрегацию в растворе и на подложке. Исследование оптических свойств в разбавленных растворах выявило, что линейные и разветвленные терминальные заместители способствуют образованию различных типов агрегатов. Изучение этих соединений с помощью методов ДСК и ПОМ показало, что, хотя некоторые из них могут образовывать жидкокристаллические фазы, большинство линейных молекул демонстрируют высокую степень кристалличности, которая уменьшается с увеличением степени разветвления. АСМ исследования тонких пленок полученных соединений продемонстрировали их потенциал для применения в качестве функциональных материалов для органической электроники.

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

¹ M. S. Polinskaya, S. A. Ponomarenko and all, *Eur. J. Org. Chem.* 2022 (15), e202101495.

Спектрально Селективные Однокомпонентные Органические Фотодетекторы на Основе Донорно-Акцепторных Сопряженных Молекул

А.Л. Маннанов^{1,2}, Д.О. Балакирев¹, А.Н. Солодухин¹, Н.К. Калинин¹,
Ю.Н. Лупоносов¹, Д.Ю. Парашук^{1,2}, С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Физический факультет, МГУ имени М.В. Ломоносова

*e-mail: artur.mannanov@ispm.ru

Фотодетекторы на основе органических материалов привлекают настраиваемым спектральным откликом, гибкостью, простотой изготовления и биосовместимостью, благодаря чему они могут стать основой для создания искусственного человеческого глаза. Донорно-акцепторные (Д-А) сопряженные молекулы являются одними из наиболее перспективных архитектур для использования в качестве фотоактивного материала в органических фотоэлементах. Широкие возможности вариации химической структуры Д-А сопряженных молекул позволяют тонко настраивать свойства получаемых материалов. Изменение донорной или акцепторной группы, а также типа и длины сопряженного π -спейсера между ними позволяет регулировать энергии граничных орбиталей, спектры поглощения и люминесценции, фазовое поведение, фотофизику и разделение зарядов^{1 2}. В данной работе были синтезированы различные Д-А сопряженные молекулы линейного и звездообразного строения, исследованы их физико-химические и фотовольтаические свойства. На основе наиболее перспективных материалов (Рис. 1) были изготовлены прототипы однокомпонентных органических фотодетекторов. Данные фотодетекторы продемонстрировали достаточно высокую чувствительность и спектральную селективность, сравнимую с таковой у колбочек и палочек человеческого глаза. Показано, что скорость отклика фотодетекторов на основе выбранных полупроводников на три порядка превосходит по скорости отклика фоторецепторы человеческого глаза. Полученные результаты демонстрируют возможность создания искусственного глаза – матрицы органических фотодетекторов с разной спектральной чувствительностью, или фотоактивных «протезов» для глаза, лишенного чувствительности к свету из-за тех или иных заболеваний.

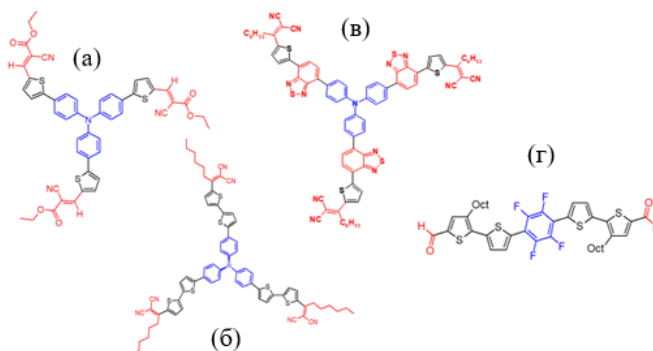


Рис. 1. Химические структуры донорно-акцепторных молекул, имитирующих фоторецепторы человека: палочки (а), колбочки, чувствительные к зеленому (б), красному (в), синему (г) свету.

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

¹ Y.N. Luponosov et al. *Materials Today Energy*. 2021, 100863.

² A.N. Solodukhin et al. *Energies*, 2021, **14**,3596.

Синтез и Свойства Гетероаценов для Органической Электроники

М.С. Скоротецкий^{1}, О.В. Борщев¹, М.С. Полинская¹, Е.А. Заборин¹, Е.В. Агина¹,
А.А. Труль¹, В.П. Чекусова¹, С.А. Пономаренко^{1,2}*

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

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

*e-mail: skorotekiy@ispm.ru

Одно из замечательных преимуществ органических полупроводников это способность настраивать их свойства путем изменения их химической структуры. Среди большого разнообразия органических полупроводников аннелированные гетероацены (рис.1) занимают особое место как многообещающие органические полупроводники с высокими характеристиками.

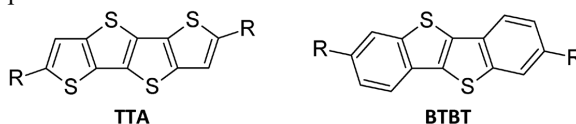


Рис. 1. Структурные формулы производных тетратиеноацена(ТТА) и бензотиенобензотиофена(ВТВТ).

В данной работе описывается синтез, свойства и применение новых алифатических и ароматических производных гетероаценов на примере ТТА и ВТВТ в различных оптоэлектронных устройствах¹⁻². Исследованы характеристики органических полевых транзисторов и других устройств органической электроники на их основе, полученных как растворными, так и вакуумными методами. Данные материалы представляют собой универсальную платформу для сверхчувствительного, быстрого и достоверного обнаружения различных аналитов, в том числе и биологических молекул в жидких средах³⁻⁴.

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

¹ Skorotetcky M.S., Borshchev O.V, Polinskaya M.S. et. al. Simple synthesis of alkyl derivatives of tetrathienoacene and their application in organic field-effect transistors. *J. Mater. Chem. C*, **2021**, 9, 10216

² Nikita V. Prudnikov, Yulia N. Malakhova, Andrey V. Emelyanov et. al. Pulse Programming of Resistive States of a Benzothieno[3,2-B][1]-Benzothiophene-Based Organic Memristive Device with High Endurance. *Phys. Status Solidi RRL*, **2021**, 2100471

³ Poimanova, E.Yu.; Shaposhnik, P.A.; Anisimov, et. al. Biorecognition Layer Based on Biotin-Containing [1]Benzothieno[3,2-B][1]benzothiophene Derivative for Biosensing by Electrolyte-Gated Organic Field-Effect Transistors. *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **2022**, 14, 16462

⁴ Е.Ю. Пойманова, П.А. Шапошник, П.Н. Караман, Д.С. Анисимов, М.С. Скоротецкий, М.С. Полинская, О.В. Борщев, Е.В. Агина, С.А. Пономаренко. Органические электролитические транзисторы на основе 2,6-диоктилтетратиеноацена – универсальная платформа для создания жидкостных биосенсоров. *Известия РАН*, submitted 2022

Сополимеры на Основе Поливинилиденфторида с Привитыми Цепями Полиэтилметакрилата: Синтез, Термические и Диэлектрические Свойства

Е.А. Клеймяк^{1}, А.И. Невельская¹, А.И. Бузин¹, В.Г. Шевченко¹, Ю.Н. Лупоносов¹, С.А. Пономаренко¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: klemyuk@ispm.ru

Сополимеры на основе поливинилиденфторида с привитыми цепями полиэтилметакрилата синтезированы методом фотоиндуцированной обратимо-дезактивационной радикальной полимеризации (RDRP) [1] (Рис.1). В качестве исходных полимерных цепей для модификации были использованы двойные и тройные сополимеры винилиденфторида с хлортрифторэтиленом и трифторэтиленом.

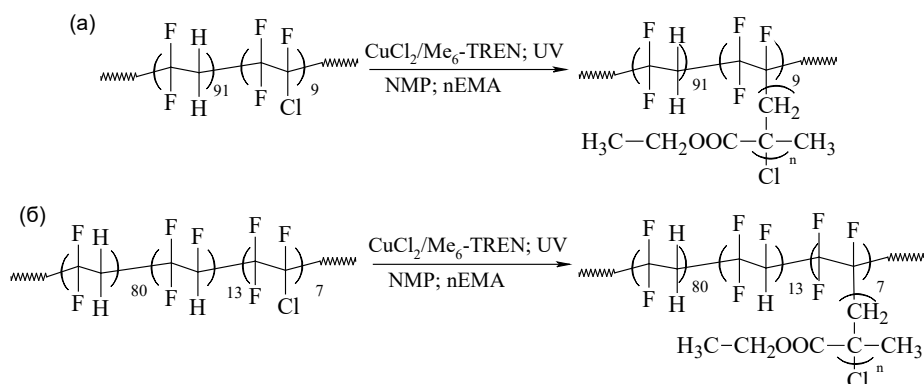


Рис. 1. Схема синтеза полученных привитых (а) двойных и (б) тройных сополимеров.

Исследовано влияние различной степени прививки на термические и диэлектрические свойства полученных привитых сополимеров. Показано, что увеличение степени прививки полиэтилметакрилата в таких сополимерах приводит к снижению температуры их деструкции, но значительно улучшает их пленкообразующие свойства за счет снижения степени кристалличности. Обнаружено, что для обеих серий привитых сополимеров увеличение степени прививки полиэтилметакрилата приводит к снижению значения диэлектрической постоянной, но вместе с тем уменьшаются и диэлектрические потери.

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

¹ Khudyshkina A.D., Luponosov Yu.N., Shevchenko V.G., Ponomarenko S. A. *EXPRESS Polym. Lett.* 2021, **15** (10), 957–971.

Перспективные Полимерные Материалы на Основе ПДМС и Диалкилпроизводного ВТВТ для Органической Электроники

Е.А. Заборин^{1}, О.В. Борцев¹, М.С. Полинская¹, М.С. Скоротецкий¹, В.В. Городов¹,
С.А. Пономаренко^{1,2}*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

*e-mail: zaborin@ispm.ru

[1]Бензотиено[3,2-b][1]бензотиофен (ВТВТ) является перспективной молекулой, для использования в печатной/гибкой электронике для изготовления электролюминесцентных устройств, тонкопленочных солнечных батарей и транзисторов.^{1,2,3} Конденсированные ароматические кольца и атомы серы дают ВТВТ обширную сопряженную систему, которая обеспечивает пространственное распределение высшей занятой молекулярной орбитали (ВЗМО) для эффективного перекрытия π -орбиталей, что приводит к высокоэффективному переносу заряда. Кроме того, известно, что большая ширина запрещенной зоны (> 3 эВ) соединений ВТВТ обеспечивает высокую стабильность на воздухе.⁴

Недавно мы разработали различные димеры, функционализированные производными ВТВТ на основе диметилсилоксана (ДМС), которые демонстрируют хорошую подвижность заряда в различных устройствах.^{5,6,7}

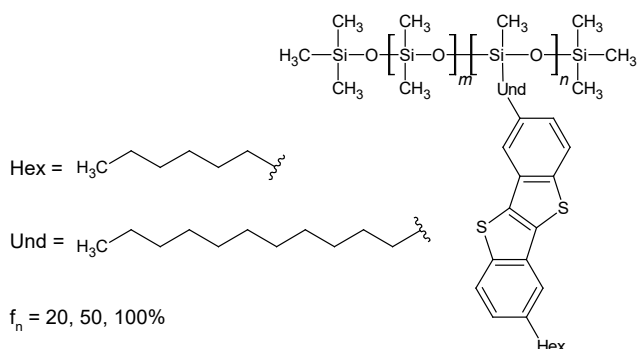


Рис. 1. Общая схема новых полимеров.

В данной работе мы получили ряд новых полимеров на основе полидиметилсилоксана (ПДМС), функционализированные производными ВТВТ с различной степенью функционализации: 20%, 50% и 100%. И исследовали их свойства.

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

¹ Yuan, Y. *Nat Commun* – 2014. <https://doi.org/10.1038/ncomms4005>

² A. Tamayo. *J. Mater. Chem. C* – 2021. DOI: 10.1039/d1tc01288f

³ G. Schweicher. *Advanced Materials* – 2015. DOI: 10.1002/adma.201500322

⁴ T. Mori. *J. Am. Chem. Soc.* – 2013. <https://doi.org/10.1021/ja406257u>

⁵ Trul A.A. *Advanced Electronic Materials* – 2022. <https://doi.org/10.1002/aelm.202101039>

⁶ Anisimov, D.S. *Scientific Reports* – 2021. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88569-x>

⁷ Trul, A.A. *Journal of Materials Chemistry C* – 2018. <https://doi.org/10.1039/C8TC02447B>

Эластомерные Композиции на Основе Полисилоксанов и Углеродных Наполнителей

А.Г. Хмельницкая^{1*}, Д.Я. Кубинская², А.А. Калинина¹, Е.В. Агина¹, С.А. Пономаренко¹,
А.М. Музафаров^{1,3}

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

²Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

³Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН

*e-mail: akazaeva95@gmail.com

На сегодняшний день полисилоксановые эластомеры являются перспективными материалами при создании диэлектрических эластомерных актуаторов. По сравнению с промышленно доступными акрилатными пленками, они характеризуются более низкой вязкоупругостью, благодаря чему могут работать на высоких частотах с малыми потерями, а также способны к умеренным растяжениям и обладают стабильными электрическими и механическими свойствами, быстрым электрическим откликом.¹ Главным недостатком полисилоксанов в этом случае является их низкая диэлектрическая проницаемость, обуславливающая необходимость подачи высоких напряжений для актуации силиконовой мембраны. Одним из вариантов решения этой задачи является наполнение силиконов различными углеродными наполнителями: графен и его оксиды, графит, технический углерод, углеродные нанотрубки, фуллерены, шихта. В этом случае в зависимости от степени наполнения могут быть получены как диэлектрические эластомеры с высокой диэлектрической проницаемостью, так и проводящие эластомерные композиты. Однако проблемой такого решения является достижение совместимости углеродных наполнителей и матрицы, а также однородного распределения наполнителя в композите. В работе³ на примере эпоксидной матрицы была показана перспективность использования фторсилоксановых олигомеров в качестве модификатора, взаимодействующего с углеродными нанотрубками (УНТ) и позволяющего, таким образом, управлять энергией взаимодействия между УНТ и полимерной матрицей.

Целью данной работы являлось получение эластомерных композиций на основе ПДМС и углеродных наполнителей (графит, технический углерод, углеродные нанотрубки), в том числе с использованием фторсодержащих олигосилоксанов.

В докладе будут представлены результаты исследования влияния углеродных наполнителей на диэлектрические, механические и проводящие свойства композиций, дана оценка перспективности использования фторсилоксановых олигомеров для получения эластомерных электродов.

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

¹ L. Maffi, S. Rosset, M. Ghilardi, F. Carpi, H. Shea, *Adv. Funct. Mater.* 2015, **25**, 1656.

² Каблов, Е. Н., С. В. Кондрашов, and Г. Ю. Юрков. *Российские нанотехнологии*. 2013, **8** (3-4), 24-42.

³ Kondrashov, Stanislav V., et al. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018, **135** (16), 46108.

Стендовые доклады

Новые Эффективные Люминофоры для Биосовместимой Электроники

О.В. Борщев^{1}, М.С. Скоротецкий¹, М.Н. Сурин¹, С.А. Пономаренко¹*

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

*e-mail: borschhev@ispm.ru

В данной работе представлен новый подход к созданию эффективных люминофоров. Были синтезированы новые кремнийорганические наноструктурированные люминофоры (КНЛ), в которых два типа различных хромофоров соединены через атом кремния, благодаря чему разрывается сопряжение между ними и происходит их фиксация в пространстве на расстоянии 1-2 нм, необходимом для эффективного переноса энергии по механизму Ферстера.^{1,2,3,4} Изучение спектрально-люминесцентных свойств синтезированных КНЛ позволило выявить влияние их химического строения и параметров молекулярной структуры (общего количества люминофоров в макромолекуле, те или иные комбинации различных люминесцентных фрагментов в структуре макромолекулы) на оптические, и прежде всего люминесцентные характеристики таких систем.⁵ Были изучены процессы внутримолекулярного переноса энергии электронного возбуждения и влияние молекулярного строения полученных соединений на спектральные и временные характеристики, а также квантовый выход люминесценции.^{6,7} В качестве модельных соединений синтезирован ряд новых олигомеров различного строения.^{8,9} Полученные КНЛ обладают рядом преимуществ по сравнению с классическими люминофорами: большим коэффициентом экстинкции, высоким квантовым выходом люминесценции, коротким временем высвечивания, большим Стоксовым сдвигом.¹⁰

Синтезированные КНЛ могут использоваться в высокоэффективных пластмассовых сцинтилляторах,¹ сцинтилляционных волокнах с коротким временем высвечивания,¹¹ различных устройствах в качестве сместителей спектра,^{12,13,14} в качестве люминесцентных сшивающих агентов для функциональных органосилоксановых полимеров.¹⁵ Показана перспективность использования похожих разветвленных люминесцентных систем для создания искусственной сетчатки глаза.¹⁶

Данная работы выполнена при поддержке РФФ (проект № 22-13-00255).

¹ S.A. Ponomarenko, N.M. Surin, O.V. Borshchev, et. al. *Scientific Reports* 2014, **4**, 6549.

² Yu.N. Luponosov, S.A. Ponomarenko, N.M. Surin, et. al., *Chem. Mater.* 2009, **21**, 447.

³ O.V. Borshchev et al., *INEOS OPEN*, 2019, **2** (4), 112-123

⁴ M. Skorotetcky, O. Borshchev et al. *Russ. J. Org. Chem.*, 2019, **55**(1), pp. 25–41

⁵ O. Borshchev, E. Kleymyuk et. al., *Organic Photonics and Photovoltaics*, 2017, **5**(1), 1-8

⁶ T.Yu. Starikova, N.M. Surin, O.V. Borshchev, et. al., *J. Mater. Chem. C*, 2016, **4**, 4699.

⁷ S. Ponomarenko, N. Surin, O. Borshchev et al. *J. Mater. Chem. C*, 2019, **7**, 14612-14624

⁸ M. Skorotetcky, E. Krivtsova, O. Borshchev et. al., *Dyes and Pigments* 2018, **155**, 284–291.

⁹ M.S. Skorotetcky, O.V. Borshchev et. al., *Dyes and Pigments*, 2017, **141**, 128–136.

¹⁰ S.A. Ponomarenko, N.M. Surin, O.V. Borshchev, et. al., *Proc. SPIE*, 9545, 2015, **954509-1**.

¹¹ O. Borshchev, A.B.R. Cavalcante et. al, *Journal of Instrumentation*, 2017, **12**, P05013.

¹² N. Surin, O. Borshchev, S. Ponomarenko et. al, *NIM A*, 2014, **766**, 160-162.

¹³ Y. Jin, H. Aihara, O.V. Borshchev et al. *NIM A*, 2016, **824**, 691-692.

¹⁴ D. Akimov, V. Belov, O. Borshchev, et. al, *Journal of Instrumentation*, 2017, **12**, P05014.

¹⁵ M.S. Skorotetcky, O.V. Borshchev, N.M. Surin, et. al., *Silicon*, 2015, **7**, 191-200.

¹⁶ M. Skhunov et. al., *J. Mater. Chem. C*, 2021, 5858-5867.

Синтез и Свойства Сопряжённых Электроакцепторных Олигомеров для Органической Фотовольтаики

И.В. Дядищев^{1}, Ю.Н. Луносов¹, С.М. Перегудова^{1,2}, Н.М. Сурин¹, С.А. Пономаренко¹*

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

²Институт элементоорганических соединений им. А. Н. Несмеянова Российской академии наук

*e-mail: dyadischev_iv@ispm.ru

Органические солнечные элементы (ОСЭ) привлекли к себе большое внимание из-за потенциала производства легких и недорогих гибких солнечных элементов.¹ В последнее время, благодаря достижениям в разработке фотоэлектрических материалов и оптимизации устройств, производительность ОСЭ быстро возросла до 19%.² Такой прогресс во многом обусловлен использованием нового поколения акцепторных материалов на основе сопряжённых гетероциклических соединений, обладающих плоской архитектурой, что обеспечивает более плотную упаковку молекул в активном слое ОСЭ. Однако синтез таких гетероциклических соединений трудозатратен и требует большого количества стадий для получения целевой молекулы.

В данной работе был предложен подход получения нефуллереновых акцепторов на основе сопряжённых олигодиофенов с центральным диалкилокситиофеновым фрагментом, который способствует возникновению нековалентных взаимодействий атома кислорода с атомом серы соседних сопряжённых звеньев, обеспечивая планаризацию структуры всего олигомера.³

Высокая чистота и заданная структура всех полученных соединений была доказана комплексом современных физико-химических методов исследования. Исследованы их оптические, электрохимические, термические и оптоэлектронные свойства.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ, проект 21-43-00051.

¹ Inganäs O. *Advanced Materials*, 2018, **30**, 1800388.

² Rui Sun, Yao Wu, Xinrong Yang, Yuan Gao, Zeng Chen, Kai Li, Jiawei Qiao, Tao Wang, Jing Guo, Chao Liu, Xiaotao Hao, Haiming Zhu, Jie Min. *Advanced Materials* <https://doi.org/10.1002/adma.202110147>.

³ Karl J. Thorley, Iain McCulloch., *J. Mater. Chem. C*, 2018, **6**, 12413

Эластомерные Композиты на Основе Силоксанов и Углеродных Наночастиц

Д.Я. Кубинская^{1}, А.Г. Хмельницкая², А.А. Калинина²*

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

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

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

Проводящие материалы на основе полимерной матрицы и различных аллотропных модификаций углерода обладают большим потенциалом для применения их в качестве проводящих материалов, различных типов датчиков и сенсоров. Однако получение подобных материалов связаны с определенными трудностями, такими как технологические ограничения, вследствие которых получающиеся композиты обладают неудовлетворительными свойствамиⁱ. Современный подход к получению подобных композитов – введение в полимерную матрицу модификатора, взаимодействующего с углеродными нанотрубками (УНТ) и позволяющего, таким образом, управлять энергией взаимодействия между УНТ и полимерной матрицейⁱⁱ. Было показано, что фторсодержащие соединения, используемые в качестве модифицирующего компонента проводящих композиций, эффективно работают с многостенными углеродными нанотрубками (МУНТ).

Целью нашей работы является синтез фторсилоксанового сополимера и получение полидиметилсилоксановых композиций, наполненных МУНТ и синтезированным модификатором.

Синтез фторсодержащего органосилоксанового сополимера проводился по следующей схеме:

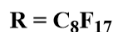
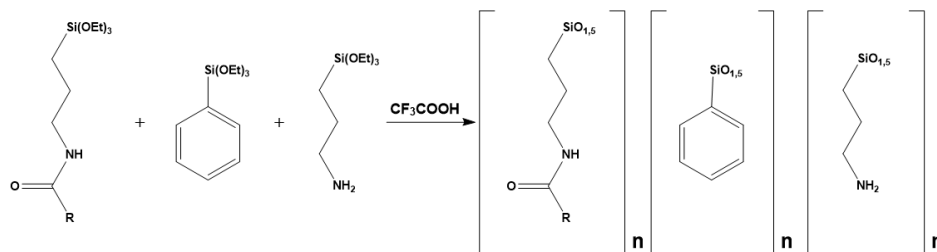


Схема 1. Схема получения модификатора

В докладе будут представлены результаты исследования влияния соотношения полимер/модификатор/нанотрубки, времени воздействия ультразвуком на устойчивость образующихся суспензий, влияние модификатора на распределение и агрегацию МУНТ в объеме композита, а также механические и проводящие характеристики полученных материалов.

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

ⁱ 1. Каблов Е.Н., Кондрашов С.В., Юрков Г.Ю. *Российские нанотехнологии*. 2013, **8**(3 – 4), 28 – 46.

ⁱⁱ Kondrashov S. V. et al. *Journal of Applied Polymer Science*. 2018, **135**(16), 46108.

Новые Кремнийорганические Наноструктурированные Люминофоры с Акцептором Тиенил-Замещённый 2,1,3-Бензотиадиазол

Л.Л. Левков¹, Е.А. Заборин², О.В. Борщев^{2*}, М.С. Скоротецкий², С.А. Пономаренко^{1,2}

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

²Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН
*e-mail:borshchev@ispm.ru

Синтез кремнийорганических наноструктурированных люминофоров (КНЛ)^{1,2} является ключевым этапом разработки материалов с высоким квантовым выходом, применяемых в оптоэлектронных устройствах. Основные требования к таким материалам: эффективный внутримолекулярный перенос энергии, настраиваемые максимумы поглощения и люминесценции, растворимость в органических растворителях, термическая стабильность и др. Абсорбционно-люминесцентные свойства КНЛ определяются комбинацией хромофоров донорного и акцепторного типа, соединенных через атом кремния, обеспечивающий внутримолекулярный перенос энергии по механизму Фёрстера.³

В работе качестве донорного фрагмента выбран пара-терфенил с соллобилизирующим заместителем, обеспечивающий поглощение в УФ-области.⁴ Акцепторные фрагменты, излучающие в видимой области, представляют собой 2,1,3-бензотиадиазол замещённый, тиофеном или битиофеном (рис 1).

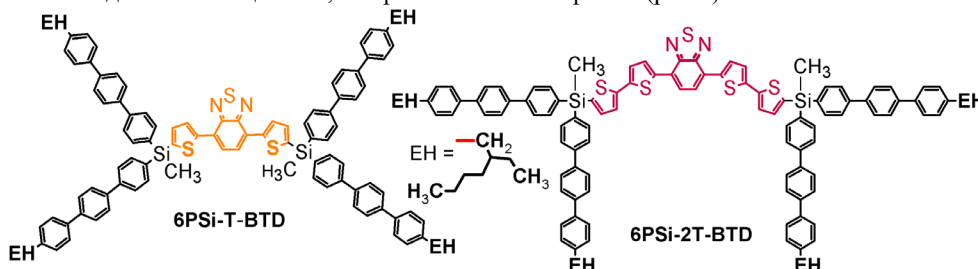


Рис 1. Новые кремнийорганические наноструктурированные люминофоры

Фазовое поведение соединений охарактеризовано методом ДСК, термостабильность в инертной среде и на воздухе определены методом ТГА. Зарегистрированы спектры поглощения и люминесценции в растворах.

Изученные комбинации хромофоров обеспечили стоксов сдвиг более 280 нм, квантовый выход флуоресценции более 70% и термическую устойчивость до 300°C. Это позволяет рассматривать полученные соединения в качестве перспективных материалов для создания искусственной сетчатки глаза.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ № 19-73-30028

¹ Ponomarenko, S., Surin, N., Borshchev, O. et al. *Sci Rep* 2014, **4**, 6549.

² D. Akimov, A. Akindinov, I. Alexandrov et al. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2012, **695**, 403-406.

³ Borshchev O. V., Surin N. M., Skorotetcky M. S., Ponomarenko S. A. *INEOS OPEN*. 2019, **2** (4), 112–123.

⁴ Ponomarenko S.A., Surin N.M., Skorotetcky M.S., Borshchev O.V., Pisarev S.A., Svidchenko E.A., Fedorov Y.V., Molins F., Brixner T. *J. Mater. Chem. C*, 2019, **7**, 14612.

Новые Донорно-Акцепторных Олигомеры – Нефуллереновые Акцепторы для Органических Солнечных Батарей: Синтез и Свойства

Е.Д. Папковская^{1}, И.В. Дядищев¹, Д.О. Балакирев¹, Ю.Н. Луносов¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов РАН

*e-mail: papkovskaya@ispm.ru

Органические солнечные элементы (ОСЭ) привлекли к себе большое внимание из-за потенциала производства легких, гибких полупрозрачных солнечных элементов, производство которых возможно с помощью современных экономичных и быстрых печатных технологий. Нефуллереновые акцепторы (НФА) играют важную роль в устройствах ОСЭ. Наиболее успешные НФА представляют собой сопряженные соединения донорно-акцепторного строения с центральным конденсированным электронодонорным фрагментом и концевыми сильными электроноакцепторными группами.^{1,2} Органические солнечные батареи на основе таких НФА уже преодолели значение КПД в 18%.^{3,4} Поэтому актуальным направлением является поиск новых нефуллереновых акцепторов донорно-акцепторного строения, изучение их физико-химических и фотовольтаических свойств.

В данной работе разработан и осуществлен синтез двух новых нефуллереновых акцепторов, содержащих донорный фрагмент на основе бензотиадиазола и тиенопиррола и акцепторный фрагмент на основе дициановинильных производных индандиона. Структуры соединений доказаны методами ЯМР на ядрах ¹H и ¹³C. Изучены их оптические, термические и фотовольтаические свойства.

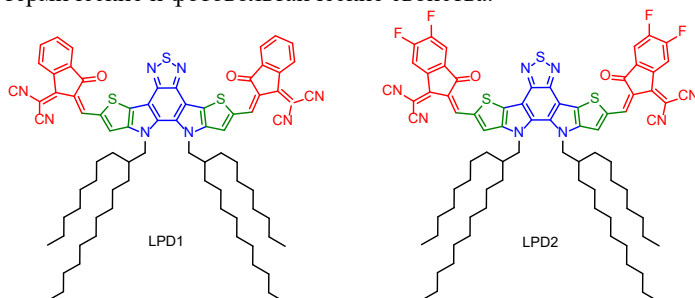


Рис. 1. Новые нефуллереновые акцепторы донорно-акцепторного строения.

Соединения обладают хорошей растворимостью, достаточно высокой термической стабильностью, эффективным поглощением солнечного света в красном и ближнем ИК спектральном диапазонах и подходящими уровнями НСМО и ВЗМО для использования в качестве акцепторных материалов в ОСЭ. Предварительное тестирование соединений в качестве акцепторных материалов для ОСЭ показало, что для одного из акцепторов – LPD1, имеющего одну из самых простых конденсированных структур в мире, достигается КПД до 16,9%, что сопоставимо с рекордными значениями в этой области.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 21-43-00051).

¹ Armin, A. A. et al. *Adv. Energy Mater.* 2021. **11**(15). 20003570.

² Xiong, J. et al. *Sci. Bull.* 2020. **65**. 1792-1795

³ Qishi, L. et al. *Sci. Bull.* 2020. **65**(4). P. 272-275.

⁴ Jin, K. et al. *Semicond.* 2021. **42**(6). 060502.

Синтез Новых Гомополимеров на Основе Трифениламина Донорно-Акцепторного Строения

И.А. Чуйко^{1}, А.Н. Солодучин¹, Ю.Н. Лупоносов¹*

¹Институт синтетических полимерных материалов имени Н.С. Ениколопова
Российской академии наук, Москва, Россия

*e-mail: chuyko@ispm.ru

Среди большого разнообразия материалов, используемых в устройствах органической электроники и фотоники, перспективными являются π -сопряженные полимеры на основе трифениламина (ТФА). Интерес к таким соединениям обусловлен наличием у них дырочно-транспортных свойств и высокой термической и электрохимической стабильности¹. Кроме того, аморфная структура ТФА полимеров делает их растворимыми в различных органических растворителях и способствует появлению хороших пленкообразующих свойств. Такая особенность дает возможность сделать полимеры на основе ТФА хорошей альтернативой неорганическим полупроводниковым материалам.

Важным преимуществом органических соединений, применяемых в электронных устройствах, является возможность настройки оптических свойств материалов. Введение различных электроноакцепторных групп в структуру полимеров на основе ТФА позволяет получать молекулы донорно-акцепторного (Д-А) строения и тем самым регулировать энергию молекулярных орбиталей, значения ширины запрещенной зоны и максимумы спектров поглощения и излучения². Варьирование характеристик материалов расширяет потенциально возможный диапазон использования ТФА полимеров.

Хотя в настоящее время известно довольно много трифениламинсодержащих полимеров, большинство из них являются сополимерами. К недостатку таких соединений можно отнести то, что их получение предполагает довольно много стадий синтеза. В свою очередь синтез гомополимеров на основе ТФА является менее трудоемким и более дешевым.

В этой работе представлен синтез новых гомополимеров на основе ТФА Д-А строения (рис.1). Исследованы молекулярно-массовые характеристики полимеров. Представлены результаты всестороннего изучения оптических, электрохимических и термических свойств. Проведен сравнительный анализ свойств полимеров с их ближайшими низкомолекулярными аналогами.

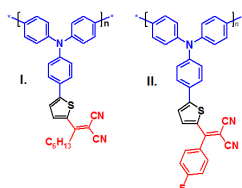


Рис. 1. Структурные формулы полимеров на основе ТФА Д-А строения

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 20-73-00266).

¹ Zhou J., Liu P., Du Y., Zong W., Zhang B., Liu Y., Xu S., Cao S. *J. of Electr. Mat.* 2021, **50**(7), 3962-3971.

² Li B., Yang K., Liao Q., Wang Y., Su M., Li Y., Guo X. *Adv. Funct. Mat.* 2021, **31**(21), 2100332.

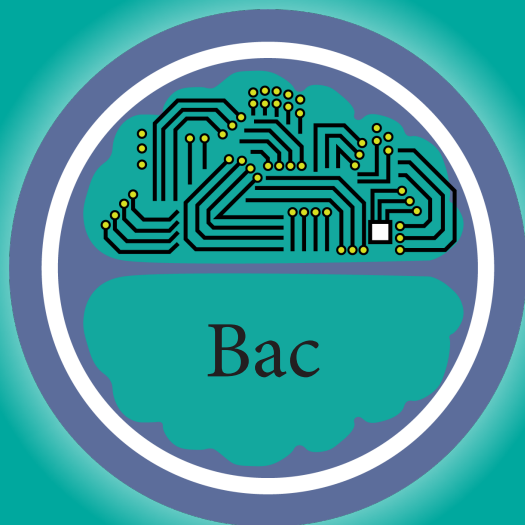
Авторский указатель

А		П	
Абрамов, А.А.	12 21 28	Папковская, Е.Д.	43
Агина, Е.В.	12 20 29 30 31 34 37	Паращук, Д.Ю.	33
Анисимов, Д.С.	12 20 21 29	Паршина, М.С.	24
Б		Перегудова, С.М.	40
Балабан, П.М.	15	Писарев, С.А.	9
Балакирев, Д.О.	33 43	Пойманов, В.Д.	23
Безсуднов, И.В.	17	Пойманова, Е.Ю.	20 29 31
Борисов, К.М.	24	Полинская, М.С.	32 34 36
Борщев, О.В.	9 32 34 36 39 42	Пономаренко, С.А.	9 12 20 24 29 30 31 32 33 34 35 36 37 39 40 42
Бузин, М.И.	32	Постников, В.А.	26
Бузин, А.И.	35	С	
Г		Скоротецкий, М.С.	20 34 36 39 42
Гайдаржи, В.П.	30	Солодухин, А.Н.	33 44
Гончарук, Г.П.	24	Сосорев, А.Ю.	16
Городов, В.В.	36	Сурин, Н.М.	9 39 40
Д		Т	
Дядищев, И.В.	40 43	Тарасенков, А.Н.	17 24
З		Тебенева, Н.А.	24
Заборин, Е.А.	34 36 42	Титова, Я.О.	31
Завьялова, Е.Г.	13 20	Тоиров, С.Х.	21
К		Труль, А.А.	12 20 21 29 30 31 34
Калинина, А.А.	17 37 41	Х	
Калиниченко, Н.К.	33	Хмельницкая, А.Г.	17 37 41
Клеймюк, Е.А.	35	Ч	
Крамаренко, Е.Ю.	11	Чвалун, С.Н.	10
Кривецкий, В.В.	22	Чекусова, В.П.	12 21 34
Крылов, В.В.	20	Чуйко, И.А.	44
Кубинская, Д.Я.	37 41	Ш	
Кулишов, А.А.	26	Шапошник, П.А.	20 29
Л		Шевченко, В.Г.	24 35
Левков, Л.Л.	42	М	
Литвинов, А.Е.	18	Маннанов, А.Л.	33
Лупоносков, Ю.Н.	9 14 32 33 35 40 43 44	Мешков, И.Б.	17
М		Музафаров, А.М.	17 24 32 37
Н		Н	
Невельская, А.И.	35		

	A	
Agina, E.		25
	B	
Bezsudnov, I.		25
	G	
Ghazaryan, G.		25
Gülcher, J.		32
	K	
Kalinina, A.		25
Khmelnitskaia, A.		25
	M	
Mourran, A.		32
	P	
Ponomarenko, S.		25
	W	
Wang, J.		32
	Z	
Ziener, U.		32

RSF

Russian
Science
Foundation



PRINTELTECH

PRINTED ELECTRONICS TECHNOLOGIES



ООО Технологии Печатной Электроники
117393 Москва, Российская Федерация
ул. Профсоюзная 70с1, оф. 410

☎ Phone: +7 (495) 332-58-47

🌐 <http://www.printeltech.com>

✉ sales@printeltech.com