



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
синтетических полимерных материалов им.
Н.С. Ениколопова Российской академии наук
чл.-корр. РАН, д.х.н.

Пономаренко С.А.
«22» августа 2022 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова
Российской академии наук (ИСПМ РАН)

Диссертационная работа Гайдаржи В.П. «Взаимосвязь химического строения и морфологии функциональных слоев тонкопленочных органических полевых транзисторов с их сенсорными свойствами» выполнена в Институте синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (ИСПМ РАН) в Лаборатории молекулярных сенсорных технологий и устройств.

Тема диссертации была утверждена на заседании Ученого совета Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН (Протокол № 10 от 27.06.2022 г.). В диссертационной работе использованы результаты, полученные при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-33-90236) и гранта FFSM-2022-0001.

Гайдаржи В.П. в 2018 году окончила ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (РТУ МИРЭА) по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология» и в том же году стала сотрудником Лаборатории материалов для органической электроники и фотоники и стала аспирантом ИСПМ РАН.

Научный руководитель:

Агина Елена Валериевна, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН), Отдел органической электроники, заведующий лабораторией молекулярных сенсорных технологий и устройств, доктор химических наук.

Диссертационная работа была заслушана на заседании Ученого совета ИСПМ РАН (протокол № 10 от 27.06.2022 г.)

На заседании присутствовало 15 членов ученого совета:

Академик РАН, д.х.н. Музафаров А.М., чл.-корр. РАН, д.х.н. Пономаренко С.А., чл.-корр. РАН, д.х.н. Озерин А.Н., чл.-корр. РАН, д.х.н. Чвалун С.Н., д.х.н. Агина Е.В., д.х.н. Кузнецов А.А., д.х.н. Шевченко В.Г., д.х.н. Зезин А.А., д.х.н. Александров А.И., д.х.н. Аكوпова Т.А., д.х.н. Борщев О.В., д.х.н. Демина Т.С., к.х.н. Калинина А.А., к.х.н. Гетманова Е.В., к.х.н. Лупоносов Ю.Н.

научных сотрудников ИСПМ: д.х.н. Сергеев В.Г., к.х.н. Тарасенко С.А., к.х.н. Труль А.А., к.х.н. Полинская М.С., к.х.н. Пойманова Е.Ю., к.х.н. Дроздов Ф.В., к.х.н. Скоротецкий М.С., к.х.н. Городов В.В., к.х.н. Литвинов А.Е., к.х.н. Цегельская А.Н., к.х.н. Солдатова А.Е., к.х.н. Успенский С.А., м.н.с. Хаптаханова П.А., м.н.с. Шапошник П.А., м.н.с. Анисимов Д.С., к.х.н. Миленин С.А.

В ходе обсуждения диссертанту были заданы следующие вопросы:

д.х.н. Сергеев В.Г.: Что подразумевается под сенсорными характеристиками? На какие газы получены сенсоры? Почему гладкая поверхность приводит к увеличению сенсорного отклика? Каков механизм сорбции диоксида азота на поверхность сенсора?

чл.-корр. РАН, д.х.н., Озерин А.Н.: С учетом того, что наиболее чувствительными являются слои с большим количеством доменных границ, имеет ли смысл добиваться предельно диспергированных структур? Высокодисперсные области склонны к старению. Насколько быстро такие слои стареют под влиянием различных факторов внешней среды?

д.х.н. Кузнецов А.А.: Адсорбция газа на чем происходит, оценивали ли динамику сенсорных свойств от отжига? Можно ли охарактеризовать адсорбцию? Проводилась ли оценка размеров доменных структур? Полупроводники синтезируются как индивидуальные соединения или как олигомеры?

к.х.н. Дроздов Ф.В.: Какие данные по сенсорам на основе ВТВТ представлены в мировой литературе?

к.х.н. Борщев О.В.: Поясните, почему на 12 слайде приведено по две пары колонок со значениями подвижностей носителей заряда? Замечание: необходимо привести на слайдах данные по шероховатости полупроводникового слоя, нанесенного поверх диэлектрика.

к.х.н. Скоротецкий М.С.: Каков механизм снижения порогового напряжения для СУТОР? Какая толщина диэлектрических слоев? Что за «бублики» видны на АСМ-сканах морфологии слоя С11-С13?

В обсуждении приняли участие:

Д.х.н., зав.лаб., Агина Е.В.: Виктория Петровна принимала личное участие во всех этапах выполнения экспериментальной части работы: в постановке эксперимента, изготовлении образцов монослойных ОПТ и полимерных сенсорных устройств, а также в

анализе полученных данных с последующим обсуждением результатов и формулировкой выводов. Также Виктория принимала личное участие в написании публикаций по теме своей диссертации.

Достоверность полученных Викторией результатов подтверждается полной характеристикой полученных устройств современными физическими методами анализа, а также публикаций полученных результатов в высокорейтинговых журналах.

Новизна полученных результатов в ходе выполнения диссертации не вызывает сомнений, что подтверждается проведенным диссертантом серьезным анализом мировой литературы, а практическая значимость подтверждается актуальностью проведенных исследований.

Научные работы соискателя Гайдаржи В.П., несомненно, имеют высокую ценность и предлагают новые, оригинальные возможности развития отрасли органической электроники и сенсорных технологий.

Диссертационная работа соответствует всем требованиям, и научной специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения (химические науки)».

Материалы диссертации полностью изложены в опубликованных работах. По моему мнению, для оформления заключения организации, в которой выполнялась работа, есть все основания. Работа соответствует всем требованиям и может быть рекомендована к защите.

Личный вклад автора. Автор принимал личное участие во всех этапах выполнения работы: от постановки задачи, формирования плана работ и выполнения экспериментальной части до анализа полученных данных, обсуждения результатов и подведения итогов. Автор лично разработал подходы и изготовил все сенсорные устройства, описанные в работе, исследовал морфологию их функциональных слоев, изучил электрические и сенсорные свойства.

Достоверность результатов исследования. Достоверность результатов подтверждена многократным воспроизведением полученных результатов, что позволило собрать большой набор статистических данных, подтверждающих правильный выбор методик изготовления и исследования ОПТ-сенсоров. Полученные в работе результаты опубликованы в высокоцитируемых журналах, входящих в перечень ВАК и Web of Science.

Научная новизна. 1) Систематически исследовано влияние химического строения и морфологии тонких пленок сопряженных полупроводниковых олигомеров, полимерных диэлектриков и рецепторных металлопорфиринов на сенсорные свойства ОПТ с функциональными слоями на основе этих материалов; 2) Впервые установлена взаимосвязь

между морфологией полупроводникового монослоя и сенсорной чувствительностью ОПТ на его основе; 3) Разработан подход к нанесению рецепторных слоев поверх полупроводникового монослоя без потери электрических и сенсорных свойств ОПТ, что обеспечило возможность создания массива из различных полуселективных сенсоров на одной подложке. 4) Разработаны подходы к созданию печатных полимерных сенсорных устройств и изготовлены их образцы, определены их электрические и сенсорные свойства в зависимости от использованных материалов и методов печати; 5) Сформулирован перечень рекомендаций к выбору функциональных материалов и методов изготовления ОПТ для достижения ими заданных сенсорных свойств.

Практическая значимость работы. Разработан и реализован подход к созданию сенсорной части «электронного носа», представляющей собой массив из пяти полуселективных ОПТ-сенсоров на одной подложке на основе полупроводникового ВТВТ-содержащего олигомера и четырех различных рецепторных слоев. Изготовленный датчик, будучи интегрированным в специально сконструированную измерительную ячейку, позволяет одновременно получать и обрабатывать массив откликов с каждого ОПТ-сенсора. Продемонстрирована возможность применения «электронного носа» для обнаружения ряда токсичных газов и достоверного выявления ранней порчи продуктов на примере куриного мяса.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности: материалы диссертации соответствуют специальности 1.4.7. – высокомолекулярные соединения, химические науки.

Полнота изложения материалов диссертации. Результаты работы были представлены на 10 международных и российских научных конференциях в виде устных и стендовых докладов: Международных Школах по органической электронике: IFSOE-2018, IFSOE-2022 (Московская область, 2018-2019, Москва 2020-2021, Калужская область, 2022); Международная конференция для молодых ученых «Ломоносов-2019» (Москва, 2019); Международной конференции по органической электронике ICOE-2019 (Бельгия, Хассельт, ; Международном симпозиуме ANAM2019 (Армения, Ереван, 2019); Всероссийская Школа-конференция по биосовместимой электронике и робототехнике (Нальчик, 2022, Каспийск

По теме диссертации опубликовано 9 научных статей, входящих в перечень Web of Science и перечень ВАК, из них 7 - в журналах первого квартиля:

1. Trul A.A. Organosilicon dimer of BTBT as a perspective semiconductor material for toxic gas detection with monolayer organic field-effect transistor / A.A. Trul, A.S. Sizov, V.P. Chekusova,

- O.V. Borshchev, E.V. Agina, M.A. Shcherbina, A.V. Bakirov, S.N. Chvalun, S.A. Ponomarenko // J. Mater. Chem. C. – 2018. – Vol. 6. – P. 9649-9659. (IF = 8.067)
2. Sizov A.S. Highly sensitive air stable easy processable gas sensors based on Langmuir-Schaefer monolayer field-effect transistors for multiparametric H₂S and NH₃ real-time detection/ A.S. Sizov, A.A. Trul, **V.P. Chekusova**, O.V. Borshchev, A.A. Vasiliev, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko // ACS Appl. Mater. Interfaces. – 2018 – Vol.10. – №50. – P. 43831–43841. (IF= 10.383)
3. Trul A.A. NH₃ and H₂S real-time detection in the humid air by two-layer Langmuir-Schaefer OFETs / A.A. Trul, **V.P. Chekusova**, M.S. Polinskaya, A.N. Kiselev, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko // Sensors and Actuators B Chem. – 2020. – Vol. 321. – P. 128609. (IF= 9.221)
4. Anisimov D.S. Fully integrated ultra-sensitive electronic nose based on organic field-effect transistors / D.S. Anisimov, **V.P. Chekusova**, A.A. Trul, A.A. Abramov, O.V. Borshchev, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11. – №1. – P.10683. (IF= 4.997)
5. Skorotetcky M.S. Simple synthesis of alkyl derivatives of tetrathienoacene and their application in organic field-effect transistors / M.S. Skorotetcky, O.V. Borshchev, M.S. Polinskaya, E.A. Zaborin, **V.P. Chekusova**, E.Y. Poimanova, D.S. Anisimov, A.A. Trul, A.V. Bakirov, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko // J. Mater. Chem. C. – 2021. – Vol.9. – P.10216-10221 (IF=8.067)
6. Trul A. A. Operationally Stable Ultrathin Organic Field Effect Transistors Based on Siloxane Dimers of Benzothieno[3,2-b][1]Benzothiophene Suitable for Ethanethiol Detection / A.A. Trul, **V.P. Chekusova**, D.S. Anisimov, O.V. Borshchev, M.S. Polinskaya, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko // Adv. Electron. Mater. - 2022. Vol.8. - №5. – P.2101039. (IF=7.633)
7. Чекусова В.П. Универсальный подход к изготовлению структурированного полимерного субстрата для создания печатного полимерного газового сенсора на основе полевого транзистора / **В.П. Чекусова**, А.А. Труль, Е.В. Агина, С.А. Пономаренко // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2022. - № 6. - С. 1290-1299. (IF=1.406)
8. Polinskaya M.S. Influence of terminal alkyl groups on the structure, electrical and sensory properties of thin films of self-assembling organosilicon derivatives of benzothieno[3,2-b][1]benzothiophene / M.S. Polinskaya, A.A. Trul, O.V. Borshchev, M.S. Skorotetcky, **V.P. Gaidarzhi**, S.K. Toirov, D.S. Anisimov, A.V. Bakirov, S.N. Chvalun, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko // J. Mater. Chem. C. – 2023. – Vol.11. – P.1937-1948. (IF=8.067)
9. Anisimov D. S. Food Freshness Measurements and Product Distinguishing by a Portable Electronic Nose Based on Organic Field-Effect Transistors / D.S. Anisimov, A.A. Abramov, **V.P. Gaidarzhi**, D.S. Kaplun, E.V. Agina, S.A. Ponomarenko // ACS omega. – 2023. – Vol. 8. – №. 5. – P. 4649-4654. (IF=4.132)

По итогам заседания Ученого совета принято следующее заключение:

Диссертационная работа Гайдаржи В.П. «Взаимосвязь химического строения и морфологии функциональных слоев тонкопленочных органических полевых транзисторов с их сенсорными свойствами» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении ученых степеней» ВАК Минобрнауки России, утвержденного постановлением Российской Федерации от 24 сентября 2013 №842 и приказом Минобрнауки России от 10 ноября 2017 года № 1093, предъявляемых к диссертационным работам на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7. – высокомолекулярные соединения. По итогам заседания Ученого совета было принято решение рекомендовать диссертационную работу Гайдаржи В.П. «Взаимосвязь химического строения и морфологии функциональных слоев тонкопленочных органических полевых транзисторов с их сенсорными свойствами» к защите на диссертационном совете 24.1.116.01 (Д 002.085.01) при ФГБУН Институт синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова РАН на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения (химические науки)».

Председатель ученого совета ИСПМ РАН,
чл.-корр. РАН., д.х.н.

Пономаренко С.А.

Ученый секретарь ИСПМ РАН,
к.х.н.

Гетманова Е.В.