

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.116.01 (Д 002.085.01) НА
БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТА СИНТЕТИЧЕСКИХ ПОЛИМЕРНЫХ
МАТЕРИАЛОВ ИМ. Н.С. ЕНИКОЛОПОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ХИМИЧЕСКИХ НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от «23» ноября 2023 г. № 9

О присуждении Гайдаржи Виктории Петровне, гражданке РФ, ученой степени кандидата химических наук.

Диссертация «Взаимосвязь химического строения и морфологии функциональных слоев тонкопленочных органических полевых транзисторов с их сенсорными свойствами» по специальности 1.4.7 – «Высокомолекулярные соединения» принята к защите 31 августа 2023 года, протокол № 5, диссертационным советом 24.1.116.01 (Д 002.085.01) на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН), 117393 г., Москва, ул. Профсоюзная, 70, (приказ Минобрнауки №75/нк от 15 февраля 2013 года).

Соискатель Гайдаржи Виктория Петровна 22.07.1993 г.р., в 2018 г. окончила Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «МИРЭА — Российский технологический университет» по направлению подготовки 18.04.01 «Химическая технология», г. Москва. С 2018 г по 2022 г проходила обучение в аспирантуре ИСПМ РАН. Кандидатский минимум был сдан в 2019-2021 годах. В настоящее время работает в должности младшего научного сотрудника Лаборатории молекулярных сенсорных технологий и устройств ИСПМ РАН.

Диссертационная работа выполнена в Лаборатории молекулярных сенсорных технологий и устройств ИСПМ РАН, была рекомендована к защите на заседании Ученого совета ИСПМ РАН 27 июня 2022 г., протокол № 10.

Научный руководитель – Агина Елена Валериевна, доктор химических

наук, ведущий научный сотрудник Лаборатории молекулярных сенсорных технологий и устройств Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института синтетических полимерных материалов им. Н.С. Ениколопова Российской академии наук (ИСПМ РАН), г. Москва.

Официальные оппоненты:

Калинина Мария Александровна, доктор химических наук, профессор РАН, ведущий научный сотрудник Лаборатории биоэлектрохимии Института физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН (ИФХЭ РАН), г. Москва

Якиманский Александр Вадимович, доктор химических наук, профессор РАН, руководитель Лаборатории 14 полимерных наноматериалов и композиций для оптических сред Института высокомолекулярных соединений Российской академии наук (ИВС РАН), г. Санкт-Петербург

Официальные оппоненты дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация:

Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии Российской академии наук (ФИЦ ПХФ и МХ РАН), г. Черноголовка, в своем положительном отзыве, составленном к.х.н., заведующим лабораторией функциональных материалов для электроники и медицины Трошиным Павлом Анатольевичем, и утвержденном исполняющим обязанности директора ФИЦ ПХФ и МХ РАН, член-корр. РАН, д.ф.-м.н. Ломоносовым Игорем Владимировичем, отмечает актуальность диссертационной работы Гайдаржи В.П., посвященной установлению взаимосвязи между химическим строением, морфологией, способом изготовления функциональных олигомерных и полимерных слоев, входящих в состав многослойного органического полевого транзистора (ОПТ) и электрическими и сенсорными свойствами ОПТ на их основе.

Анализ диссертационной работы Гайдаржи В.П. позволяет заключить, что автором было проведено систематическое исследование влияния 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, что позволило впервые установить взаимосвязь между морфологией полупроводникового слоя и сенсорными свойствами ОПТ на его основе. После плоскостной деформации в полимерах с различной фазовой морфологией наблюдается сильное деформационное размягчение. Автором работы была разработана методика нанесения рецепторных слоев металлопорфиринов поверх полупроводникового слоя без потери электрических свойств последнего; разработан подход к созданию многослойного полимерного сенсорного устройства при помощи печатных методов, получен ряд образцов с измеренными электрическими и сенсорными свойствами; сформулирован перечень рекомендаций к выбору функциональных материалов, а также методов изготовления ОПТ с заданными электрическими и сенсорными характеристиками.

Реализованный подход к созданию «электронного носа» в виде массива полу-селективных ОПТ-сенсоров на одной подложке позволил применить на практике полученное устройство для детектирования токсичных газов и определения ранней порчи продуктов на примере куриного мяса.

В работе Гайдаржи В.П. подробно рассмотрены влияние природы сопряженного фрагмента и длины алифатической концевой группы органического полупроводника, а также способа его нанесения на сенсорные свойства ОПТ. Обнаружено отсутствие корреляции сенсорных и электрических свойств ОПТ, что означает, что лучший ОПТ не обязательно будет лучшим сенсором. Показано, что наилучшие сенсорные свойства имеют монослойные устройства, при этом ключевую роль в достижении сенсорных характеристик для ОПТ играет морфология полупроводника.

Исследовано влияние полимерного интерфейсного диэлектрического слоя на электрические и сенсорные характеристики ОПТ. Показано, что выбор интерфейсного диэлектрика должен определяться планируемыми целями использования газового сенсора, поскольку различные его параметры демонстрируют оптимальные значения при использовании разных диэлектрических слоев.

Автором описана методика последовательного переноса на подложку с полупроводниковым ЛШ-монослоем нескольких дополнительных рецепторных

слоев на основе различных металлосодержащих порфиринов. Разработанный подход позволил создать массив из 5 типов полуселективных сенсоров с различными рецепторными слоями на одной подложке, что в совокупности с алгоритмом обработки полученного набора сенсорных откликов представляет собой реализованную концепцию портативного «электронного носа».

В диссертационной работе Гайдаржи В.П. описано изготовление полимерных сенсорных устройств при помощи печатных методов для использования их в качестве газовых сенсоров на определение токсичных газов на примере аммиака и толуола. Подробно описаны методики последовательного нанесения печатных слоев, перечислены проблемы, возникающие в процессе печати и пути их решения, а также методики измерения электрических и сенсорных свойств готовых печатных сенсорных устройств.

В Заключении работы сформулированы рекомендации к выбору функциональных материалов и методов изготовления ОПТ, позволяющие достигать заранее заданных сенсорных свойств для описанных устройств.

Публикации по теме диссертации представлены в виде 9 научных статей в журналах, индексируемых в базах данных «Web of Science» и «Scopus», а также входящих в перечень ВАК, из них 7 - в журналах первого квартиля, получены 3 российских, 1 американский, 1 немецкий и 1 корейский патенты.

В отзыве ведущей организации высказаны следующие замечания:

1. Топографические изображения, полученные методом атомно-силовой микроскопии, нужно приводить со шкалой Z. Вместо этого в работе приводятся случайно выбранные профили поперечного сечения (cross-section) с очень сложно читаемыми надписями по осям (мелкий шрифт, иногда низкое графическое разрешение, например рис. 40).
2. Важная для данной работы информация могла бы быть получена из данных сканирующей электронной микроскопии для поперечных срезов (cross-section) многослойных тонкопленочных структур и законченных устройств: ОПТ и сенсоров на их основе. В частности, можно было бы непосредственно наблюдать структуру межслоевых границ и подтвердить отдельные предположения, сделанные в работе на основе данных, например, атомно-силовой микроскопии для поверхностных пленок.

3. Есть небольшие технические недочеты. В частности, почти все ссылки в конце предложений расположены до точки. Но есть некоторые ссылки, расположенные после точки (например, «сенсоров. [87]» на стр. 52). Пропущена точка после «триметоксисилана (Acros Organics)» на стр. 62, двоеточие вместо точки в «(МВП):» на стр. 64, «Частота» на стр. 63 должна быть со строчной буквы, некоторые сокращения вводятся несколько раз, например «МВП» появляется впервые на стр. 7, потом снова вводится на стр. 14, 63, 73; аналогично «ЛШ». В качестве разделителя в числах используется как запятая, так и точка (например, Таблица 2). Использование термина «АСМ микрофотографии» не вполне корректно с учетом особенностей метода. В таблице 3 и на рисунке 51 чувствительность сенсоров имеет разные размерности.
4. Встречаются опечатки, например «сульфанат» на стр. 62, «полуселективных» на стр. 66, «Таблица 3» на стр. 92, «В Разделе» на стр. 93, «верхняя замещенная молекулярная орбиталь» на стр. 129, «поли(виниловый спирт» на стр. 130.

Указанные недочеты не влияют на общую положительную оценку работы. Согласно отзыву, диссертационная работа является редким примером исследований, охватывающих как важные фундаментальные проблемы, так и чисто прикладные аспекты, такие как разработка печатных технологий изготовления устройств и демонстрация их работы в реальных «полевых» условиях, например, для контроля качества продуктов питания.

Диссертация Гайдаржи Виктории Петровны соответствует паспорту специальности 1.4.7 «Высокомолекулярные соединения». Результаты исследования соответствуют пунктам 2, 3, 6, 7 и 9 паспорта специальности.

Диссертационная работа Гайдаржи Виктории Петровны полностью соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата химических наук по научной специальности 1.4.7 – высокомолекулярные соединения.

На автореферат диссертации поступили положительные отзывы:

1. Отзыв д.ф.-м.н., доцента, профессора кафедры электроники твердого тела Санкт-Петербургского государственного университета, Комолова Алексея Сергеевича, положительный. Замечаний не содержит.

2. Отзыв к.х.н., заведующего лабораторией органической электроники ФГБУН «Институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова Сибирского отделения Российской академии наук» (НIOX CO РАН), Казанцева Максима Сергеевича, положительный. Содержит замечания:

1) В отличие от полупроводниковых, диэлектрических и сенсорных слоев, в работе лишь небольшой раздел в конце автореферата посвящен оптимизации используемых печатных электродов. Из текста автореферата, не совсем ясно, влияют ли как-то на свойства ОПТ и, сенсоров на их основе, материал электродов стока-истока. Можно ли использовать другие печатные электроды, например, PEDOT:PSS, проводящие чернила на основе нанотрубок и т.п. и насколько влияет работа выхода печатных электродов на характеристики устройств?

2) На мой взгляд, последний вывод, перечень рекомендаций для дизайна функциональных компонентов сенсоров, хотелось бы озвучить более конкретно. Какие из исследованных комбинаций материалов представляются наиболее чувствительными и перспективными?

3. Отзыв д.ф.-м.н., ведущего научного сотрудника лаборатории физической химии полимеров ФГБУН «Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова Российской академии наук» (ИНЭОС РАН), Годовского Дмитрия Юльевича, положительный, содержит замечания:

1) Структура активных слоев ОПТ является одним из ключевых факторов, определяющих их электрические свойства. В представленной работе детально описана морфология нанесенных пленок, но, к сожалению, отсутствует информация о кристалличности и текстуре доменов в пленках. Диссертант в некоторых случаях на основании морфологических наблюдений предполагает, что некоторые из наблюдаемых образований имеют кристаллическую природу (см. стр. 10-11 и 13), но прямых свидетельств этому не приводит. Информацию о внутренней структуре пленок можно было бы получить с помощью экспериментов по рентгеновскому рассеянию в

скользящем пучке.

- 2) Опечатка: в подписи к рис. 2 вместо «ВП» надо читать «МВП».

Соискатель Гайдаржи Виктория Петровна имеет 9 научных статей, входящих в перечень Web of Science и перечень ВАК, из них 7 - в журналах первого квартиля, получены 3 российских, 1 американский, 1 корейский и 1 немецкий патент, в которых изложены основные результаты 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-2019, IFSOE-2020, IFSOE-2021, IFSOE-2022 (Московская обл., 2018-2021, Калужская обл., 2022); Международной конференции для молодых ученых «Ломоносов-2019» (Москва, 2019); Международной конференции по органической электронике ICOE-2019 (Бельгия, Хассельт, 2019); Международном симпозиуме ANAM-2019 (Армения, Ереван, 2019); Всероссийских Школах-конференциях по биосовместимой электронике и робототехнике (Нальчик, 2022, Каспийск, 2023).

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

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. Chvaïun, 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)

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается компетентностью ученых-экспертов, и наличием у них научных публикаций в области синтеза и исследования физико-химических

свойств олигомерных и полимерных молекул, а также в области органической электроники.

Диссертационная работа Гайдаржи Виктории Петровны посвящена исследованию влияния химического строения, морфологии, способа нанесения функциональных полимерных и олигомерных слоев на сенсорные свойства тонкопленочных органических полевых транзисторов (ОПТ) на основе таких слоев. Одним из основных результатов работы является выявление взаимосвязи между химическим строением, морфологией, способом нанесения функциональных (диэлектрических, полупроводниковых и рецепторных) полимерных и олигомерных слоев и сенсорными свойствами тонкопленочных ОПТ на их основе, а также сформированный систематизированный подход к выбору тех или иных функциональных материалов и методов изготовления различных активных слоев ОПТ на основе выбранных материалов для достижения изготовленными ОПТ-сенсорами заданных сенсорных свойств по отношению к различным целевым анализам, планируемым условиям применения разрабатываемых сенсоров и предъявляемым требованиям к их технологичности, стоимости и другим экономическим параметрам. Было показано, что наилучшие электрические и сенсорные свойства проявляют материалы на основе бензотиенобензотиофенового ядра с октильными концевыми группами, сформированные растворными методами в оптимальных условиях в протяженные однородные тонкие пленки (МВП) или монослои (ЛШ). Наибольшая сенсорная чувствительность была продемонстрирована монослойными устройствами, при этом ключевую роль в достижении высоких сенсорных характеристик для ОПТ играет морфология полупроводника, для оптимизации которой критически необходимо понимание механизма сенсорного отклика. Разработана методика нанесения рецепторного слоя поверх полупроводникового ЛШ монослоя без потери электрических и сенсорных свойств ОПТ. Предложен подход к контролируемому изменению селективности сенсоров на основе ОПТ, создан массив из различных полуселективных сенсоров на одной подложке. Разработаны методы изготовления печатных полимерных сенсорных устройств, способных работать в качестве емкостных газовых сенсоров на аммиак и толуол.

Актуальность темы. В настоящее время отмечается растущий спрос на газовые сенсоры, что связано с широким диапазоном их применения, например, для контроля качества воздуха в помещениях и на улице, выявления маркеров различных заболеваний в выдыхаемом человеком воздухе для проведения ранней диагностики, для контроля качества продуктов питания и др. Решение ряда задач требует использования одноразовых сенсорных устройств, что подразумевает их невысокую стоимость. Для решения таких задач предлагается использовать печатные технологии изготовления газовых сенсоров, которые позволяют создавать безопасные, экологичные, простые в использовании, портативные, легко масштабируемые и дешевые устройства, что очень привлекательно для их применения. Перспективной основой газовых сенсоров являются органические полевые транзисторы (ОПТ), благодаря большому выбору функциональных материалов, простых и технологичных методов создания устройств, а также возможности изготовления легких энергоэффективных датчиков малого размера на их основе. Зависимость электрических характеристик ОПТ от внешних условий делает их привлекательными для применения в качестве газовых и жидкостных сенсорных устройств.

Ранее было показано, что на основе силоксановых производных (димеров) алкилзамещенных бензотиенобензотиофенов (ВТВТ) могут быть изготовлены монослойные ОПТ, способные работать в качестве высокочувствительных газовых сенсоров. Вопрос о влиянии химического строения и морфологии функциональных слоев, входящих в состав таких сенсоров на их электрические и сенсорные характеристики оставался практически неизученным. Также отсутствовали подходы к печати сенсорных устройств на основе олигомерных производных ВТВТ, что сильно ограничивало практическое применение таких систем.

Таким образом, диссертационное исследование Гайдаржи В.П., направленное на поиск закономерностей между молекулярным строением, морфологией тонких полупроводниковых, диэлектрических и рецепторных слоев, и электрическими и сенсорными характеристиками ОПТ на их основе, а

также на разработку подходов к печати таких слоев, является актуальным с фундаментальной и прикладной точек зрения.

Цель работы: Выявление взаимосвязей между химическим строением, морфологией, способом нанесения функциональных (диэлектрических, полупроводниковых и рецепторных) полимерных и олигомерных слоев и сенсорными свойствами тонкопленочных ОПТ на их основе.

Научная новизна. Проведено фундаментальное исследование влияния 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. Впервые выявлена взаимосвязь между морфологией полупроводникового монослоя и сенсорной чувствительностью ОПТ на его основе. Разработан подход к нанесению рецепторных слоев поверх полупроводникового монослоя, при котором не происходит потери электрических и сенсорных свойств ОПТ. Это позволило создать массив из различных полуселективных сенсоров на одной подложке. 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. На основании проведенного исследования сформулирован перечень рекомендаций к выбору функциональных материалов и методов изготовления ОПТ для получения устройств с заданными сенсорными свойствами.

Теоретическая и практическая значимость работы. В работе полностью разработан и реализован подход к созданию массива из ОПТ-сенсоров на одной подложке на основе полупроводникового ВТВТ-содержащего олигомера и четырех различных рецепторных слоев на основе металлопорфиринов, который является сенсорной частью устройства «электронный нос». Показана возможность применения устройства «электронный нос» для детекции токсичных газов, а также продемонстрирована возможность использования устройства для достоверного выявления ранней порчи продуктов на примере куриного мяса.

Диссертация Гайдаржи В.П. соответствует пунктам 2, 3, 6, 7 и 9 паспорта научной специальности 1.4.7 – «Высокомолекулярные соединения» и отрасли науки – химические. Результаты работы были опубликованы в виде 9 статей в рецензируемых журналах, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, получены 3 российских, 1 американский, 1 немецкий и 1 корейский патенты. Материалы работы также были представлены в виде устных и стендовых докладов на 10 международных и российских научных конференциях.

В публикациях и докладах диссертанта подробно изложены основные положения и содержание проведенных теоретических и экспериментальных исследований. Это полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г. (с изменениями и дополнениями, внесенными Постановлением Правительства Российской Федерации №426 от 20 марта 2021 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания и вопросы:

- 1) У меня общий вопрос относительно концепции полуселективных сенсоров, насколько уверенно можно различать аммиак и сероводород, и сероводород и тиол? Что стоит за селективностью с точки зрения химии? Вы действительно можете различать сероводород и тиол?
- 2) Покажите 14 слайд, там показаны изотермы Ленгмюра для двух разных порфиринов. Почему они такие разные? Переносили на подложку при каком давлении?
- 3) Что такое подложка ПЭН? По полимерным компонентам, которые присутствуют у Вас в работе, какие характеристики полимерных или олигомерных компонентов ответственны за работу Вашего устройства и за его хорошие характеристики? Расскажите об этом и не забудьте про ПЭН.

- 4) Можно показать 9-й слайд? C11-C4 и C11-C8: объективно, C4 менее шероховатый чем C8, шероховатость приведена здесь ниже. Шероховатость определялась по сечению или по плоскости?
- 5) Какая воспроизводимость структуры пленок при напылении и какая взаимосвязь между морфологией пленки и свойствами?

Соискатель Гайдаржи В.П. согласилась с высказанными замечаниями, ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию:

- 1) На самом деле, я не могу в полной мере ответить на Ваш вопрос, поскольку я не рассматривала механизмы взаимодействий самих сенсоров к газам, это, скорее, вопрос к моим коллегам. Эта диаграмма, действительно, рабочая, мы можем различать тиол и сероводород (слайд 17 диаграмма LDA). Селективность определяется атомом металла, мы используем металлопорфирины и взаимодействие происходит с центральным атомом металла.
- 2) Можем предположить, что это связано с кристаллизацией слоя на поверхности воды, то есть те слои, которые успели растечься по поверхности воды, сформировать хорошую, однородную пленку, в последствии поджимаются в однородный слой, и поверхностное давление тоже получается довольно высоким. Если при раскапывании слой сильно кристаллизовался, образовывал «паутинку», то как ты ни сжимай слой, «паутинка» начинает поджиматься и растет вверх, и слой становится толще, но при этом поверхностное давление не растет. Переносили при давлении, близком к коллапсу, но не достигая его. Мы всегда сначала оценивали состояние пленки при помощи Брюстера.
- 3) ПЭН – это полиэтиленнафталат. На самом деле, ответственный весь комплекс устройства. ПЭН используем для печатных методов, для того, чтобы сделать подложку гибкой, основываясь на литературных данных, его часто используют в микроэлектронике.
- 4) У C8 меньше шероховатость (0,91нм), чем у C4 (1,03нм), мы брали профиль сечения.

5) Воспроизводимость у нас довольно хорошая и морфологическая, и для электрических свойств, и сенсорных свойств, поскольку данных устройств было сделано несколько сотен, вот на данный момент к 900 подходит количество образцов и на каждом образце по 20 транзисторов, поэтому сходимость у них высокая. Бывают мешающие факторы, например, навеска недостаточная и тогда происходят какие-то из ряда вон выходящие вещи, но это сразу заметно на изотерме Ленгмюра. Если недостаточная концентрация, то ты прикапываешь то же самое количество раствора, и сразу видно, что не достигается целевое давление, характерное для данного материала. Здесь оценить можно сразу и не переносить такие слои. Воспроизводимость у нас высокая.

По поводу соотношения морфологии и свойств, мы рассматривали это на примере димера бензотиенобензотиофена с бутильной концевой алифатической группой и заметили, что на одной и той же подложке есть некоторые пиксели, которые показывали, например, хорошие электрические, но при этом плохие сенсорные свойства или наоборот, были одинаково и хорошие электрические и хорошие сенсоры, а бывает такое, что плохие электрические, но при этом вполне себе приличные сенсорные свойства. Разбирая именно морфологию полученных данных транзисторов, мы пришли к выводу, что на электрические характеристики влияет только наличие каких-либо кристаллических дефектов на пленке. Если вдруг так получилось, что в канале транзистора образовались крупные кристаллы, которые служат именно ловушками, туда утекает проходящий ток, и электрические характеристики снижаются. Вот этот слой (слайд 11), хоть он выглядит непрезентабельно, но здесь верхний слой более аморфный, он не кристаллический, поэтому на него не происходит утечка, и ток свободно течёт в нижнем подслое. Здесь же вот просто нет видимых значительных препятствий для протекания тока, поэтому он тоже сохраняет хорошие электрические характеристики.

Исследование Гайдаржи В.П. выполнено на высоком научном уровне. Результаты диссертационной работы вносят заметный вклад в развитие науки и технологии в области высокомолекулярных соединений.

Диссертационный совет считает, что диссертация Гайдаржи В.П. полностью соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. На заседании диссертационного совета, прошедшем 23 ноября 2023 г., принято решение присудить Гайдаржи Виктории Петровне ученую степень кандидата химических наук по специальности 1.4.7. – высокомолекулярные соединения.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 15 человек, из них 15 докторов наук, участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав, проголосовали: «за» - 15, «против» - 0, воздержавшихся нет.

Председатель
диссертационного совета
24.1.116.01 (Д 002.085.01),
Д.х.н., чл.-корр. РАН

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д.х.н.
23.11.2023 г.



Озерин Александр Никифорович

Борщев Олег Валентинович

