

Отзыв официального оппонента о диссертации

Труля Аскольда Альбертовича

«Тиофен-содержащие полупроводниковые олигомеры и полимеры как перспективные материалы для детектирования токсичных газов с помощью органических полевых транзисторов»

представленной на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности: 02.00.06 – высокомолекулярные соединения.

Диссертационная работа А.А. Труля посвящена актуальному, быстро развивающемуся направлению – детектированию токсичных газов при помощи устройств органической электроники. Работа посвящена исследованию зависимости электрических и газочувствительных свойств органических полевых транзисторов от химической структуры органических полупроводниковых олигомеров и полимеров, а также методов формирования полупроводниковых слоев на их основе.

Практическая значимость работы обусловлена возможностью использования исследованных материалов и методов изготовления пленок для создания монослойных полевых транзисторов, которые могут быть использованы в качестве высокочувствительных газовых сенсоров на такие соединения как аммиак, сероводород и диоксид азота. Такие сенсоры могут найти применение в медицине для анализа выдыхаемого человеком воздуха, в пищевой промышленности для оценки качества продуктов питания и в экологическом контроле для анализа качества атмосферы. Таким образом, актуальность и своевременность диссертационной работы А.А. Труля не вызывают сомнения.

Диссертационная работа состоит из введения, литературного обзора, постановки задачи, описания экспериментальной части, обсуждения результатов и выводов.

Литературный обзор состоит из двух разделов, посвященных органическим полевым транзисторам и газовым сенсорам на их основе. В разделе, посвященном органическим полевым транзисторам приведены сведения об архитектуре устройства, принципе его работы, и типичных свойствах. При рассмотрении принципа работы отдельно рассмотрены основные параметры устройства, их типичные значения, а также приведены рекомендации, необходимые для корректной оценки указанных параметров. Далее перечислены основные методы изготовления тонкопленочных (в т.ч. монослойных) органических полевых транзисторов и рассмотрены основные материалы, которые используются для создания электродов, диэлектрических и полупроводниковых слоев устройства. Отдельно описано к чему может приводить неверный выбор материала электродов, а также рассмотрены способы оценки контактного сопротивления. В последнем подразделе дано детальное

сравнение свойств транзисторов, полученных на основе наиболее перспективных олигомерных и полимерных полупроводниковых материалов.

В следующем разделе литературного обзора обсуждаются принципы работы газовых сенсоров и их основные параметры. Проведен сравнительный анализ подходов к созданию сенсорных устройств, показавший перспективность использования органических полевых транзисторов для этих целей. Отдельно проведено сравнение сенсорных устройств на основе органических полевых транзисторов, полученных на основе олигомерных или полимерных материалов, отмечены их основные особенности и недостатки. Далее рассмотрены параметры органического полевого транзистора, которые могут изменяться при взаимодействии с газами и определять механизм работы органического полевого транзистора как газового сенсора. Важно отметить, что литературный обзор охватывает все основные вопросы, которые рассматриваются далее в диссертационной работе и прочтение литературного обзора дает возможность даже неспециалисту в данной области получить необходимый объем информации для понимания и оценки содержания представленной диссертационной работы.

Раздел 2 диссертации посвящен описанию методов исследований, использованных в диссертационной работе. Важно отметить, что для исчерпывающего решения поставленных задач диссертантом было применено большое количество разнообразных методов для создания полупроводниковых слоев, их характеристики и исследования свойств. Кроме того, в рамках работы был спроектирован и собран газовый стенд, позволяющий создавать газовые смеси с заданной влажностью и составом.

Раздел 3.1 посвящен полупроводниковым слоям силоксановых димеров бензотиенобитиофена. Тонкие слои (включая монослои) были сформированы методами Ленгмюра-Блоджетт, Ленгмюра-Шеффера и методом вращающейся подложки. Было проведено детальное исследование параметров методов нанесения, влияющих на морфологию слоя, что позволило оптимизировать условия получения плотной однородной монослойной пленки для каждого метода. Были исследованы электрические свойства органических полевых транзисторов на основе пленок силоксановых димеров бензотиенобитиофена, полученных в оптимальных условиях. Обнаружено, что концевая группа критически необходима для получения устройства с высокими электрическими характеристиками. Также показано, что электрические характеристики зависят и от длины алкильного спейсера димера и улучшаются с увеличением длины спейсера. При этом важно отметить, что устройства демонстрировали высокую стабильность и воспроизводимость, а характеристики монослойных устройств оказались сравнимы с характеристиками

монослойных устройств, полученных на других материалах и опубликованных в ведущих журналах.

В разделе 3.2 обсуждаются результаты исследований газочувствительных свойств органических полевых транзисторов. Показано, что присутствие в составе атмосферного воздуха малых концентраций аммиака, сероводорода и оксида азота влияет на различные ключевые параметры органического полевого транзистора – на пороговое напряжение и подвижность носителей заряда. Данный эффект позволил автору предложить методику для селективного определения концентраций указанных газов в атмосферном воздухе при помощи одного устройства. Показано, что наличие паров воды в воздухе увеличивает предел детектирования сенсора, при этом сенсор сохраняет способность селективно определять концентрации указанных газов в воздушной атмосфере с относительной влажностью до 60 %. Более того, сравнение изменяющихся вследствие взаимодействия с различными газами параметров транзистора позволило автору предложить вероятные механизмы сенсорного отклика. Также следует отметить, что для проверки практического применения был разработан и создан портативный газоанализатор с возможностью измерений сенсорного отклика органического полевого транзистора с точностью не хуже, чем у лабораторного источника–измерителя.

В заключительном разделе 3.3 обсуждаются сенсорные свойства исследованных органических полевых транзисторов по сравнению с полимерными транзисторами, полученными из коммерчески доступных материалов методом струйной печати. Показано, что рабочий диапазон и предел чувствительности полимерных органических полевых транзисторов не отличаются от монослойных устройств, тогда как время отклика и восстановления оказались существенно выше даже для малых концентраций определяемых газов.

Важно отметить, что полученные результаты были опубликованы в шести статьях в высокорейтинговых журналах, входящих в Web of Science, включая четыре статьи в журналах первого квартала, что свидетельствует о соответствии полученных результатов и сделанных выводов текущему мировому уровню исследований в данной области.

По диссертации А.А. Труля следует сделать ряд замечаний:

- 1) Не освещен вопрос о возможности применения мультипараметрического подхода при детектировании газов с помощью полимерных органических полевых транзисторов. Является ли этот подход универсальным и может ли быть использован для любых полевых транзисторов?

- 2) Непонятно, почему 75% считается высокой воспроизводимостью? МДП, например, имеют воспроизводимость примерно 99%. Это считается допустимым, потому что классические транзисторы имеют воспроизводимость 99.99.
- 3) На рисунках 44 и 45, по-видимому, ошибочно приведено одно и то же изображение АСМ, соответствующее слою, изготовленному при разных скоростях вращения подложки.

Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что приведённые замечания носят дискуссионный или редакционный характер и не снижают высокой положительной оценки работы.

Считаю, что диссертационная работа А.А. Труля полностью соответствует требованиям п.9 «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 специальности 02.00.06 – высокомолекулярные соединения.

Трахтенберг Леонид Израйлевич,

Доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, лаборатория функциональных нанокompозитов.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук (ФИЦ ХФ РАН), 119991, г. Москва, ул. Косыгина 4.

+7 (495) 939-73-86,

litrakh@gmail.com

10.11.2020



Копии выданы научному сотруднику Трахтенбергу Л.И.

Местителем директора по научной работе ФИЦ ХФ РАН

М. Д. Трушин.