

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

кандидата физико-математических наук Галимова Дима Иршатовича на диссертацию Киана Мохаммадамина Фарамарза на тему «**Физико-химические особенности транспорта носителей заряда в двуслойных пленках полиарилефталидов**», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.4.4. Физическая химия

### **Актуальность**

Молеотроника – область электроники, использующая в качестве элементов электронных схем молекулы органических соединений, – является одно из самых динамично развивающихся направлений микроэлектроники. Во многом это стало возможным благодаря совместным усилиям химиков-синтетиков и специалистов в области физического материаловедения. Дисплеи, в которых излучающий пиксель реализован на принципах органического электролюминесцентного диода; управляющие матрицы на основе тонкопленочных органических транзисторов, многослойные 3D-оптические носители информации. Всё это, и многое другое, является результатом многолетних совместных трудов химиков и материаловедов.

В настоящее время наиболее актуальными задачами молеотроники являются целенаправленный поиск, синтез и исследование физико-химических свойств новых полимерных электропроводящих материалов, пригодных для использования в электронных приборах. В диссертационной работе М.Ф. Киана предлагается нетривиальный подход к решению подобных задач путем использования в качестве объекта исследования несопряженных полимеров из класса полиарилефталидов. Эти полимеры, будучи по своей природе диэлектрическими материалами, в тонких субмикронных пленках могут демонстрировать прекрасные электропроводящие характеристики. С

учетом общей тенденции к переходу элементов электронных схем на субмикронный уровень такие материалы и физико-химические процессы, протекающие в них, могут быть востребованы при разработке различных практических приложений. В связи с вышеизложенным, считаю, что поставленная в диссертации цель – исследование физико-химических особенностей переноса заряда в двуслойных полимерных пленках и влияния на него химического строения полимеров класса полиарилефталидов, и представленные результаты являются актуальными.

### **Оценка структуры и содержания работы**

Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста, содержит 64 рисунка, 5 таблиц и состоит из введения, трех глав, выводов и списка литературы. Список цитируемой литературы содержит 129 наименований отечественных и зарубежных источников.

**Во введении** обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель и решаемые задачи, изложена научная новизна и практическая значимость результатов исследования, представлены научные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** представлен обзор научной литературы, в котором рассмотрены механизмы электропроводности в сопряженных и несопряженных полимерах, влияние на электрофизические свойства полимеров атмосферы окружающей среды, в частности, кислорода; особенности переноса зарядов на границе раздела полимер/полимер и др.

**Во второй главе** приведены описания выбранных для исследования объектов – несопряженных полимеров класса полиарилефталидов, способы изготовления однослойных и многослойных экспериментальных образцов субмикронной толщины, теоретические методы оценки параметров носителей заряда и потенциальных барьеров на контакте полимер/металл, методики измерения, использованные для анализа свойств и структуры тонкопленочных

образцов. Также в данной главе подробно описана методика анализа ошибок измерений.

**В третьей главе** представлены основные результаты проведенных исследований – закономерности переноса заряда в одно- и двухслойных полимерных плёнках. В частности, изучено влияние условий подготовки полимерных пленок на их физико-химические свойства, а также структуры полимеров на транспорт носителей заряда вдоль границы раздела полимер/полимер; выявлена роль поглощенного из атмосферы кислорода на оптические свойства пленок полидифениленфталида, исследованы электрофизические и оптические (электролюминесцентные) свойства многослойных полимерных структур в зависимости от положения границы раздела полимер/полимер внутри полимерной пленки.

В разделе **«Основные результаты и выводы»** в лаконичной форме подведены основные итоги работы.

**Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,** является высокой. Это подтверждается корректной постановкой цели и задач работы, обоснованным выбором объектов и методов исследования для достижения поставленной цели; анализом широкого круга библиографических источников, содержащих исследования как отечественных, так и зарубежных авторов; критическим сопоставлением полученных результатов с известными данными.

**Достоверность и новизна полученных результатов** подтверждается в обоснованном выборе широко применяемых в мировой научной практике методов исследования и теоретических моделей при анализе результатов измерений. Основные положения и результаты диссертационной работы прошли апробацию на ряде российских и международных конференций и опубликованы в одной статье в рецензируемом научном журнале, рекомендованном ВАК, в трёх статьях в журналах, индексируемых в базах

данных Web of Science и Scopus. Наличие одиннадцати тезисов докладов свидетельствует о хорошей апробации результатов диссертационной работы.

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

1) Экспериментально установлено, что формовка (сушка) полимерных пленок на воздухе приводит к изменению оптического поглощения, как в ультрафиолетовой, так и в инфракрасной областях спектра. Кроме того, это приводит к повышенной электропроводности полимерных пленок за счет увеличения подвижности носителей заряда.

2) Установлено, что электронные свойства вдоль границы раздела полимер/полимер, характеризующиеся высокой проводимостью и подвижностью носителей заряда, определяются совокупностью таких физико-химических параметров органической молекулы, как величина локального дипольного момента, поверхностная плотность и ориентация дипольного момента функциональных групп относительно нормали к поверхности пленки.

3) Выявлено, что наличие границы раздела полимер/полимер увеличивает проводимость полимерной пленки за счет перераспределения внутреннего поля на границе раздела фаз и понижения потенциальных барьеров.

4) Установлено, что граница раздела между двумя пленками одного и того же полимера является местом локализации фронта излучательной рекомбинации электрон-дырочных пар, что приводит к значительному возрастанию эффективности излучательной рекомбинации экситонов.

**Теоретическая и практическая значимость полученных автором результатов**

Теоретическая значимость работы заключается в том, что результаты диссертации могут быть использованы как основа для дальнейших исследований особенностей межграничного взаимодействия в полимерных пленках разного химического строения с целью разработки новых

квазидвумерных органических материалов с улучшенными физико-химическими и электронными свойствами.

Кроме того, полученные результаты позволяют прогнозировать и оценивать:

1) влияние условий изготовления субмикронных полимерных пленок (в атмосфере воздуха или вакууме) на их электрофизические и оптические свойства;

2) электронные свойства полимерных пленок путем выбора расположения границы раздела между полимерными пленками, а также выбора направления движения носителей заряда в полимерной пленке;

3) эффективность использования тех или иных полимеров для формирования двумерных пленок, содержащих границу раздела полимер/полимер.

### **Замечания по диссертационной работе**

Имеются некоторые замечания по диссертации, которые не носят принципиального характера и не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы.

1. Осталось не до конца понятным обоснованность выбора полимеров класса полиарилефталидов в качестве объектов исследования. Можно ли спрогнозировать повторяемость полученных результатов при замене этого класса полимеров на коммерческие несопряженные полимеры?

2. Известно, что полидифениленфталид имеет температуру начала размягчения на воздухе около 360 °С. При этом, при исследовании влияния атмосферы окружающей среды на свойства полимерных пленок из полидифениленфталидов максимальная температура воздействия составила 150 °С. Почему?

Вполне возможно, что увеличение температуры воздействия позволило бы усилить обнаруженные «слабые» изменения физико-химических свойств полимерных пленок в более явном виде.

3. Соискатель заявляет о предсказательной способности некоторых своих выводов. В частности, это относится к последнему разделу диссертации по поводу ключевой роли поверхностной поляризации полимерных пленок. Может ли соискатель, опираясь на эту модель, предсказать электронные параметры границы раздела полимер/полимер для других несопряженных полимерных макромолекул?

4. В тексте диссертации встречаются опечатки, грамматические и пунктуационные ошибки на стр. 7, 14, 41, 46, 84, а также несоответствия. Например, стр. 11 «...Одиночная связь представляет собой относительно сильную  $\sigma$ -связь, двойная связь более слабая и потому ее длина несколько больше...».

#### **Соответствие паспорту специальности.**

Диссертация соответствует паспорту специальности 1.4.4. Физическая химия по направлениям исследований п.1, п.2 и п.5.


#### **Заключение**

Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям п.п. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 года, а её автор – Киан Мохаммадамин Фарамарз – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.4.4. Физическая химия.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,

старший научный сотрудник  
лаборатории химии высоких энергий и  
катализа Института нефтехимии и катализа –  
обособленного структурного подразделения  
Федерального государственного бюджетного  
научного учреждения Уфимского  
федерального исследовательского центра  
Российской академии наук (ИНК УФИЦ РАН)

  
/ Галимов Дим Иршатович /

Кандидатская диссертация защищена  
по специальности 02.00.04 – Физическая химия.

Даю согласие на обработку персональных данных.

Адрес места основной работы: 450075, Республика Башкортостан, г. Уфа,  
проспект Октября, 141 (ИНК УФИЦ РАН)

Рабочий телефон: +7 (347) 284 27 50

Адрес эл. почты: [galimovdi@mail.ru](mailto:galimovdi@mail.ru)

Подпись Д. И. Галимова заверяю.

Учёный секретарь ИНК УФИЦ РАН,

к.х.н.

« 06 » сентября 2023 г.

  
/ Кинзябаева З.С. /  
