

УТВЕРЖДАЮ: \_\_\_\_\_  
Первый проректор по  
стратегическому развитию  
«БГПУ им. М. Акмуллы»  
канд. физ.-мат. наук  
А.Ф. МУСТАЕВ  
"26" 05 2023 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» (ФГБОУ ВО «БГПУ им. М. Акмуллы»)

Диссертация «Физико-химические особенности транспорта носителей заряда в двуслойных пленках полиарилефталидов» была выполнена на кафедре физики и нанотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы».

В период подготовки диссертации соискатель Киан Мохаммадамин Фарамарз работал на кафедре физики и нанотехнологий Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» в должности лаборанта.

Соискатель Киан М.Ф. в 2017 г. окончил Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» по направлению подготовки 44.04.04 Профессиональное обучение (по отраслям), направленность (профиль) «Новые технологии и наноматериалы» с присвоением квалификации «Магистр».

В 2021 г. завершил обучение в аспирантуре Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» по направлению подготовки 04.06.01 Химические науки, направленность (профиль) «Физическая химия» с присвоением квалификации «Исследователь. Преподаватель-исследователь».

Диплом об окончании аспирантуры выдан Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» в 2021 г. Справки о сдачах кандидатских экзаменах выданы Федеральным государственным бюджетным образовательным учреждением высшего образования «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы» в 2022 и 2023 годах.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук, профессор Лачинов Алексей Николаевич, ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы», научный руководитель сектора научной-технической интеграции Управления научной работы.

По результатам рассмотрения диссертации принято следующее заключение:

Диссертация Киана Мохаммадамина Фарамарза является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой решены задачи по исследованию физико-химических особенностей переноса заряда в гетероструктурах металл (полупроводник)/полимер/металл, содержащих границу раздела полимер/полимер. Данная работа имеет существенное теоретическое и прикладное значение для физической химии, полимерной электроники и направлена на решение следующих задач:

1. Изучение влияния условий изготовления полимерной пленки из растворов полидифениленфталида на электрофизические свойства пленок;

2. Взаимосвязь химической структуры полимеров класса полиариленфталидов и электронных свойств, возникающих вдоль границы раздела двух пленок несопряженных полимеров;

3. Исследование закономерностей изменения электрофизических свойств двухслойного полимерного материала в зависимости от положения границы раздела полимер/полимер внутри полимерной субмикронной органической пленки;

4. Исследование влияния положения границы раздела внутри полимерной пленки на излучательную рекомбинацию экситонов (электролюминесценцию).

Актуальность данной тематики обусловлена тем, что в последнее время большое значение придается изучению свойств контакта двух различных сопряженных органических материалов. Это, прежде всего, связывают с необходимостью согласования энергетических параметров контактирующих слоев в многослойных органических устройствах, например, в светодиодных или солнечных элементах. В последние годы роль границ раздела в электронных устройствах возросла в связи с обнаружением аномальных электронных свойств, возникающих вдоль границ раздела двух диэлектриков, включая и органические материалы, например, несопряженные полимеры.

Хорошо известно, что многие несопряженные полимеры обладают высокими технологическими характеристиками. Реже они используются в качестве электронных материалов. Однако существуют среди несопряженных полимеров соединения с уникальными электронными свойствами, среди которых следует выделить группу кардовых полимеров – полиариленфталидов. В тонких пленках этих полимеров ранее было обнаружено множество электронных эффектов, позволяющих управлять их проводимостью в широком диапазоне значений, вплоть до металлических, используя аномально низкие значения внешних воздействий и полей

(одноосной давление, электрическое или магнитное поле, термоионизация ловушек, облучение и др.).

Эти явления зависят как от химической структуры полимеров, так и свойств материалов используемых для создания контактов, так как чаще всего для реализации электрофизических и электрооптических свойств полимерных материалов используются сложные комбинации слоев различных материалов, например, неорганические металлы, полупроводники, сопряженные и несопряженные полимерные материалы.

Свойства подобных структур зависят как от параметров контактирующих металлов, так и от химического строения полимерных молекул и их энергетических электронных параметров. Поэтому чрезвычайно актуальным является вопрос о том, какова взаимосвязь между структурной организацией полимерной пленки и наличием границ раздела. Причем последнее подразумевает не только традиционное представление о границах типа металл(полупроводник)/полимер, но и границ между органическими материалами.

Процесс изготовления экспериментальных структур и большая часть опубликованных ранее результатов измерений была получена на открытом воздухе при нормальных условиях без ограничения доступа кислорода к материалу. В связи с этим актуальным является также вопрос о влиянии условий окружающей среды на стадии изготовления полимерных пленок на их электрофизические параметры в структуре металл/полимер/полупроводник.

Научная новизна исследования заключается в том, что:

– установлено, что электронные свойства границы раздела полимер/полимер, характеризуемые высокой проводимостью и подвижностью носителей заряда, зависят от таких параметров химической структуры полимера, как наличие боковых дипольных групп, поверхностной плотности этих групп и проекции дипольного момента на нормаль к поверхности пленки;

– показано, что наличие границы раздела полимер/полимер влияет на проводимость полимерной пленки, увеличивая ее за счет перераспределения внутреннего поля на границе раздела и понижения потенциальных барьеров на инжектирующих носители заряда электродах;

– 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.

Достоверность результатов подтверждается использованием общепринятых экспериментальных методов исследования, применяемых при изучении структурных и электрофизических свойств полимерных материалов; воспроизводимостью результатов экспериментов, проведенных в одинаковых условиях, на современном оборудовании в ведущих российских и зарубежных научных центрах, применением стандартных квантово-химических программ, а также соответствием результатов расчетов экспериментальным данным и известным научным результатам.

Научная значимость исследования заключается в получении новых важных знаний о взаимосвязи структурной организации полимерных материалов в виде сложных многослойных комбинаций полимерных слоев и металлических(полупроводниковых) пленок и электронных практически важных свойств полученных материалов. На примере ряда полимеров класса полиарилефталидов установлены и изучены основные закономерности изменения электронных (электрофизических и оптических) свойств тонких полимерных пленок в зависимости от наличия и положения внутри них границ раздела органических материалов. Полученные результаты позволяют прогнозировать и оценивать:

а) влияние условий изготовления субмикронных полимерных пленок (в нормальных условиях или в вакууме) на их электронные свойства (электрофизические и оптические);

б) предсказательно оптимизировать электропроводность полимерных пленок путем расположения границы раздела между полимерными пленками внутри органического слоя за счет перераспределения встроенного в пленку электрического поля;

в) оценивать по предложенному параметру поверхностной поляризации полимерной пленки эффективность использования полимеров конкретной химической структуры с целью получения высоких показателей параметров переноса носителей заряда вдоль границы раздела полимер/полимер;

г) возможность создания новых органических материалов с повышенной эффективностью рекомбинации экситонов за счет локализации фронта рекомбинации вблизи плоскости, расположенной внутри пленки на расстояниях от электродов, обеспечивающих равенство времени прохождения носителей заряда обоих знаков от инжектирующих электродов до места рекомбинации.

По материалам диссертации опубликованы 1 статья в рецензируемом научном журнале, рекомендованных ВАК, 3 статьи в журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus и 11 тезисов докладов в сборниках Всероссийских и Международных конференций.

### **Список основных публикаций по теме диссертации**

1. Effect of polymer structure on the transport properties along the polymer/polymer interface / A. R. Yusupov, R. M. Gadiev, A. N. Lachinov, V. M. Kornilov, L. R. Kalimullina, A. F. Galiev, M. Kian, S. N. Salazkin // *Synthetic Metals*. – 2021. – Vol. 274. – P. 116733.

2. Влияние материала электрода на электронное переключение в структуре металл/полимер/металл / А. Ф. Галиев, А. А. Лачинов, Д. Д. Карамов, А. Н. Лачинов, А. Р. Юсупов, М. Ф. Киан // *Поверхность. Рентгеновские, синхротронные и нейтронные исследования*. – 2021. – № 6. – С. 68-74.

3. Электрофизические свойства вдоль границы раздела двух полимерных пленок полиметилметакрилата / А. Н. Лачинов, Г. Р.

Алтыншина, Г. Ш. Байбулова, М. Ф. Киан, А. Р. Юсупов // Физика твердого тела. – 2021. – Т. 63, № 4. – С. 554-558.

4. Влияние условий формирования тонких пленок полидифениленфталида на их электронные свойства / М. Ф. Киан, А. Н. Лачинов, А. Р. Юсупов, Г. Р. Алтыншина // Вестник Башкирского университета. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 85-91.

Диссертация Киана Мохаммадамина Фарамарза «Физико-химические особенности транспорта носителей заряда в двуслойных пленках полиарилефталидов» соответствует паспорту научной специальности 1.4.4. Физическая химия, а именно пункту 5 – «Изучение физико-химических свойств изолированных молекул и молекулярных соединений при воздействии на них внешних электромагнитных полей, потока заряженных частиц, а также экстремально высоких/низких температурах и давлениях», пункту 11 – «Получение методами квантовой химии и компьютерного моделирования данных об электронной структуре, поверхностях потенциальной и свободной энергии, реакционной способности и динамике превращений химических соединений, находящихся в различном окружении, в том числе в кластерах, клатратах, твердых и идиокристаллических».

Диссертационная работа соответствует требованиям п. п. 9-11, 13, 14 Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 «О порядке присуждения ученых степеней». В диссертации соискатель ссылается на собственные опубликованные работы, а также на работы других ученых, материалы без ссылки или источника заимствования отсутствуют.

Диссертация «Физико-химические особенности транспорта носителей заряда в двуслойных пленках полиарилефталидов» Киана М.Ф. рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заключение принято на заседании кафедры физики и нанотехнологий ФГБОУ ВО «БГПУ им. М. Акмуллы».

Присутствовало на заседании 15 чел. В голосовании приняло участие 11 чел., имеющих право голоса. Результаты голосования: "за" – 11 чел., "против" – 0 чел., "воздержалось" – 0 чел., протокол № 5 от "26" мая 2023 г.

Заведующий кафедрой  
физики и нанотехнологий  
ФГБОУ ВО «БГПУ им.  
М. Акмуллы»  
к.ф.-м.н., доцент



Измаилов Рамиль Наильевич

Подпись: Измаилов РН  
Заверяю: Начальник отдела документационного обеспечения  
ФГБОУ ВО «БГПУ им. М.Акмуллы» Сагитова ТН