

## ОТЗЫВ

Официального оппонента

на диссертационную работу **Сайфутярова Расима Рамилевича**

«Высокочистые координационные соединения металлов с органическими лигандами для люминесцентных структур», представленную на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»

**Актуальность.** Непрерывное развитие полупроводниковой техники невозможно без создания новых и улучшения существующих материалов. В настоящее время наблюдается тенденция увеличения числа изделий, изготовленных с использованием органических полупроводниковых материалов. Одной из основных задач, решаемых при получении новых полупроводниковых материалов, является достижение химической чистоты на уровне 99,999 мас.%. Принято считать, что при данной химической чистоте удается избежать влияния примесных дефектов на функциональные свойства материала, в частности, речь идет о структурно чувствительных свойствах, таких как электрическая проводимость, подвижность носителей зарядов, люминесценция и т.п. Поиск путей достижения данной химической чистоты, несомненно, является актуальной задачей, которую Сайфутяров Р.Р. решал в ходе выполнения диссертационной работы.

**Целью** диссертационной работы являлась разработка системы очистки органических полупроводниковых материалов. При этом автор обосновал выбор метода вакуумной сублимации в качестве наиболее перспективного для решения задачи повышения химической чистоты органических полупроводниковых люминесцентных материалов.

**Научная новизна** диссертационной работы обосновывается следующими

полученными результатами:

1. На примере комплексного соединения трис(8-оксихинолята) алюминия исследована зависимость качества очищенного препарата от условий очистки.
2. Синтезировано и охарактеризовано новое соединение (2-(4-метилпиразол-1-ил)фенил)(дibenзоилметанат) платины(II).
3. Предложен новый метод синтеза комплексного соединения бис(8оксихинолята) платины(II).

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в следующем:

1. Сконструирована установка вакуумной сублимационной очистки органических полупроводниковых материалов. Рассмотрены разные конструкционные варианты нагревателя. Для данной установки подобраны условия, позволившие получить препарат чистотой вплоть до 99,9998 масс.%.  
2. Получены справочные данные кристаллической структуры соединения (2(4метилпиразол-1-ил)фенил)(дibenзоилметаната) платины(II).

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из 7 разделов, включающих: введение, обзор литературы, методическую часть, 3 главы экспериментальной части, итогов работы и списка цитируемых источников. Диссертационная работа изложена на 125 страницах, содержит 70 рисунков, 13 таблиц и список используемой литературы, включающий 139 литературных источников.

Во **введении** диссертант обосновывает актуальность и формулирует цель работы. Приводится обоснование научной новизны и технической значимости полученных результатов, а также информация о соответствии выполненного исследования паспорту специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

В **главе 1** автор приводит краткий, но емкий обзор литературы. Большое внимание уделено органическим люминесцентным материалам и методам их очистки.

В **главе 2** диссертант приводит список используемых материалов и реактивов.



Дается детальное описание использованных в работе методик: методики анализа химической чистоты методом МС-ИСП и методики исследования поверхности методом сканирующей электронной микроскопии. Подробно описана методика формирования и исследования многослойных тонкопленочных органических светодиодных излучающих структур (ОСИД). Особое внимание уделено технологическим аспектам получения ОСИД структур.

В **главе 3** автор приводит описание разработанных им системы и методики вакуумной сублимационной очистки органических полупроводниковых материалов. В ходе работы была выполнена очистка различных комплексных соединений, преимущественно соединений 8-гидроксихинолина с различными металлами. При тщательном подборе условий проведения процесса были получены препараты с химической чистотой вплоть до 99,9998 мас. %.

В **главе 4** диссертант приводит данные по синтезу и выделению комплексных соединений платины(II). Для всех полученных соединений был проведен структурный анализ, а также получены спектры поглощения и люминесценции. Синтезированные препараты были очищены, на их основе были изготовлены светодиодные структуры. Автором впервые был синтезирован и охарактеризован новый асимметричный комплекс (2-(4-метилпиразол-1-ил)фенил)(добензоилметанат) платины (Pt(mpp)(dbm)). В результате очистки комплексных соединений платины(II) до уровня полупроводниковой чистоты Р.Р. Сайфутярову впервые удалось получить электролюминесцентные структуры с использованием данных соединений, которые, как считалось ранее, не обладают электролюминесценцией.

В **главе 5** приводится методика формирования тонкопленочных структур гибридных материалов. Рассмотрены различные топологии при формировании структур на основе трис(8-оксихинолята)алюминия с разными неорганическими соединениями ( $B_2O_3$ ,  $PbF_2$  и  $PbO$ ) для проведения структурной модификации с помощью лазерного облучения.

В заключительной **главе 6** подведены итоги диссертационной работы.

### **Основные замечания и вопросы по работе**

1. Несмотря на наличие спектров поглощения и люминесценции комплексов платины, автор не построил диаграммы Яблонского, хотя это могло бы помочь в вопросе оптимизации светодиодных структур.

2. Проведение математического моделирования могло бы упростить подбор температурных параметров процесса вакуумной сублимационной очистки.
3. В работе присутствует ряд технических ошибок, так, например, название таблицы 4.1 (стр. 87) не отражает содержимое таблицы.

Вышеперечисленные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации, поскольку сделанная работа является законченным научным исследованием на актуальную для науки и технологии тему.

**Заключение о соответствии диссертационной работы требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.13 г. № 842 (далее – Положение), с учетом соответствия формуле специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники»**

Диссертация Сайфутярова Расима Рамилевича «Высокочистые координационные соединения металлов с органическими лигандами для люминесцентных структур» представляет собой законченную научно-квалификационную работу на актуальную тему. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и в соответствии с п. 9 раздела II Положения, и в ней изложены новые научно обоснованные технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны, а именно научно обоснованная методика получения высокочистых органических металлокомплексных соединений для технологии органических светоизлучающих структур.

Результаты работы Сайфутярова Р.Р. могут быть рекомендованы к использованию в следующих организациях Российской Федерации:

1. АО «ВНИИХТ»: Внедрение системы вакуумной сублимационной очистки органических полупроводниковых материалов.

2. ОАО «Центральный научно-исследовательский институт «ЦИКЛОН»: Внедрение метода получения высокочистого комплексного соединения трис(8-оксихинолята) алюминия в технологию органических светоизлучающих структур.

Диссертационная работа обладает внутренним единством, логично построена, содержит новые научные результаты и положения, ее структура и содержание соответствуют заявленным целям исследования. Достоверность полученных результатов и положений подтверждена большим объемом проведенных



исследований с использованием взаимодополняющих современных методов, а также применением при обработке и интерпретации полученных данных подходов, принятых в современной мировой научной практике. Основные научные результаты диссертации прошли апробацию и были представлены на российских и международных конференциях. Число публикаций автора соответствует критериям п. 13 раздела II Положения. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

Таким образом, стоит заключить, что по своей актуальности, научной новизне и практической значимости, а также личному вкладу автора, представленная диссертационная работа «Высокоочищенные координационные соединения металлов с органическими лигандами для люминесцентных структур» полностью отвечает требованиям раздела II Положения, а по формуле и области исследования соответствует паспорту специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», охватывающей проблемы создания новых и совершенствования существующих технологий для изготовления и производства материалов электронной техники: полупроводников, диэлектриков, а также включающей проблемы и задачи, связанные с разработкой научных основ, физико-технологических и физико-химических принципов создания указанных материалов, научные и технические исследования и разработки в области технологии, моделирования, измерения характеристик указанных материалов и технологических сред. Так, в диссертационной работе:

- В соответствии с областью исследований п. 1 «Разработка и исследование физико-технологических и физико-химических принципов создания новых и совершенствования традиционных материалов и приборов электронной техники, включая полупроводники, диэлектрики, металлы, технологические среды и приборы микроэлектроники и функциональной электроники» автором исследовано влияние условий проведения процесса вакуумной сублимационной очистки на химическую чистоту конечного органического полупроводникового материала.
- В соответствии с областью исследований п. 1 «Разработка и исследование физико-технологических и физико-химических принципов создания новых и совершенствования традиционных материалов и приборов электронной техники, включая полупроводники, диэлектрики, металлы, технологические среды и приборы

микроэлектроники и функциональной электроники» автором получены новые тонкопленочные органо-неорганические гибридные материалы с контролируемыми люминесцентными свойствами.

– В соответствии с областью исследований п. 5 «Физико-химические исследования технологических процессов получения новых и совершенствования существующих материалов электронной техники» автором разработаны аппаратура и методика получения кристаллических препаратов органических металлокомплексов с химической чистотой до 99,9998 масс.%.

Считаю, что по актуальности, научной новизне и личному вкладу автора диссертационная работа на тему «Высокочистые координационные соединения металлов с органическими лигандами для люминесцентных структур» полностью соответствует требованиям (пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ №842 от 24 сентября 2013 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор **Сайфутяров Расим Рамилевич**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники».

Официальный оппонент,  
Ведущий научный сотрудник лаборатории  
фталоцианинов и их аналогов  
ФГБУН Института физиологически  
активных веществ РАН  
доктор физ.-мат. наук

  
Белогорохов Иван Александрович  
09.08.2019

ФГБУН Институт физиологически активных веществ  
142432, Московская область, г. Черноголовка, Северный проезд, д. 1,  
Телефон: +7(496)524-2546  
E-mail: ipac@ipac.ac.ru

Подпись д.х.н., в.н.с. Белогорохова И.А. заверяю:  
Ученый секретарь ИФАВ РАН, к.х.н.





Великохатко Т.Н.