

## ОТЗЫВ

Официального оппонента

на диссертационную работу Сайфутярова Расима Рамилевича

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

**Актуальность.** В последние годы наблюдается рост числа электронных приборов, в производстве которых используются органические полупроводниковые материалы, вместо классических – неорганических. Одним из основных критериев материала, обеспечивающих высокую точность, долговечность и достоверность работы изделий является их чистота. Принятым стандартом в полупроводниковой технике, является химическая чистота 99,999 мас.%, при которой собственные точечные дефекты материала начинают преобладать над примесными. Достижение подобной чистоты для органических полупроводниковых материалов, является достаточно сложной многоуровневой задачей, которая может решаться различными путями для разных соединений. В связи с этим тема диссертационной работы Сайфутярова Расима Рамилевича несомненно актуальна.

**Целью** работы являлось получение высокочистых полупроводниковых металлокомплексных соединений для люминесцентных структур. Успешное решение поставленной цели работы заключалось в выборе оптимальных технологических параметров процесса сублимационной очистки, таких как конфигурация теплового узла, температурный режим и система глубоковакуумной откачки, а также в поиске новых органических люминесцентных материалов и изучение их свойств.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

Автором была исследована зависимость чистоты получаемого материала от условий проведения вакуумной сублимационной очистки. На примере комплексного соединения три-(8-оксихинолята)алюминия было показано, что характеристики

светоизлучающей структуры могут отличаться в зависимости от условий очистки, даже при одинаковой химической чистоте исходных материалов.

Диссертант в ходе работы получил и охарактеризовал новое соединение (2- (4-метилпиразол-1-ил) фенил) Pt (дибензоилметан), а для двух известных комплексов Pt(II) с разными лигандами (8-гидроксинолин и 2-метил(8-гидроксинолин)) уточнил физические свойства, в частности, люминесцентные и электролюминесцентные характеристики, которые не были ранее известны из-за недостаточной чистоты исследуемых препаратов.

Также в своей работе автор продемонстрировал возможность проведения обменной реакции, инициируемой лазерным воздействием, для изменения спектральных свойств тонкопленочного гибридного органо-неорганического люминесцентного материала.

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

Изготовлена установка для проведения процесса вакуумной сублимационной очистки органических полупроводниковых материалов. Разработан общий методический подход и конкретные лабораторные технологии очистки кристаллических люминесцентных комплексов 8 оксихинолина с Li, Mg, Zn, Ga, Al, Pt, а также комплекса Pt с 2-метил-8-оксихинолином с химической чистотой вплоть до 99,9998 мас.%. Выполнено исследование влияния различных параметров на характеристики светоизлучающих структур, изготовленных с применением очищенных соединений.

Полученные справочные данные о кристаллической структуре нового соединения (2- (4-метилпиразол-1-ил) фенил) Pt (дибензоилметан).

### **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, обзора литературы, методической части, экспериментальной части, включающей 4 раздела, обсуждения результатов, итогов работы и списка цитируемых источников. Общий объем диссертационной работы составляет 125 страниц, включая 70 рисунков, 13 таблиц и библиографию, содержащую 139 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель диссертационной работы и приведены задачи, которые были решены в ходе работы. Полностью отражена научная новизна и практическая значимость работы. Обоснована надежность и достоверность полученных результатов, а также личный вклад автора в диссертационную работу. Приведено соответствие содержания



диссертации паспорту специальности.

**Глава 1** является литературным обзором. Первый раздел посвящен органическим люминесцентным материалам. Представлены общие сведения по светоизлучающим структурам и методам их формирования. Рассмотрены основные методы очистки используемых материалов. Проведен обзор комплексных соединений платины (II), являющихся одними из наиболее эффективных электролюминофоров, среди металлокомплексных соединений. Также приведен обзор различных гибридных материалов, методов их получения и основные характеристики.

В **главе 2** автор приводит список и характеристики используемых в работе реактивов, а также описывает используемых в ходе работы методики. Детально описывается весь цикл изготовления светоизлучающих структур: методики подготовки подложек, формирования многослойной тонкопленочной структуры, измерения спектральных и электрофизических характеристик.

В **главе 3** автор приводит разработанную методику получения высокочистых комплексных соединений для технологии органических светоизлучающих диодов. Методика применялась автором для металлокомплексов с  $-s$ ,  $-p$  и  $-d$  комплексообразующими элементами. Были выявлены зависимости химической чистоты получаемого материала от условий проведения процесса очистки. Для соединения три-(8-оксихинолин)алюминия были подобраны условия, позволяющие получить препарат с химической чистотой до 99,9998 мас. %.

В **главе 4** указаны методики синтеза комплексных соединений платины. Структуры всех полученных соединений были подтверждены ЯМР и рентгеноструктурными методами анализа. Полученные соединения были очищены вакуумной сублимацией и использовались в качестве эмиссионного материала в светоизлучающих диодных структурах.

В **главе 5** автор приводит методику формирования тонкопленочных структур гибридных материалов. Приведены данные по локальной модификации полученных наноразмерных пленок путем воздействия на них лазерного излучения. Подобраны пороговые значения мощности лазера для проведения обменной реакции в органо-неорганическом материале без значительного разрушения пленок гибридного материала.

В **главе 6** приведены основные результаты работы

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

1. В главе 1.5 дано достаточно подробное описание гибридных материалов, но представлено мало практических примеров подобных соединений.
2. В главе 3 на рис 3.1 установка вакуумной сублимационной очистки приведена в

упрощенном виде, не позволяющем получить представление о ее конструкционных особенностях.

3. В главе 3 методика синтеза комплексов металлов с 8-гидроксихинолина описана недостаточно подробно.

Вышеперечисленные замечания не снижают общей положительной оценки от диссертационной работы.

**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 завершённую научно-квалификационную работу на актуальную тему. Диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне и в соответствии с п. 9 раздела II Положения в ней изложены новые **научно-обоснованные технологические решения**, имеющие существенное значение для развития страны, а именно научно-обоснованные методики получения высокочистых органических металлокомплексных соединений для светоизлучающих структур.

Результаты работы Сайфутярова Р. Р. рекомендуется использовать в следующих организациях Российской Федерации:

1. Систему вакуумной сублимационной очистки органических полупроводниковых материалов использовать в АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии».

2. Методический подход и конкретные технологии получения высокочистого комплексного соединения три-(8-оксихинолят) алюминия для технологии OLED на базе АО «Центральный научно-исследовательский институт „ЦИКЛОН“»

Диссертационная работа обладает внутренним единством, логично построена, содержит новые научные результаты и положения, ее структура и содержание соответствует 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



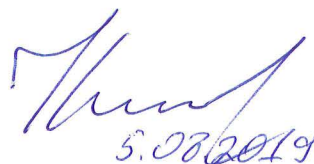
международных конференциях. Число публикаций автора соответствует критериям п. 13 раздела II Положения. Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают содержание диссертации.

В заключении следует отметить, что по своей актуальности, научной новизне и практической значимости, а также личному вкладу автора представленная диссертационная работа «Высокочистые координационные соединения металлов с органическими лигандами для люминесцентных структур» полностью отвечает требованиям раздела II Положения, а по формуле и области исследования соответствует специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники», охватывающей проблемы создания новых и совершенствования существующих технологий производства материалов электронной техники, включая 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. 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 мас. %.

Считаю, что по актуальности, научной новизне, практической значимости и личному вкладу автора диссертационная работа на тему «Высокоочищенные координационные соединения металлов с органическими лигандами для люминесцентных структур», представленная на соискание ученой степени кандидата химических наук по специальности 05.27.06 – «Технология и оборудование для производства полупроводников, материалов и приборов электронной техники» полностью соответствует требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в редакции, утвержденной 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,  
Заведующий лабораторией  
материалов электронной техники и оптики  
ФГБУН Института общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН, к.х.н.



5.08.2019

Кочурихин В. В.

Подпись Кочурихина Владимира Владимировича  
удостоверяю

ВРИО ученого  ИОФ РАН, д.ф.-и.н.

Почтовый адрес:

119991, г. Москва, ул. Вавилова, д. 38.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт общей физики  
им. А.М. Прохорова РАН

Телефон: 8 (499) 135-24-59

E-mail: kochurikhin@mail.ru