

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе  
ФБГОУ ВО «Санкт-Петербургский  
государственный университет»

199034 Санкт-Петербург

Университетская наб., д 7/9

Аплонов Сергей Витальевич



13 сентября 2018 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Чумакова Ратибора Григорьевича  
«Адсорбция и самоорганизация полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  на металличе-  
ских поверхностях», представленной на соискание ученой степени канди-  
дата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – физика кон-  
денсированного состояния.

### Актуальность темы диссертации.

В последние годы в мире появилось и интенсивно развивается новое направление в микроэлектронике – органическая электроника, которая является мостом между неорганическими и природоподобными органическими технологиями. В настоящее время в качестве основного элемента в органической электронике используются органические молекулы, которые характеризуются существенной вариацией электронной структуры и температурных

Вход № 16685  
05.10.2018

параметров работы элементов на их основе. Однако существует большая проблема встраивания элементов органической электроники в современную полупроводниковую индустрию, где наиболее сложным вопросом является взаимодействие органических молекул с металлическими электродами. Диссертационная работа Чумакова Р.Г. посвящена изучению фундаментальных физико-химических явлений, происходящих при адсорбции полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  на монокристаллических поверхностях Au(111) и Ni(100), характеризующихся различной химической активностью и кристаллической структурой. Выбор молекулы фторида фуллерена  $C_{60}F_{18}$  в качестве объекта исследования обусловлен ее уникально высоким электрическим дипольным моментом и высокой химической и температурной стабильностью. Поэтому актуальность работы Чумакова Р.Г. не вызывает сомнений, как с точки зрения фундаментальных исследований, так и с точки зрения возможности дальнейшего практического использования результатов работы для оптимизации устройств органической электроники.

Для проведения исследований в диссертационной работе Чумакова Р.Г. использовался комплекс современных и хорошо апробированных методов исследования поверхности, включающих методы рентгено-электронной спектроскопии с анализом тонкой структуры спектров основных уровней и валентной зоны, в том числе с использованием синхротронного излучения, методов сканирующей туннельной микроскопии и спектроскопии, а также методов спектроскопии рентгеновского поглощения вблизи краев поглощения углерода и фтора. Проведено теоретическое моделирование химической адсорбции молекул методом теории функционала плотности и сравнение результатов расчетов с экспериментальными результатами. Для обработки полученных экспериментальных результатов использовался комплекс современных методов и программ обработки экспериментальных данных. Синтез и характеристика исследуемых систем проводились в условиях сверхвысокого вакуума. Корректность полученных результатов подтверждена сопоставлением их с литературными данными и теоретическими расчетами. Основ-

ные выводы диссертации и все защищаемые положения обоснованы достаточно убедительно, и их **достоверность** сомнений не вызывает.

Можно выделить следующие наиболее важные результаты и достижения диссертационной работы:

1. Определена морфология тонких пленок молекул  $C_{60}F_{18}$  на исследуемых металлических поверхностях и установлен тип адсорбции и характер взаимодействия с молекул  $C_{60}F_{18}$  с поверхностью. Установлена физическая адсорбция полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  на поверхности Au(111) с самоорганизацией в молекулярные островки с гексагональной плотной упаковкой внутри островка, определено межмолекулярное расстояние. В противоположность этому, при осаждении молекул  $C_{60}F_{18}$  на поверхность Ni(100) имеет место хемосорбция молекул с возникновением слабой химической связи между атомами фтора молекулы и подложкой.
2. Установлено, что на поверхности Au(111) адсорбция молекул  $C_{60}F_{18}$  происходит преимущественно атомами фтора в направлении к подложке, а на поверхности Ni(100) молекулы фторида фуллерена саморганизуются в островковую структуру с электрическими дипольными моментами, направленными параллельно друг другу и нормально к подложке.
3. Методом сканирующей туннельной спектроскопии измерены спектры проводимости отдельных молекул  $C_{60}F_{18}$  на поверхности золота и определены зависимости проводимости молекулы от геометрии адсорбции молекулы на поверхности.

**Научная новизна** работы заключается в детальном комплексном исследовании типа адсорбции и характера взаимодействия полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  на поверхности металлов, разработан метод получения тонких слоев полярных молекул фторида фуллерена в условиях сверхвысокого вакуума, определены физико-химические свойства молекулярно-металлических интерфейсов. Комбинацией экспериментальных методов рентгено-электронной

спектроскопии и теоретических расчетов в рамках теории функционала плотности установлено, что для молекул  $C_{60}F_{18}$  на поверхности Au(111) имеет место физическая адсорбция и их хемосорбция на поверхности Ni(100). Определены изменения работы выхода. Впервые измерены спектры проводимости для отдельных полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  методом сканирующей туннельной спектроскопии, измерена дифференциальная проводимость. Определена ориентация молекул  $C_{60}F_{18}$  на поверхности.

Диссертационная работа Чумакова Р.Г. состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем работы составляет 115 страниц, включая 37 рисунков и 3 таблицы. Список цитируемой литературы содержит 123 наименования. Результаты исследований опубликованы 12 печатных работах, 4 из которых в научных журналах, индексируемых в системах Web of Science и Scopus, и 8 работ представлены в сборниках тезисов российских и международных конференций

#### **Научная и практическая значимость работы.**

Научная и практическая ценность работы и полученных результатов заключается в том, что в ней были систематически исследованы и определены физико-химические свойства органо-металлического интерфейса на основе полярных молекул, исследованы и определены типы адсорбции полярных молекул на различных подложках. Полученные в рамках работы результаты важны для анализа возможности управления свойствами интерфейсов «полярная молекула-металлическая поверхность» необходимого для дальнейшего развития молекулярной микроэлектроники.

**Практическая значимость** работы определяется тем, что в ней детально изучен и установлен тип адсорбции полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  в зависимости от материала подложки, определена ориентация полярных молекул относительно подложки, что может быть использовано для проектирования элементов органической микроэлектроники

Результаты диссертационной работы можно рекомендовать к применению в организациях, в которых ведутся исследования по сходной тематике: в Ин-

ституте физики полупроводников им. А.В. Ржанова, ФГУП ЭЗАН (Черноголовка Московской области), ИАП РАН (Санкт-Петербург), ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург), СПбГУ (Санкт-Петербург), Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова, Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова, а также других вузах и научно-исследовательских институтах страны.

**По диссертации можно сделать следующие замечания:**

1. Не до конца проанализирована роль поверхностных ступенек в механизмах адсорбции полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  на различных металлических поверхностях и их роль в различии в типе адсорбции и характера взаимодействия полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  с поверхностью.
2. Не совсем понятно, что лежит в основе разложения спектров на спектральные составляющие (положение пиков, число спектральных составляющих, по которым производится разложение.) Каковы критерии правильности разложения на составляющие?

Указанные замечания не носят принципиального характера, не затрагивают основных выводов работы и не меняют в целом **высокую и положительную оценку диссертационной работы**. Основные положения диссертации Чумакова Р.Г., выносимые на защиту, обладают научной новизной и характеризуются высокой достоверностью. Работа выполнена на высоком научном уровне. Результаты работы полностью и своевременно опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ, прошли апробацию в форме докладов и обсуждений на многих российских и международных конференциях и семинарах. Автореферат диссертации полно и правильно отражает содержание работы.

### **Заключение**

Диссертация Чумакова Ратибора Григорьевича «Адсорбция и самоорганизация полярных молекул  $C_{60}F_{18}$  на металлических поверхностях» соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степе-

ней» ВАК Минобразования и науки РФ (в редакции Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Чумаков Ратибор Григорьевич, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – «физика конденсированного состояния».

Отзыв на диссертационную работу составлен профессором кафедры электроники твердого тела, доктором физико-математических наук А.М. Шикиным. Диссертация рассмотрена, а отзыв обсуждён и одобрен на заседании кафедры Электроники твердого тела, протокол № 7 от 11 сентября 2018 г.

Профессор кафедры Электроники  
твердого тела СПбГУ, доктор физико-  
математических наук



А.М.Шикин

Заведующий кафедрой Электроники  
твердого тела СПбГУ, доктор физико-  
математических наук, профессор



А.П. Барабан

Сведения о ведущей организации

ФБГОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,

Адрес: 199034 г. Санкт-Петербург, Университетская наб. 7/9. Тел. +7(812)

328-20-00, эл. почта: [spbu@spbu.ru](mailto:spbu@spbu.ru), сайт: [spbu.ru](http://spbu.ru)