

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук Саитова Шамиля Рашитовича
на тему: «Неравновесные электронные процессы в органических
полупроводниковых композиционных материалах»
по специальности 1.3.11. Физика полупроводников

Благодаря своим физическим свойствам органические полупроводники представляют большой интерес с точки зрения их применения при создании гибких тонкоплёночных фотоэлектрических устройств. Материалы этого класса являются интересными объектами не только с точки зрения возможных применений, но и с точки зрения исследования их оптических и электронных свойств.

Диссертационная работа Саитовым Ш.Р. посвящена экспериментальному исследованию неравновесных электронных процессов в органических полупроводниковых материалах и композиционных материалах на их основе. В работе выполнено последовательное экспериментальное исследование нового композиционного материала, предложенного диссертантом, на основе пленки фотопроводящего полимера с внедрёнными в неё нанопластинками селенида кадмия. Кроме того, Ш.Р. Саитовым адаптирована и применена экспериментальная методика, которая позволила оценить параметры распределения плотности состояния, определяющие полупроводниковые свойства данных материалов. Результаты исследования электрических и фотоэлектрических свойств показали, что в объёме композиционного материала возникают новые каналы проводимости носителей заряда по состояниям, связанным с нанопластинками, при этом их вклад определяется температурой и величиной электрического поля. Помимо этого, в объёме полученного двухфазного материала был реализован объёмный гетеропереход, позволяющий увеличить темп генерации носителей заряда за счёт их разделения на границе фаз. Новизну этой части работы

обеспечивает необычный для таких целей выбор составляющих композиционного материала, а именно коллоидных нанопластинок CdSe с гетероструктурой первого типа. Таким образом, работа Саитова Ш.Р. является актуальной и представляет интерес как с фундаментальной, так и с прикладной точки зрения. Достоверность результатов обусловлена тщательно выполненными экспериментальными измерениями, подробным и аккуратным сопоставлением результатов измерений с существующими теоретическими моделями, сравнением результатов с результатами других научных групп, а также многократной апробацией результатов работы на научных семинарах, всероссийских и международных конференциях.

Диссертационная работа Саитова Ш.Р. состоит из введения, пяти глав, которые содержат обзор литературы, описание установки и методики проведения эксперимента, а также основные результаты, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 155 страниц, включая 53 рисунка, 1 таблицу и 55 формул. Список литературы содержит 124 наименования.

Автором получен ряд новых и оригинальных результатов. К ним можно отнести следующее:

- 1) Были получены оценки параметров распределения плотности электронных состояний плёнки нового фотопроводящего полимера.
- 2) Был предложен и создан композиционный материал, на основе фотопроводящей полимерной матрицы с нанопластинками CdSe, в результате чего было получено значительное увеличение фотопроводимости по сравнению с пленкой этого полимера без внедрения нанопластин. При достаточно подробно описаны механизмы, связанные с процессами генерации и переноса носителей заряда и приводящие к наблюдаемому увеличению фотопроводимости.

Введение содержит обоснование актуальности темы исследования, научной новизны, теоретической и практической значимости полученных результатов, их достоверность. Также во введении формулируются цель и

задачи исследования, представлены положения, выносимые на защиту, и приведены сведения о структуре диссертационной работы. Подробно указан личный вклад автора, описана апробация работы, перечислены публикации по материалам диссертации.

Первая глава представляет собой литературный обзор. Приведённые сведения и данные являются в полной мере достаточными для описания явлений и зависимостей, наблюдаемых в оригинальных главах диссертации. Стоит отметить, что часть главы, посвященная органическим полупроводникам, наполнена обзором фундаментальной литературы. В то же время в разделах, посвящённых оптическим и электрическим свойствам коллоидных нанопластинок халькогенидов кадмия и электронному взаимодействию указанных наночастиц с органическими молекулами, приводятся работы более эмпирического содержания. Это различие связано со сложностью рассматриваемой системы в пленке композиционного материала по сравнению с пленками фотопроводящих полимеров.

Во **второй главе** приведены схема экспериментальной установки и детальное описание методики эксперимента. Метод постоянного фототока, подробно описанный в этой главе, применяется Ш.Р. Саитовым для исследования распределения плотности состояний в пленках фотопроводящих полимеров, а также для анализа влияния внедрения нанопластинок CdSe в объём полупроводниковой органической матрицы.

Третья глава содержит результаты исследования фотоэлектрических свойств полимерной пленки PPQ-DBT, в частности спектральных зависимостей поглощения, полученных методом постоянного фототока, и температурных зависимостей фотопроводимости пленки неупорядоченного органического полупроводника. Наиболее значимым результатом раздела является то, что с помощью анализа указанных зависимостей были получены параметры распределения плотности электронных состояний материала.

Четвертая глава посвящена исследованию пленки фотопроводящего полимера F8BT. Применяя ту же методику, что и в предыдущей главе, Ш.Р.

Саитов выполнил исследование плотности состояний в пленке вблизи краёв разрешённых зон. Им установлены области применимости гауссовой и экспоненциальной аппроксимаций распределения состояний в хвостах распределения. Интересным также является результат, полученный после сравнения спектров поглощения и фототока. Показано, что время жизни неравновесных носителей заряда не зависит от энергии кванта.

В пятой главе Саитовым Ш.Р. был предложен и реализован композиционный материал, состоящий из плёнки фотопроводящего полимера с нанопластинками селенида кадмия. Компоненты были подобраны таким образом, чтобы в объёме созданной пленки возникал объёмный гетеропереход, позволяющий разделять носители заряда. Примечательным результатом в этой главе является то, что фотопроводимость итоговой плёнки значительно превышает фотопроводимость плёнки исходного полимерного материала. Помимо этого, в данной главе с учётом экспериментальных данных подробно описываются причины наблюдаемого увеличения фотопроводимости.

В финальной части диссертационной работы автор формулирует **основные результаты**, а также приводит **заключение** по работе. Важно отметить, что все научные результаты, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, а также положения, выносимые на защиту, вполне обоснованы и не вызывают сомнений и нареканий.

Однако при ознакомлении с диссертационной работой возникли следующие **вопросы и замечания**:

1. В работе исследуются композитные материалы на PCDTBT и CdSe. Утверждается, что внедрение нанопластинок CdSe улучшает фотопроводимость. Также отмечается, что распределение нанопластинок в полимере не равномерно, имеет «тенденцию к формированию кластеров: от нескольких наночастиц до больших конгломератов», и зависит от толщины пленки. Однако не

исследованы фотоэлектрические характеристики пленок разных толщин.

2. В главе 2 подробно описан метод постоянного фототока для измерения коэффициента поглощения. Проводились ли эксперименты другими методами для проверки согласованности результатов?

Следует отметить, что приведенные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, являющуюся законченным и оригинальным научным исследованием. Полученные результаты являются актуальными, новыми и представляют значительный научный интерес как с фундаментальной, так и с практической точек зрения. Актуальность, новизна, практическая значимость, личный вклад автора и достоверность полученных в работе результатов не вызывают сомнения. Основные результаты диссертационной работы неоднократно обсуждались на научных семинарах, докладывались на российских и международных конференциях, опубликованы в статьях в научных изданиях, входящих в международные базы данных. Материал, изложенный в диссертационной работе, представлен понятно. Автореферат в полной мере отражает содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертационной работы соответствует паспорту специальности 1.3.11. Физика полупроводников (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена, согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой

степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Шамиль Рашитович Саитов вне всякого сомнения заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

Официальный оппонент:

кандидат физико-математических наук,
СТАРШИЙ НАУЧНЫЙ СОТРУДНИК, центр биофотоники, ФГБУН ФИЦ
«Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук».

ГЛАДИЛИН Андрей Александрович

23.10.2024

Контактные данные:

тел.: +7(499)5038734, e-mail: gladilin@physics.msu.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Адрес места работы:

119991, ГСП-1, Россия, Москва, ул. Вавилова, д. 38,

ФГБУН ФИЦ «Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук», центр биофотоники.

Тел.: +7(499)5038734; e-mail: office@gpi.ru

Подпись сотрудника ФГБУН ФИЦ «Институт общей физики имени А.М. Прохорова Российской академии наук»

А.А. Гладилина удостоверяю:

Ученый секретарь: д.ф.-м.н., доцент