

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО СПб НИУ «ИТМО»

Никифоров В.О.

27 октября 2015 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики» о диссертационной работе Самосвата Дмитрия Михайловича «Безызлучательные переходы и перенос энергии в полупроводниковых квантовых точках», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

1. Актуальность темы

Системы на основе полупроводниковых квантовых точек являются в настоящее время наиболее интересными и изучаемыми в современной физике полупроводников. Такие системы существенно отличаются от массивных (однородных) полупроводников тем, что движение носителей в них ограничено по всем трем направлениям, что и приводит к радикальной перестройке спектра и отличным от однородного полупроводника свойствам. Наиболее интересными с точки зрения оптических свойств являются прямозонные полупроводники на основе соединений типа АЗВ5. Их оптические свойства позволяют использовать КТ на основе таких соединений в лазерах и сенсорах в задачах биологии и медицины. Применение квантовых точек на основе соединений типа АЗВ5 в лазерах требуют понимания основных механизмов,

контролирующих время жизни носителей заряда в таких системах. Для этого необходимо исследовать не только излучательные механизмы, но и безызлучательные к числу которых относится, и оже-рекомбинация и которые определяют потери на них в лазерах. С этой целью используются современные методы квантовой механики для вычисления вероятности и скорости оже-процесса.

Другим важным и актуальным применением квантовых точек являются задачи современной биологии и медицины. В этих областях квантовые точки используются в качестве сенсоров. Исследования эффекта Штарка в открытых квантовых точках позволяют расширить спектр применений квантовых точек, а именно в роли сенсора для определения типа молекулы по создаваемому ей электрическому полю.

В настоящее время квантовые точки предполагается использовать в сенсорах, способных детектировать образование цепочек ДНК с помощью механизма безызлучательного резонансного переноса энергии.

Таким образом, суммируя вышесказанное, можно сказать, что исследованные автором эффекты и решенные задачи актуальны в современной физике полупроводников.

Автор в своем исследовании решает задачу о нахождении скорости и коэффициента оже-рекомбинации в полупроводниковой квантовой точке, задачу о поведении квазистационарных уровней энергии в электрическом поле и задачу о переносе энергии возбуждения от квантовой точки-донора к квантовой точке-акцептору.

2. Методы и объекты исследования

Для решения задач, поставленных в диссертации автор использует современные методы теоретической физики.

Для нахождения спектра квантовых точек, выполненных из материала типа АЗВ5 использовалась модель Кейна, которая наиболее адекватно описывает спектр и волновые функции носителей заряда в указанных квантовых точках.

Скорость оже-процесса рассчитывалась с использованием золотого правила Ферми и суммировалась по всем начальным и конечным состояниям.

Эффект Штарка в открытых квантовых точках исследовался с использованием теории возмущений, адаптированной к применению для квазистационарных состояний, а также с использованием квазиклассического подхода к квазистационарным состояниям.

Для расчета скорости безызлучательного переноса энергии был получен матричный элемент указанного процесса с помощью современных математических методов и рассчитана скорость такого процесса с помощью формализма матрицы плотности.

3. Основные научные результаты и их новизна

Основные научные результаты целесообразно рассмотреть по главам.

В первой главе исследованы два новых механизма Оже – рекомбинации в квантовых точках – беспороговый и квазипороговый; получен коэффициент оже-процесса и проанализированы его радиальные и температурные зависимости. Было выявлено, что при больших радиусах квантовой точки в области низких температур доминирует беспороговый канал оже-рекомбинации, а в области высоких температур – квазипороговый. Показано, что зависимость суммарного коэффициента оже-рекомбинации как функция радиуса имеет осцилляции, которые сглаживаются при повышении температуры. Кроме того, показано, что при низких температурах, когда носители заряда локализованы на основном уровне размерного квантования, процесс оже-рекомбинации подавляется. Указанные результаты являются новыми и оригинальными.

Во второй главе исследован эффект Штарка в открытых квантовых точках. Показано, что существует критическое положение уровня энергии, при котором поправка к полуширине уровня меняет свой знак. Кроме того, сдвиг уровня размерного квантования рассмотрен также с помощью квазиклассического подхода к теории возмущений и вычислен с точностью до второго порядка

теории возмущений.

Наконец, третья глава посвящена исследованию процесса безызлучательного резонансного переноса энергии между полупроводниковыми квантовыми точками. Получена вероятность переноса энергии между двумя полупроводниковыми квантовыми точками не только по прямому кулоновскому механизму, но и вследствие подмешивания состояний зоны проводимости и валентной зоны и по обменному механизму.

Все результаты, полученные в диссертации, являются новыми.

4. Достоверность и надежность результатов

Выводы диссертации являются обоснованными. Результаты неоднократно докладывались на ведущих российских и международных конференциях и прошли апробацию.

5. Научная и практическая ценность работы.

Научная ценность работы Д.М. Самосвата состоит в развитии как микроскопической теории механизмов безызлучательных переходов в полупроводниковых квантовых точках, так и эффекта Штарка в открытых квантовых точках.

Результаты, полученные автором диссертации, можно рекомендовать для использования в группах, занимающихся изучением низкоразмерных структур и в частности, квантовых точек: в Санкт-Петербургском политехническом университете им. Петра Великого (Санкт-Петербург), Физико-техническом институте им. А.Ф. Иоффе РАН (Санкт-Петербург), Санкт-Петербургском государственном электротехническом университете «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (Санкт-Петербург), Институте радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (Москва), в Санкт-Петербургском национальном исследовательском университете информационных технологий, механики и оптики «ИТМО» (Санкт-Петербург).

6. Замечания по содержанию диссертации

Все задачи, поставленные Самосватом Дмитрием Михайловичем в диссертационной работе, успешно решены. Однако, к ее содержанию имеются следующие критические замечания:

1) В первой главе не учтено влияние спин-орбитального взаимодействия на процесс Оже - рекомбинации.

2) Не проведен достаточный анализ подавления оже-рекомбинации в случае нахождения в квантовой точке более двух носителей заряда.

3) В работе отсутствует анализ влияния среды на вероятность переноса энергии между квантовыми точками.

Все отмеченные замечания не затрагивают сущностной части диссертации и поэтому носят второстепенный характер. Таким образом, отмеченные недостатки не влияют на общую **положительную оценку работы**, которая представляет собой законченное научное исследование, содержащее решение актуальных задач физики полупроводников.

7. Общая оценка диссертации

Диссертационная работа Д.М. Самосвата является законченным исследованием по теории безызлучательных переходов в квантовых точках. Основные результаты представляются достоверными и научно обоснованными. Оценивая диссертацию в целом, необходимо отметить высокую проработанность ее выполнения. Основные результаты диссертации докладывались на научных российских и международных конференциях. Результаты диссертационного исследования опубликованы в ведущих зарубежных и отечественных журналах. Автореферат правильно и достаточно полно отражает результаты и выводы диссертации.

По объему и научному уровню выполненных исследований, новизне и обоснованности положений и выводов, их научной и практической значимости диссертационная работа Д.М. Самосвата «Безызлучательные переходы и перенос энергии в полупроводниковых квантовых точках», полностью отвечает

требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г.

№ 842, предъявляемых к диссертациям на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Автор диссертации Самосват Дмитрий Михайлович заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Заведующий кафедрой
световых технологий и оптоэлектроники
ФГАОУ ВО СПб НИУ «ИТМО»
доктор физико-математических наук,
профессор
Бугров Владислав Евгеньевич

197101, г. Санкт-Петербург,

Кронверкский пр., д. 49

телефон: 406 8067

эл. почта: vladislav.bougrov@niuitmo.ru

_____ В.Е. Бугров