

В Диссертационный совет
Д 002.205.02
при ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН
194021, Санкт-Петербург,
ул. Политехническая, 26

ОТЗЫВ

официального оппонента Паршина Дмитрия Алексеевича на диссертацию
Самосвата Дмитрия Михайловича
«Безызлучательные переходы и перенос энергии в полупроводниковых
квантовых точках»,
представленную на соискание ученой степени кандидата физико-
математических наук
по специальности 01.04.10 – физика полупроводников

АКТУАЛЬНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Темой диссертационной работы Д.М. Самосвата является теоретическое исследование ряда эффектов таких как оже-рекомбинация, перенос энергии в квантовых точках и эффект Штарка в открытых квантовых точках. Для создания лазеров с низким пороговым током, а также оптимизации их параметров требуется понимание на микроскопическом уровне безызлучательных механизмов рекомбинации носителей заряда при высоких уровнях инжекции. Для лазеров на квантовых точках, эта задача до сих пор до конца не решена. В задачах биологии и медицины требуется создание сенсоров, которые смогли бы детектировать тип биологической молекулы. Этим требованиям хорошо удовлетворяют квантовые точки, покрытые тонким слоем полимерного материала, который служит барьером конечной толщины для носителей заряда. Таким образом, становится важной задача о спектре и времени жизни носителей заряда в открытых квантовых точках. Дополнительную информацию о конфигурации электрического поля несет не только сдвиг положения уровня, но и изменение его полуширины. Третьим эффектом, рассмотренным автором

является безызлучательный перенос энергии между квантовыми точками. Этот эффект в настоящее время эффективно используется в задачах биологии и медицины, например для изучения механизмов образования комплексов биологических молекул, что безусловно является актуальным направлением. Таким образом, автор в своем исследовании решает три новых и актуальных задачи.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ДОСТОВЕРНОСТЬ

В диссертации получены следующие наиболее значимые результаты:

1. В рамках модели Кейна построена теория безызлучательной оже-рекомбинации в полупроводниковых квантовых точках. Показано что пространственное ограничение и наличие гетеробарьеров снимает энергетический порог оже-рекомбинации в квантовой точке и выделяются два физически отличных механизма оже-рекомбинации: беспороговый и квазипороговый. Показано, что скорость беспорогового процесса имеет неэкспоненциальную зависимость от температуры, в то время как скорость квазипорогового процесса имеет более резкую (экспоненциальную) зависимость от температуры при больших радиусах и слабую при малых радиусах квантовой точки.
2. Показано, что при низких температурах при условии заполнения основного состояния и пустых возбужденных состояниях процесс оже-рекомбинации подавляется.
3. Исследованы квазистационарные уровни энергии в открытой квантовой точке и их поведение во внешнем электрическом поле. Получены значения положения уровня и его полуширины. Показано, что во внешнем электрическом поле поведение уровней энергии открытой квантовой точки может характеризоваться критической энергией, разделяющей случаи увеличения и уменьшения полуширины.
4. Изучен процесс безызлучательного переноса энергии от одной КТ к другой. Рассмотрен как чисто кулоновский вклад, так и вклады обменного

взаимодействия, и вклад, связанный с подмешиванием состояний зоны проводимости и валентной зоны. Показано, что вероятность прямого кулоновского вклада имеет насыщение при малых расстояниях и спадает по закону $1/d^6$ при больших.

Достоверность полученных результатов определяется использованием адекватных моделей (модель Кейна), использованием современных методов теоретической физики (метод S-матрицы рассеяния и матрицы плотности).

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ

Практическая значимость диссертационной работы Д.М. Самосвата определяется тем, что в ней получены выражения для коэффициентов оже-рекомбинации в квантовой точке и определены их зависимость от радиуса квантовой точки и температуры, что важно для оптимизации характеристик лазеров на квантовых точках.

Описанная в работе теория эффекта Штарка для открытых квантовых точек важна, так как позволяет предсказать не только изменение положения уровня, но и изменение его полуширины, что несет дополнительную информацию о конфигурации электрического поля окружающего квантовую точку.

Важность исследования переноса энергии между полупроводниковыми квантовыми точками не вызывает сомнений, так как эти результаты могут быть использованы для актуальных задач биологии и медицины.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО ДИССЕРТАЦИИ

При чтении работы у меня появились следующие замечания:

1. Автор не рассматривает процесс Оже – рекомбинации – $CHHS$ - переход в спин - отщепленную зону.
2. При учете сдвигов уровней энергии для открытых квантовых точек не рассмотрен сдвиг дырочного уровня
3. Не достаточно полно проанализирована зависимость вероятности переноса

энергии от параметров структуры по обменному механизму.

Однако, указанные замечания носят характер пожеланий и не меняют общую положительную оценку диссертации.

ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Д.М. Самосвата выполнена на высоком научном уровне и представляет собой весомый вклад в теорию безызлучательных переходов в квантовых точках. Соискатель продемонстрировал хорошее владение теоретическими методами. Материал диссертации изложен в целом ясно, продемонстрирован многочисленными графиками и рисунками. Результаты диссертации опубликованы в ведущих научных журналах и неоднократно докладывались на международных и российских конференциях.

Научные положения логичны и обоснованы.

Автореферат диссертации достаточно полно и правильно отражает ее содержание, сама диссертационная работа соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, несомненно, заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – Физика полупроводников.

Официальный оппонент: Паршин Дмитрий Алексеевич

место работы: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

ученая степень: доктор физико-математических наук

ученое звание: профессор

должность: профессор

подразделение: ИФНиТ, кафедра экспериментальной физики

адрес: 195251, Санкт-Петербург, Политехническая, 29.

телефон: 552-77-90, эл. почта: dmitry.a.parshin@gmail.com

2 ноября 2015 г.