

## Отзыв

члена диссертационного совета Вывенко Олега Федоровича  
на диссертацию **Курдюбова Андрея Сергеевича на тему «Динамика и контроль резервуара темных экситонов в квантовых ямах»**, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников.

Низкоразмерные полупроводниковые гетероструктуры типа квантовых ям (КЯ) и квантовых точек являются технологической основой современной оптоэлектроники, которая в настоящее время является обычным обходом современного человека и любые исследования, направленные на углубленное понимание их функционирования остается **актуальной** научной задачей, важной как для познаний, так и для практических приложений.

Открытие новых физических явлений и прорывы в развитии новых фундаментальных представлений о механизмах их протекания всегда происходили на основе развития новых экспериментальных методов и методик исследований. В этом смысле рецензируемая диссертация представляет собой именно такой тип исследований, который в настоящее время случается довольно редко. В ней разработана **новый** оригинальный метод спектроскопии возбуждения нерадиационного уширения экситонных резонансов в полупроводниковых структурах с квантовыми ямами. Основная идея этого метода состоит в том, что оптическое возбуждение с различными энергиями фотонов непрерывного лазера приводит к рождению экситонов и свободных носителей заряда. Рождение квазичастиц в системе вызывает отклик в спектрах отражения, выраженный в изменениях параметров резонансов светлых состояний экситонов, а сканирование по энергии фотонов непрерывного лазера позволяет получить набор спектров возбуждения для каждого из четырех параметров экситонных резонансов. Это дает **гораздо больше информации** по сравнению с традиционным методом возбуждения люминесценции.

**Достоверность** полученных результатов обеспечивается согласием данных, полученных с помощью различных методик автором на одних и тех же образцах, а также с полученными другими авторами ранее применявшимися методами. Предложенная система кинетических уравнений хорошо описывает наблюдаемые явления и позволяет также объяснить не объясненные ранее особенности кинетики люминесценции.

### Научная и практическая значимость

Разработанный новый экспериментальный метод и теоретический подход расширяют фундаментальные представления об электронных процессах, протекающих в низкоразмерных полупроводниковых структурах и являются перспективными для их дальнейших исследований. Кроме того, они могут быть использованы для характеристики и оптического контроля широкого класса полупроводниковых структур, применяемых при создании нового поколения светоизлучающих устройств.

В целом, диссертация содержит подробное изложение полученных экспериментальных результатов, их анализу и интерпретации. Она богато и красочно иллюстрирована, написана ясным и доступным языком. Вместе с тем, имеются следующие **замечания**.

1. На рис. 2.1 приведена схема отобранных для исследования образцов и в образце Т670 показано наличие двух тонких слоев AlAs, которые, как указывается в тексте, «препятствуют диффузии свободных носителей заряда, созданных в барьерных слоях за пределы исследуемой КЯ». Остается непонятным, как они могут препятствовать диффузии носителей в подложку будучи оба расположенными выше с одной стороны от КЯ.
2. В главе 3 представлены и обсуждаются результаты измерений спектров нерадиационного уширения, а также динамики экситонов и указывается, что «точности материальных

параметров гетероструктур недостаточно, чтобы надежно определить знак носителей заряда, которые первыми делокализуются в барьерных слоях». При этом выдвинуто предположение и схема процесса, которая изображена на рис. 3.6(с), о том, что дырки делокализуются раньше электронов, а образовавшийся избыток электронов в КЯ рассеивает экситоны из резервуара в световой конус, принимая на себя избыточный импульс. В этом случае, созданные при нерезонансном возбуждении электроны и дырки в барьерных слоях, будут испытывать соответственно отталкивание и притяжение барьером, образованным избыточным отрицательным зарядом электронов, что должно приводить к более быстрому захвату таких дырок, чем электронов. Роль такого процесса в диссертации не учитывается.

3. В главе 4 диссертации для описания кинетики нерадиационного уширения формулируется система кинетических уравнений, которая в отличие от ранее предложенных содержит дополнительный член, пропорциональный сумме поверхностных плотностей свободных зарядов электронов и дырок с единым для обоих видов носителей коэффициентами пропорциональности. Вместе с тем, среди полученных результатов приведены свидетельства, что скорости их ухода могут различаться, что должно, очевидно, описываться различными значениями таких коэффициентов. Хотя результаты моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными, хотелось бы тем не менее проанализировать, насколько чувствительны результаты моделирования к различию указанных коэффициентов.

. Сделанные замечания не затрагивают основных положений и выводов диссертации. Объем и качество полученных экспериментальных результатов, основанных на разработанной автором методике измерений, совершенном владении сложной экспериментальной техникой, количественной обработкой и анализом полученных данных свидетельствуют о глубоком понимании физических процессов в исследованных структурах и подтверждают высокую научную квалификацию диссертанта. Результаты диссертации опубликованы в высокорейтинговых журналах и докладывались и были высоко оценены специалистами на престижных научных конференциях.

Считаю, что диссертация Курдюбова Андрея Сергеевича на тему: «Динамика и контроль резервуара темных экситонов в квантовых ямах» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Курдюбов Андрей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.11. Физика полупроводников. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Председатель диссертационного совета  
Доктор физ.-мат. наук,  
профессор по специальности физика твердого тела,  
профессор СПбГУ

15.06.2022



Вывенко Олег Федорович