

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Гиппиуса Николая Алексеевича
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.

Диссертация Курдюбова Андрея Сергеевича посвящена актуальной проблеме - исследованию резервуара темных экситонов в квантовых ямах, образованного экситонами с волновыми векторами, превышающими волновой вектор света, а также изучению влияния на свойства фотолюминесценции свободных носителей заряда.

Недавние исследования показали, что время жизни резервуара может достигать нескольких десятков наносекунд в структурах высокого качества. Это значение на порядки превышает время жизни светлых экситонов, составляющее для экситонов в квантовых ямах на основе GaAs величину порядка 10 пикосекунд. Благодаря большому времени жизни, темные экситоны способны накапливаться до значительных плотностей и оказывать сильное влияние на состояния светлых экситонов. В частности, резервуар темных экситонов определяет характер кинетики люминесценции, особенности которой вызывали дискуссии в литературе. Кроме того, резервуар темных экситонов позволяет создавать потенциальные ловушки для экситон-поляритонов в структурах с микрорезонаторами, что открывает возможность для создания новых оптических устройств.

Резервуар темных экситонов является оптически неактивным, что осложняет его экспериментальное исследование. Одним из возможных методов изучения резервуара является кинетика люминесценции. Этот метод, однако, является непрямым, поскольку детектируемому сигналу люминесценции предшествуют процессы релаксации темных экситонов в световой конус. Другой подход основывается на методе оптической накачки - терагерцового зондирования, который оказывается применим лишь для сильных оптических возбуждений.

В диссертации Курдюбова А. С. предложен новый экспериментальный метод изучения резервуара темных экситонов. Он основан на детектировании взаимодействия экситонного резервуара со светлыми экситонами, созданными слабым оптическим зондом. В эксперименте это взаимодействие проявляется в уширении спектральных линий экситонных состояний.

Структура диссертации включает введение, четыре главы и заключение.

Первая глава посвящена обзору литературы по исследованию экситонов в квантовых ямах. Проведен анализ теоретических методов исследования экситонов. В частности, рассмотрена теория нелокального диэлектрического отклика, позволяющая анализировать спектры отражения от структур с квантовыми ямами.

Во второй главе описаны исследуемые образцы и экспериментальные установки. Особое внимание уделено методике спектроскопии возбуждения нерадиационного уширения (NBE) как основному методу исследования резервуара темных экситонов при непрерывном оптическом возбуждении. Также дано описание методики накачки-зондирования со спектральным разрешением, используемой для исследования динамики экситонов и свободных носителей заряда.

Третья глава содержит основные экспериментальные результаты, полученные для образца с 14 нм AlGaAs/GaAs квантовой ямой с 3% содержанием алюминия. Исследованы спектры NBE для указанной структуры и проведено сравнение со спектрами возбуждения люминесценции (PLE). Разработана модель энергетической структуры, объясняющая основные особенности спектров NBE. Помимо этого, исследована динамика нерадиационного уширения резонансов тяжелого и легкого экситонов при резонансном и нерезонансном импульсном возбуждении. На основе полученных данных

продемонстрирована возможность осуществления управления плотностью темных экситонов в резервуаре за счет оптического возбуждения в особую спектральную область немного ниже межзонных переходов барьерных слоев (область “dip”).

Четвертая глава посвящена моделированию динамики экситонов и свободных носителей заряда при резонансном и нерезонансном возбуждении. Модель основана на уравнении баланса для всех квазичастиц резервуара. При этом рассматриваются только ключевые процессы, такие как объединение электронов и дырок в экситоны, диссоциация экситонов, рассеяние экситонов в световой конус на свободных носителях заряда. Последний процесс является ключевым для описания длинной компоненты динамики темных экситонов и формирования кинетики люминесценции.

К основным результатам диссертации Курдюбова А. С. можно отнести следующее:

1. Предложена новая экспериментальная методика исследования экситонной системы в структурах с квантовыми ямами. Она заключается в измерении спектров отражения и одновременном сканировании по энергии оптического возбуждения. Анализ спектров отражения позволяет получить зависимость четырех параметров экситонных резонансов от энергии накачки (энергии, радиационного и нерадиационного уширения и фазы).
2. Спектроскопия возбуждения нерадиационного уширения (NBE) является эффективным инструментом исследования взаимодействия экситонов с другими экситонами и носителями заряда.
3. Обнаружена особая спектральная область, для которой наблюдается провал (“dip”) в спектрах NBE. Возбуждение в этот участок спектра приводит к эффективному опустошению резервуара темных экситонов, тем самым позволяя осуществлять управление их двумерной плотностью.
4. Разработана модель динамических процессов, описывающая релаксацию экситонов и свободных носителей заряда при различных условиях оптического возбуждения. Модель позволила также описать кинетику люминесценции без введения дополнительных подгоночных параметров.

В качестве замечания к работе можно отметить следующее:

В приведённых в четвертой главе балансных уравнениях описание проводится на языке полных чисел заполнения подсистемы s , по-видимому, усредненными по спектру кинетическими параметрами затухания и рассеяния. Хотелось бы понять может ли учёт зависимости параметров рассеяния «холодных» экситонов от их импульса изменить зависимости от интенсивности, рассмотренные в этой главе.

Результаты работы опубликованы в 5 печатных работах в высокорейтинговых научных журналах и неоднократно обсуждались на различных семинарах и конференциях.

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.

Член диссертационного совета

Профессор Сколковского института науки и технологий
доктор физико-математических наук,
121205, Москва, Большой бульвар д. 30, стр.1,



Гиппиус Н.А.

20.06.2022