

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета Агекияна Вадима Фадеевича на диссертацию Соловьева Ивана Александровича на тему: «Когерентная оптическая динамика экситонов и трионов в полупроводниковых квантовых ямах», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

В диссертации изучается нелинейное взаимодействие света с электронной системой полупроводниковых наноструктур. Основным инструментом, примененным автором диссертации для исследования когерентной динамики экситонов в полупроводниковых квантовых ямах, является четырехволновое смешение (ЧВС), эффект, заключающийся в том, что возбуждение нелинейной среды тремя электромагнитными волнами приводит к возникновению четвертой волны, частота и волновой вектор которой являются комбинациями частот и волновых векторов волн, возбуждающих эту среду. В рамках развития этого эффекта было реализовано наблюдения фотонного эха (ФЭ), аналогичного спиновому эху в ЯМР. В диссертации И. А. Соловьева ЧВС и ФЭ применены для изучения когерентной динамики экситонов и экситонных комплексов в квантовых ямах.

Важным моментом является использование пикосекундных лазерных импульсов, это позволило сузить их спектр по сравнению с обычно применяемыми фемтосекундными импульсами и таким образом исследовать динамику экситонов и экситонных комплексов по отдельности.

Следует отметить, что автор диссертации использовал в эксперименте по ФЭ внешнее магнитное поле, это позволило детально изучить спин-зависимое ФЭ и получить целый ряд новых результатов.

В первой главе диссертации рассмотрены методы линейной и нелинейной спектроскопии полупроводников, ранее проведенные исследования по когерентной оптической динамике экситонов методами ЧВС и ФЭ, включая недавние работы по спин-зависимому ФЭ, описаны эксперименты на квантовых ямах GaAs и CdTe. В этой же главе содержатся сведения об объектах исследования – наборе гетероструктур, которые сильно отличаются друг от друга как по фундаментальным свойствам входящих в их состав полупроводниковых материалов, так и по качеству, которое определяет неоднородную ширину экситонных резонансов, локализацию возбуждений и т. д. Это позволило автору диссертации установить как общие закономерности исследованных в диссертации эффектов, так и влияние на них особенностей конкретного изучаемого объекта.

Во второй главе подробно описаны ФЭ от ансамбля двухуровневых систем под действием лазерного импульса, структура уровней нейтрального и заряженного экситонов в арсениде галлия, ФЭ в присутствии магнитного поля. В этой же главе показана экспериментальная установка для изучения ЧВС с разрешением по времени, в создании которой принимал активное участие автор диссертации. Приведены результаты исследования кинетики затухания сигнала двухимпульсного ФЭ в квантовой яме InGaAs с интерфейсами высокого качества..

В третьей главе представлены эксперименты по когерентной динамике экситонов и трионов на квантовой яме ZnO. Установлены и проанализированы различия в динамике ФЭ для экситонов и трионов, сильное изменение скоростей затухания ФЭ по профилю полос излучения трионов, связанное с их локализацией.

В четвертой главе представлено исследование двухимпульсного и трехимпульсного ФЭ в гетероструктуре InGaN/GaN, содержащей 100 узких квантовых ям. Неоднородность этой гетероструктуры проявляется, в частности, в сильном стоксовом сдвиге амплитуд люминесценции и ФЭ. Измерены зависимости времени и скорости дефазировки и времени жизни по контуру сигнала ФЭ. Показано сильное влияние степени локализации экситонов на кинетику затухания сигнала трехимпульсного ФЭ. Автор диссертации сумел измерить однородную ширину для локализованных экситонов в зависимости от степени локализации. В выводах к главе подчеркивается долгое время дефазировки экситонов в этой гетероструктуре по сравнению с квантовыми ямами GaAs, InGaAs и CdTe.

В пятой главе диссертации проведено исследование ФЭ во внешнем магнитном поле, приложенном в плоскости высококачественной квантовой ямы InGaAs/GaAs. Это исследование оказалось весьма плодотворным. Наблюдались осцилляции сигнала двухимпульсного ФЭ, обусловленные ларморовской прецессией экситонных спинов. Смешивание полей светлых и темных экситонов приводит к увеличению на порядок времени фазовой когерентности экситонной системы. Осцилляции сигнала ФЭ, вызванные таким смешиванием, были ранее рассмотрены теоретически, но экспериментально не наблюдались. В диссертации предложена теоретическая модель, позволившая объяснить воздействие магнитного поля на кинетику сигнала ФЭ в поперечном магнитном поле, в том числе наблюдавшуюся при определенных поляризационных геометриях эксперимента аperiodичность осцилляций. В результате проведенных экспериментов получена детальная информация о g-факторах электрона и дырки и о константе обменного взаимодействия в квантовой яме InGaAs/GaAs.

При изучении диссертации возник следующий вопрос. В работе показано, что времена, характеризующие когерентность системы, изменяются в пределах контура сигнала ФЭ, что можно объяснить связью между энергией экситона и степени его локализации. Каково соотношение временного интервала, в течение которого измеряется ФЭ, и характерного времени локализации экситонного возбуждения?

В целом диссертация И. А. Соловьева является обширным исследованием высокого класса, в котором представлены важные, в то числе впервые экспериментально наблюдавшиеся нелинейные эффекты в экситонных системах полупроводниковых

гетероструктур различного типа, а также развиты соответствующие теоретические модели.

Степень достоверности и апробация результатов диссертации весьма высоки.

С учетом всего вышесказанного полагаю:

Содержание диссертации Соловьева Ивана Александровича на тему: «Когерентная оптическая динамика экситонов и трионов в полупроводниковых квантовых ямах» соответствует научной специальности 1.3.8. Физика конденсированного состояния.

Диссертация является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научных задач важных для понимания нелинейных свойств экситонов и их комплексов в полупроводниковых квантовых ямах.

Нарушений пунктов 9, 11 Порядка присуждения Санкт-Петербургским государственным университетом ученой степени кандидата наук соискателем ученой степени мною не установлено.

Диссертация соответствует/ критериям, которым должны отвечать диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, установленным приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете» и рекомендована к защите в СПбГУ.

Член диссертационного совета

доктор физико-математических наук профессор, профессор кафедры физики твердого тела
СПбГУ



Агемян В. Ф.

15.01.2024