

Отзыв

официального оппонента о диссертационной работе Маркова Д.А. «Динамика нелинейных процессов и усиление излучения в системе когерентных экситонов и биэкситонов в полупроводниках», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата физико–математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

С 80-х годов прошлого века существенно повысился интерес к исследованиям эффектов когерентного нелинейного взаимодействия ультракоротких импульсов лазерного излучения с тонкой пленкой полупроводника при различных механизмах возбуждения экситонов и биэкситонов, которые актуальны до сих пор. Это связано с тем, что результаты таких исследований могут быть использованы при разработке новых быстродействующих оптоэлектронных приборов, обеспечивающих высокую степень интеграции элементов, что, в свою очередь, позволит повысить скорость и надежность их работы. Это и определяет актуальность тематики теоретических исследований, представленных в диссертационной работе Маркова Д.А.

Диссертационная работа состоит из введения, одной обзорной и четырех оригинальных глав, заключения и библиографии, общим объемом в 136 страниц машинописного текста, включая рисунки.

Во введении обсуждается актуальность представленных теоретических исследований, сформулирована цель диссертации и её основное содержание.

В первой главе представлен обзор литературы по когерентным нелинейным явлениям в размерно–ограниченных полупроводниковых структурах, оптической нутации, а также механизмам усиления и генерации терагерцового излучения.

Во второй главе представлены результаты исследования нелинейно-оптических свойств тонкой пленки полупроводника (ТПП) в условиях возбуждения экситонов большой плотности ультракоротким импульсом (УКИ) резонансного лазерного излучения. Показано, что при падении на пленку ступенчатого импульса временная эволюция плотности экситонов с учетом упругого экситон-экситонного взаимодействия представляет собой затухающие к некоторому стационарному значению осцилляции, частота и амплитуда которых определяются уровнем накачки и расстройкой резонанса. Учет фазовой модуляции падающего импульса приводит к перенормировке константы упругого экситон-экситонного взаимодействия и возможности изменения с помощью параметра чирпинга не только ее значения, но и знака. Показано, что самосогласованный чирпинг падающего импульса постоянно «отслеживает» концентрационное смещение экситонного уровня благодаря упругому экситон-экситонному взаимодействию и своей фазой частично или полностью компенсирует это смещение. В случае, когда смещения частот из-за экситон-экситонного взаимодействия и чирпинга равны по величине и направлены в противоположные стороны нелинейно-оптические явления, обусловленные упругим экситон-экситонным взаимодействием, наблюдаться не будут. Изменение знака константы межчастичного взаимодействия соответствует притяжению между экситонами. Автор называет этот эффект оптическим аналогом Фешбах-резонанса.

В третьей главе рассматривается прохождение через ТПП двух УКИ лазерного излучения в условиях двухфотонного двухимпульсного возбуждения биекситонов из основного состояния кристалла. Показано, что возможен эффект гистерезисного пропускания пленки в зависимости от интенсивности падающих импульсов. При этом гистерезисное пропускание одного из импульсов контролируется интенсивностью второго импульса. Для импульсов различной формы и интенсивности может наблюдаться частичное или полное отражение более слабого импульса. Теоретически обоснована возможность разбиения импульса с меньшей амплитудой на два субимпульса

различной длительности, а также возникновения отклика пленки в виде более коротких и мощных, по сравнению с падающими, импульсов.

В четвертой главе изучается явление оптической нутации в системе когерентных экситонов, фотонов и биэкситонов в полупроводнике типа CuCl , в условиях, когда на кристалл падают два УКИ резонансного лазерного излучения. Предполагается, что фотоны первого импульса попарно возбуждают биэкситоны из основного состояния кристалла, а фотоны второго импульса смешивают экситонное и биэкситонное состояния. В этих условиях на временах много меньших времен релаксации частиц стационарное состояние не успевает установиться за время действия импульсов и может иметь место оптическая нутация в системе когерентных экситонов, биэкситонов и фотонов. Для ряда случаев получены аналитические решения и определены значения параметров, влияющих на характер поведения системы, которое может представлять собой периодическое или аperiodическое изменение плотностей частиц. Показано, что частота нутации существенно определяется начальными концентрациями частиц.

В пятой главе рассмотрен процесс усиления слабого импульса на частоте оптической экситон-биэкситонной конверсии, а также предложен новый механизм генерации терагерцового излучения. Усиление на частоте оптической экситон-биэкситонной конверсии осуществляется за счет инверсии населенностей биэкситонного уровня относительно экситонного, в результате чего падение даже слабого импульса на частоте М-полосы приводит к индуцированному сбросу инверсии и, как следствие, к усилению слабого импульса. Показано, что усиление максимально в окрестности торца кристалла и распределенный коэффициент усиления убывает вглубь среды в связи с истощением накачки.

Предложенный механизм генерации терагерцового излучения основан на использовании двухэкситон-биэкситонного перехода при возбуждении экситонов из основного состояния кристалла. Накачка экситонного уровня приводит к инверсии населенности двухэкситонного состояния относительно

биэкситонного и индуцированный переход на энергетически более выгодное биэкситонное состояние сопровождается генерацией фотонов с частотой, соответствующей энергии связи биэкситона. Показано, что зависимость нормированной плотности экситонов от интенсивностей падающих импульсов и расстройки резонанса выражается кубическим уравнением. Это указывает на возможность амплитудного и частотного гистерезиса плотности экситонов. В случае гистерезисного поведения в кристалле присутствуют домены высокой и низкой плотности экситонов, граница раздела между которыми определяется уровнем накачки и расстройкой резонанса.

В заключении сформулированы основные результаты теоретических исследований, полученные в работе.

Полученные в диссертационной работе результаты удовлетворяют критериям научной новизны.

Научная значимость исследований определяется тем, что впервые построена последовательная теория взаимодействия фазомодулированных ультракоротких импульсов лазерного излучения с тонкой пленкой полупроводника в экситонной области спектра с учетом упругого экситон-экситонного взаимодействия. Исследованы новые механизмы усиления лазерного излучения на частотах экситон-биэкситонной конверсии и двухэкситон-биэкситонного перехода. Получены принципиально новые результаты, предоставляющие информацию об особенностях пропускания двух ультракоротких импульсов лазерного излучения тонкой пленкой полупроводника в условиях двухфотонного двухимпульсного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения полученных результатов для построения таких узлов и элементов интегрально-оптических устройств, как преобразователи формы импульсов лазерного излучения, переключающие элементы на основе явления бистабильности, ячейки памяти и др.. Результаты исследования также могут быть использованы для получения информации об оптических параметрах экситонов и биэкситонов в полупроводниках.

Достоверность полученных результатов обеспечена адекватностью соответствующих физических моделей, надежностью математических и численных методов, положительно зарекомендовавших себя при решении близких по тематике задач.

По материалам диссертации опубликовано около 50 работ. Основные результаты исследований докладывались на международных научных конференциях и семинарах.

Диссертационная работа хорошо оформлена, результаты исследований богато иллюстрированы.

Содержание автореферата полностью соответствует содержанию самой диссертации.

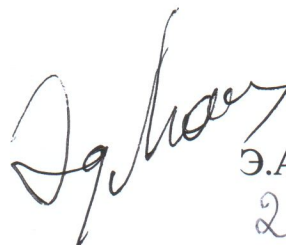
К замечаниям можно отнести следующее:

1. В третьей главе демонстрируется возможность генерации одного либо двух ультракоротких импульсов при прохождении через пленку гауссовских импульсов. Этот интересный результат следовало бы детальнее объяснить с точки зрения динамики прохождения импульсов. Возможно ли установление критерия, который указывал бы на генерацию одного либо большего числа новых импульсов.
2. В условиях двухимпульсного двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла возможны полное просветление для более сильного импульса и полное отражение для более слабого. Этот результат получен при условии, что плотности биэкситонов невелики. Однако при больших уровнях возбуждения плотность биэкситонов может оказаться достаточно высокой и вопрос сохраняются ли эффекты просветления и полного отражения в этом случае остается открытым.

Отмеченные недостатки не снижают общий высокий уровень рецензируемой диссертации. Учитывая объем выполненных исследований, научную и практическую значимость полученных результатов, а также их научную новизну и достоверность, можно утверждать, что диссертационная работа Д.А. Маркова «Динамика нелинейных процессов и усиление излучения в системе когерентных экситонов и биэкситонов в

полупроводниках» удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор – Д.А. Марков – заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико–математических наук по специальности 01.04.21 – лазерная физика.

Главный научный сотрудник
НИЦ «Курчатовский Институт»,
доктор физико-математических наук,
профессор



Э.А. Маныкин

29.11.2013

Подпись Э.А. Маныкина удостоверяю.

Главный ученый секретарь НИЦ «Курчатовский Институт»,
доктор физико-математических наук,
профессор



В.И. Ильгисонис