

«УТВЕРЖДАЮ»

РЕКТОР

Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
профессионального образования

«Ульяновский государственный университет»

профессор

Б.М. Костишко

2013г.



ОТЗЫВ

ведущей организации 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.

В последние годы повышенный интерес вызывают теоретические и экспериментальные исследования процессов взаимодействия лазерного излучения с размерно-ограниченными полупроводниковыми структурами, в частности, с тонкими пленками. Это обусловлено достигнутыми в настоящее время успехами в нанотехнологии и возможностью получения новых эффектов, обнаружения новых закономерностей взаимодействия света с нанобъектами и их использования для создания принципиально новых приборов квантовой электроники. В настоящее время широко проводятся исследования нестационарного пропускания (отражения) тонких пленок полупроводников, так как в них наиболее ярко проявляются нелинейные эффекты, связанные с взаимодействием лазерного излучения с экситонами и биэкситонами. Диссертационная работа Маркова Д.А. посвящена кругу этих проблем, что и определяет актуальность тематики проведенных исследований.

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

Во введении обсуждается актуальность темы диссертации, сформулирована цель работы и кратко изложено основное содержание диссертации.

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 полупроводниковой пленки в условиях возбуждения экситонов большой плотности ультракоротким импульсом резонансного лазерного излучения. Рассмотрены нестационарные режимы прохождения импульсов различной формы и интенсивности. Динамика плотности экситонов представляет собой затухающие к некоторому значению колебания, амплитуда и частота которых определяются начальными значениями параметров системы. Теоретически обосновано явление амплитудной бистабильности при определенных значениях расстройки резонанса. Ее наличие обуславливает существование двух режимов пропускания в зависимости от значения амплитуды падающего излучения. Один из них характеризуется слабыми изменениями плотности экситонов в пленке, и, как следствие, выходящего излучения, второй – сильными осцилляциями плотности квазичастиц в пленке, частота и амплитуда которых растет с ростом уровня возбуждения. Принципиально новые эффекты получены при рассмотрении случая прохождения через пленку импульса с чирпингом. Считая чирпинг самосогласованным, в том смысле, что он определяется плотностью экситонов в пленке, получено уравнение, описывающее динамику плотности экситонов в пленке, в котором эффективная константа межчастичного взаимодействия зависит

от параметра чирпинга. Эта зависимость указывает на то, что наличие фазовой модуляции у падающего импульса позволяет изменить не только величину межчастичного взаимодействия в среде, но и ее знак, что можно интерпретировать как оптический аналог Фешбах-резонанса; при определенных значениях параметра чирпинга среда перестает вести себя как нелинейная, несмотря на высокий уровень возбуждения.

В третьей главе рассмотрено прохождение через тонкую пленку полупроводника двух импульсов лазерного излучения в условиях двухфотонного двухимпульсного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла. При этом считается, что фотоны падающих импульсов попарно возбуждают биэкситоны. Изучено прохождение импульсов с различными огибающими. Показано, что в зависимости от параметров системы может наблюдаться частичное или полное отражение более слабого импульса. В случае одновременного падения двух ступенчатых импульсов изменение плотности биэкситонов может представлять собой монотонный рост или затухающие осцилляции, в зависимости от значения расстройки резонанса, к некоторому стационарному значению, определяемому амплитудами падающих импульсов. Это стационарное значение определяет амплитуды проходящих через пленку импульсов. В случае, когда один из импульсов является ступенчатым, а второй гауссовским, предсказано наличие эффекта гистерезисного пропускания пленки в зависимости от интенсивностей падающих импульсов. Получены результаты, которые позволяют в зависимости от параметров падающих импульсов использовать данную систему как ячейку памяти, значение разряда в которой определяется плотностью биэкситонов и зависит от двух управляющих сигналов, либо как устройство, позволяющее сужать один из падающих импульсов или делить его на субимпульсы различной длительности и времени задержки между ними.

В четвертой главе изучается явление оптической нутации в системе когерентных экситонов, фотонов и биэкситонов в условиях, когда на кристалл падают два ультракоротких импульса резонансного лазерного излучения. При этом фотоны первого импульса попарно возбуждают биэкситоны из основного состояния кристалла, а фотоны второго импульса смешивают экситонное и биэкситонное состояния. Показано, что в зависимости от значений параметров, динамика такой системы может представлять собой как периодические, так и аperiodические изменения плотностей частиц. В случае периодического изменения амплитуда и период колебаний зависят от начальных значений амплитуд и начальной разности фаз.

В пятой главе предложены два новых механизма усиления лазерного излучения. Первый – усиление слабого сигнала на частоте экситон-биэкситонной конверсии и второй – терагерцового излучения, с частотой, соответствующей двухэкситон-биэкситонной конверсии. В первом случае, благодаря мощному импульсу накачки, создается инверсия населенностей биэкситонного уровня относительно экситонного и падение слабого импульса на частоте М-полосы приводит к индуцированному сбросу инверсии и, как следствие, к его усилению. При этом усиление наиболее интенсивно происходит вблизи переднего торца кристалла. Во втором случае накачка действует в экситонной области спектра, возбуждая экситоны из основного состояния кристалла. Возникающая инверсия населенностей двухэкситонного уровня относительно биэкситонного позволяет усилить слабый сигнал, индуцирующий переход из двухэкситонного состояния на более энергетически выгодное биэкситонное. Индуцированный переход будет сопровождаться генерацией фотонов с частотой, соответствующей энергии связи биэкситона, то есть в терагерцовом диапазоне. Определены критерии возникновения частотной и амплитудной бистабильности плотности экситонов, которые приводят к возникновению в среде двух доменов, один

из которых характеризуется высокой плотностью частиц, а второй – низкой. Граница раздела между ними определяется начальными значениями интенсивностей падающих импульсов.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в работе.

На защиту выносятся следующие положения:

1. Теория взаимодействия тонкой пленки полупроводника с ультракороткими импульсами когерентного лазерного излучения при однофотонном возбуждении экситонов большой плотности.
2. Оптический аналог Фешбах-резонанса для экситонов в тонкой пленке.
3. Теория пропускания света тонкой пленкой полупроводника в условиях двухимпульсного двухфотонного возбуждения биэкситонов из основного состояния кристалла.
4. Оптическая нутация в системе когерентных экситонов, биэкситонов и фотонов при учете различных механизмов нелинейности.
5. Теория усиления света в области М-полосы люминесценции благодаря оптической экситон-биэкситонной конверсии при двухфотонной накачке биэкситонного состояния и терагерцового излучения благодаря оптической двухэкситон-биэкситонной конверсии при накачке в экситонный уровень.

Полученные в диссертации результаты удовлетворяют критериям новизны.

Научная значимость проведенных исследований определяется тем, что получены новые фундаментальные результаты и выводы об особенностях когерентного нелинейного взаимодействия резонансного лазерного излучения с тонкой пленкой полупроводника. Практическая значимость полученных результатов определяется возможностью их использования для создания новых устройств интегральной оптики и микроэлектроники.

Достоверность теоретических исследований, представленных в диссертации, подтверждается корректностью разработанных математических моделей, их адекватностью по известным критериям оценки изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных наук.

По материалам диссертации опубликовано 53 работы. Основные результаты исследований докладывались на международных научных конференциях и семинарах.

Диссертационная работа хорошо оформлена, результаты исследований богато иллюстрированы.

Содержание автореферата диссертации полностью соответствует содержанию самой диссертации.

Замечания и недостатки диссертационной работы:

1. Во второй главе рассмотрено распространение фазово-модулированного импульса в экситонной области спектра при учете упругого экситон-экситонного взаимодействия. Интерес представляет рассмотрение аналогичного явления при учете других нелинейностей, например, при учете, также эффекта насыщения дипольного момента перехода экситонного уровня. Подтверждается ли в этом случае основной вывод, сделанный в данной главе диссертации?
2. Известно, что при падении лазерного излучения на частоте поляритонной щели полупроводника имеет место явление полного непропускания излучения в среду. Интересно было бы выяснить, является ли эффект полного отражения слабого импульса, полученный в третьей главе, родственным явлению полного непропускания. Следовало бы дать более полную физическую интерпретацию предсказываемого явления.

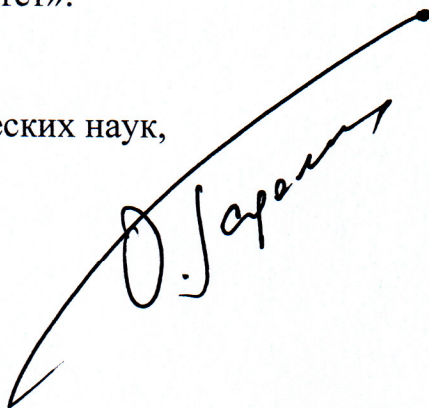
Отмеченные недостатки не снижают общий высокий уровень рецензируемой диссертации. Учитывая объем выполненных исследований, научную и практическую значимость полученных результатов, а также их

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 всем 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.

Отзыв составил: доктор физ.-мат. наук, профессор О.Н. Гадомский.

Диссертация и отзыв обсуждены на заседании семинара Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Ульяновский государственный университет».

Доктор физико-математических наук,
профессор

A large, stylized handwritten signature in black ink, slanted upwards from left to right. The signature appears to be 'O. N. Gadoskiy' written in a cursive, flowing style.

О.Н. Гадомский