


"УТВЕРЖДАЮ"
Зам. директора
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН
д.ф.-м.н.
С.Ю. Савинов



« 25 » октября 2018 г.

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертационную работу

Кадыкова Александра Михайловича

«Фотоотклик и стимулированное излучение в структурах на основе соединений HgCdTe
в среднем и дальнем ИК диапазонах»

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук
по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты,
микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Диссертационная работа А.М.Кадыкова посвящена решению ряда **актуальных** научных задач, направленных на использование структур на основе соединений HgCdTe в качестве материалов для детекторов среднего и дальнего ИК диапазона..

Актуальность темы исследования.

Проявляемый в последние годы интерес к структурам с квантовыми ямами на основе твердых растворов $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ обусловлен как прогрессом в технологии молекулярно-лучевой эпитаксии, позволяющей получать структуры достаточно высокого качества, так и рядом особенностей их электронного спектра, таких, как состояние топологического изолятора, бесщелевая структура зон с линейным спектром и т.п. Возможность вариации ширины запрещенной зоны изменением состава $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ делает эти соединения основным и широко применяемым материалом для детекторов среднего ИК диапазона.

В рассматриваемой работе структуры с квантовыми ямами $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ были использованы для детектирования излучения терагерцового (ТГц) диапазона по механизму Дьяконова – Шура, для чего были изготовлены НЕМТ транзисторы на их основе и

проведены исследования их фотоотклика в суб-терагерцовом диапазоне частот. Выполненные исследования зависимости фотоотклика от напряжения на затворе транзистора в магнитном поле позволили выявить ряд особенностей электронного спектра структур с квантовыми ямами $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}/\text{CdTe}$, в частности, провести, по выражению автора, "визуализацию" уровней Ландау и наблюдать фазовый переход от инвертированной к нормальной зонной структуре при изменении температуры.

Вторая часть работы посвящена исследованиям фотолюминесценции и вынужденного излучения на межзонных переходах в эпитаксиальных слоях и гетероструктурах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, направленным на создание лазерных источников излучения в среднем ИК диапазоне.

Основные научные результаты, полученные автором.

К наиболее значимым **новым** результатам работы можно отнести следующие:

1. Исследован суб-ТГц фотоотклик по механизму Дьяконова – Шура полевого транзистора, выполненного на основе гетероструктуры с квантовыми ямами $\text{HgTe}/\text{CdHgTe}$ и выявлены характерные особенности фоточувствительности.

2. Для холловского мостика на основе гетероструктуры двумерного топологического изолятора – структуры с квантовыми ямами $\text{HgTe}/\text{CdHgTe}$ – с затвором определены положения уровней Ландау в широком диапазоне температур, и посредством анализа полученных температурных зависимостей впервые продемонстрирован топологический фазовый переход и определена его критическая температура.

3. В эпитаксиальных слоях твёрдого раствора $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ при оптической импульсной накачке и температуре 100 К получено стимулированное излучение на длине волны $\lambda \approx 8.4$ мкм. Эффект достигнут, по мнению автора, за счёт подавления безызлучательной рекомбинации Шокли – Рида – Холла при увеличении мощности возбуждения.

4. В гетероструктурах с квантовыми ямами $\text{HgTe}/\text{CdHgTe}$ с волноводными барьерными слоями получено стимулированное излучение на рекордной длине волны $\lambda \approx 10.2$ мкм в температурном диапазоне 18 - 80 К. Эффект достигнут за счёт подавления (по сравнению с объёмными слоями) безызлучательной Оже-рекомбинации.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность научных положений, результатов и выводов обусловлена применением общепризнанных современных экспериментальных методов. Интерпретация результатов измерений основана на фундаментальных физических принципах, и полученные данные не противоречат данным других научных групп. Полученные результаты неоднократно докладывались на многих международных и российских конференциях, опубликованы в рецензируемых журналах.

Положения, вынесенные на защиту, достаточно четко сформулированы и обоснованы на основе результатов диссертационной работы.

Основные результаты диссертации отражены в 59 опубликованных научных трудах, в том числе: 20 статей в реферируемых научных журналах, 39 тезисов докладов в сборниках конференций. Публикации и автореферат достаточно полно отражают содержание диссертации.

Диссертация, автореферат, количество опубликованных по теме диссертации печатных работ *соответствуют* требованиям ВАК, предъявленным к кандидатским диссертациям. Представленных в диссертации и автореферате данных достаточно для понимания заявленных элементов научной новизны и практической значимости, личного вклада соискателя, и иных результатов представленной работы.

Тема диссертационной работы и ее содержание соответствуют специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Замечания по работе:

1. В разделе 1.5.3.2 автор говорит о "положительном" и "отрицательном" сигнале фотоотклика (и пользуется этим при интерпретации данных), при этом недостаточно ясно поясняет причины, почему сигнал фотоотклика меняет знак. И вообще, какая полярность сигнала берется в качестве положительной – из схемы измерений, приведенной на рис. 30, определить это затруднительно.
2. В формулировке основных результатов (п.1) говорится "Исследованы спектры суб-ТГц фотоотклика...", в то время как регистрировалось излучение монохроматических источников. Понятно, что слово "спектры" здесь имеет тот же смысл, что и в экспериментах по циклотронному резонансу, т.е. зависимости сигнала от магнитного поля. Но, поскольку речь идет о фотоприемнике, то такая формулировка вводит в некое заблуждение, заставляя ожидать зависимости фоточувствительности от длины волны возбуждающего излучения.

Сделанные замечания не умаляют научную и практическую ценность диссертационной работы А.М.Кадыкова.

Заключение

Диссертация А.М.Кадыкова является законченной научно – квалификационной работой, в которой выявлены механизмы фотоотклика транзисторных элементов на основе гетероструктур с квантовыми ямами HgTe/CdHgTe, обнаружен фазовый переход

топологический изолятор – обычный полупроводник, получена генерация вынужденного излучения на межзонных переходах в эпитаксиальных слоях и гетероструктурах CdHgTe. Диссертационная работа А.М.Кадыкова «Фотоотклик и стимулированное излучение в структурах на основе соединений HgCdTe в среднем и дальнем ИК диапазонах» удовлетворяет требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, А.М.Кадыков, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 «Твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро- и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах».

Отзыв составил

ведущий научный сотрудник ОФТТ ФИАН

к.ф.-м.н.

Ю.А. Митягин

Доклад А.М. Кадыкова по данной диссертации и настоящий отзыв заслушаны и обсуждены 07 сентября 2018 года на Ученом совете Отделения физики твердого тела (ОФТТ) ФИАН, состав Ученого совета – 26 человек (протокол заседания Ученого совета ОФТТ № 05/18 от 07.09.2018 г., присутствовал 21 член Ученого совета). Результаты голосования: «за» - 21, «против» - 0, «воздерж.» - 0.

Председатель ученого совета ОФТТ ФИАН

член-корр. РАН

Н.Н. Сибельдин

Ученый секретарь Совета ОФТТ ФИАН

к.ф.-м.н.

О.М. Иваненко

119991, Россия, ГСП-1, Москва, Ленинский проспект, д.53

Телефон: +7 (499) 132-63-02

E-mail: ivanenko@sci.lebedev.ru