

603950, Нижний Новгород, ГСП-105
Диссертационный совет Д 002.069.03
при Федеральном государственном бюджетном
научном учреждении «Федеральный
исследовательский центр Институт прикладной
физики Российской академии наук»

ОТЗЫВ

На автореферат диссертации Кадыкова Александра Михайловича «Фотоотклик и стимулированное излучение в структурах на основе соединений HgCdTe в среднем и дальнем ИК диапазонах», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук (специальность 05.27.01 — твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах).

Диссертационная работа Кадыкова А.М. посвящена экспериментальному исследованию оптических и магнитотранспортных свойств структур на основе соединений HgCdTe. Значительное место в диссертации уделено экспериментальному изучению фотоотклика на ТГц излучение структур с КЯ HgTe/CdHgTe, природы топологического фазового перехода при изменении температуры в двумерных топологических изоляторах с КЯ HgTe/CdHgTe, а также спектров фотолуминесценции и стимулированного излучения в структурах с диэлектрическими волноводами и КЯ HgTe/CdHgTe. Благодаря значительному прогрессу в технологии роста (молекулярно-лучевой эпитаксии), достигнутому в последнее десятилетие, стало возможным получать эпитаксиальные структуры на основе HgCdTe высокого качества, как объемные слои твердого раствора $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$, так и гетероструктуры с квантовыми ямами (КЯ) HgTe/CdHgTe. В тоже время структуры на основе соединений HgCdTe представляют интерес как материал для детекторов среднего и дальнего инфракрасного (ИК) диапазона. Поскольку, HgTe имеет так называемую инвертированную зонную структуру с «отрицательной» шириной запрещенной зоны, а CdTe — нормальную зонную структуру, в твердых растворах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ можно получить произвольную ширину запрещенной зоны от 0 до 1.6 эВ. Вследствие этого данный материал широко используется для создания детекторов среднего ИК диапазона, в том числе работающих в окнах прозрачности атмосферы 3 – 5 мкм и 8 – 14 мкм, а также имеет перспективы для использования в дальнем ИК диапазоне. С другой стороны, такие структуры с КЯ HgTe/CdHgTe с толщиной близкой к критической за счёт высокой подвижности носителей заряда могут

быть использованы в качестве материала для полевых транзисторов (FET), детектирующих ТГц излучение по механизму Дьяконова — Шура. Значительный интерес представляет использование структур на основе HgCdTe в качестве источников излучения среднего и дальнего ИК диапазонов. Как известно, в среднем ИК диапазоне существуют квантово-каскадные лазеры (ККЛ), излучающие на длинах волн 3 – 20 мкм при комнатной температуре и обладающие большой мощностью. Также ККЛ работают и в ТГц диапазоне вплоть до частот порядка 5 ТГц. Однако, в области длин волн от 25 – 60 мкм ККЛ на основе традиционно используемых соединений АЗВ5 не могут работать вследствие сильного решеточного поглощения. Представляется, что именно в диапазоне 25 – 60 мкм лазеры на межзонных переходах на основе гетероструктур HgCdTe могут составить конкуренцию ККЛ на основе полупроводников АЗВ5, поскольку энергия оптических фононов в твердых растворах $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ существенно меньше и располагается в диапазоне 60 – 110 мкм. Поэтому тема диссертации, безусловно, является актуальной.

При выполнении диссертационной работы был получен целый ряд важных с фундаментальной точки зрения результатов. Так при исследовании ТГц фотоотклика полевого транзистора, выполненного на основе двумерного топологического изолятора с широкой КЯ HgTe/CdHgTe, помимо линий, обусловленных детектированием по механизму Дьяконова-Шура, была обнаружена дополнительная особенность в области магнитных полей, соответствующих антипересечению нулевых уровней Ландау в данной структуре. Возникновение данной особенности на спектрах ТГц фотоотклика, находящейся гораздо ниже уровня Ферми, автором диссертации связывается с проявлением многочастичных эффектов. Также при исследовании фотоотклика на ТГц излучение холловского мостика с затвором, выполненного на основе КЯ HgTe/CdHgTe, была выполнена «визуализация» уровней Ландау. При этом в ходе эксперимента получено положение нулевых уровней Ландау и значение критического магнитного поля, соответствующего их пересечению. В дальнейшем, при исследовании магнитотранспортных характеристик холловского мостика были получены «карты» уровней Ландау при различных температурах от 1.7 до 40 К. Анализируя положения нулевых уровней Ландау и отслеживая их пересечение при различных температурах впервые был наглядно продемонстрирован топологический фазовый переход между состоянием топологического изолятора и тривиального полупроводника и определена критическая температура, составившая 27 К. Отдельно надо отметить результаты исследования спектров межзонной фотолюминесценции и стимулированного излучения, в которых была экспериментально продемонстрирована возможность получения суперлюминесценции в эпитаксиальных плёнках $\text{Hg}_{1-x}\text{Cd}_x\text{Te}$ с составом $x_{\text{Cd}} \approx 0.22$ на

длине волны $\lambda \approx 8.4$ мкм, что существенно превышает опубликованные ранее в литературе результаты (5.3 мкм). По мнению автора диссертации, столь значительное увеличение максимально достижимой длины волны суперлюминесценции связано прежде всего с подавлением безызлучательной рекомбинации Шокли — Рида — Холла при увеличении мощности возбуждения. Впечатляющие результаты были получены также при исследовании спектров стимулированного излучения структур с КЯ HgTe/CdHgTe и диэлектрическими волноводами. В таких структурах за счёт подавления Оже рекомбинации в следствии симметричного закона дисперсии, было получено стимулированное излучение на рекордной для таких структур длине волны 10.2 мкм с низкой пороговой мощностью накачки (≈ 0.12 кВт/см² при 18 К и 1 кВт/см² при 80К).

В качестве замечания по автореферату можно отметить, что структура автореферата (и соответственно диссертации) выглядит немного необычной: диссертация разделена только на две главы, в первой излагаются результаты исследования детектирования ТГц излучения и топологического фазового перехода, а во второй – исследование спектров фотолюминесценции и стимулированного излучения. В большинстве случаев каждый оригинальный законченный результат оформляется в виде отдельной главы и присутствует глава, посвящённая обзору литературы по теме диссертации. Данное замечание, однако, не носит принципиального характера и не умаляет значимости представленного автором материала. Об уровне и степени новизны полученных результатов свидетельствует тот факт, что большинство из них опубликовано в реферируемых научных журналах.

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Кадыкова А.М. удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а автор по своей квалификации, заслуживает ему присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 05.27.01 — твердотельная электроника, радиоэлектронные компоненты, микро и нанoeлектроника, приборы на квантовых эффектах).

Андрианов Александр Васильевич,
доктор физико-математических наук

/А.В. Андрианов/

Подпись доктора физ.-мат. наук, в.н.с. А.В. Андрианова заверяю
Зав. отделом кадров ФТИ им. А.Ф. Иоффе



/Киселева И.Н./

ФИО: Андрианов Александр Васильевич

Ученая степень: доктор физ.-мат. наук

Специальность: 01.04.10 – физика полупроводников

Почтовый адрес: 194021, С. Петербург, ул. Политехническая, д. 26

Телефон: (812) 2927989

Адрес электронной почты: alex.andrianov@mail.ioffe.ru

Наименование организации: ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Ученое звание: Старший научный сотрудник

Должность: ведущий научный сотрудник лаборатории нелинейно оптических и фотоэлектрических явлений в полупроводниках ФТИ им. А.Ф. Иоффе, руководитель группы терагерцовой спектроскопии