



МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный
политехнический университет»
(ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

ИНН 7804040077, ОГРН 1027802505279,
ОКПО 02068574
Политехническая ул., 29, С.-Петербург, 195251
Телефон (812) 297-20-95, факс 552-60-80
E-mail: office@spbstu.ru

№ _____
на № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации

о диссертационной работе Г.Г.Коновалова «Создание и исследование высокоэффективных быстродействующих фотодиодов для средней ИК-области спектра (2-5 мкм) на основе узкозонных гетероструктур A^3B^5 », представленной на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 — физика полупроводников

В среднем ИК диапазоне длин волн (2–5 мкм) находятся линии поглощения многих природных, бытовых и промышленных газов и жидкостей. Именно это обстоятельство определяет повышенный научный и технический интерес к созданию источников и приемников излучения для этого диапазона. Такие приборы могут быть использованы в оптических системах контроля химического состава газообразных и жидких сред, а также в системах оптической связи и тепловидении. В настоящее время оптические анализаторы состава окружающей среды составляют порядка четверти от общего количества анализаторов всех других типов, и их доля постоянно растет благодаря совершенствованию светодиодов, лазеров и фотодиодов для этого диапазона длин волн.

Средневолновые приёмники ИК-излучения, обладающие повышенным быстродействием (времена фотоответа 10–100 пикосекунд), необходимы для систем наземной, подводной и космической оптической связи следующего поколения, для систем лазерной локации и дальнометрии, а также систем лазерной спектроскопии газов, жидкостей и твердых тел в безопасном для глаз человека диапазоне длин волн. Созданию и исследованию именно таких эффективных и быстродействующих фотоприёмников на основе узкозонных соединений A^3B^5 , GaSb, InAs, InSb и их твердых растворов, посвящена диссертационная работа Коновалова Г.Г. В этом состоит **актуальность** темы диссертационной работы.

В своей работе автор всесторонне анализирует влияние различных факторов на быстродействие фотодиодов и грамотно намечает пути решения проблемы. В результате



УТВЕРЖДАЮ
Проректор СПбПУ по научной
работе
Райчук Д.Ю.

22.09.2014 г.

им создана серия объемных и квантово-размерных гетероструктур из узкозонных соединений в системах GaSb-InAs, InAs-InSb с активными областями различного состава, перекрывающих по fotocувствительности диапазон длин волн 1–5 мкм и имеющих повышенное быстродействие по сравнению с имеющимися отечественными и зарубежными разработками.

Из наиболее важных **новых научных результатов** можно выделить следующие.

1. Для диапазона 1–2,4 мкм созданы $p-i-n$ -фотодиоды с активной областью из GaInAsSb, изопериодичной с подложкой GaSb, и быстродействием 50–100 пс, достигнутом за счет оригинальной конструкции диода с пространственно разделенными fotocувствительной и контактной площадками, что позволило уменьшить размер чувствительной области и полную емкость фотодиода.

2. Для диапазона 1–4,8 мкм созданы фотодиоды на подложках InAs с активными областями из InAsSb с повышенными квантовой эффективностью и удельной обнаружительной способностью, достигнутыми за счет формирования криволинейной отражающей поверхности на тыльной стороне фотодиодов. Способ улучшения характеристик средневолновых фотодиодов запатентован.

3. Показано, что в фотодиодах, изготовленных из гетероструктур с квантовыми ямами, с увеличением числа квантовых ям уменьшается полная емкость диодов, что приводит к увеличению их быстродействия.

4. В фотодиодах на основе гетероструктуры n -GaSb/AlAsSb/InAsSb/AlAsSb/ p -GaSb с глубокой квантовой ямой в активной области обнаружен эффект умножения фототока в электрических полях, меньших 10^4 В/см, вызванный электронами, дополнительно разогретыми на скачке потенциала в зоне проводимости между потенциальным барьером и первым электронным уровнем квантовой ямы. Такой тип гетероструктур можно рекомендовать для создания фотодиодов с повышенной квантовой эффективностью.

Все перечисленные разработки автора оригинальны, их научная новизна и практическая значимость бесспорны, достоверность полученных результатов не вызывает сомнения.

По материалам диссертации имеются следующие **вопросы и замечания**.

1. В обзоре литературы, приведенном в диссертации, имеется только перечисление, но нет сравнительного анализа достижений других авторов.

2. Не анализируются и не приведены погрешности для использованных автором методов измерений.

3. Хотя все научные положения, вынесенные на защиту, важны и обладают новизной, но лишь первое из четырех имеет прямое отношение к названию диссертации.

4. Как влияет размер отражающих полусфер, вытравленных на тыльной стороне фотодиода, на величину квантового выхода?

5. К сожалению, прямое измерение быстродействия выполнено только для наиболее коротковолновых из созданных автором фотодиодов в рассматриваемом диапазоне длин волн.

6. Имеются небрежности в оформлении диссертации: опечатки, отсутствие знаков препинания, фразы с пропущенными словами, несоответствие данных на рисунке 60 и в таблице 3 на стр. 130, некорректное изображение зонных диаграмм для гетероструктур на рисунках 56 и 57.

Указанные недостатки не затрагивают основного содержания диссертации и не изменяют общей положительной оценки работы. Результаты работы полно отражены в трудах автора и докладывались на конференциях самого высокого уровня. Автореферат соответствует содержанию и выводам диссертации.

Результаты диссертационной работы представляют интерес для таких организаций как Институт радиоэлектроники РАН (Москва), Физический институт им. А.А.Лебедева РАН (Москва), Институт физики полупроводников СО РАН (Новосибирск), Институт физики микроструктур РАН (Нижний Новгород), Академический физико-технологический университет (Санкт-Петербург), Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ» (Санкт-Петербург), а также для других организаций, специализирующихся на создании и применении приборов полупроводниковой оптоэлектроники: ФГУП «НПО» Орион» (Москва), ФГУП «НПП «Исток» (Фрязино), НПО «Планета» (Великий Новгород)», ФГУП «НИИ «Полус» (Москва).

По объему выполненных исследований, актуальности решенных задач, научной новизне и практической значимости полученных результатов диссертационная работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Коновалов Г. Г., заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Отзыв составлен на основании рассмотрения диссертации и доклада автора на научном семинаре кафедры физики полупроводников и наноэлектроники Института физики, нанотехнологий и телекоммуникаций СПбПУ.

Отзыв обсужден и одобрен на заседании кафедры физики полупроводников и наноэлектроники 18 сентября 2014 г., протокол №2.

Заведующий кафедрой физики полупроводников
и наноэлектроники, профессор, д.ф.-м.н.



Д.А. Фирсов

Профессор кафедры, д.ф.-м.н.



В.Г.Сидоров

Секретарь кафедры, ст. инженер



Л.С.Свешкова