



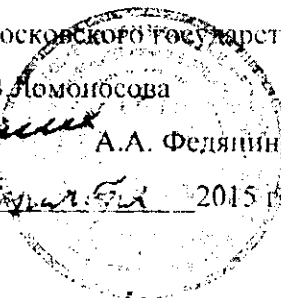
**МОСКОВСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**
имени
М.В. ЛОМОНОСОВА
(МГУ)

Ленинские горы, Москва,
ГСП-1, 119991
Тел.: 939-10-00, 203-65-65
Факс: 939-01-26

“Утверждаю”

Проректор Московского государственного университе-
та имени М.В. Ломоносова

А.А. Федяцин
А.А. Федяцин
“11” апреля 2015 г.



10.04.10 № 2015-01-00-00
На № _____

О Т З Ы В

ведущей организации на диссертацию Папроцкого С.К. на тему: «Транспортные явления в объемном Ge и наноструктурах на основе Si, GaAs и InAs, перспективных для генерации ТГц излучения», представленную на соискание ученой степени кандидата физико - математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Инфракрасная и терагерцовая оптоэлектроника является одним из магистральных направлений развития современной твердотельной электроники. В рамках данного направления важной областью деятельности является разработка новых материалов для создания высокоэффективных твердотельных излучателей терагерцового диапазона. В работе С.К. Папроцкого исследуется данная возможность в применении к легированному Ge, а также к наноструктурам на основе Si, GaAs и InAs. Ранее в такого рода исследованиях вопросы, связанные с механизмами возбуждения терагерцовых колебаний, рассматривались лишь в общих чертах, многие проблемы, в частности, характер зависимости времени жизни неравновесных носителей заряда от условий возбуждения, оставались вне рамок проводившихся исследований. В то же время эта проблематика фактически определяет возможности практического использования данных устройств. Именно указанная группа вопросов является предметом рассмотрения в диссертации С.К. Папроцкого, что делает тематику работы актуальной.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения с основными выводами работы, списка опубликованных работ по теме диссертации и списка неиспользуемой лите-

ратуры. Материал диссертации изложен на 125 страницах и содержит 71 рисунок и 117 наименований цитируемых источников.

Во введении приводится обоснование актуальности исследований, сформулирована цель работы, поставлены конкретные задачи. Обсуждается научная новизна, практическая значимость работы, приведены сведения об апробации научных результатов. Представлены положения, выносимые на защиту.

Первая глава диссертации представляет собой обзор литературы по теме диссертации. Приводится краткая историческая справка по направлениям диссертации, указываются основные результаты, известные к началу её выполнения. Приводится описание условий и механизмов возникновения ТГц излучения в одноосно деформированном p-Ge, напряжённых структурах SiGe/Si, в туннельных структурах и квантово-каскадных лазерах.

Во второй главе работы описаны исследования одноосно деформированного p-Ge. Приведено описание исследуемых образцов и экспериментальных методик. В разделах 3 и 4 изложены полученные экспериментальные результаты для образцов с умеренной и сильной компенсацией акценторов. Обсуждаются основные различия в кинетике проводимости этих кристаллов, проявляющиеся на ВАХ и в кинетике нарастания тока при развитии пробоя мелкой примеси за счет ударной ионизации свободными дырками. Приведены экспериментальные полевые зависимости характерных времен развития пробоя и рекомбинации свободных дырок в широком диапазоне напряжений для образцов с различной компенсацией и при различных приложенных давлениях. Приведено объяснение полученных экспериментальных результатов и дано его теоретическое обоснование. В частности, показано, что исследование кинетики тока дает возможность идентифицировать процессы, участвующие в ионизации примеси. Показано также, что в кинетике тока отражаются изменения в механизмах разогрева свободных носителей.

В третьей главе диссертации изложены результаты исследования напряженных структур SiGe/Si. Приведены характеристики исследованных образцов и основные экспериментальные результаты. Исследовано влияние инжекции из контактов на возбуждение стимулированного терагерцового излучения в структурах Si/SiGe/Si с одиночной квантовой ямой p-SiGe. Обсуждаются обнаруженные явления, обусловленные инжекцией: возникновение затухающих осцилляций, появление отрицательного тока в начале импульса напряжения, задержка возбуждения терагерцового излучения во времени, зависящая от величины приложенного напряжения, а также срыв генерации при увеличении длительности фронта импульса. Эти явления связываются с нестационарной инжекцией электронов в подложке n-Si и с возбуждением волн пространственного заряда.

Предложена модель, связывающая возникновение внутрицентральной инверсии с нестационарной инжекцией электронов из контакта в подложку n-Si.

В четвертой главе работы представлены результаты исследования проводимости короткопериодных сверхрешеток и диаграммы направленности излучения квантово-каскадного лазера с волноводом на поверхностных плазмонах в дальней зоне. Изложены характеристики исследованных образцов и используемые методики измерений, приводятся полученные экспериментальные результаты, сравниваются режимы резонансного и нерезонансного туннелирования, приводятся доказательства влияния оптического резонатора на туннельный транспорт в короткопериодных сверхрешетках в режимах нерезонансного и резонансного туннелирования. Даются выводы по результатам проведенных исследований. Кроме того, приводится описание квантово-каскадного лазера с волноводом на поверхностных плазмонах, диаграмма направленности его излучения и даются выводы.

В заключении приведены основные результаты работы.

Результаты исследований, проведенных С.К. Папроцким, представляют несомненный практический интерес. Они доказывают принципиальную возможность создания светоизлучающих приборов на основе р-Ge, структур Si/SiGe, а также короткопериодных сверхрешеток на основе InAs на терагерцовый спектральный диапазон. Полученные в работе результаты рекомендуются к использованию в следующих организациях: МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИАН, ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН, ИФМ РАН (Нижний Новгород), ИФП СО РАН (Новосибирск), и в других институтах РАН, НПО «Орион» и организациях Министерства образования и науки.

Вместе с тем, по диссертации можно высказать ряд вопросов и замечаний:

1) При рассмотрении вольт-амперных характеристик образцов р-Ge с умеренной степенью компенсации (рис. 2.3) отмечается, что практически вертикальный рост тока, наблюдающийся в электрических полях около 10 В/см, что связывается с ударной ионизацией примеси. Далее отмечается сдвиг этого участка в область меньших полей при увеличении давления, что связывается с уменьшением энергии связи акцепторов. Однако одновременно скорость нарастания тока тоже резко падает, увеличение тока с напряжением уже не является пороговым, как при нулевом давлении. Причины этого эффекта в работе, к сожалению, не обсуждаются.

2) При анализе кинетики излучения напряженных гетероструктур на основе SiGe (рис. 3.4а) появляется заметный отрицательный сигнал фотоприемника при малых временах,

который затем сменяется положительным задержанным сигналом. Что означает этот «отрицательный сигнал», в работе не объясняется.

3) В работе имеются только косвенные свидетельства наличия терагерцового излучения из сверхрешеток на основе InAs. Конечно, хотелось бы иметь прямые экспериментальные доказательства наличия такого излучения, а также его спектральной зависимости.

Отмеченные замечания не носят принципиального характера и не влияют на достоверность и значимость полученных результатов и выводов. Диссертация С.К. Папроцкого является законченной научно-квалификационной работой и содержит решение задач в области определения транспортных свойств одноосно деформированного р-Ge, напряжённых структур SiGe/Si и сверхрешёток InAs/AlSb и GaAs/AlAs, имеющих важное значение для развития физики полупроводников. Новизна и достоверность полученных результатов не вызывают сомнений. Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации, научные результаты диссертации опубликованы в статьях автора в рецензируемых научных изданиях. В целом, диссертация С.К. Папроцкого удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 23 сентября 2013 г. №842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам автор заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 – физика полупроводников.

Доклад С.К. Папроцкого заслушан на заседании кафедры общей физики и физики конденсированного состояния физического факультета МГУ. Отзыв подготовлен профессором Д.Р. Хохловым и обсужден на заседании кафедры 6 октября 2015 г., протокол №7.

Зав. кафедрой общей физики и физики конденсированного состояния

физического факультета МГУ

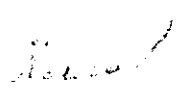
член-корр. РАН, профессор

Дмитрий Ремович Хохлов

Адрес: Ленинские горы, д.1, стр.2, Москва 119991

Тел. (495)-939-11-51

E-mail: khokhlov@mig.phys.msu.ru



Д.Р.Хохлов