

О Т З Ы В

официального оппонента доктора физико-математических наук Мурзина Владимира Николаевича на диссертацию Папроцкого Станислава Константиновича «Транспортные явления в объемном Ge и наноструктурах на основе Si, GaAs и InAs, перспективных для генерации ТГц излучения», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - Физика полупроводников.

Диссертация Папроцкого С.К. посвящена одной из актуальных в настоящее время проблем, связанных с изучением и освоением самого коротковолнового участка радиодиапазона электромагнитных волн, соответствующего области терагерцовых частот. Этот диапазон частот представляет особый интерес для множества практических приложений, в том числе, в области глобальных метеорологических наблюдений, в радарных системах, в астрономических системах космического базирования, в медицине, в спектроскопии и во многих других областях. Тем не менее, до сих пор он остается наименее изученным и требует всесторонних исследований, прежде всего, в плане создания перестраиваемых и достаточно мощных источников ТГц излучения и высокочувствительных и малоинерционных когерентных или широкополосных приемных элементов детектирования. В соответствии со сказанным тема данной диссертационной работы и поставленные в ней задачи, направленные на изучение характеристик и совершенствование генераторных полупроводниковых структур и создание на их основе нового типа генераторов ТГц излучения, представляется актуальной, как с точки зрения фундаментальной науки, так и с точки зрения практических приложений.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и списка литературы.

В главе 1 дан обзор научных работ по теме диссертации. Приводится описание условий и механизмов возникновения ТГц излучения в одноосно деформированном p-Ge, напряжённых структурах SiGe/Si, в туннельных наноструктурах и квантово-каскадных лазерах.

В главе 2 изложены результаты исследования кинетики установления проводимости одноосно деформированных кристаллов p-Ge(Ga) с различной степенью компенсации под действием приложенного импульсного электрического поля при различных давлениях. Экспериментально определены зависимости характерного времени рекомбинации свободных дырок от электрического поля для различных

давлений и степени компенсации. Обнаружено, что эти зависимости резко немонотонны. Показано, что появление максимумов на этих зависимостях вызвано влиянием на захват дырок ионизованными примесями ударной ионизации примесей в предпробойных полях. Обнаруженное насыщение времени рекомбинации в полях выше пробойных объясняется релаксацией токового шнура.

В главе 3 изложены результаты исследования напряжённых структур Si/SiGe/Si. Исследовано влияние инжекции из контактов на возбуждение стимулированного излучения ТГц излучения в структурах Si/SiGe/Si с одиночной квантовой ямой p-SiGe. Обнаружены явление возникновения затухающих осцилляций, появление отрицательного тока в начале импульса напряжения, задержка возбуждения ТГц излучения во времени, зависящая от величины приложенного напряжения, и возникновение срыва генерации при увеличении длительности фронта импульса. Все эти особенности объясняются нестационарной инжекцией электронов в подложку n-Si и возбуждением волны пространственного заряда. Предложена модель, связывающая возникновение внутри-центральной инверсии с нестационарной инжекцией электронов из контакта в подложку n-Si.

В главе 4 представлены результаты исследования проводимости короткопериодных сверхрешёток InAs/AlSb (гетеропереходы I рода) и GaAs/AlAs (гетеропереходы II рода) и диаграммы направленности излучения квантово-каскадного лазера (ККЛ) с волноводом на поверхностных плазмонах в дальней зоне. В СР InAs/AlSb обнаружено возникновение отрицательной дифференциальной проводимости при комнатной температуре, явление возникновения эквидистантных максимумов на вольт-амперной характеристике в режиме нерезонансного туннелирования, объясняемое усилением интенсивности спонтанного излучения на резонансной частоте резонатора за счёт эффекта Пёрселла и подавлением его вдали от резонанса. В СР GaAs/AlAs зарегистрирован другой эффект, обусловленный влиянием ТГц оптического резонатора на транспорт в режиме резонансного туннелирования, который объясняется возбуждением ТГц резонатора за счёт отрицательной динамической проводимости СР. Измерена интерференционная картина излучения в дальнем поле квантово-каскадного лазера (2.835 ТГц) с волноводом на поверхностных плазмонах, позволившая судить о реальной структуре лазерного резонатора, состоящего, как показано, из двух резонаторов: активного (собственно, лазера) и пассивного, образованного металлическим контактными слоем и подложкой.

Оценивая диссертацию в целом, можно заключить, что диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Диссертантом проведены тонкие

экспериментальные исследования и получена принципиально важная информация о закономерностях транспортных явлений в объемном Ge и полупроводниковых наноструктурах на основе Si, GaAs и InAs, перспективных для генерации ТГц излучения. Обнаружены новые явления и предложены модели их объяснения. Достоверность полученных результатов базируется на надежности разработанных автором и использованных в данной работе экспериментальных методов измерения. Материал диссертации изложен логично и хорошим языком.

Вместе с тем в тексте не часто, но встречаются опечатки (стр.57, 69), и можно высказать некоторые критические замечания.

1. В выводе (п.3) диссертации, касающемся обнаружения немонотонных зависимостей времени рекомбинации свободных дырок от электрического поля и возникновения максимумов в кристаллах p-Ge(Ga) с различным содержанием компенсирующей примеси, не отмечен тот факт, что возникновение максимумов зарегистрировано только в случае средне-компенсированных кристаллов. Хотя в тексте диссертации обсуждаются причины отсутствия максимумов в случае измерений, выполненных в сильно компенсированных кристаллах.

2. При анализе особенностей обнаруженного явления возникновения эквидистантных максимумов на вольт-амперных характеристиках в режиме нерезонансного туннелирования в короткопериодных сверхрешётках InAs/AlSb, на мой взгляд, было бы уместно более подробное обсуждение физической природы этого явления, помимо ссылки на эффект Перселла. Стоило также большее внимание уделить объяснению проявления и отсутствия этого эффекта в режиме нерезонансного туннелирования, соответственно, в случае CP структур InAs/AlSb и CP структур GaAs/AlAs.

Приведенные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы С.К. Папроцкого, которая содержит научные результаты, важные как с точки зрения фундаментальной физики, так и в плане практических приложений.

Автореферат хорошо отражает содержание диссертации и написан в соответствии с правилами ВАК РФ.

Учитывая целенаправленность работ и объем выполненных диссертантом экспериментальных исследований, полученные надёжные данные об особенностях транспортных явлений в исследованных объемных полупроводниках и полупроводниковых наноструктурах, перспективных для генерации ТГц излучения, считаю, что данная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Папроцкий Станислав Константинович,

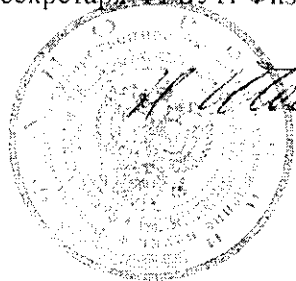
заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.10 - физика полупроводников.

01.10.2015 г.

Доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник
Отделения физики твердого тела ФГБУН Физического института им. П.Н.Лебедева
РАН

Мурзин В. Н.

Подпись Мурзина В.Н. удостоверяю.
и.о. ученого секретаря ФГБУН Физического института им П.Н. Лебедева, к.ф.-м.н.



Топчиев Н. П.

ФИО: Мурзин Владимир Николаевич

Учёная степень: доктор физико-математических наук

Специальность: 01.04.10 физика полупроводников

Почтовый адрес: 119991, г. Москва, Ленинский проспект, д.53

Телефон: +7 (499) 132-67-44

Адрес электронной почты: murzin@sci.lebedev.ru

Наименование организации: ФГБУН Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

Учёное звание: профессор

Должность: главный научный сотрудник Отделения физики твердого тела
ФГБУН Физического института им. П.Н.Лебедева РАН