

УДК 537.311.322:621.315.592
ББК 22.379.23
Э651

Рецензенты:

О. Н. Коротаев - доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики факультета физики и информационных технологий МПГУ;

И. А. Васильева - доктор физико-математических наук, профессор кафедры общей и экспериментальной физики факультета физики и информационных технологий МПГУ.

Э651 **Чулкова Г. М., Корнеев А. А., Смирнов К. В., Окунев О. В., Семенов А. В., Дивочий А. В., Тархов М. А., Воронов Б. М., Каурова Н. С., Селезнев В. А., Гольцман Г. Н.** Энергетическая релаксация в примесных металлах, двумерном электронном газе в AlGaAs/GaAs, сверхпроводниковых пленках NbN, и детекторы субмиллиметрового и ИК-излучения на их основе: монография – М.: МПГУ, 2012. – 140 с.

Монография посвящена обзору исследований влияния эффектов электронного беспорядка на электрон-фононное взаимодействие в металлах, сверхпроводниках, полупроводниках, а также в различных низкоразмерных структурах. Актуальность поднятых в монографии вопросов определяется интенсивным развитием нанотехнологий, созданием новых наноструктурированных материалов и уникальных наноэлементов для электроники и фотоники. Упругое электронное рассеяние на границах наноструктур качественно меняет взаимодействие электронов с фононами, что, безусловно, должно учитываться при проектировании соответствующей элементной базы. Прикладная часть работы посвящена контролируемой модификации электронных процессов для оптимизации новых наносенсоров на основе электронного разогрева в сверхпроводниковых и полупроводниковых структурах.

Монография предназначена для студентов старших курсов, аспирантов и начинающих исследователей, работающих в области сверхпроводниковой наноэлектроники.

ISBN 978-5-4263-0118-4

© Авторский коллектив, 2012

© МПГУ, 2012

© Оформление. Издательство «Прометей», 2012

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНКАХ И ДВУМЕРНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ГАЗЕ В ALGAAS/GAAS-ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ	9
1.1. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ В МЕТАЛЛАХ.....	9
1.2. ЯВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОН-ФОНОН-ПРИМЕСНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ. ТЕОРИЯ.....	13
1.3. ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИМЕСНЫХ МЕТАЛЛОВ. ЭКСПЕРИМЕНТ.....	17
1.4. ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ.....	20
1.5. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДВУМЕРНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ГАЗЕ.....	25
1.6. ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ.....	31
ГЛАВА 2. РАЗОГРЕВ ЭЛЕКТРОНОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ РЕЛАКСАЦИЯ В ТОНКИХ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ ПЛЕНКАХ. ОБЗОР	35
2.1. МЕХАНИЗМ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОТКЛИКА ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ОДИНОЧНЫХ ФОТОНОВ В СВЕРХПРОВОДНИКОВОЙ ТОНКОЙ ПЛЕНКЕ В УСЛОВИЯХ ПРОТЕКАНИЯ ТРАНСПОРТНОГО ТОКА.....	35
2.2. О МЕХАНИЗМЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ТЕМНОВЫХ ОТСЧЕТОВ СВЕРХПРОВОДНИКОВОГО ДЕТЕКТОРА.....	42
2.3. ФОРМА И ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ИМПУЛЬСА НАПРЯЖЕНИЯ.....	
2.4. СПЕКТРАЛЬНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	45
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	49
3.1. МЕТОДИКА НИЗКОЧАСТОТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ И ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЕНОК NB, AL, BE.....	49
3.2. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОБРАЗЦОВ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ ОДНОФОТОННЫХ ДЕТЕКТОРОВ.....	54
3.3. МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И СКОРОСТИ ТЕМНОВЫХ СРАБАТЫВАНИЙ.....	58
3.4. МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОЙ ЗАВИСИМОСТИ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ В ДИАПАЗОНЕ ДО 6 МКМ И ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 2–4,9 К.....	67
3.5. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ВРЕМЕНИ РЕЛАКСАЦИИ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ В 2D-КАНАЛЕ ALGAAS/GAAS-ГЕТЕРОСТРУКТУР С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРОМЕТРА-РЕЛАКСОМЕТРА НА ЛАМПАХ ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ И ОПИСАНИЕ ИССЛЕДУЕМЫХ ОБРАЗЦОВ.....	68

ГЛАВА 4. ВЛИЯНИЕ ИНТЕРФЕРЕНЦИИ ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОГО И ЭЛЕКТРОН-ПРИМЕСНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НА ПРОВОДИМОСТЬ ПРИМЕСНЫХ МЕТАЛЛОВ.....	73
4.1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.....	73
4.2. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	76
4.3. КОНСТАНТЫ ЭЛЕКТРОН-ФОНОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ....	83
4.4. СКОРОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ.....	84
4.5. ВЫВОДЫ.....	88
ГЛАВА 5. ВРЕМЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ РЕЛАКСАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ В ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ ALGAAS/GAAS ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ.....	89
5.1. ВОЛЬТ-АМПЕРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ. ОСЦИЛЛЯЦИИ ШУБНИКОВА–ДЕ ГААЗА.....	89
5.2. ОСНОВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ.....	92
5.3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	96
5.4. ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИССЛЕДОВАННЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУР ДЛЯ СОЗДАНИЯ ПРИЕМНИКОВ СУБМИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА.....	98
5.5. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.....	99
ГЛАВА 6. СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ОДНОФОТОННЫЕ ДЕТЕКТОРЫ НА ОСНОВЕ УЛЬТРАТОНКОЙ ПЛЕНКИ NVN.....	100
6.1. ЭФФЕКТ ОДНОФОТОННОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ В НАНОСТРУКТУРАХ ИЗ ТОНКОЙ СВЕРХПРОВОДНИКОВОЙ ПЛЕНКИ NVN.....	100
6.2. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	105
6.3. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ.....	110
6.4. ЗАВИСИМОСТЬ КВАНТОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОТ ТОЛЩИНЫ СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ ПЛЕНКИ.....	111
6.5. ЗАВИСИМОСТЬ СКОРОСТИ ТЕМНОВОГО СЧЕТА ОТ ТРАНСПОРТНОГО ТОКА.....	114
6.6. КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И МОЩНОСТЬ, ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШУМУ NVN-ДЕТЕКТОРОВ НА ДЛИНАХ ВОЛН 1,26–6 МКМ И ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУР 2–4,9 К.....	117
6.7. МОЩНОСТЬ, ЭКВИВАЛЕНТНАЯ ШУМУ.....	121
6.8. ПРИМЕНЕНИЕ ОДНОФОТОННЫХ СВЕРХПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ.....	122
6.9. ВЫВОДЫ.....	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	126
ПРИЛОЖЕНИЕ. РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ В ПРИМЕСНЫХ МЕТАЛЛАХ НА ПРИМЕРЕ NV С ПОМОЩЬЮ ИНТЕГРИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МАТНСАД.....	127
СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ АВТОРОВ.....	129
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	131