



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ДАГЕСТАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физический факультет

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
**МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ И
СТРУКТУР ЭЛЕКТРОНИКИ**
Кафедра экспериментальной физики

Образовательная программа
11.03.04- Электроника и нанoeлектроника

Профили подготовки:
Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Форма обучения:
Очная

Статус дисциплины:
Базовая

Махачкала 2017


Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.04- Электроника и наноэлектроника, профиль подготовки: микроэлектроника и твердотельная электроника (уровень: Бакалавриат)– Приказ Минобрнауки России от 12.03.2015 №218.

Разработчик (и): кафедра экспериментальной физики, Курбанов М.К., к.ф.-м.н., доцент

Рабочая программа дисциплины одобрена: на заседании кафедры экспериментальной физики от «31» марта 2017г., протокол № 8

Зав. кафедрой —  Садыков С.А.

на заседании Методической комиссии физического факультета от «31» марта 2017г., протокол № 7.

Председатель —  Мурлиева Ж.Х.

Рабочая программа дисциплины согласована с учебно-методическим управлением

«3» апреля 2017г.  Гасангаджиева А.Г.

СОДЕРЖАНИЕ

Аннотация рабочей программы	3
1. Цели освоения дисциплины.....	4
2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.....	4
3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины.....	5
4. Объем, структура и содержание дисциплины.....	8
5. Образовательные технологии.....	15
6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов...	17
7. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.....	17
7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.....	18
7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.....	19
7.3. Типовые контрольные задания.....	22
7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.....	32
8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	33
9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.....	34
10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины...	35
11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.....	36
12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	36

Аннотация рабочей программы дисциплины

Дисциплина «Методы исследования материалов и структур электроники» входит в базовую, часть образовательной программы бакалавриата по направлению 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника. Дисциплина реализуется на физическом факультете кафедрой экспериментальной физики.

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с проблемами современной физики полупроводников, физического материаловедения, методов исследования и контроля параметров материалов электронной техники.

Дисциплина нацелена на формирование следующих компетенций выпускника:

общекультурных: способностью к самоорганизации и самообразованию (ОК-7);

общепрофессиональных: способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1); способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2);

профессиональных: готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-3).

Преподавание дисциплины предусматривает проведение следующих видов учебных занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа.

Рабочая программа дисциплины предусматривает проведение следующих видов контроля успеваемости в форме: тестирование, индивидуальное собеседование, письменные контрольные задания и пр. и промежуточный контроль в форме зачета.

Объем дисциплины **4** зачетных единиц, в том числе в академических часах по видам учебных занятий:

Семестр	Учебные занятия						СРС, в том числе экзамен	Форма промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)
	в том числе							
	Контактная работа обучающихся с преподавателем							
	Всего	из них						
Лекции		Лабораторные занятия	Практические занятия	КСР	консультации			
6	72	18		22	32	1		зачет
7	72	18		28	26	1		зачет
6, 7	144	36		50	58	2		2 зачета

1. Цели освоения дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники» является формирование знаний в области экспериментальных методов исследования состава, структуры, электрофизических и оптических свойств материалов электронной электроники, которые являются основными для производственного контроля качества полупроводниковых материалов и структур, и составляет основу многих лабораторных методов исследования в области физики полупроводников и полупроводниковых материалов.

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Дисциплина «Методы исследования материалов и структур электроники» входит в федеральный компонент цикла специальных дисциплин и является обязательной для изучения.

Основные требования к «входным» знаниям, умениям и готовностям обучающегося, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин: знание основ высшей математики, основ общей физики, особенно разделов электричество, оптика, атомная физика,

Для успешного освоения дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники» студенты должны иметь знания по дисциплинам теоретические основы электроники, физика твердого тела, физика полупроводников и квантово-оптическая физика.

Освоению дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники» должно предшествовать изучение дисциплин «Материалы электронной техники», «Физика полупроводников».

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (перечень планируемых результатов обучения) .

Выпускник по направлению подготовки 11.03.04 - «Электроника и наноэлектроника» с квалификацией (степенью) «бакалавр» в соответствии с задачами профессиональной деятельности и целями основной образовательной программы должен обладать следующими компетенциями:

а) Общекультурные компетенции (ОК):

- в ситуациях риска, брать на себя всю полноту ответственности (ОК-5);
- готов к активному общению с коллегами в научной, производственной и социально-общественной сферах деятельности (ОК-6);
- способен адаптироваться к изменяющимся условиям, переоценивать накопленный опыт, анализировать свои возможности (ОК-7);
- способен позитивно воздействовать на окружающих с точки зрения соблюдения норм и рекомендаций здорового образа жизни (ОК-8);

- готов использовать знания правовых и этических норм при оценке последствий своей профессиональной деятельности, при разработке и осуществлении социально значимых проектов (ОК-9);

б) профессиональными (ПК):

Общепрофессиональные компетенции:

- способен использовать результаты освоения фундаментальных и прикладных дисциплин магистерской программы (ПК -1);
- способен демонстрировать навыки работы в научном коллективе, порождать новые идеи (креативность) (ПК -2);
- способен понимать основные проблемы в своей предметной области, выбирать методы и средства их решения (ПК -3);
- способен самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения, в том числе в новых областях знаний, непосредственно не связанных со сферой деятельности (ПК -4);
- способен к профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов (в соответствии с целями магистерской программы) (ПК -5);
- готов оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы (ПК -6);

Компетенции по видам деятельности:

Проектно-конструкторская деятельность:

- способен анализировать состояние научно-технической проблемы путем подбора, изучения и анализа литературных и патентных источников (ПК -7);
- готов определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ (ПК -8);
- умеет проектировать устройства, приборы и системы электронной техники с учетом заданных требований (ПК -9);
- способен разрабатывать проектно-конструкторскую документацию в соответствии с методическими и нормативными требованиями (ПК -10).

Проектно-технологическая деятельность:

- способен разрабатывать технические задания на проектирование технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники (ПК -11);
- владеет методами проектирования технологических процессов производства материалов и изделий электронной техники с использованием автоматизированных систем технологической подготовки производства (ПК -12);
- умеет разрабатывать технологическую документацию на проектируемые устройства, приборы и системы электронной техники (ПК -13);
- готов обеспечивать технологичность изделий электронной техники и процессов их изготовления, оценивать экономическую эффективность технологических процессов (ПК -14);

- готов осуществлять авторское сопровождение разрабатываемых устройств, приборов и системы электронной техники на этапах проектирования и производства (ПК -15).

Научно-исследовательская деятельность:

- готов формулировать цели и задачи научных исследований в соответствии с тенденциями и перспективами развития электроники и наноэлектроники, а также смежных областей науки и техники, обоснованно выбирает теоретические и экспериментальные методы и средства решения сформулированных задач (ПК -16);

- умеет с использованием современных языков программирования разрабатывать и обеспечивать программную реализацию эффективных алгоритмов решения сформулированных задач (ПК -17);

- знает и владеет принципами планирования и автоматизации эксперимента на основе информационно-измерительных комплексов как средства повышения точности и снижения затрат на его проведение, владеет навыками измерений в реальном времени (ПК -18);

- способен к организации и проведению экспериментальных исследований с применением современных средств и методов (ПК -19);

- способен делать научно-обоснованные выводы по результатам теоретических и экспериментальных исследований, давать рекомендации по совершенствованию устройств и систем, готовить научные публикации и заявки на изобретения (ПК -20);

Организационно-управленческая деятельность:

- способен организовывать работу коллективов исполнителей (ПК -21);

- готов участвовать в поддержании единого информационного пространства планирования и управления предприятием на всех этапах жизненного цикла производимой продукции (ПК -22);

- готов участвовать в проведении технико-экономического и функционально-стоимостного анализа рыночной эффективности создаваемого продукта (ПК -23);

- способен участвовать в подготовке документации для создания и развития системы менеджмента качества предприятия (ПК -24);

- способен разрабатывать планы и программы инновационной деятельности в подразделении (ПК -25).

Научно-педагогическая деятельность:

- способен проводить лабораторные и практические занятия со студентами, руководить курсовым проектированием и выполнением выпускных квалификационных работ магистров (ПК -26);

- владеет навыками разработки учебно-методических материалов для студентов по отдельным видам учебных занятий (ПК -27).

В результате изучения дисциплины «Методы контроля параметров полупроводниковых материалов» студент должен:

1.2.1. Знать и уметь использовать:

физические принципы наиболее распространенных экспериментальных методов контроля материалов и структур, используемых в электронике и твердотельных компонентах электронной техники, условия реализации и границы применения методов.

1.2.2. Иметь навыки:

- применения современных методов исследования структур и характеристик материалов и компонентов твердотельной электроники, интерпретации экспериментальных данных;
- работы с аппаратурой и приборами, которые могут быть использованы для этих целей.

4. Объем, структура и содержание дисциплины.

4.1. Объем дисциплины составляет 4 зачетных единиц, 144 академических часов.

4.2. Структура дисциплины.

№ п/п	Разделы и темы дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контр (по неделям семест.). Формы промеж. Аттестац (по семест)
				Лекции	Практич. и семинары	Лаборат. работы	
1	Введение. Основные понятия. Контроль, виды контроля. Измерение, элементы измерения, погрешность измерения.	6		4	4	0	Домашнее задание (ДЗ) Собеседование (С) Рейтинговая система (РС)
2	Методы измерения удельного сопротивления полупроводников.	6		6	6	0	(ДЗ), (С), (РС)
3	Контроль параметров п/п-в путем измерения ЭДС Холла и магнитосопротивления.	6		4	6	0	(ДЗ), (С), (РС)
4	Вольт-амперные и вольт-фарадные методы контроля параметров полупроводниковых структур	6		4	6	0	(ДЗ), (С), (РС)
5	Оптические методы контроля параметров полупроводников.	7		4	8	0	(ДЗ), (С), (РС)
6	Прецизионная профилометрия поверхности и методы измерения	7		4	6	0	(ДЗ), (С), (РС)

	геометрических размеров в структурах электроники						
7	Измерение морфологии поверхности, состава твердых тел и концентрационных профилей методами электронной микроскопии, электронной и ионной спектроскопии.	7		4	6	0	(ДЗ), (С), (РС)
8	Рентгеновские методы исследования состава и структуры твердых тел. Дифракционные методы анализа кристаллической структуры твердых тел.	7		4	6		(ДЗ), (С), (РС)
9	Эксплуатация и сервисное обслуживание аналитико-диагностических комплексов.	7		2	2		(ДЗ), (С), (РС)
Итого:				36	50	0	Зачет

4.3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам).

Модуль 1

1. Введение. Основные понятия. Контроль, виды контроля.

Измерение, элементы измерения, принцип измерения, средство измерения, метод измерения, погрешность измерения, косвенные измерения. Обработка погрешностей измерения.

2. Методы измерения удельного сопротивления полупроводников.

Двухзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников. Погрешность метода, источники погрешности измерения (фотопроводимость, фото-ЭДС, ТКС и т.д.).

4-х зондовый метод. Теория метода. Линейное расположение зондов. Расположение зондов по вершинам квадрата. Электрическая схема и методика измерения. Применение 4-х зондового метода к образцам простой геометрической формы. Граничные условия.

Измерение удельного сопротивления тонкой пластины. Измерение удельного сопротивления сложных структур, эпитаксиальных и диффузионных слоев. Основные источники погрешности и способы уменьшения. Промышленная установка ИУС-3, ИУС-1. 3-Х зондовый метод измерения удельного сопротивления п/п-в, основанный на измерении пробоя точечного контакта металл-п/п-к

Метод сопротивления растекания. Сущность метода. Теория метода. Методика измерения. Требования к зондам. Измерение удельного сопротивления по толщине диффузионных, эпитаксиальных и ионно-легированных слоев. Вид поправочных функций. Погрешность метода.

Метод Ван-дер-Пау. Сущность метода. Вид поправочной функции. Формы образцов. Схема измерения. Высокочастотные бесконтактные методы измерения удельного сопротивления п/п-х материалов. Индукционный метод. Емкостный метод. Мостовой метод.

Модуль 2

3. Контроль параметров n/n-в путем измерения ЭДС Холла и магнитосопротивления.

Измерение концентрации и подвижности носителей заряда. Эффект Холла. Теория метода определения концентрации и подвижности носителей заряда. Методика измерений. Сопутствующие физические эффекты. Источники погрешности. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда на пластинах произвольной геометрической формы. Различные варианты использования постоянных и переменных электрических и магнитных полей в измерительной установке.

Определение концентрации доноров и акцепторов по температурной зависимости эффекта Холла. Теория метода. Сущность метода. Определение концентрации глубоких доноров (акцепторов) по эффекту Холла при высокой температуре.

4. Вольт-амперные и вольт-фарадные методы контроля параметров полупроводниковых структур.

Определение из ВАХ контактной разности потенциалов, механизмов переноса заряда в полупроводниковых структурах. Измерение прямого падения напряжения и последовательного сопротивления полупроводниковых структур.

Определение концентрации примесей из вольт-фарадных характеристик барьеров Шоттки и р-п-переходов. Теория метода. Способы измерения крутизны ВФХ. Схема установки для измерения профиля легирования, основанной на измерении второй гармоники напряжения. Модуляционный метод измерения профиля легирования. Метод обратной связи.

Вольт-фарадные методы измерения параметров глубоких ловушек. Параметры глубоких ловушек, коэффициенты ионизации, сечения захвата, коэффициенты захвата для электронов и дырок, время релаксации заполнения глубокого уровня. Метод релаксации емкости.

Метод постоянной емкости для определения параметров глубоких уровней. Сущность метода. Теория метода. Схема установки для измерения параметров глубоких ловушек методом постоянной емкости

Модуль 3

5. Оптические методы контроля параметров полупроводников.

Контроль параметров п/п-в путем измерения фотопроводимости, фототока, фото-ЭДС и фотолюминесценции.

Стационарная фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Методы определения параметров. Схема установки и методика измерения стационарной фотопроводимости.

Определение диффузионной длины по фототоку короткого замыкания р-п - перехода. Измерение параметров п/п методом затухания фотопроводимости. Определение содержания и идентификация примесей по спектрам фотолюминесценции.

Оптические константы. Экспериментальные методы определения оптических констант. Определение концентрации по оптическому поглощению. Спектральные приборы для исследования оптических свойств п/п-в.

6. Прецизионная профилометрия поверхности и методы измерения геометрических размеров в структурах электроники.

Эллипсометрия. Метод окрашивания шлифа. Микроинтерферометрия в видимой и инфракрасной областях спектра. Контроль рельефа поверхности структур электроники методами сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии.

Модуль 4

7. Измерение морфологии поверхности, состава твердых тел и концентрационных профилей методами электронной микроскопии, электронной и ионной спектроскопии.

Упругое и неупругое рассеяние электронов. Вторичная электронная эмиссия. Распределение вторичных электронов по энергиям. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия. Оже-процесс. Излучательные и безызлучательные переходы. Основные типы электронных спектрометров. Растровая электронная Оже-спектроскопия. Рентгеноспектральный микроанализ. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (ЭСХА). Дифракция быстрых и медленных электронов. Кинематика рассеяния ионов. Методы элементного и фазового анализа, основанные на исследовании рассеяния ионов. Рассеяние быстрых ионов. Формула Резерфорда. Эффекты каналирования. Рассеяние медленных ионов. Механизмы ионного распыления. Вторичная ионная эмиссия. Масс-спектрометрия вторичных ионов и вторичных нейтральных частиц. Лазерная масс-спектрометрия.

Методы активационного анализа, основанные на зондирующем воздействии ускоренных частиц.

8. Рентгеновские методы исследования состава и структуры твердых тел. Дифракционные методы анализа кристаллической структуры твердых тел.

Определение кристаллографической ориентации монокристаллов и тонких монокристаллических пленок. Рентгено-дифракционные методы оценки совершенства кристаллической структуры твердых тел. Рентгеновский фазовый анализ. Рентгено-флюоресцентный анализ. Рентгено-топографические методы изучения дефектов кристаллической структуры твердых тел. Методы оценки деформаций в твердых телах. Дифракционные методы оценки структуры поверхности монокристаллов.

*8. Эксплуатация и сервисное обслуживание аналитико-диагностических комплексов.
Заключение.*

Содержание лекционных занятий

Модули	Содержание темы
МОДУЛЬ 1. <u>Лекция 1-2.</u> Введение. Основные понятия. Контроль, виды контроля.	1. Измерение, элементы измерения, принцип измерения, средство измерения, метод измерения, погрешность измерения, косвенные измерения. 2. Обработка погрешностей измерения.
<u>Лекция 3-5.</u> Методы измерения удельного сопротивления полупроводников.	1. Двухзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников. 2. 4-х зондовый метод. 3. Метод сопротивления растекания. 4. Метод пробоя точечн. Контакта. 4. Метод Ван-Дер Пау. 5. Дистанционные методы измерения удельн. сопротивления
МОДУЛЬ 2. <u>Лекция 6-7.</u> Контроль параметров п/п-в путем измерения ЭДС Холла и магнитосопротивления.	1. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда. Эффект Холла. 2. Определение концентрации доноров и акцепторов по температурной зависимости эффекта Холла. Теория метода. Сущность метода. 3. Определение концентрации глубоких доноров (акцепторов) по эффекту Холла при высокой температуре.
<u>Лекция 8-9.</u> Вольт-амперные и вольт-фарадные методы контроля параметров полупроводниковых структур.	1. Физика и технология барьеров Шоттки. Определение из ВАХ контактной разности потенциалов, механизмов переноса заряда в полупроводниковых структурах. 2. Определение концентрации примесей из вольт-фарадных характеристик барьеров Шоттки и р-п-переходов. 3. Вольт-фарадные методы измерения параметров глубоких ловушек.

	4. Метод постоянной емкости для определения параметров глубоких уровней. Сущность метода. Теория метода.
МОДУЛЬ 3. Лекция 10-11. Оптические методы контроля параметров полупроводников.	1. Контроль параметров п/п-в путем измерения фотопроводимости, фототока, фото-ЭДС и фотолюминесценции. 2. Стационарная фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Методы определения параметров. 3. Определение диффузионной длины по фототоку короткого замыкания р-п - перехода. Измерение параметров п/п методом затухания фотопроводимости. 4. Оптические константы. Экспериментальные методы определения оптических констант.
Лекция 12-13. Прецизионная профилометрия поверхности и методы измерения геометрических размеров в структурах электроники	1. Эллипсометрия. 2. Метод окрашивания шлифа. 3. Микроинтерферометрия в видимой и инфракрасной областях спектра. 4. Контроль рельефа поверхности структур электроники методами сканирующей туннельной микроскопии и атомно-силовой микроскопии.
МОДУЛЬ 4. Лекция 14-15. Измерение морфологии поверхности, состава твердых тел и концентрационных профилей методами электронной микроскопии, электронной и ионной спектроскопии.	1. Упругое и неупругое рассеяние электронов. Вторичная электронная эмиссия. 2. Растровая и просвечивающая электронная микроскопия. 3. Оже-процесс. Излучательные и безызлучательные переходы. Основные типы электронных спектрометров. Растровая электронная Оже-спектроскопия. 4. Рентгеноспектральный микроанализ. 5. Рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (ЭСХА). 6. Методы элементного и фазового анализа, основанные на исследовании рассеяния ионов. Рассеяние быстрых ионов. Формула Резерфорда. Эффекты каналирования. Рассеяние медленных ионов. Механизмы ионного распыления. 7. Вторичная ионная эмиссия. Масс-спектрометрия вторичных ионов и вторичных нейтральных частиц. 8. Лазерная масс-спектрометрия. Методы активационного анализа, основанные на зондирующем воздействии ускоренных частиц.
Лекция 16-17. Рентгеновские методы исследования состава и структуры твердых тел. Дифракционные методы анализа кристаллической структуры твердых тел.	1. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов и тонких монокристаллических пленок. 2. Рентгено-дифракционные методы оценки совершенства кристаллической структуры твердых тел. 3. Рентгеновский фазовый анализ. 4. Рентгено-флюоресцентный анализ. 5. Рентгено-топографические методы изучения дефектов кристаллической структуры твердых тел. 6. Дифракционные методы оценки структуры поверхности монокристаллов.
Лекция 18. Эксплуатация и сервисное обслуживание аналитико-диагностических комплексов.	1. Эксплуатация аналитико-диагностических комплексов. 2. Сервисно-техническое обслуживание аналитико-диагностических комплексов.

Темы практических и семинарских занятий

№	Наименование тем	Форма проведения
1	Определение удельного сопротивления полупроводников. Анализ граничных условий при определении удельной проводимости образцов конечных результатов.	Семинар, решение задач.
2	Определение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках. Определение концентрации доноров и акцепторов в полупроводниках из температурной зависимости эффекта Холла. Решение задач.	Семинар, решение задач.
3	Измерение вольт-фарадных характеристик кремниевых диодов и арсенида галлиевых светодиодов и определение концентрации примесей в них. Определение профиля легирования диффузионного слоя в кремниевой р-п-структуре из измерений ВФХ.	Семинар, решение задач.
4	Определение параметров полупроводников из измерений фотопроводимости. Определение концентрации носителей по оптическому поглощению. Решение задач.	Семинар, решение задач.
5	Измерение концентрации примесей по спектрам фотолюминесценции образцов карбида кремния, а также методом рентгеновского микроанализа.	Семинар, решение задач.

Содержание разделов самостоятельной работы

№	Содержание темы
1.	Измерение, виды измерения. Измерение, элементы измерения, принцип измерения, средство измерения, метод измерения, погрешность измерения, косвенные измерения. Обработка погрешностей измерения.
2.	Методы измерения удельного сопротивления полупроводников. Двухзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников. 4-х зондовый метод. Метод сопротивления растекания. Метод Ван-Дер Пау. Метод сопротивления растекания

3.	<p>Вольт-амперные и вольт-фарадные методы измерения параметров полупроводниковых структур. Физика и технология барьеров Шоттки. Определение из ВАХ контактной разности потенциалов, механизмов переноса заряда в полупроводниковых структурах. Определение концентрации примесей из вольт-фарадных характеристик барьеров Шоттки и p-n-переходов. Вольт-фарадные методы измерения параметров глубоких ловушек. Метод постоянной емкости для определения параметров глубоких уровней. Сущность метода. Теория метода.</p>
4.	<p>Оптические методы измерения параметров полупроводников. Контроль параметров п/п-в путем измерения фотопроводимости, фототока, фото-ЭДС и фотолюминесценции. Стационарная фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Методы определения параметров. Определение диффузионной длины по фототоку короткого замыкания p-n - перехода. Измерение параметров п/п методом затухания фотопроводимости. Оптические константы. Экспериментальные методы определения оптических констант.</p>
5.	<p>Измерение параметров п/п-в путем измерения ЭДС Холла и магнитосопротивления. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда. Эффект Холла. Определение концентрации доноров и акцепторов по температурной зависимости эффекта Холла. Теория метода. Сущность метода. Определение концентрации глубоких доноров (акцепторов) по эффекту Холла при высокой температуре.</p>
6.	<p>Рентгеновские методы исследования состава и структуры твердых тел. Определение кристаллографической ориентации монокристаллов и тонких монокристаллических пленок. Рентгено-дифракционные методы оценки совершенства кристаллической структуры твердых тел. Рентгеновский фазовый анализ. Рентгено-флюоресцентный анализ. Рентгено-топографические методы изучения дефектов кристаллической структуры твердых тел. Дифракционные методы оценки структуры поверхности монокристаллов.</p>

5. Образовательные технологии.

Основными видами образовательных технологий с применением, как правило, компьютерных и технических средств, учебного и научного оборудования являются:

- Информационные технологии.

- Проблемное обучение.
- Индивидуальное обучение.
- Междисциплинарное обучение.
- Опережающая самостоятельная работа.

Для достижения определенных компетенций используются следующие формы организации учебного процесса: лекция(информационная, проблемная, лекция-визуализация, лекция-консультация и др.), практическое занятие, семинар, самостоятельная работа, консультация. Допускаются комбинированные формы проведения занятий, такие как лекционно-практические занятия.

Преподаватель самостоятельно выбирают наиболее подходящие методы и формы проведения занятий из числа рекомендованных и согласуют выбор с кафедрой.

Реализация компетентного подхода предусматривает широкое использование в учебном процессе активных и интерактивных форм проведения занятий и организации внеаудиторной работы (компьютерных симуляций, деловых и ролевых игр, разбора конкретных ситуаций, психологических и иных тренингов) с целью формирования и развития профессиональных навыков обучающихся. Интерактивное обучение – метод, в котором реализуется постоянный мониторинг освоения образовательной программы, целенаправленный текущий контроль и взаимодействие (интерактивность) преподавателя и студента в течение всего процесса обучения.

Самостоятельная работа организована в соответствии с технологией проблемного обучения и предполагает следующие формы активности:

- самостоятельная проработка учебно-проблемных задач, выполняемая с привлечением основной и дополнительной литературы;
- поиск научно-технической информации в открытых источниках с целью анализа и выявления ключевых особенностей.

Основные аспекты применяемой технологии проблемного обучения:

- постановка проблемных задач отвечает целям освоения дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники» и формирует необходимые компетенции;
- решаемые проблемные задачи стимулируют познавательную деятельность и научно-исследовательскую активность студентов.

По лекционному материалу подготовлены конспекты лекций в электронной форме и на бумажном носителе, большая часть теоретического материала излагается с применением слайдов (презентаций) в программе **PowerPoint**, а также с использованием интерактивных досок.

Обучающие и контролирующие модули внедрены в учебный процесс и размещены на Образовательном сервере Даггосуниверситета (<http://edu.icc.dgu.ru>), к которым студенты имеют свободный доступ.

В учебном процессе по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники» широко используются активные и интерактивные формы проведения занятий. Лекционные занятия проводятся в аудитории 2-41, где имеется электронная проекционная доска с ноутбуком. Во время лекций студентам демонстрируются видеофильмы о методах исследования полупроводниковых материалов и структур, анимации принципов измерения и др. Демонстрируются структурные схемы измерительных установок, используемые измерительные приборы их характеристики и многое другое.

Также предусмотрено посещение научных лабораторий физического факультета ДГУ, института физики ДЦН с целью ознакомления студентов современной приборной базой научно-исследовательских лабораторий.

Удельный вес занятий, проводимых в интерактивных формах, с использованием современных компьютерных средств обучения и демонстрации в учебном процессе составляет не менее 50% лекционных занятий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов.

Промежуточный контроль.

В течение семестра студенты выполняют:

- домашние задания, выполнение которых контролируется и при необходимости обсуждается на практических занятиях;
- промежуточные контрольные работы во время практических занятий для выявления степени усвоения пройденного материала;
- выполнение итоговой контрольной работы по решению задач, охватывающих базовые вопросы курса: в конце семестра.

Итоговый контроль.

Зачет в конце 6-го и 7-го семестра, включающий проверку теоретических знаний и умение решения по всему пройденному материалу.

Изучать дисциплину рекомендуется по темам, предварительно ознакомившись с содержанием каждой из них по программе учебной дисциплины. При первом чтении следует стремиться к получению общего представления об изучаемых вопросах, а также отметить трудные и неясные моменты. При повторном изучении темы необходимо освоить все теоретические положения, математические зависимости и выводы. Для более эффективного запоминания и усвоения изучаемого материала, полезно иметь рабочую тетрадь (можно использовать лекционный конспект) и заносить в нее формулировки законов и основных понятий, новые незнакомые термины и названия, формулы, уравнения, математические зависимости и их выводы, так как при записи материал значительно лучше усваивается и запоминается.

7. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

Фонды оценочных средств (контрольные вопросы и типовые задания для практических занятий, зачета; тесты и компьютерные тестирующие программы, примерную тематику рефератов и т.п., а также иные формы контроля, позволяющие оценить степень сформированности компетенций обучающихся) для проведения текущего, промежуточного и итогового контроля успеваемости и промежуточной аттестации имеются на кафедре. Они также размещены на образовательном сервере Даггосуниверситета (по адресу: <http://edu.dgu.ru>), а также представлены в управление качества образования ДГУ.

Методические рекомендации преподавателям по разработке системы оценочных средств и технологий для проведения текущего контроля успеваемости по дисциплинам (модулям) ООП (тематики докладов, рефератов и т.п.), а также для проведения промежуточной аттестации по дисциплинам (модулям) ООП (в форме зачетов, экзаменов, курсовых работ / проектов и т.п.) и практикам представлены в Положении «О модульно-рейтинговой системе обучения студентов Дагестанского государственного университета», утвержденном ученым Советом Даггосуниверситета.

Уровень освоения учебных дисциплин обучающимися определяется следующими оценками: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки "отлично" заслуживает обучающийся, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, усвоивший основную литературу и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной программой.

Оценки "хорошо" заслуживает обучающийся, обнаруживший полное знание учебного материала, успешно выполняющий предусмотренные в программе практические задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе.

Оценки "удовлетворительно" заслуживает обучающийся, обнаруживший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением практических заданий, предусмотренных программой, знакомых с основной литературой, рекомендованной программой.

Оценка "неудовлетворительно" выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой практических заданий.

7.1. Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы.

Перечень компетенций с указанием этапов их формирования приведен в описании образовательной программы.

Компетенция	Знания, умения, навыки	Процедура освоения
ОПК-1 ОПК-2 ПК-3	Знать: <ul style="list-style-type: none"> • основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности; • методы экспериментальной физики и математического моделирования; • классификацию твердых тел с точки зрения зонной теории, их тепловые, электрические, магнитные, оптические свойства; • физические свойства полупроводниковых материалов 	Устный опрос, письменный опрос, тестирование, выступление на семинарах
ОПК-1, ОПК-2, ПК-3	Уметь: <ul style="list-style-type: none"> • анализировать, систематизировать и обобщать научно-техническую информацию в области современного материаловедения; • описывать и качественно объяснять основные свойства полупроводников; применять методы исследования кристаллических структур, моделировать физические процессы 	Письменный опрос, контрольные задания, проверка рефератов, выступление на семинарах
ОПК-1, ОПК-2, ПК-3	Владеть: <ul style="list-style-type: none"> • методологией теоретических и экспериментальных методов исследования физических свойств материалов электронной техники; • Современными экспериментальными методами исследования свойств твердых тел на современном инновационном оборудовании. • методами самостоятельного изучения и анализа специальной научной и методической литературы, связанной с проблемами контроля параметров полупроводников. 	Устный опрос, письменный опрос, тестирование, выступление на семинарах, студенческая конференция.

7.2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций, описание шкал оценивания.

Схема оценки уровня формирования компетенции

ОК-7 - способностью к самоорганизации и самообразованию

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о самостоятельной работе по предмету, формах организации самостоятельной работы и самоконтроля, путей их достижения, способов оценки результатов обучения	Знаком с методами организации самостоятельной работы и самоконтроля, путями их достижения, а также способами оценки результатов обучения	Показывает знания методов организации самостоятельной работы и самоконтроля, путей их достижения, а также способов оценки результатов обучения	Демонстрирует четкие знания методов и умение организации самостоятельной работы и самоконтроля, показывает готовность к пониманию путей их достижения, а также способов оценки результатов обучения
Базовый	Общее представление о методах анализа и обобщения информации, умение сформулировать цели и самостоятельно находить пути их достижения; использовать в образовательном процессе разнообразные ресурсы	Знаком с методами анализа и обобщения информации, может участвовать в формулировке цели и предлагать пути их достижения	Демонстрирует знание методов анализа и обобщения информации, показывает умение сформулировать цели и самостоятельно находить пути их достижения	Показывает знания методов анализа и обобщения информации, показывает умение сформулировать цели и самостоятельно находить пути их достижения, готовность использовать в образовательном процессе разнообразные ресурсы

ОПК-1

способностью представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

Уровень	Показатели (что обучающийся должен)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
		о		

	продемонстрировать)			
Пороговый	Представление об основных положениях, законах и методах естественных наук и математики, представление о научной картине мира	Имеет общее представление о основных положениях, законах и методах естественных наук и математики и о научной картине мира	Демонстрирует знание основных положений, законов и методов естественных наук и математики, и о научной картине мира	Показывает знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики, умеет представлять научную картину мира
Базовый	Умение представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	Имеет общее представление о современном состоянии и мировых тенденциях развития естественных наук и математики, имеет представление о научной картине мира	Демонстрирует знание современного состояния и мировых тенденций развития естественных наук и математики, адекватно представляет научную картину мира	Способен систематизировать и обобщать знания о современном состоянии и мировых тенденциях развития естественных наук и математики, умеет грамотно представлять научную картину мира

ОПК-2

способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Общее представление о проблематике, основных закономерностях формирования конденсированных сред, умение привлекать для их	Имеет общее представление о проблематике физики конденсированного состояния, знаком с физико-математическим аппаратом для	Демонстрирует знание проблематики, знает основные закономерности физики конденсированного состояния, проявляет	Показывает знания в области физики конденсированного состояния, умение решать типовые задачи, готовность к усвоению нового

	решения соответствующий	решения возникающих проблем	готовность самостоятельно находить пути их решения	материала
Базовый	Умение выявлять естественнонаучную сущность проблем конденсированных сред, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	Имеет общее представление о природе физики конденсированных сред, обладает навыками применения физико-математического аппарата для решения возникающих проблем	Показывает знания в области физики конденсированного состояния, использовать физико-математический аппарат для решения возникающих проблем	Демонстрирует умение выявлять естественнонаучную сущность проблем конденсированных сред, умение самостоятельно находить методы решения типовых задач

ПК-3 - готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.

Уровень	Показатели (что обучающийся должен продемонстрировать)	Оценочная шкала		
		Удовлетворительно	Хорошо	Отлично
Пороговый	Представление о методах анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения свойств конденсированных сред, представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.	Имеет общее представление о методах анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения свойств конденсированных сред	Демонстрирует знание методов анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения свойств конденсированных сред и их представления в виде научных отчетов	Демонстрирует навыки применения методов анализа, систематизации, обобщения и моделирования результатов изучения свойств конденсированных сред, умение представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций
Базовый	Умение анализировать, систематизировать, обобщать и	Показывает навыки анализа, систематизации,	Способен анализировать, систематизировать, обобщать и	Имеет успешный опыт анализа, систематизации,

	<p>моделировать результаты изучения свойств конденсированных сред, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций.</p>	<p>обобщения и моделирования результатов изучения свойств конденсированных сред, умение работать с литературными источниками</p>	<p>моделировать результаты изучения свойств конденсированных сред и их представления в виде научных отчетов, публикаций, презентаций</p>	<p>обобщения и моделирования результатов изучения свойств конденсированных сред, представления материалов в виде научных отчетов, публикаций, презентаций</p>
--	--	--	--	---

Если хотя бы одна из компетенций не сформирована, то положительная оценки по дисциплине быть не может.

7.3. Типовые контрольные задания

Примерные темы для докладов студентов на семинарских занятиях

1. Погрешности измерений и способы их анализа
2. Экспериментальные методы контроля удельного сопротивления полупроводников
3. Экспериментальные методы контроля параметров неравновесных носителей заряда в полупроводниках.
4. Холловские методы измерения параметров полупроводников.
5. Емкостные методы измерения параметров полупроводников и структур.
6. Оптические методы контроля параметров материалов электроники
7. Вольтамперные методы исследования параметров полупроводников
8. Исследование морфологии методами электронной и туннельной микроскопии
9. Методы электронографии для исследования кристаллов.
10. Рентгеноструктурные исследования полупроводниковых материалов

Рекомендации к последовательности выполнения реферата.

1. Изучение проблемы по материалам, доступным в Интернете:
2. Согласовать название сообщения.
3. Написать тезисы реферата по теме.
4. Выразить, чем интересна выбранная тема в наши дни.
5. Подготовить презентацию по выбранной теме.
6. Сделать сообщение на мини-конференции.

Пример тестовых заданий для промежуточного контроля

Вариант 1

1. Через прямоугольный образец полупроводника сечением $0,5\text{см}^2$ протекает ток 1А . Разность потенциалов между зондами, расположенными на расстоянии 1см равна 6В . Определить удельное сопротивление образца.
 - 1) $2\ \text{Ом}$
 - 2) $3\ \text{Ом}$
 - 3) $4\ \text{Ом}$
 - 4) $6\ \text{Ом}$
2. Двухзондовый метод применяется для измерения удельного сопротивления:
 - 1) образцов произвольной формы
 - 2) образцов правильной геометрической формы
 - 3) полубесконечных образцов
3. При измерении сопротивления растекания использованы зонды с радиусом контакта $4\ \mu\text{м}$. Величина измеренного сопротивления $625\ \text{Ом}$. Считая эмпирический коэффициент K равным единице определить удельное сопротивление полупроводникового образца.
 - 1) $0,25\ \text{Ом}\cdot\text{м}$
 - 2) $0,50\ \text{Ом}\cdot\text{м}$
 - 3) $2,0\ \text{Ом}\cdot\text{м}$
 - 4) $6,25\ \text{Ом}\cdot\text{м}$
4. Сущность метода измерения сопротивления растекания заключается в:
 - 1) измерении сопротивления структуры, которая состоит из полупроводникового образца и металлического зонда малой площади, установленного на поверхности образца.
 - 2) том, что сопротивление структуры, которая состоит из полупроводникового образца и металлического зонда малой площади, установленного на поверхности образца, однозначно связано с удельным сопротивлением полупроводника.
 - 3) том, что сопротивление растекания структуры, которая состоит из полупроводникового образца и металлического зонда малой площади, установленного на поверхности образца, однозначно зависит от радиуса контакта зонда.
5. При выводе формулы четырехзондового метода измерения удельного сопротивления приняты допущения:
 - 1) что образец легирован однородно
 - 2) что образец имеет ограниченные размеры со всех сторон
 - 3) что образец ограничен с одной стороны плоской поверхностью
 - 4) что образец имеет правильную геометрическую форму

Вариант 2.

1. При каких условиях можно пренебречь поправочной функцией в четырехзондовом методе?
 - 1) если расстояние от крайнего зонда до края образца меньше 3 и более раза, чем расстояние между зондами
 - 2) если расстояние от крайнего зонда до края образца больше 3 и более раза, чем расстояние между зондами
 - 3) если образцы имеют правильную геометрическую форму
 - 4) При малых токах, которые не вызывают нагревание образца
2. Метод Ван-Дер_Пау применяется для образцов:
 - 1) толстых образцов произвольной формы
 - 2) образцов правильной геометрической формы
 - 3) полубесконечных образцов
 - 4) в виде тонких пластин произвольной формы.
3. В чем главные причины погрешности измерений в методе Ван-Дер_Пау :
 - 1) неточность средств измерений
 - 2) влияние внешних факторов
 - 3) протяженность омических контактов к образцу.
 - 4) Погрешность измерения толщин образца.
4. В чем суть эффекта Холла?
 - 1) В появлении электрического поля в направлении оси Y в образце, находящемся в магнитном поле вдоль оси Z , при пропускании электрического тока через образец вдоль оси X .
 - 2) В появлении поперечного электрического тока в образце помещенном в перепендикулярно току магнитное поле, при пропускании вдоль образца электрического тока
 - 3) В появлении магнитного поля в направлении оси Z в образце, находящемся в электрическое поле вдоль оси Y , при пропускании тока через образец вдоль оси X .
 - 4) В изменении сопротивления образца при помещении его в поперечное магнитное поле
5. При рассеянии носителей на ионах примеси Холл-фактор равен:
 - 1) 1,18
 - 2) 1,93
 - 3) 1
 - 4) 0,55

Вариант 3.

1. Как зависит коэффициент поглощения α прямозонного полупроводника от энергии квантов света $h\nu$?

- 1) α линейно зависит от $h\nu$
 - 2) α^2 линейно зависит от $h\nu$
 - 3) α экспоненциально зависит от $h\nu$
 - 4) α логарифмически зависит от $h\nu$
2. В оптических экспериментах коэффициент поглощения α определяют:
- 1) расчетным путем из значений коэффициентов пропускания и отражения света
 - 2) измерив расстояние от поверхности образца, на котором интенсивность света уменьшается в два раза
 - 3) измерив расстояние от поверхности образца, на котором интенсивность света уменьшается в e раз
 - 4) расчетным путем из значения коэффициента преломления света
3. Линейность графика зависимости $C^{-2} = f(U)$ барьера Шоттки означает, что
- 1) В образце имеется градиент концентрации примеси
 - 2) Полупроводник по всей толщине однородно легирован
 - 3) Полупроводник на глубину проникновения области объемного заряда однородно легирован
 - 4) Полупроводник за границей области объемного заряда однородно легирован
4. Измерения ВФХ выполняют при подаче на p-n структуру
- 1) прямого смещения фиксированного значения
 - 2) обратного смещения фиксированного значения
 - 3) прямого смещения переменного значения
 - 4) обратного смещения переменного значения
5. В какой области сильно несимметричного p-n перехода регистрируется профиль распределения примесей методом ВФХ :
- 1) в сильнолегированной области
 - 2) в слаболегированной области
 - 3) в области с высокой концентрацией носителей

Вариант 4.

1. По температурной зависимости ЭДС Холла можно определить:
 - 1) время жизни носителей
 - 2) концентрацию примесных атомов
 - 3) концентрацию нейтральных атомов
 - 4) энергию ионизации преобладающей примеси

2. Прямоугольный образец полупроводника n-типа с размерами $l=50\text{мм}$, $w=5\text{мм}$, $d=1\text{мм}$ помещен в магнитное поле с индукцией $0,5\text{ Тл}$, перпендикулярное плоскости образца. Под действием напряжения $0,42\text{В}$ вдоль образца протекает ток 20 мА . Величина ЭДС Холла равна $6,25\text{мВ}$. Чему равна удельное сопротивление образца и холловская подвижность?

- 1) 0,21 Ом· м, 29,76 м²/В·с
- 2) 0,42 Ом· м, 6,25 м²/В·с
- 3) 2,5 Ом· м, 5,5 м²/В·с
- 4) 5 Ом· м, 45 м²/В·с

3. Для чего вместе с ЭДС Холла обычно измеряют удельную проводимость образца?

- 1) для определения концентрации примесей
- 2) для определения концентрации носителей
- 3) для определения Холл- фактора
- 4) для определения холловской подвижности

4. Используя постоянный или переменный ток, а также постоянное и переменное магнитное поле Холловские измерения можно проводить

- 1) двумя различными способами
- 2) тремя различными способами
- 3) четырьмя различными способами
- 4) восемью различными способами

5. Отрицательное значение коэффициента Холла означает,

- 1) что образец высокоомный
- 2) что образец собственной проводимости
- 3) что образец электронного типа проводимости
- 4) что образец дырочного типа проводимости

Вариант 5.

1. Прямоугольный образец полупроводника n-типа с размерами $l=50$ мм, $w=5$ мм, $d=1$ мм помещен в магнитное поле с индукцией 0,5 Тл, перпендикулярное плоскости образца. Под действием напряжения 0,42В вдоль образца протекает ток 20 мА. Величина ЭДС Холла равна 6,25мВ. Чему равна концентрация носителей заряда?

- 1) $1 \cdot 10^{18}$
- 2) $1 \cdot 10^{19}$
- 3) $2,5 \cdot 10^{19}$
- 4) $1,6 \cdot 10^{18}$

2. Как различаются спектры фундаментального поглощения прямозонных и непрямозонных полупроводников?

1) на спектре фундаментального поглощения прямозонного полупроводника в координатах $\alpha^2 = f(h\nu)$ имеется два прямолинейных участка, а на спектре непрямозонного полупроводника один прямолинейный участок.

2) на спектре фундаментального поглощения прямозонного полупроводника в координатах $\alpha^2 = f(h\nu)$ имеется два прямолинейных участка, а на спектре непрямозонного полупроводника два .

3) спектры фундаментального поглощения различаются интенсивностью.

4. Обычно по спектрам отражения определяют
 - 1) времена жизни носителей
 - 2) ширину запрещенной зоны полупроводника
 - 3) концентрацию основных носителей
 - 4) концентрацию неосновных носителей
5. Для снятия спектров фотолюминесценции образец освещается модулированным светом с длиной волны, лежащей
 - 1) в области прозрачности полупроводника
 - 2) в области фундаментального поглощения полупроводника
 - 3) в области плазменного поглощения полупроводника
 - 4) в области примесного поглощения полупроводника

Вариант 6.

1. Прямоугольный образец полупроводника n-типа с размерами $l=50\text{мм}$, $w=5\text{мм}$, $d=1\text{мм}$ помещен в магнитное поле с индукцией $0,5\text{ Тл}$, перпендикулярное плоскости образца. Под действием напряжения $0,42\text{В}$ вдоль образца протекает ток 20 мА . Величина ЭДС Холла равна $6,25\text{мВ}$. Чему равна проводимость и подвижность носителей заряда?
 - 1) $29,76\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, $0,21\text{ Ом}\cdot\text{м}$,
 - 2) $6,25\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, $0,42\text{ Ом}\cdot\text{м}$,
 - 3) $5,5\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, $2,5\text{ Ом}\cdot\text{м}$,
 - 4) $45\text{ м}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, $5\text{ Ом}\cdot\text{м}$,
2. Частота электронного (дырочного) плазменного резонанса
 - 1) зависит эффективной массы носителей и их подвижности
 - 2) зависит от энергии квантов падающего света
 - 3) зависит от концентрации носителей и их эффективной массы
 - 4) зависит от интенсивности падающего света
3. Для измерения длины волны спектральной линии и величины коэффициента пропускания применяют
 - 1) спектрометры
 - 2) спектрофотометры
 - 3) спектрографы
 - 4) монохроматоры
4. Какова должна быть разность хода между соседними интерференционными максимумами, регистрируемыми на интерферометре Майкельсона, при пропускании света пленкой SnO_2 толщиной 1 мкм , если показатель преломления $n=2$?
 - 1) 1 мкм
 - 2) 2 мкм
 - 3) 3 мкм
 - 4) 4 мкм

5. Как различаются по внешнему виду спектры поглощения и фотолуминесценции?

- 1) спектры ФЛ имеют узкий колоколообразный вид, а спектры поглощения широкие.
- 2) спектры поглощения имеют узкий колоколообразный вид, а спектры ФЛ широкие.
- 3) в одном веществе оба спектра имеют одинаковый вид
- 4) спектры поглощения имеют сложный вид

Вариант 7.

1. Вычислить энергию ионизации доноров в кремнии n-типа, если концентрация электронов 10^{14} см^{-3} при $T_1=50\text{K}$ и 10^{12} см^{-3} при $T_2=28\text{K}$.

- 1) 0,0496 эВ
- 2) 0,0258 эВ
- 3) 0,143 эВ
- 4) 0,125 эВ

2. При измерении коэффициента поглощения света в двух образцах полупроводниковой пленки, различающихся по толщине на 1 мкм, отношение интенсивностей проходящего света изменилось в e раз. Определить коэффициент поглощения света α (см^{-1}).

- 1) $1 \cdot 10^7 \text{ см}^{-1}$
- 2) $1 \cdot 10^8 \text{ см}^{-1}$
- 3) $2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$
- 4) $2,7 \cdot 10^5 \text{ см}^{-1}$

3. Что лежит в основе эллипсометрического метода измерения толщины эпитаксиальных слоев?

- 1) интерференция лучей отраженных от поверхности слоя и от границы эпитаксиальный слой-подложка
- 2) дифракция лучей отраженных от границы эпитаксиальный слой-подложка
- 3) поляризация света, отраженного от поверхности
- 4) поглощение света эпитаксиальным слоем

4. Возможно ли наблюдение в непрямозонных полупроводниках прямых излучательных переходов и при каких условиях?

- 1) нет не наблюдаются
- 2) да наблюдаются, если энергия световых квантов соответствует энергии запрещенной зоны
- 3) да наблюдаются, если энергия световых квантов значительно больше энергии запрещенной зоны
- 4) да наблюдаются, если в полупроводнике нет примесных рекомбинационных центров.

5. Какой параметр полупроводника определяют по красной границе фотопроводимости?
- 1) удельное сопротивление
 - 2) уровень Ферми
 - 3) темновая проводимость
 - 4) ширину запрещенной зоны

Вариант 8.

1. По какому закону нарастает и спадает сигнал фотопроводимости при освещении образца прямоугольными импульсами света?
- 1) по линейному закону
 - 2) по экспоненциальному закону
 - 3) по логарифмическому закону
 - 4) сигнал фотопроводимости имеет вид прямоугольных импульсов.
2. Измерение времени жизни методом частотной модуляции фотопроводимости основано на:
- 1) зависимости частоты переменной составляющей фотопроводимости от времени жизни
 - 2) зависимости амплитуды переменной составляющей фотопроводимости от частоты
 - 3) измерении сдвига фазы переменной составляющей фотопроводимости
 - 4) зависимости времени жизни носителей от частоты модуляции света
3. Чем различаются режимы постоянного тока и постоянного поля при измерении фотопроводимости?
- 1) При малом сопротивлении нагрузки реализуется режим постоянного поля, а при большом сопротивлении - режим постоянного тока
 - 2) При большом сопротивлении нагрузки реализуется режим постоянного поля, а при малом сопротивлении - режим постоянного тока
 - 3) Режим постоянного поля реализуется при использовании источника переменного тока, а режим постоянного тока – при использовании источника переменного тока.
4. Как создаются неравновесные носители в методе Шокли для измерения подвижности?
- 1) путем освещения образца
 - 2) путем нагревания образца
 - 3) путем инъекции из эмиттера
 - 4) за счет сильного электрического поля
5. Какой режим наиболее часто используется в растровом электронном микроскопе?
- 1) режим изображения во вторичных электронах

- 2) режим наблюдения отраженных электронов
- 3) режим поглощенных электронов
- 4) режим наведенного тока

Список контрольных вопросов по дисциплине

1. Контроль, виды контроля. Измерение, элементы измерения, принцип измерения, средство измерения, метод измерения.
2. Погрешность измерения, типы погрешностей. Способы обработки результатов измерений.
3. Методы измерения удельного сопротивления полупроводников. Двухзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников. Погрешность метода, источники погрешности измерения
4. 4-х зондовый метод. Теория метода. Линейное расположение зондов. Расположение зондов по вершинам квадрата. Электрическая схема и методика измерения. Применение 4-х зондового метода к образцам простой геометрической формы. Граничные условия.
5. Измерение удельного сопротивления тонкой пластины. Измерение удельного сопротивления сложных структур, эпитаксиальных и диффузионных слоев. Основные источники погрешности и способы уменьшения.
6. 3-х зондовый метод измерения удельного сопротивления п/п-в, основанный на измерении пробоя точечного контакта металл-п/п-к
7. Метод сопротивления растекания. Сущность метода. Теория метода. Методика измерения. Требования к зондам. Измерение удельного сопротивления по толщине диффузионных, эпитаксиальных и ионно-легированных слоев. Вид поправочных функций. Погрешность метода.
8. Метод Ван-дер-Пау. Сущность метода. Вид поправочной функции. Формы образцов. Схема измерения.
9. Высокочастотные бесконтактные методы измерения удельного сопротивления п/п-х материалов. Индукционный метод. Емкостный метод. Мостовой метод.
10. Определение параметров п/п-в путем измерения ЭДС Холла и магнитосопротивления. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда. Эффект Холла. Теория метода определения концентрации и подвижности носителей заряда. Методика измерений. Сопутствующие физические эффекты. Источники погрешности.
11. Измерение концентрации и подвижности носителей заряда на пластинах произвольной геометрической формы. Различные варианты использования постоянных и переменных электрических и магнитных полей в измерительной установке.
12. Определение концентрации доноров и акцепторов по температурной зависимости эффекта Холла. Теория метода. Сущность метода. Определение

концентрации глубоких доноров (акцепторов) по эффекту Холла при высокой температуре.

13. Параметры неравновесных носителей заряда. Время жизни, дрейфовая подвижность, биполярный коэффициент диффузии, диффузионная длина, скорость поверхностной рекомбинации.

14. Измерение дрейфовой подвижности ННЗ методом Шоки. Схема измерительной установки. Модификации метода.

15. Измерение времени жизни ННЗ. Сущность метода, Методика измерения.

16. Определение диффузионной длины ННЗ, метод движущегося светового луча. Схема измерительной установки. Способы уменьшения погрешности измерения.

17. Фазовый и частотный методы измерения времени жизни ННЗ.

18. Определение концентрации примесей из вольт-фарадных характеристик барьеров Шоттки и р-п-переходов. Теория метода. Способы измерения крутизны ВФХ. Схема установки.

19. Стационарная фотопроводимость. Спектральная зависимость фотопроводимости. Схема установки и методика измерения параметров полупроводников из стационарной фотопроводимости.

20. Измерение параметров п/п методом релаксации фотопроводимости.

21. Определение содержания и идентификация примесей по спектрам фотолюминесценции.

22. Оптические константы. Экспериментальные методы определения оптических констант. Определение концентрации по оптическому поглощению. Спектральные приборы для исследования оптических свойств п/п-в.

23. Метод рентгеноспектрального микроанализа и растровой электронной микроскопии.

24. Растровая электронная Оже-спектроскопия.

25. Рентгено-дифракционные методы оценки совершенства кристаллической структуры твердых тел.

26. Рентгеновский фазовый анализ. Рентгено-топографические методы изучения дефектов кристаллической

27. Рентгено-флюоресцентный анализ.

7.4. Методические материалы, определяющие процедуру оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Общий результат выводится как интегральная оценка, складывающаяся из текущего контроля – 60 % и промежуточного контроля – 40 %.

Текущий контроль по дисциплине включает:

- посещение занятий - 10 баллов,
- участие на практических занятиях - 25 баллов,

- выполнение лабораторных заданий –,
 - выполнение домашних (аудиторных) контрольных работ - 25 баллов.
- Промежуточный контроль по дисциплине включает:
- устный опрос - 5 баллов,
 - письменная контрольная работа - 15 баллов,
 - тестирование - 20 баллов.

Критерии оценок на курсовых экзаменах

В экзаменационный билет рекомендуется включать не менее 3 вопросов, охватывающих весь пройденный материал, также в билетах могут быть задачи и примеры.

Ответы на все вопросы оцениваются максимум **100 баллами**.

Критерии оценок следующие:

- **100 баллов** – студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности.

- **90 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает отдельные неточности.

- **80 баллов** - студент глубоко понимает пройденный материал, отвечает четко и всесторонне, умеет оценивать факты, самостоятельно рассуждает, отличается способностью обосновывать выводы и разъяснять их в логической последовательности, но допускает некоторые ошибки общего характера.

- **70 баллов** - студент хорошо понимает пройденный материал, но не может теоретически обосновывать некоторые выводы.

- **60 баллов** – студент отвечает в основном правильно, но чувствуется механическое заучивание материала.

- **50 баллов** – в ответе студента имеются существенные недостатки, материал охвачен «половинчато», в рассуждениях допускаются ошибки.

- **40 баллов** – ответ студента правилен лишь частично, при разъяснении материала допускаются серьезные ошибки.

- **20-30 баллов** - студент имеет общее представление о теме, но не умеет логически обосновать свои мысли.

- **10 баллов** - студент имеет лишь частичное представление о теме.

- **0 баллов** – нет ответа.

Эти критерии носят в основном ориентировочный характер. Если в билете имеются задачи, они могут быть более четкими.

Шкала диапазона для перевода рейтингового балла в «5»-бальную систему:

«0 – 50» баллов – неудовлетворительно

«51 – 65» баллов – удовлетворительно

- «66 - 85» баллов – хорошо
- «86 - 100» баллов – отлично
- «51 и выше» баллов – зачет

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.

8.1 Учебно-методическое обеспечение

а) основная литература:

1. Павлов Л.И. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов.- М.: Высшая школа, 1987 г., 239 с.
2. . В.В. Батавин, Ю.А. Концевой, Ю.В.Федорович. Измерение параметров полупроводниковых материалов и структур. -М. Радио и связь, 1985г.
3. Бублик В.Т., Дубровина А.Н. Сборник задач и упражнений по курсу “Методы исследования структур”. - М.: Высшая школа, 1988 г., 190 с.

б) дополнительная литература:

4. Петров Н.Н., Аброян И.А. Диагностика поверхности с помощью ионных пучков. – Л.:Изд.ЛГУ, 1987 г.
- 5.Зигбан К., Нордлинг К., Фальман и др. Электронная спектроскопия. – М.:Мир, 1971 г.
6. Анализ поверхности методом Оже- и рентгеновской фотоэлектронной спектроскопии. Под ред. Д. Бриггса и М.П. Сиха – М.:Мир, 1987 г.
7. Измерения и контроль в микроэлектронике. Под ред. Сазонова А.А. – М.: высшая школа,1984 г.
8. Микроанализ и растровая электронная микроскопия. Под ред. Ф. Морис, Л. Мени, Р. Тиксье. М.: Металлургия, 1985 г.
9. Интернет ресурсы

8.2 Информационное обеспечение дисциплины.

- Компьютерная программа моделирования картин дифракции быстрых электронов в твердых телах.
- Компьютерная программа моделирования рентгеновских дифрактограмм материалов и структур электроники.
- Компьютерная программа анализа и обработки спектральной информации (Оже- электронная спектроскопия, рентгено-спектральный микроанализ, рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия).
- Компьютерная программа для формирования и обработки изображений в различных режимах растровой электронной микроскопии.
- электронная библиотека курса «Методы исследования материалов и структур электроники»;
- ссылки на интернет-ресурсы.

9. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети

«Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

1. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
2. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
3. Теоретические сведения по физике и подробные решения демонстрационных вариантов тестовых заданий, представленных на сайте Росаккредагентства (www.fero.ru).
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. Сайт образовательных ресурсов Даггосуниверситета <http://edu.icc.dgu.ru>
6. www.biblioclub.ru - Электронная библиотечная система «Университетская библиотека - online».
7. www.iqlib.ru - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
8. Информационные ресурсы научной библиотеки Даггосуниверситета <http://elib.dgu.ru> (доступ через платформу Научной электронной библиотеки elibrary.ru).
9. www.affp.mics.msu.su

10. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Студент в процессе обучения должен не только освоить учебную программу, но и приобрести навыки самостоятельной работы. Студент должен уметь планировать и выполнять свою работу. Удельный вес самостоятельной работы составляет по времени 30% от всего времени изучаемого цикла. Это отражено в учебных планах и графиках учебного процесса, с которым каждый студент может ознакомиться у преподавателя дисциплины.

Главное в период обучения своей специальности - это научиться методам самостоятельного умственного труда, сознательно развивать свои творческие способности и овладевать навыками творческой работы. Для этого необходимо строго соблюдать дисциплину учебы и поведения.

Каждому студенту следует составлять еженедельный и семестровый планы работы, а также план на каждый рабочий день. С вечера всегда надо распределять работу на завтра. В конце каждого дня целесообразно подводить итог работы: тщательно проверить, все ли выполнено по намеченному плану, не было ли каких-либо отступлений, а если были, по какой причине это произошло. Нужно осуществлять самоконтроль, который является необходимым условием успешной учебы. Если что-то осталось невыполненным, необходимо изыскать время для завершения этой части работы, не уменьшая объема недельного плана.

Вид учебных	Организация деятельности студента
------------------------	--

занятий	
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначить вопросы, термины, материал, который вызывает трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на практических работах.
Практические занятия	Проработка рабочей программы, уделяя особое внимание целям и задачам структуре и содержанию дисциплины. Конспектирование источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы, работа с текстом. Решение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму и др.
Реферат	Поиск литературы и составление библиографии, использование от 3 до 5 научных работ, изложение мнения авторов и своего суждения по выбранному вопросу; изложение основных аспектов проблемы. Кроме того, приветствуется поиск информации по теме реферата в Интернете, но с обязательной ссылкой на источник, и подразумевается не простая компиляция материала, а самостоятельная, творческая, аналитическая работа, с выражением собственного мнения по рассматриваемой теме и грамотно сделанными выводами и заключением. Ознакомиться со структурой и оформлением реферата.
Подготовка к зачету	При подготовке к зачету необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и др.

11. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем.

Чтение лекций с использованием мультимедийных презентаций. Использование анимированных интерактивных компьютерных демонстраций и практикумов-тренингов по ряду разделов дисциплины.

12. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Материально – техническая база кафедры экспериментальной физики, которая осуществляет подготовку по направлению 11.03.04 «**Электроника и наноэлектроника**», позволяет готовить бакалавров, отвечающих требованиям ФГОС. На кафедре имеются 3 учебных и 5 научных лабораторий, оснащенных современной технологической, измерительной и диагностической аппаратурой; в том числе функционирует проблемная НИЛ «Твердотельная электроника». Функционируют специализированные учебные и научные лаборатории: Физика и технология керамических материалов для твердотельной электроники, Физика и технология тонкопленочных структур, Электрически активные диэлектрики в электронике, Физическая химия полупроводников и диэлектриков.

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной мультимедийным проекционным оборудованием и интерактивной доской.

12.1 Материально-техническое обеспечение дисциплины.

Перечень технических средств обучения, используемых в учебном процессе для освоения дисциплины:

- учебные плакаты с графической информацией;
- Измерительные приборы и источники питания учебного назначения;
- Автоматизированный растровый электронный микроскоп (на каф. ФЭ);
- Автоматизированный дифрактометр быстрых электронов (на каф. ФЭ);
- Рентгеноспектральный микроанализатор (на каф. ЭФ).
- стенд для измерения удельного сопротивления полупроводниковых материалов и структур (на каф. ЭФ);
- стенд для вольт-фарадных измерений параметров структур с объемным зарядом (на каф. ЭФ);
- сканирующий туннельный микроскоп – профилометр (на каф. ФЭ);
- интерферометр (на каф. ЭФ);
- рентгено-флюоресцентный спектрометр (лаб. коллектив. польз).