

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ИНГУШСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ФИЗИКА

СОГЛАСОВАНО

Руководитель образовательной программы

_____/ Матиев А. Х.
от « 12 » 03 2025 г.

УТВЕРЖДАЮ

Декан физико-математического факультета

_____/Кульбужев Б. С.
от « 14 » 03 2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.07 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

(индекс дисциплины по учебному плану, наименование дисциплины (модуля))

Направление подготовки (магистратура)
03.04.02. Физика

Направленность (профиль подготовки)
Физика полупроводников

Квалификация выпускника
магистр

Форма обучения - очная

Магас, 2025

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения дисциплины «Методы контроля параметров полупроводниковых материалов» является получение углубленного профессионального образования по методам контроля полупроводников, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для адаптации и успешной профессиональной деятельности в области микро - и нанoeлектроники.

Задачи изучения дисциплины – приобретение навыков при проведении научно-исследовательских лабораторных измерений различных параметров полупроводниковых материалов.

1. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП МАГИСТРАТУРЫ

Дисциплина «Методы контроля параметров полупроводниковых материалов» входит в пакет дисциплин блока Б1.В.07, формирующих фундаментальное образование магистров по направлению 03.04.02 Физика. Профиль «Физика полупроводников». В табл. 2.1 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «Методы контроля параметров полупроводниковых материалов».

Дисциплина «Материалы электронной техники» является основной для изучения дисциплин: «Физики полупроводников», «Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов», «Физика полупроводниковых приборов» «Наносистемы, Методы получения и свойства», которые читаются параллельно или позже.

В табл. 2.1, 2.2 приведены названия предметов и разделов, которые необходимо усвоить для изучения дисциплины «».

Связь дисциплины «Методы контроля параметров полупроводниковых материалов» с предшествующими дисциплинами	
Таблица 2.1	
Дисциплины, предшествующие дисциплине «Материалы электронной техники»	
1	Вузовский курс физики
2	Вузовский математики

Связь дисциплины «Материалы электронной техники» со смежными дисциплинами	
Таблица 2.2	
Дисциплина	Разделы, знание которых необходимо при изучении дисциплины
Физико-химические основы технологии полупроводниковых материалов	Особенности глубокой очистки веществ, механизм роста кристаллов, основные методы выращивания монокристаллов, а также основы технологии получения полупроводниковых материалов и их свойства.
Физика полупроводников	Теоретические основы физики полупроводников, квантовые объяснения всех процессов происходящих в них при внешних воздействиях. Классификация твердых тел на металлы, полупроводники и диэлектрики; основные электрические, магнитные и оптические свойства твердых тел, механизмы протекания тока.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «Методы контроля параметров полупроводниковых материалов»

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО по данному направлению:

Таблица 3.1.			
Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся:
УК-6	Самоорганизация и саморазвитие. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки	ИДКУК-6.1 Оценивает свои ресурсы и их пределы (личностные, ситуативные, временные), целесообразно их использует.	Знает: содержание процессов самоорганизации и самообразования, их особенностей и технологий реализации, исходя из целей совершенствования профессиональной деятельности; Умеет: планировать цели и устанавливать приоритеты при выборе способов принятия решений с учетом условий, средств, личностных самостоятельно строить процесс овладения информацией, отобранной и структурированной для выполнения профессиональной деятельности; Владеет: приемами саморегуляции эмоциональных и функциональных состояний при выполнении профессиональной деятельности; технологиями организации процесса самообразования; способами планирования, организации, самоконтроля и самооценки деятельности.
		ИДКУК-6.2. Определяет образовательные потребности и способы совершенствования собственной (в том числе профессиональной) деятельности на основе самооценки;	
		ИДКУК-6.3 Выбирает и реализует с использованием инструментов непрерывного образования возможности развития профессиональных компетенций и социальных навыков;	
		ИДКУК-6.4 Выстраивает гибкую профессиональную траекторию с учетом накопленного опыта профессиональной деятельности, динамично изменяющихся требований рынка труда и стратегии личного развития.	

продолжение Таблица 3.1.			
Код компетенции	Наименование компетенции	Индикатор достижения компетенции (закрепленный за дисциплиной)	В результате освоения дисциплины обучающийся:
ПК-1	Способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований в обла-	ИДКПК-1.1 Знает основные стратегии исследований в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости ИДКПК-1.2 Умеет выделять	Знает: методики проведения экспериментальных исследований по совершенствованию процессов измерения параметров и модификации свойств полупроводниковых материалов;

	сти физики и решать их с помощью современной аппаратуры и информационных технологий с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта	и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики, извлекать информацию из различных источников, включая периодическую печать и электронные коммуникации, представлять её в понятном виде и эффективно использовать. ИДК _{ПК-1.3} Владеет навыками аналитической переработки информации, проведения исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий, обобщения и представления результатов, полученных в процессе решения задач исследования.	<p>Умеет:</p> <p>работать с современной научной аппаратурой, проводить измерения основных физических параметров полупроводниковых материалов;</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками обработки полученных экспериментальных результатов.</p>
ПК-3	Способность руководить научно-исследовательской деятельностью в области физики обучающихся по программам бакалавриата	ИДК _{ПК-3.1} Обладает знаниями о методах и особенностях руководства научно-исследовательской деятельностью в области физики и основных требованиях к научно-физическим методам исследования на уровне бакалавриата.	<p>Знает:</p> <p>методы измерения параметров полупроводниковых материалов;</p> <p>Умеет:</p> <p>проводить сравнительный анализ и аргументировано выбирать наиболее эффективную методику проведения экспериментальных исследований для решения поставленной задачи</p> <p>Владеет:</p> <p>навыками собирать предварительную информацию о методах измерения параметров полупроводниковых материалов; навыками поиска и выбора эффективной методики проведения экспериментальных исследований для решения поставленной задачи.</p>
		ИДК _{ПК-3.2} Ставит научные задачи для обучающихся по программам бакалавриата в области физики, планирует и организывает их научную деятельность.	
		ИДК _{ПК-3.3} Владеет приемами планирования и организации работы в рамках научных групп, способен эффективно выполнять отведенную роль в научных исследованиях, в том числе в качестве руководителя в группах студентов бакалавров.	

4. СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 4.1	
Виды учебной работы	Всего час/зач. ед.
Контактная работа (всего)	48/1,3
Лекции (Л)	32/0,9
Практические занятия (ЛЗ)	16/0,4
Самостоятельная работа (всего)	24/2,6
Подготовка к практическим занятиям	24/2,6
Контроль самостоятельной работы	2
Вид отчетности	зачет
Общая трудоёмкость	72/2

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 5.1					
РАЗДЕЛЫ (МОДУЛИ) ДИСЦИПЛИНЫ В СЕМЕСТРЕ		Лекции, (часы)	Практические занятия (ЛЗ), час	СРС единицы (часы)	Всего, час
Модуль 1. Удельное сопротивление. Эффект Холла. Магнитосопротивление					
1	Тема 1. Методы измерения удельного сопротивления полупроводников	8	4		
2	Тема 2. Контроль параметров п/п-в путем измерения ЭДС Холла и магнитосопротивления.	8	4		
	<i>Итого по модулю</i>	16	8		
Модуль 2. Электрические и оптические методы контроля					
3	Тема 3. Вольт-амперные и вольт-фарадные методы контроля параметров полупроводниковых структур	8	4		
4	Тема 4. Оптические методы контроля параметров полупроводников	8	4		
1	<i>Итого по модулю</i>	16	8		

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

Модуль 1

Тема 1. Методы измерения удельного сопротивления полупроводников

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

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

Измерение удельного сопротивления тонкой пластины. Измерение удельного сопротивления сложных структур, эпитаксиальных и диффузионных слоев. 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. Методика измерения. Требования к зондам. Измерение удельного сопротивления по толщине диффузионных, эпитаксиальных и ионно-легированных слоев. Погрешность метода.

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

Тема 2. Контроль 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. 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.

Модуль 2

Тема 3. 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

Тема 4. Оптические методы контроля параметров полупроводников.

Контроль параметров полупроводников 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 $p-n$ - перехода. Измерение параметров p/p 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 $p/p-v$.

5.2. Лекционные занятия

Таблица 5.1		
№ п/п	Номер лекции	Наименование раздела и темы дисциплины
1	2	3
1	1-2	Двухзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников. 4-х зондовый метод.
2	3-4	Метод сопротивления растекания. Метод Ван-Дер Пау.
3	5-6	Измерение концентрации и подвижности носителей заряда. Эффект Холла. Теория и сущность метода.
4	7-8	Определение концентрации глубоких доноров (акцепторов) по эффекту Холла при высокой температуре.
5	9-10	Физика и технология барьеров Шоттки. Определение из ВАХ контактной разности потенциалов, механизмов переноса заряда в полупроводниковых структурах.
6	11-12	Вольт-фарадные методы измерения параметров глубоких ловушек. Метод постоянной емкости для определения параметров глубоких уровней.
7	13-14	Контроль параметров $p/p-v$ путем измерения фотопроводимости, фототока, фото-ЭДС и фотолюминесценции.
8	15-16	Определение диффузионной длины по фототоку короткого замыкания $p-n$ - перехода. Измерение параметров p/p методом затухания фотопроводимости.
		Общее число часов 32

5.3 Практические занятия

№	Наименование тем	Лит-ра
Форма проведения		
<i>Модуль 1</i>		
1	Определение удельного сопротивления полупроводников. Анализ граничных условий при определении удельной проводимости образцов конечных результатов. Решение задач. Семинар	1, 3
2	Определение концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках. Решение задач. Семинар	1, 3

3	Определение концентрации доноров и акцепторов в полупроводниках из температурной зависимости эффекта Холла. Решение задач.	1, 3
4	Измерение вольт-фарадных характеристик кремниевых диодов и арсенида галлиевых светодиодов и определение концентрации примесей в них. Решение задач.	1, 3
5	Определение профиля легирования диффузионного слоя в кремниевой р-п-структуре из измерений ВФХ. Решение задач.	1, 3
6	Определение параметров полупроводников из измерений фотопроводимости. Решение задач.	1, 3
7	Определение концентрации носителей по оптическому поглощению. Решение задач.	1, 3
8	Измерение концентрации примесей по спектрам фотолюминесценции образцов карбида кремния, а также методом рентгеновского микроанализа. Решение задач.	1, 3

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

А.Х. Матиев Курс лекций. Учебное пособие. Магас. -2024. 133

<https://disk.yandex.ru/i/UEbM6FbsaoTnjA>

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Некоторые темы выносятся на самостоятельное изучение. Изучение этих вопросов возможно с использованием электронного курса дисциплины, написанного самим автором (А.Х Матиев).

Перечень тем, выносимый для самостоятельной работы представлен в таблице 7.1.

7.1. План самостоятельной работы студентов

Таблица 7.1					
№ нед.	Тема	Вид самостоятельной работы	Задание	Рекомендуемая литература	Количество часов
1	Измерение, элементы измерения, принцип измерения, средство измерения, метод измерения, погрешность измерения, косвенные измерения. Обработка погрешностей измерения.	Н Написание конспекта	изучить	Электронный курс МЭТ (А.Х Матиев).	4
2	Физика и технология барьеров Шоттки. Определение из ВАХ контактной разности потенциалов, механизмов переноса заряда в полупроводниковых структурах.	Н Написание конспекта	изучить	Электронный курс МЭТ (А.Х Матиев).	4

3	Контроль параметров п/п-в путем измерения фотопроводимости, фототока, фото-ЭДС и фотолюминесценции.	Н Написание конспекта	изучить	Электронный курс МЭТ (А.Х Матиев).	4
3	Измерение концентрации и подвижности носителей заряда. Эффект Холла. Определение концентрации доноров и акцепторов по температурной зависимости эффекта Холла. Теория метода. Сущность метода.	Н Написание конспекта	изучить	Электронный курс МЭТ (А.Х Матиев).	4

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

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.

8.1. Типовые контрольные задания.

Примеры тестовых заданий для промежуточного контроля

Вариант 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.
 - 2 Ом
 - 3 Ом
 - 4 Ом
 - 6 Ом
 -
- Двухзондовый метод применяется для измерения удельного сопротивления:
 - образцов произвольной формы
 - образцов правильной геометрической формы

3) полубесконечных образцов

3. При измерении сопротивления растекания использованы зонды с радиусом контакта 4мкм. Величина измеренного сопротивления 625Ом. Считая эмпирический коэффициент К равным единице определить удельное сопротивление полупроводникового образца.
- 1) 0,25Ом·м
 - 2) 0,50 Ом·м
 - 3) 2,0 Ом·м
 - 4) 6,25 Ом·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 перпендикулярно 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 прямого зонного 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 0,42В вдоль образца протекает ток 20 мА. Величина ЭДС Холла равна 6,25мВ. 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=50мм, w=5мм, d= 1мм 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 $T_1=50\text{К}$ и 10^{12}см^{-3} при $T_2=28\text{К}$.
 - 1) $0,0496\text{ эВ}$
 - 2) $0,0258\text{ эВ}$
 - 3) $0,143\text{ эВ}$
 - 4) $0,125\text{ эВ}$
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.

Шкала и критерии итоговой аттестации в форме зачета

Оценка (баллы)	Уровень сформированности компетенций	Общие требования к результатам аттестации в форме экзамена
«Отлично» (81-100)	Высокий уровень	Теоретическое содержание курса освоено полностью без пробелов или в целом, или большей частью, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы или в основном сформированы, все или большинство предусмотренных рабочей программой учебных заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки
«Хорошо» (61-80)	Базовый уровень	Теоретическое содержание курса освоено в целом без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, предусмотренные рабочей учебной программой учебные задания выполнены с отдельными неточностями, качество выполнения большинства заданий оценено числом баллов, близким к максимуму.
«Удовл» (41-60)	Минимальный уровень	Теоретическое содержание курса освоено большей частью, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных рабочей учебной программой учебных заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки.
«Не удовл» (менее 41)	компетенции, закреплённые за дисциплиной, не сформированы	Теоретическое содержание курса освоено частично, необходимые навыки работы не сформированы или сформированы отдельные из них, большинство предусмотренных рабочей учебной программой заданий не выполнено либо выполнено с грубыми ошибками, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимуму.

8.2. Примерный перечень вопросов, выносимых на дифзачет

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.

- ния. 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 Шокли. 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 фотолуминесценции.
 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 анализа и растровой электронной микроскопии.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1. Методические рекомендации студентам

«Методы контроля параметров полупроводниковых материалов», представляет собой довольно сложную область знаний. Поэтому, чтобы донести материал до студента, необходимо уделять особое внимание систематичности, наглядности и доступности изложения. В настоящее время фактически существует мало учебников и пособий по данной дисциплине. Поэтому основная нагрузка ложится на лекции и практические занятия. Для изучения студентами данного курса в принципе достаточно знание основы курса общей физики и физики конденсированного состояния молекулярной физики и основы высшей математики.

Для дополнительного изучения и самостоятельной работы предлагается использовать рекомендуемую литературу.

9.2. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная литература

1. Лебедев, Александр Иванович. Физика полупроводниковых приборов / Лебедев, Александр Иванович. - М.:Физматлит, 2008. - 487 с.: ил. - Рекомендовано УМО. - ISBN 978-5-9221-0995-6 : 220-00. - 31 (в библиотеке ДГУ).
2. Плотников П.Г. Изучение полупроводников в курсе ФТТ [Электронный ресурс] : учебное пособие / П.Г. Плотников, Л.В. Плотникова. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Университет ИТМО, 2015. — 67 с. — 2227-8397. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/66454.html> - В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса).
3. Дикарева Р.П. Физика твердого тела и полупроводников. Определение времени жизни неосновных носителей заряда методом модуляции проводимости [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Р.П. Дикарева, С.П. Хабаров. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 24 с. — 978-5-7782-1667-9. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45186.html> - В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса).

Дополнительная литература

1. Величко А.А. Определение толщины эпитаксиальных слоев и ширины запрещенной зоны полупроводников методом ИК Фурье-спектрометрии [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А.А. Величко, Б.Б. Кольцов. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2012. — 28 с. — 978-5-7782-1924-3. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45125.html> - В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
2. Дикарева Р.П. Физика твердого тела и полупроводников. Исследование температурной зависимости энергии Ферми методом термоЭДС [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Р.П. Дикарева, С.П. Хабаров. — Электрон. текстовые данные. — Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2011. — 20 с. — 978-5-7782-1666-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/45185.html> - В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)

3. Вихров С.П. Физические процессы в барьерных структурах на основе неупорядоченных полупроводников [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.П. Вихров, Н.В. Вишняков, В.Г. Мишустин. — 2-е изд. — Электрон. текстовые данные. — Саратов: Вузовское образование, 2019. — 75 с. — 978-5-4487-0364-5. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/79688.html> - В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
4. Потапов А.И. Приборы и методы контроля [Электронный ресурс] : учебник / А.И. Потапов, М.В. Волкодаева. — Электрон. текстовые данные. — СПб. : Санкт-Петербургский горный университет, 2017. — 432 с. — 978-5-94211-796-2. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/78142.html> В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)
5. Еловацкий, С.С. Электронная спектроскопия поверхности и тонких плёнок / С. С. Еловацкий ; МГУ им. М.В.Ломоносова, Физ. фак. - М. : МГУ, 1992. - 93 с. ; 21 см. - (Физика). - Библиогр.: с. 90-91 (22 назв.). - ISBN 5-211-02904-6 : 5-50. - 1 в библиотеке ДГУ
6. Вудраф, Д. Современные методы исследования поверхности / Д. Вудраф, Т. Делчар ; пер. с англ. Е.Ф.Шека; под ред. В.И.Раховского. - М. : Мир, 1989. - 568 с. : ил. ; 22 см. . - Библиогр.: с. 545-555. - ISBN 5-03-001129-3 : 4-90. - 1 в библиотеке ДГУ.
7. Сысоев И.А. Градиентная эпитаксия для получения микро- и наноструктур твердых растворов АІІВV через тонкую газовую зону [Электронный ресурс] : монография / И.А. Сысоев, Л.С. Лунин. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 97 с. — 978-5-9296-0785-1. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/62929.html> - В каталоге ЭБС (с указанием электронного адреса)

10. 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 Росаккредитации (www.fepo.ru).
4. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>
5. www.iqlib.ru - Интернет-библиотека образовательных изданий, в который собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия
6. www.affp.mics.msu.su
7. <http://www.phys.spbu.ru/library/> - электронные учебные пособия, изданные преподавателями физического факультета Санкт-Петербургского госуниверситета.
8. **Springer.** <http://link.springer.com>, <http://materials.springer.com/>
9. **Scopus:** <https://www.scopus.com>
10. **Web of Science:** webofknowledge.com
11. www.nanotech.ru

Рабочая программа дисциплины «Методы контроля параметров полупроводниковых материалов» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (магистратура) 03.04.02. Физика. Направленность (*профиль подготовки Физика полупроводников*), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «07» 08 2021 г. № 914.

Программу составил: профессор кафедры «Физика» Матиев А.Х.

Программа одобрена на заседании кафедры «Физика»
Протокол № 8 от « 11 » марта 2025 года

Программа одобрена Учебно-методическим советом физико-математического факультета
Протокол № 7 от « 13 » марта 2025 года