

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники
и электроники

/ В.А. Небольсин /

31 августа 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Методы исследования материалов и структур электроники»

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года / 4 года и 11 мес.

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2020

Автор программы

Т.В. Свистова

И.о. заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и нанoeлектроники

А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

А.В. Арсентьев

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование знаний по экспериментальным методам определения и контроля параметров полупроводниковых материалов, диффузионных, эпитаксиальных и ионно-легированных слоев, полупроводниковых структур с потенциальными барьерами.

1.2. Задачи освоения дисциплины: усвоение физических принципов наиболее распространенных экспериментальных методов измерения, их теоретического обоснования, границ применимости, точности измерения.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина Б1.В.05 «Методы исследования материалов и структур электроники» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2: способность аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения;

ПК-5: способность владеть современными методами расчета и проектирования микроэлектронных приборов и устройств твердотельной электроники, способность к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования;

ПК-8: способность разрабатывать модели исследуемых процессов, материалов, элементов, приборов, устройств твердотельной электроники и микроэлектронной техники.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-2	знать принципы эксплуатации и сервисного обслуживания аналитических комплексов;
	уметь оценить возможность применения методов для контроля технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем;
	владеть первичными навыками подготовки образцов и методами измерения их параметров, анализа и интерпретации результатов измерений.
ПК-5	знать основные физические принципы и методы измерения

	свойств материалов и структур электроники;
	уметь оценить возможность применения методов для контроля технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем;
	владеть первичными навыками подготовки образцов и методами измерения их параметров, анализа и интерпретации результатов измерений.
ПК-8	знать методы анализа и интерпретации результатов измерений;
	уметь рассчитывать основные параметры материалов, изделий и устройств на их основе, исходя из требуемых характеристик и условий эксплуатации;
	владеть работой на оборудовании различных методов, техникой подготовки образцов, основными расчетными методиками обработки результатов эксперимента.

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	84	84
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	34	34
Самостоятельная работа	24	24
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	18	18
В том числе:		
Лекции	6	6
Практические занятия (ПЗ)	6	6
Лабораторные работы (ЛР)	6	6
Самостоятельная работа	86	86

Часы на контроль	4	4
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Подготовка образцов к измерению	Цели и задачи изучения учебного курса. Комплекс основных параметров полупроводников, группы, на которые они делятся. Методы создания образцов заданной геометрии. Контакты к образцам и требования к ним. Проверка омических свойств контактов. Методы изготовления контактов.	4	-	4	2	10
2	Измерение удельного электрического сопротивления	Четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления (ρ). Суть метода. Условия применимости. Двухзондовый метод измерения ρ . Однозондовый метод измерения ρ . Метод контроля ρ измерением сопротивления растекания в точечном контакте. Измерение ρ пластин произвольной формы (метод Ван дер Пау). Измерение ρ четырехзондовым методом на постоянном токе. Измерение ρ четырехзондовым методом на переменном токе. Бесконтактные емкостные методы измерения ρ . Бесконтактные индуктивные методы измерения ρ .	10	4	8	6	28
3	Гальваномагнитные методы измерения параметров полупроводников	Эффект Холла. Физическая сущность. Вывод формулы холловской разности потенциалов. Постоянная Холла. Холл-фактор. Условия сильных и слабых магнитных полей. Определение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла. Классификация методов измерения эффекта Холла. Измерение эффекта Холла методом постоянного тока и постоянного магнитного поля. Одночастотные методы измерения эффекта Холла. Двухчастотные методы измерения эффекта Холла. Измерение эффекта Холла методом Ван дер Пау. Побочные поперечные эффекты, сопутствующие эффекту Холла. Образцы для измерения эффекта Холла.	8	4	8	6	26
4	Оптические методы измерения параметров полупроводников	Типы оптического поглощения в полупроводниках. Параметры, определяемые из оптического поглощения. Молекулярные спектры. Спектральные параметры полос поглощения. Оптический метод определения концентрации примеси по спектрам поглощения. Требования к образцам для оптических исследований. Особенности основных типов спектральных приборов. Аппаратура для оптических исследований. Характеристики оптических приборов. Источники излучения. Приемники излучения.	8	4	8	6	26
5	Методы исследования электрофизических параметров эпитаксиальных пленок	Измерение толщины пленки. Метод окрашивания шлифа. Интерференционный метод. Эллипсометрический метод. Измерение толщины пленок по дефектам упаковки. Измерение концентрации, подвижности и времени жизни носителей. Исследование распределения примеси по толщине и площади эпитаксиальных структур. Методы исследования дефектов структуры эпитаксиальных пленок.	4	4	6	4	18
Итого			34	16	34	24	108

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Подготовка образцов к измерению	Цели и задачи изучения учебного курса. Комплекс основных параметров полупроводников, группы, на которые они делятся. Методы создания образцов заданной геометрии. Контакты к образцам и требования к ним. Методы изготовления контактов.	-	-	-	16	16

		Проверка омических свойств контактов.					
2	Измерение удельного электрического сопротивления	Четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления (ρ). Суть метода. Условия применимости. Двухзондовый метод измерения ρ . Однозондовый метод измерения ρ . Метод контроля ρ измерением сопротивления растекания в точечном контакте. Измерение ρ пластин произвольной формы (метод Ван дер Пау). Измерение ρ четырехзондовым методом на постоянном токе. Измерение ρ четырехзондовым методом на переменном токе. Бесконтактные емкостные методы измерения ρ . Бесконтактные индуктивные методы измерения ρ .	2	2	2	16	22
3	Гальваномагнитные методы измерения параметров полупроводников	Эффект Холла. Физическая сущность. Вывод формулы холловской разности потенциалов. Постоянная Холла. Холл-фактор. Условия сильных и слабых магнитных полей. Определение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла. Классификация методов измерения эффекта Холла. Побочные поперечные эффекты, сопутствующие эффекту Холла. Измерение эффекта Холла методом постоянного тока и постоянного магнитного поля. Одночастотные методы измерения эффекта Холла. Двухчастотные методы измерения эффекта Холла. Измерение эффекта Холла методом Ван дер Пау. Образцы для измерения эффекта Холла.	2	2	2	18	24
4	Оптические методы измерения параметров полупроводников	Типы оптического поглощения в полупроводниках. Параметры, определяемые из оптического поглощения. Молекулярные спектры. Спектральные параметры полос поглощения. Оптический метод определения концентрации примеси по спектрам поглощения. Требования к образцам для оптических исследований. Особенности основных типов спектральных приборов. Аппаратура для оптических исследований. Характеристики оптических приборов. Источники излучения. Приемники излучения.	2	2	-	18	22
5	Методы исследования электрофизических параметров эпитаксиальных пленок	Измерение толщины пленки. Метод окрашивания шлифа. Интерференционный метод. Эллипсометрический метод. Измерение толщины пленок по дефектам упаковки. Измерение концентрации, подвижности и времени жизни носителей. Исследование распределения примеси по толщине и площади эпитаксиальных структур. Методы исследования дефектов структуры эпитаксиальных пленок.	-	-	2	18	20
Всего			6	8	4	84	104
Контроль							4
Итого							108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Проверка омических свойств контактов
2. Измерение распределения удельного сопротивления по длине монокристаллического полупроводникового слитка четырехзондовым методом
3. Измерение удельного сопротивления методом Ван дер Пау
4. Измерение концентрации и подвижности основных носителей заряда в полупроводниках методом эффекта Холла
5. Определение основных параметров полупроводников с помощью эффекта Холла методом Ван дер Пау
6. Измерение содержания примеси кислорода в образцах монокристаллического кремния, выращенного по методу Чохральского
7. Определение ширины запрещенной зоны полупроводников по спектрам поглощения
8. Определение толщины тонких полупроводниковых слоев интерференционным способом

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Методы исследования материалов и структур электроники» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-2	знать принципы эксплуатации и сервисного обслуживания аналитических комплексов;	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь оценить возможность применения методов для контроля технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 – 100 % Ответ на 3 - 5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	владеть первичными навыками подготовки образцов и методами измерения их параметров, анализа и интерпретации результатов измерений.	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-5	знать основные физические принципы и методы измерения свойств материалов и структур электроники;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 – 100 % Ответ на 3 - 5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5
	уметь оценить возможность применения методов для контроля технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем;	Тест Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Выполнение теста на 40 – 100 % Ответ на 3 - 5 заданий варианта из 5	В тесте менее 40 % правильных ответов Решено менее 3 заданий из 5

	владеть первичными навыками подготовки образцов и методами измерения их параметров, анализа и интерпретации результатов измерений.	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-8	знать методы анализа и интерпретации результатов измерений;	Обработка результатов измерений, анализ полученных данных, учет погрешности измерений.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь рассчитывать основные параметры материалов, изделий и устройств на их основе, исходя из требуемых характеристик и условий эксплуатации;	Контрольные задания для защиты лабораторных работ	Ответ на 3-5 заданий варианта из 5	Решено менее 3 заданий из 5
	владеть работой на оборудовании различных методов, техникой подготовки образцов, основными расчетными методиками обработки результатов эксперимента.	Соблюдение правил техники безопасности при выполнении лабораторных работ; учет погрешности измерений. Обработка результатов измерений, анализ полученных данных	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения, в 7 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-2	знать принципы эксплуатации и сервисного обслуживания аналитических комплексов;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь оценить возможность применения методов для контроля технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть первичными навыками подготовки образцов и методами измерения их параметров, анализа и интерпретации результатов измерений.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-5	знать основные физические принципы и методы измерения свойств материалов и структур электроники;	Тест	Выполнение теста на 70 - 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь оценить возможность применения методов для контроля технологического процесса производства полупроводниковых приборов и интегральных схем;	Решение стандартных практических задач	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть первичными навыками подготовки образцов и методами измерения их параметров, анализа и интерпретации результатов измерений.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продemonстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-8	знать методы анализа и интерпретации результатов измерений;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %

	уметь рассчитывать основные параметры материалов, изделий и устройств на их основе, исходя из требуемых характеристик и условий эксплуатации;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть работой на оборудовании различных методов, техникой подготовки образцов, основными расчетными методиками обработки результатов эксперимента.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

- Двухзондовый метод применяется для измерения удельного сопротивления:
 - образцов произвольной формы;
 - образцов правильной геометрической формы;
 - однородных и изотропных образцов;
 - полубесконечных образцов.
- Метод Ван дер Пау применяется для:
 - толстых образцов произвольной формы;
 - образцов правильной геометрической формы;
 - полубесконечных образцов;
 - тонких пластин произвольной формы.
- При выводе формулы четырехзондового метода измерения удельного сопротивления приняты допущения, что:
 - образец однороден и изотропен.;
 - образец имеет ограниченные размеры со всех сторон;
 - образец ограничен с одной стороны плоской поверхностью;
 - образец имеет правильную геометрическую форму.
- Как зависит коэффициент поглощения α прямозонного полупроводника от энергии квантов света $h\nu$?
 - α линейно зависит от $h\nu$;
 - α^2 линейно зависит от $h\nu$;
 - α экспоненциально зависит от $h\nu$;
 - α логарифмически зависит от $h\nu$.
- Как зависит коэффициент поглощения α непрямозонного полупроводника от энергии квантов света $h\nu$?
 - α^2 линейно зависит от $h\nu$;
 - $\alpha^{1/2}$ линейно зависит от $h\nu$;
 - α экспоненциально зависит от $h\nu$;
 - α логарифмически зависит от $h\nu$.
- В чем главные причины погрешности измерений метода Ван дер Пау?
 - Неточность средств измерений
 - Влияние внешних факторов
 - Протяженность омических контактов к образцу
 - Погрешность измерения толщин образца.

7. Отрицательное значение коэффициента Холла означает, что образец:
- 1) высокоомный;
 - 2) собственной проводимости;
 - 3) электронного типа проводимости;
 - 4) дырочного типа проводимости.
8. Какой метод измерения эффекта Холла лучше исключает побочные эдс
- 1) постоянного тока и постоянного магнитного поля;
 - 2) одночастотный;
 - 3) двухчастотный;
 - 4) метод Ван дер Пау.
9. Какой из методов измерения толщины пленок является разрушающим
- 1) сферического шлифа;
 - 2) интерференционный;
 - 3) эллипсометрический.
10. Какой из методов измерения толщины пленок является неразрушающим
- 1) сферического шлифа;
 - 2) по дефектам упаковки;
 - 3) эллипсометрический.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Схема четырехзондового метода измерения удельного сопротивления
2. Схема измерения удельного сопротивления двухзондовым методом
3. Схема измерения эффекта Холла при постоянном токе и постоянном магнитном поле
4. Схема измерения эффекта Холла при переменном токе в постоянном магнитном поле
5. Структура зон и оптические переходы в прямозонном полупроводнике
6. Структура зон и оптические переходы в непрямоzonном полупроводнике
7. Оптическая схема монохроматора
8. Условия возникновения интерференции в эпитаксиальных структурах.
9. Какие травители используют для выявления дефектов упаковки?
10. Принципиальная схема эллипсометра

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Вычислить удельное сопротивление массивного образца, если через сферический зонд радиусом 0,13 мм протекает ток 0,3 мА при напряжении 40 мВ.
2. При изготовлении биполярного транзистора для формирования эмиттерных областей использовался метод диффузии. Четырехзондовые измерения, проведенные на тестовых структурах, показали, что полученные диффузионные области *p*-типа имеют среднее удельное сопротивление 0,15 Ом·см. Определить, на какой глубине находится диффузионный *n-p*-переход, если при токе в цепи внешних зондов равном 20 мА напряжение составило 0,4 В.
3. Вычислить величину удельного сопротивления пластинчатого образца произвольной формы методом Ван-дер-Пау по следующим экспериментальным данным: толщина пластины $0,5 \cdot 10^{-2}$ м, $R_{1234} = 50$ Ом, $R_{2341} = 90$ Ом

4. Коэффициент Холла образца примесного кремния равен $3,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$, удельное сопротивление образца $9,93 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Определить концентрацию и подвижность носителей заряда, предполагая, что это носители одного знака.

5. Образец полупроводника имеет коэффициент Холла $3,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$, удельное сопротивление образца $8,93 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}\cdot\text{м}$. Для обнаружения эффекта Холла образец помещается в магнитное поле с индукцией 0,5 Тл. Определить угол Холла.

6. Полупроводниковый монокристалл толщиной 1 мм и шириной 1 см помещен в магнитное поле с индукцией 0,5 Тл. Вектор магнитной индукции перпендикулярен плоскости образца. Вычислить эдс Холла, если коэффициент Холла $3,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{Кл}$.

7. При температуре 300 К для монохроматического излучения с длиной волны 1 мкм показатель поглощения кремния 10^4 м^{-1} , а коэффициент отражения излучения 0,3. Определить какая доля потока излучения пройдет через пластину кремния толщиной 300 мкм при нормальном падении лучей.

8. Вычислите минимальную длину световой волны, для которой арсенид галлия, имеющий ширину запрещенной зоны 1,43 эВ при температуре 300 К, является оптически прозрачным.

9. На тонкую пленку в направлении нормали к ее поверхности падает монохроматический свет с длиной волны $\lambda=500 \text{ нм}$. Отраженный от нее свет максимально усилен вследствие интерференции. Определить минимальную толщину d пленки, если показатель преломления материала пленки $n = 1,4$.

10. 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.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Комплекс основных параметров полупроводников, группы, на которые они делятся.
2. Методы создания образцов заданной геометрии.
3. Контакты к образцам и требования к ним.
4. Методы изготовления контактов.
5. Проверка омических свойств контактов.
6. Четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления (ρ). Суть метода. Условия применимости.
7. Измерение ρ четырехзондовым методом на постоянном токе.
8. Измерение ρ четырехзондовым методом на переменном токе.
9. Поправочные коэффициенты.
10. Измерение ρ -тонких пластин.
11. Измерение ρ -тонких слоев.
12. Измерение ρ двухслойных структур.
13. Двухзондовый метод измерения ρ .
14. Однозондовый метод измерения ρ .
15. Измерение ρ пластин произвольной формы (метод Ван дер Пау).
16. Метод контроля ρ измерением сопротивления растекания в точечном контакте.
17. Бесконтактный емкостный метод измерения ρ .
18. Бесконтактный индуктивный метод измерения ρ .
19. Эффект Холла. Физическая сущность.
20. Вывод формулы холловской разности потенциалов.
21. Постоянная Холла. Холл-фактор. Условия сильных и слабых магнитных полей.
22. Определение параметров полупроводников с помощью эффекта Холла.
23. Эффект Холла в образцах со смешанной и собственной проводимостью.
24. Побочные поперечные эффекты, сопутствующие эффекту Холла.

25. Классификация методов измерения эффекта Холла.
26. Измерение эффекта Холла методом постоянного тока и постоянного магнитного поля.
27. Одночастотные методы измерения эффекта Холла.
28. Двухчастотные методы измерения эффекта Холла.
29. Измерение эффекта Холла методом Ван дер Пау.
30. Образцы для измерения эффекта Холла.
31. Типы оптического поглощения в полупроводниках. Параметры, определяемые из оптического поглощения.
32. Аппаратура для оптических исследований. Характеристики оптических приборов.
33. Источники излучения.
34. Приемники излучения.
35. Особенности основных типов спектральных приборов.
36. Общие сведения о молекулярных спектрах
37. Спектральные параметры полос поглощения
38. Оптический метод определения концентрации примеси по спектрам поглощения.
39. Измерение толщины пленки. Метод окрашивания шлифа.
40. Интерференционный метод измерения толщины пленок.
41. Устройства для получения и исследования поляризованного света.
42. Эллипсометрический метод измерения толщины пленок
43. Измерение толщины пленок с помощью дефектов упаковки.

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 20 баллов

При получении оценки «Зачтено» требуемые в рабочей программе знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на промежуточном этапе считаются достигнутыми.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Подготовка образцов к измерению	ПК-2, ПК-5, ПК-8	Тест, опрос, защита лабораторных работ

2	Измерение удельного электрического сопротивления	ПК-2, ПК-5, ПК-8	Тест, опрос, защита лабораторных работ
3	Гальваномагнитные методы измерения параметров полупроводников	ПК-2, ПК-5, ПК-8	Тест, опрос, защита лабораторных работ
4	Оптические методы измерения параметров полупроводников	ПК-2, ПК-5, ПК-8	Тест, опрос, защита лабораторных работ
5	Методы исследования электрофизических параметров эпитаксиальных пленок	ПК-2, ПК-5, ПК-8	Тест, опрос, защита лабораторных работ

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста преподавателем и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач преподавателем и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. **Свистова Т.В.** Методы исследования материалов и структур электроники [Электронный ресурс]: учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (10,8 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013.

2. **Свистова Т.В.** Методы исследования материалов и структур электроники: учеб. пособие. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. - 225 с.

3. **Физические методы исследования материалов твердотельной электроники**: учеб. пособие / С.И. Рембеза, Б.М. Синельников, Е.С. Рембеза, Н.И. Каргин. - Ставрополь: Северо-Кавказский ГТУ, 2002. -432 с. - ISBN 5-9296-0105-4

4. **Рембеза С.И.** Физические свойства низкоразмерных структур. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. – 139 с.

5. **Кирилловский В.К.** Современные оптические исследования и измерения [Электронный ресурс] / Кирилловский В. К. – СПб.: Лань, 2021. - 304 с. - Книга из коллекции Лань

- ISBN 978-5-8114-0989-1. URL: <https://e.lanbook.com/book/167816>

6. **Калинин Ю.Е.** Экспериментальные методы исследований [Электронный ресурс]: учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (9 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015.

Дополнительная литература

7. **Клаассен К.Б.** Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике: учеб. пособие / К.Б. Клаассен; пер. с англ. Е.В. Воронова, А.Л. Ларина. - М.: Постмаркет, 2002. - 352 с. - ISBN 5-901095-02-2

8. **Павлов Л.П.** Методы измерения параметров полупроводниковых материалов. - 2-е изд. - М., 1987. - 238 с.

9. **Кушнир Ф.В.** Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для вузов по спец. «Радиотехника». - Ленинград: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1983. - 319 с.

10. **Митрохин В.И.** Релаксационные и резонансные методы исследования дефектов в твердых телах [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.И. Митрохин. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2004.

11. **Методы исследования материалов и структур электроники [Электронный ресурс]:** методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления 11.03.04 «Электроника и нанoeлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», каф. полупроводниковой электроники и нанoeлектроники ; сост.: Т.В. Свистова. -Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2019. - Электрон. текстовые и граф. данные (800 Кб) (№ 55-2019)

12. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 - 3 по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники» для студентов направления подготовки бакалавров 210100 «Электроника и нанoeлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения / Каф. полупроводниковой электроники и нанoeлектроники: Сост.: Т.В. Свистова, Н.Н. Кошелева. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. - 31 с. (№ 231-2012)**

13. **Методические указания к выполнению лабораторных работ № 4 - 6 по дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники» для студентов направления подготовки бакалавров 10100 «Электроника и нанoeлектроника», профиля "Микроэлектроника и твердотельная электроника" очной формы обучения / Каф. полупроводниковой электроники и нанoeлектроники; Сост.: Т.В. Свистова, Н.Н. Кошелева. - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. - 46 с. (№ 232-2012)**

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

- Операционные системы семейства MSWindows;
- Пакет офисных программ LibreOffice;
- Программа просмотра файлов WinDjview;
- Программа просмотра файлов формата pdf Adobe Acrobat Reader;
- Интернет-браузеры Mozilla Firefox, Google Chrome;
- Математический пакет MathCad Express, Smath Studio;
- Среда разработки Python;

- Система управления курсами Moodle;

Используемые электронные библиотечные системы:

- Модуль книгообеспеченности АИБС «МАРК SQL»: <http://bibl.cchgeu.ru/provision/struct/>;
- Университетская библиотека онлайн: <http://biblioclub.ru/>;
- ЭБС Издательства «ЛАНЬ», в том числе к коллекциям «Инженерно-технические науки», «Физика»: <http://e.lanbook.com/>;
- ЭБС IPRbooks: <http://www.iprbookshop.ru/>;
- научная электронная библиотека eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>.

Информационные справочные системы:

- портал федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: <http://fgosvo.ru/>;
- единое окно доступа к образовательным ресурсам: <http://window.edu.ru/>;
- открытый образовательный ресурс НИЯУ МИФИ: <http://online.mephi.ru/>;
- открытое образование: <https://openedu.ru/>;
- физический информационный портал: <http://phys-portal.ru/index.html>
- Профессиональные справочные системы «Техэксперт»: <https://cntd.ru>
- Электронная информационная образовательная среда ВГТУ: <https://old.education.cchgeu.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

1. Лекционная аудитория 311/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций: мультимедиа-проектором, стационарным экраном, наборами демонстрационного оборудования (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 22 человека.
проектор BenQ MP515 DLP;
экран ScreenMedia настенный.
огнетушитель.

2. Лаборатория физики конденсированного состояния ауд. 213/4, укомплектованная специализированной мебелью и оснащенная оборудованием для проведения лабораторных занятий (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179):

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 16 человек;
автоматическая многоканальная зондовая установка;
осциллограф С 9- 4 А (2 штуки);
измеритель удельного сопротивления ВМП-0,5-001;
микротвердомер ПМТ-3;
частотомер ЧЗ-34;
вольтметр В7-20;
осциллограф С1-67;
вольтметр селективный GMS;
осциллограф МСР ОСУ-10А;
генератор сигналов FG-515;
лабораторный источник питания НУ5003 (2 штуки);
генератор ГЗ-104;

мультиметр АМ-1109;
вольтметр В6-9;
обучающее устройство (2 штуки);
огнетушитель.

3. Дисплейный класс для самостоятельной работы студентов, укомплектованный специализированной мебелью и оснащенный персональными компьютерами с лицензионным программным обеспечением с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, ауд. 209/4 (учебный корпус № 4, расположенный по адресу: Московский пр., 179), оснащенный необходимым оборудованием:

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.
компьютер-сборка каф.9;
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);
компьютер-сборка каф.7;
компьютер-сборка каф.3;
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);
компьютер-сборка каф.5;
компьютер-сборка каф.4;
компьютер-сборка каф.8;
компьютер-сборка каф.2;
компьютер-сборка каф.6;
компьютер-сборка каф.10;
комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
компьютер-сборка каф.1;
экран Projecta ProScreen настенный рулонный;
проектор BenQ MP515 DLP;
огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Методы исследования материалов и структур электроники» читаются лекции, проводятся практические и лабораторные занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета параметров материалов и структур электроники. Занятия проводятся путем решения стандартных и прикладных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Большое значение по закреплению и совершенствованию знаний имеет самостоятельная работа студентов. Информацию обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины производится на лабораторных работах, либо в виде контрольных вопросов при аттестации текущей успеваемости. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практические занятия	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции, при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.2: при осуществлении образовательного процесса по дисциплине используется образовательный портал ВГТУ – https://old.education.cchgeu.ru	31.08.2021	
2			
3			
4			