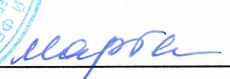


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета радиотехники и  
электроники

  
/В.А. Небольсин/

 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Экспериментальные методы исследований»**

**Направление подготовки** 22.03.01 Материаловедение и технологии  
материалов

**Профиль** Функциональные материалы

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2024

Автор программы

  
Ю.Е. Калинин

Заведующий кафедрой

Твердотельной

электроники

  
В.А. Небольсин

Руководитель ОПОП

  
О.Б. Рудаков

Воронеж 2024

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **1.1. Цели дисциплины**

Целью дисциплины является формирование фундаментальных знаний по экспериментальным методам исследования физических свойств функциональных материалов. Рассматриваются научные подходы по методам исследования удельного электрического сопротивления, эффекта Холла, механических, неупругих, магнитных, тепловых свойств, плотности твердых тел.

### **1.2. Задачи освоения дисциплины**

Задачи изучения дисциплины состоят в усвоении физических принципов наиболее распространенных экспериментальных методов изучения физических свойств твердых тел, в освоении теории методов, границ применимости, оценки точности измерений, а также критической оценки и возможностей каждого метода. В задачу изучения дисциплины входят также знакомство студентов с новейшими методами исследования физических свойств в последние 5-10 лет. Для студентов ставится задача приобретения экспериментальных навыков исследования электрического сопротивления, внутреннего трения, магнитных свойств, а также возможности использования вычислительной техники в получении и обработке экспериментальных результатов.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП**

Дисциплина «Экспериментальные методы исследований» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## **3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

Процесс изучения дисциплины «Экспериментальные методы исследований» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования структуры и свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>
ПК-2	Знать роль эксперимента в диагностике свойств материалов
	Уметь выполнять измерения и экспериментальные исследования различных функциональных материалов

	Владеть способностью самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую аппаратуру различного назначения и работать на ней
--	---

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Экспериментальные методы исследований» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	84	84
В том числе:		
Лекции	34	34
Практические занятия (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	34	34
<b>Самостоятельная работа</b>	60	60
<b>Курсовой проект</b>	+	+
Часы на контроль	36	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен	+	+
Общая трудоемкость: академические часы зач.ед.	180 5	180 5

#### 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	Введение Методы исследования электрических свойств и термоэдс	<b>Введение</b> Характеристики методов исследований и измерений в экспериментальной практике и физических исследованиях. Отличие методов исследований от методов измерений. Принципы реализации и контроля качества материалов, изделий и их компонентов. Единицы измерения и размерность физических величин. Погрешности измерений в научных исследованиях. Абсолютная и	6	2	6	10	24

		<p>относительная погрешность.          Практическая оценка погрешности при измерениях.          Основные параметры функциональных материалов.          Три составные составляющие контроля качества функциональных материалов:          Разработка методик исследования, производство аналитического оборудования и метрологическое обеспечение.</p> <p><b>Методы измерения электропроводности металлов</b>          Основные понятия и единицы измерения. Измерение напряжения и силы тока. Измерение электрического сопротивления. Метод вольтметра-амперметра. Метод непосредственной оценки. Электронные омметры. Метод дискретного счета. Цифровые приборы. Определение температурного коэффициента электрического сопротивления.</p> <p><b>Методы измерения электропроводности полупроводников и диэлектриков</b>          Измерение электрической проводимости в полупроводниках и диэлектриках. Подготовка образцов к измерениям. Методы получения омических контактов. Двухзондовый метод измерения. Однозондовый метод измерения распределения удельного электрического сопротивления.          Четырехзондовый метод измерения. Измерение электрической проводимости пластин произвольной геометрической формы.          Высокочастотные бесконтактные методы измерения удельного электрического сопротивления. Определение ширины запрещенной зоны</p>					
--	--	--	--	--	--	--	--

		<p>полупроводников и диэлектриков по температурной зависимости проводимости. Методы исследования термоэдс: Дифференциальный, интегральный.</p>					
2	<p>Методы контроля параметров полупроводников и диэлектриков</p>	<p><b>Эффект Холла и методы его измерения.</b>  Эффект Холла и сопутствующие ему явления. Подготовка образцов для измерения эффекта Холла. Основные методы измерения эффекта Холла. Метод постоянного магнитного поля и постоянного тока. Метод переменного тока или переменного магнитного поля. Метод переменного тока и переменного магнитного поля. Определение параметров полупроводников из измерений эффекта Холла. Определение концентрации донорных и акцепторных примесей по измерению эффекта Холла. Определение концентрации доноров и акцепторов по температурной зависимости подвижности. Определение ширины запрещенной зоны.  <b>Оптические методы измерения параметров полупроводников</b>  Спектральные характеристики оптических методов исследований. Измерение спектров поглощения. Современные оптические приборы: спектрографы, спектрометры, спектрофотометры. Одно- и дулучевые спектрометры. Определение параметров полупроводников из спектров поглощения.</p>	6	2	6	10	24
3	<p>Механические методы испытаний</p>	<p><b>Основные методы испытаний механических свойств</b>  Классификация и особенности механических испытаний. Испытания на растяжение. Основные прочностные параметры и характеристики</p>	6	2	6	10	24

		<p>пластичности. Испытания на сжатие. Испытания на изгиб. Испытания на кручение. Испытания на замедленное разрушение. Испытания на релаксацию напряжений.</p> <p><b>Методы испытаний на усталость, жаропрочность и динамических свойств</b></p> <p>Испытания на ударную вязкость. Испытания на усталость. Явление ползучести. Испытания на ползучесть. Испытания на длительную прочность.</p> <p><b>Методы измерения твердости</b></p> <p>Твердость по Бринеллю. Твердость по Виккерсу. Твердость по Роквеллу. Микротвердость. Наноиндентирование. Другие статические и динамические методы определения твердости</p>					
4	Методы измерения магнитных свойств	<p><b>Статические методы измерения магнитных свойств</b></p> <p>Основные параметры, характеризующие магнитные материалы. Основные методы исследования магнитных свойств вещества. Методы измерения напряженности магнитного поля. Использование датчика Холла. Другие методы измерения напряженности магнитного поля. Магнитометрический метод: Астатический магнитометр. Вибрационный магнитометр.</p> <p><b>Методы измерения магнитных свойств в переменных полях</b></p> <p>Метод вольтметра и амперметра. Мостовые методы измерения магнитных характеристик. Потенциометрический метод измерения магнитных характеристик в переменных полях. Измерение магнитной проницаемости и потерь на частотах 50 кГц-10 МГц.</p> <p><b>Основные методы измерения</b></p>	6	2	6	10	24

		<p><b>магнитострикции</b>  <b>наблюдение доменной</b>  <b>структуры.</b>  Тензометрический метод измерения магнитострикции. Емкостной метод измерения. Другие методы измерения магнитострикции. Методы наблюдения магнитной структуры: метод порошковых фигур Акулова-Биттера; метод лоренцевской электронной микроскопии; метод растровой электронной микроскопии; рентгенографический метод. Современные методы исследования доменной структуры: магнитосиловой сканирующей микроскопии, магнитооптические методы.</p>					
5	<p>Методы исследования физических свойств функциональных материалов</p>	<p><b>Методы определения плотности функциональных материалов</b>  Флотационный метод определения плотности. Определение плотности твердых тел методом гидростатического взвешивания. Простой метод гидростатического взвешивания. Дифференциальный метод гидростатического взвешивания. Выбор весов. Выбор вспомогательной жидкости. Пикнометрический метод. Рентгеновский метод. Другие методы определения плотности.</p> <p><b>Определение теплового расширения</b>  Основные сведения и характеристики теплового расширения. Основные прямые методы измерения теплового расширения вещества: метод компаратора, интерференционный метод, рентгеновский. Относительные методы измерения теплового расширения вещества.</p> <p><b>Методы измерения теплопроводности</b>  Основные сведения и единицы измерения. Абсолютные методы</p>	6	4	6	10	26

		измерения теплопроводности: калориметрические, энергетические. Относительные методы измерения теплопроводности. Нестационарные методы.					
6	Релаксационные методы исследования высокодемпфирующих материалов	<p><b>Методы измерения внутреннего трения</b></p> <p>Понятие неупругости и внутреннего трения. Меры внутреннего трения. Методы измерения внутреннего трения. Метод крутильного маятника. Обратный крутильный маятник. Методики измерения внутреннего трения в области частот <math>5 \cdot 10^2 - 5 \cdot 10^5</math> Гц. Методика измерения внутреннего трения в тонких пленках и фольгах. Измерение затухания в твердых телах в области частот <math>10^6 - 10^9</math> Гц. Импульсный эхо-метод. Импульсный метод для измерения скорости звука и коэффициента поглощения. Выбор методики и оценка ошибок при измерении внутреннего трения.</p> <p><b>Применение метода ВТ для исследования твердых тел</b></p> <p>Феноменологическое описание релаксационных процессов. Определение энергии активации релаксационных процессов. Определение энергии активации по смещению положения максимума. Определение энергии активации по форме максимума внутреннего трения. Определение энергии активации по полувысоте релаксационного максимума. Определение энергии активации по температурному положению максимума внутреннего трения. Исследование коэффициента диффузии методом внутреннего трения. Физические основы демпфирующей способности твердых тел.</p>	4	4	4	10	22
<b>Итого</b>			<b>34</b>	<b>16</b>	<b>34</b>	<b>60</b>	<b>144</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

№№ п/п	Наименование лабораторной работы	Объем часов
1	<b>Лабораторная работа № 1</b> Измерение удельного электрического сопротивления четырехзондовым методом	2
2	<b>Лабораторная работа № 2</b> Измерение температурной зависимости электрического сопротивления полупроводника	4
3	<b>Лабораторная работа № 3</b> Измерение ЭДС Холла методом постоянного тока и постоянного магнитного поля	2
4	<b>Лабораторная работа № 4</b> Определение времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках	4
5	<b>Лабораторная работа № 5</b> Изучение микротвердости твердых тел	4
6	<b>Лабораторная работа № 6</b> Определение модуля Юнга по изгибу стержня	2
7	<b>Лабораторная работа № 7</b> Изучение доменной структуры ферромагнитных сплавов	4
8	<b>Лабораторная работа № 8</b> Определение магнитных параметров по петле гистерезиса	2
9	<b>Лабораторная работа № 9</b> Методы измерения теплового расширения	2
10	<b>Лабораторная работа № 10</b> Методы измерения плотности твердых тел	4
11	<b>Лабораторная работа № 11</b> Изучение амплитудной зависимости внутреннего трения в металлах.	4
<b>Итого</b>		<b>34</b>

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 5 семестре для очной формы обучения.

Курсовой проект состоит из двух частей:

Первая часть включает описание одной из методик экспериментальных исследований, примерная тематика которой приведена ниже:

1. Методы исследования квантового эффекта Холла.
2. Электронографический и нейтронографический анализы.
3. Электронно-микроскопический метод анализа.
4. Высокотемпературная металлография.
5. Оптико-электронные системы измерения температуры.
6. Растровая электронная микроскопия.
7. Метод электронного парамагнитного резонанса.
8. Метод ядерного магнитного резонанса.
9. Методы определения теплопроводности.
10. Методы определения теплоемкости.
11. Методы определения теплового расширения.
12. Методы определения коэффициента диффузии.
13. Сканирующая туннельная микроскопия и сканирующая микроскопия на атомных силах.
14. Магнитооптические методы исследований.
15. Термические методы анализа.
16. Оже-электронная спектроскопия.
17. Методы измерения толщины эпитаксиальных слоев и геометрических параметров полупроводниковых пластин и структур.
18. Спектральный анализ.

19. Оптические методы измерения параметров полупроводников.
20. Измерение параметров МДП-структур.
21. Методы измерения работы выхода.
22. Вторичная ионная масс-спектрометрия.
23. Емкостная спектроскопия полупроводников.
24. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь.
25. Определение электрической прочности диэлектриков.

**Вторая часть курсового проекта** включает расчётную часть, посвященную вычислению плотности локализованных состояний на уровне Ферми аморфного оксида (или полупроводника), ширины запрещенной зоны или другого параметра, на основании экспериментальных данных, полученных студентом, или выданных преподавателем.

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- 1. Обработать экспериментальные результаты в соответствии с теоретическими механизмами того или иного физического явления.
- 2. Построить график температурной зависимости анализируемого физического свойства в соответствующих координатах.
- 3. Вычислить соответствующий параметр, в соответствии с заданием, полученным от преподавателя.

Вторая часть курсового проекта включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

### **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».

<b>Компетенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Аттестован</b>	<b>Не аттестован</b>
ПК-2	Знать роль эксперимента в диагностике свойств материалов	Активная работа на лабораторных и практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь выполнять измерения и экспериментальные исследования различных	Активная работа на лабораторных и практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	функциональных материалов			
	Владеть способностью самостоятельно осваивать современную физическую аналитическую аппаратуру различного назначения и работать на ней	Активная работа на лабораторных и практических занятиях	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 5 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
Знать роль эксперимента в диагностике свойств материалов	Знать роль эксперимента в диагностике свойств материалов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь выполнять измерения и экспериментальные исследования различных функциональных материалов	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть способностью самостоятельно	Решение прикладных задач в конкретной предметной	Задачи решены в полном объеме и получены	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

бно осваивать современную физическую аналитическую аппаратуру различного назначения и работать на ней	области	верные ответы	верный ответ во всех задачах		
--	---------	------------------	------------------------------------	--	--

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

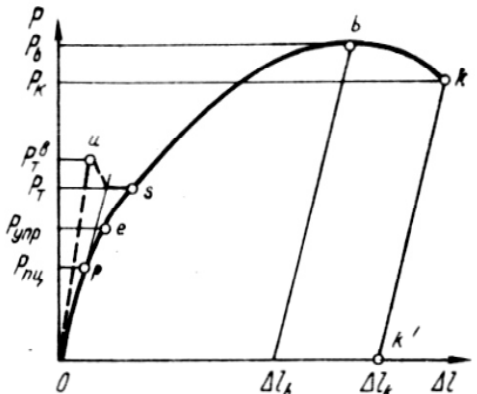
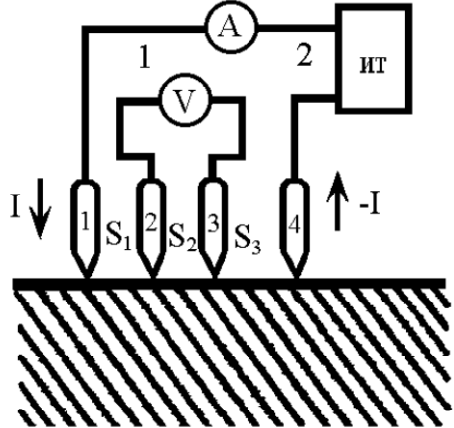
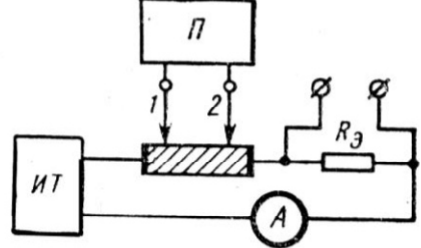
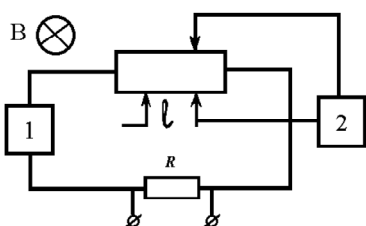
**7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию**

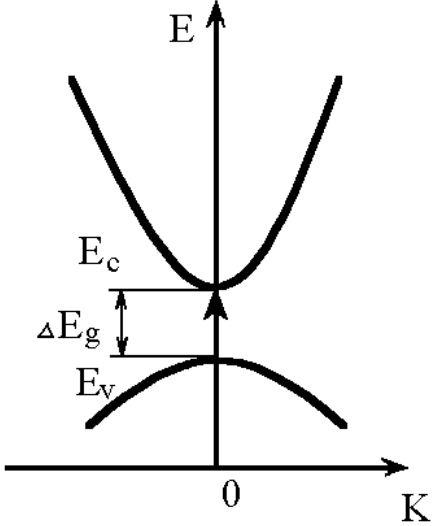
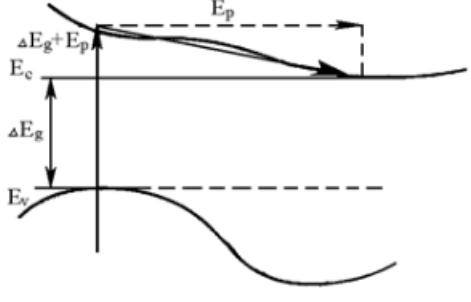
№	Вопрос	Варианты ответа
1	Назовите единицы измерения удельного электрического сопротивления	1) Ом / м 2) Ом / см 3) Ом·м 4) Ом·км  (Эталон: 3)
2	Отношение скорости дрейфа носителей заряда к напряженности электрического поля представляет их	1) проводимость 2) теплопроводность 3) подвижность 4) фотопроводимость  (Эталон: 3)
3	Сколько измерений необходимо выполнить для корректного определения коэффициента Холла на переменном токе в переменном магнитном поле?	1) одно 2) два 3) три 4) четыре  (Эталон: 1)
4	Отношение относительных изменений поперечного и продольного размеров образца при деформации – это :	1) модуль Юнга 2) коэффициент Гука 3) коэффициент Пуассона 4) коэффициент Грюнайзена  (Эталон: 3)
5	Отношение приложенной силы к относительной деформации при растяжении – это :	1) сдвиг 2) напряжение 3) изгиб 4) упругость.  (Эталон: 2)

6	Критерием годности продукции при технологических пробах на изгиб может быть	1) заданный угол загиба 2) появление первой трещины при загибе на заданный угол 3) возможность загиба пластины до параллельности сторон 4) возможность загиба до разрушения (Эталон: 1, 2, 3)
7	Какие методы используют при измерении электропроводности полупроводников?	1) амперметра–вольтметра 2) однозондовый 3) непосредственной оценки 4) четырехзондовый (Эталон: 2, 4)
8	В качестве единицы твердости по Роквеллу принимают безразмерную величину, соответствующую осевому перемещению индентора на ____ мкм	1) 0.5 2) 1 3) 2 4) 5 (Эталон: 3)
9	Укажите единицы измерения подвижности носителей заряда	1) м/(В·с) 2) м <sup>2</sup> /(В·с) 3) К <sup>2</sup> /(В·с) 4) К/(В·с) (Эталон: 2)
10	Перечислите основные методы измерения твердости:	1) Роквелла 2) Джоуля 3) Бринеля 4) Виккерса (Эталон: 1, 3, 4)

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

№	Вопрос	Варианты ответа
1	Четырехзондовым методом на установке ИУС-3 ( $s=1$ мм, $I=1$ мА) измеряется $\rho$ кремния. Определить $U_{23}$ для $\rho=1$ Ом·см	1) 10 мВ 2) 100 мВ 3) 159 мВ 4) 1590 мВ (Эталон: 3)
2	Для повышения чувствительности двухзондового метода измерения электрического сопротивления полупроводников расстояние между зондами	1) уменьшают 2) увеличивают 3) не изменяют 4) закорачивают (Эталон: 2)
3	При измерении эффекта Холла в полупроводниках через образец пропускают электрический ток плотности:	1) $\leq 10$ А/см <sup>2</sup> 2) $\leq 10^4$ А/см <sup>2</sup> 3) $\leq 10^5$ А/см <sup>2</sup> 4) $\leq 10^6$ А/см <sup>2</sup> (Эталон: 1)

<p>4</p>	<p>Изобразите диаграмму растяжения при образовании ярко выраженной шейки перед разрывом, по которой рассчитывают прочностные характеристики</p>	
<p>5</p>	<p>Изобразите схему четырехзонного метода измерения удельного электрического сопротивления полупроводников и диэлектриков</p>	
<p>6</p>	<p>Критерием годности продукции при технологических пробах на изгиб может быть:</p>	<p>1) заданный угол загиба  2) появление первой трещины при загибе на заданный угол  3) возможность загиба пластины до параллельности сторон  4) возможность загиба до разрушения  (Эталон: 1, 2, 3)</p>
<p>7</p>	<p>Изобразите схему двухзонного метода измерения удельного электрического сопротивления полупроводников и диэлектриков</p>	
<p>8</p>	<p>Изобразите схему измерения эффекта Холла при постоянном токе и постоянном магнитном поле</p>	

9	Изобразите структуру зон и оптические переходы в прямозонном полупроводнике	
10	Изобразите структуру зон и оптические переходы в непрямозонном полупроводнике	

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

№	Вопрос	Варианты ответа
1	1. Вычислить удельное сопротивление массивного образца, если через сферический зонд радиусом 0,13 мм протекает ток 0,3 мА при напряжении 40 мВ.	1) 0,0109 Ом·м 2) 0,109 Ом·м 3) 1.09 Ом·м 4) 10.9 Ом·м (Эталон: 2)
2	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	1) 15,69 Ом·см 2) 156,9 Ом·см 3) 1569 Ом·см 4) 15690 Ом·см (Эталон: 2)

3	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 $3,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{Кл}$ , а ток – 10 мА.	1) 0,183 мВ; 2) 1, 83 мВ; 3) 18,3 мВ; 4) 183 мВ  (Эталон: 2)
4	При температуре 300 К для монохроматического излучения с длиной волны 1 мкм показатель поглощения кремния $10^4 \text{ м}^{-1}$ , а коэффициент отражения излучения 0,3. Определить какая доля потока излучения пройдет через пластину кремния толщиной 300 мкм при нормальном падении лучей.	1) 0 % 2) 3.5 % 3) 35 % 4) 50 %. (Эталон: 2)
5	Вычислите минимальную длину световой волны, для которой арсенид галлия, имеющий ширину запрещенной зоны 1,43 эВ при температуре 300 К, является оптически прозрачным.	1) 500 нм; 2) 867 нм; 3) 1000 нм; 4) 1500 нм. (Эталон: 2)
6	При измерении коэффициента поглощения света в двух образцах полупроводниковой пленки, различающихся по толщине на 1 мкм, отношение интенсивностей проходящего света изменилось в е-раз. Определить коэффициент поглощения	1) $10^2 \text{ см}^{-1}$ ; 2) $10^3 \text{ см}^{-1}$ ; 3) $10^4 \text{ см}^{-1}$ ; 4) $10^5 \text{ см}^{-1}$ . (Эталон: 2)
7	Для кристалла n-Si с подвижностью электронов $\mu=900 \text{ см}^2/\text{Вс}$ зонды установлены на расстоянии $l=1\text{мм}$ , смещение $U=10 \text{ В}$ . Определите время прохождения носителями расстояния $l$ .	1) $t=0,11 \text{ мкс}$ 2) $t=1.1 \text{ мкс}$ 3) $t=11 \text{ мкс}$ 4) $t=110 \text{ мкс}$  (Эталон: 2)
8	Какие силы надо приложить к концам стальной проволоки с модулем упругости $E=200 \text{ ГПа}$ длиной 4 м и сечением $0,5 \text{ мм}^2$ для удлинения ее на 2 мм?	1) 5 Н 2) 10 Н 3) 50 Н 4) 100 Н (Эталон: 3)
9	Определите температуру пика Бордони в алюминии на частоте 1 МГц, если энергия активации $E = 0,16 \text{ эВ}$ , а частотный фактор $f_0 = 5 \cdot 10^{-12} \text{ с}^{-1}$ .	1) 100 К 2) 144 К 3) 152 К 4) 168 К  □(Эталон: 3)

10	Найдите рентгеновскую плотность кремния, если постоянная решетки равна $a = 0,591$ нм.	1) 2, 15 г/см <sup>3</sup> 2) 2, 25 г/см <sup>3</sup> 3) 2, 34 г/см <sup>3</sup> 4) 2, 44 г/см <sup>3</sup> (Эталон: 3)
----	--	---

#### **7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету**

Не предусмотрено учебным планом

#### **7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену**

1. Задачи курса "Экспериментальные методы исследований". Основные параметры.
2. Подготовка образцов к измерениям. Методы изготовления образцов заданной геометрии. Методы получения омических контактов.
3. Четырехзондовый метод измерения удельного электрического сопротивления на постоянном токе.
4. Четырехзондовый метод измерения удельного электрического сопротивления на переменном токе.
5. Двухзондовый метод измерения удельного электрического сопротивления.
6. Однозондовый метод измерения удельного электрического сопротивления.
7. Бесконтактные методы измерения удельного электрического сопротивления.
8. Определение параметров полупроводников по температурной зависимости электрического сопротивления.
9. Эффект Холла и другие гальваномагнитные эффекты.
10. Измерение эффекта Холла методом постоянного магнитного поля и постоянного тока.
11. Измерение эффекта Холла методом переменного магнитного поля или переменного тока.
12. Измерение эффекта Холла методом переменного магнитного поля и переменного тока
13. Измерение тока Холла.
14. Определение концентраций донорных и

акцепторных примесей по измерению эффекта Холла.

15. Измерение дрейфовой подвижности.

16. Определение времени жизни неосновных носителей методом модуляции проводимости точечным контактом.

17. Определение времени жизни неосновных носителей методом затухания фотопроводимости.

18. Фазовый и частотный методы измерения времени жизни неосновных носителей.

19. Измерение стационарной фотопроводимости.

20. Экспериментальные методы измерения оптических свойств.

21. Определение основных параметров полупроводников из спектров поглощения и отражения.

22. Классификация механических испытаний.

23. Методы определения упругих свойств.

24. Измерение твердости по Бринеллю.

25. Измерение твердости по Виккерсу.

26. Измерение твердости по Роквеллу.

27. Измерение микротвердости.

28. Испытания на растяжение.

29. Испытание на сжатие.

30. Испытания на изгиб.

31. Испытания на кручение.

32. Испытания на замедленное разрушение.

33. Испытания на ударную вязкость.

34. Испытания на усталость.

35. Испытания на ползучесть.

36. Испытания на длительную прочность.

37. Испытания на релаксацию напряжений.

38. Методы измерения неупругих свойств (общие сведения о неупругости).
39. Меры внутреннего, трения.
40. Измерение упругих и неупругих свойств методом крутильного маятника.
41. Измерение неупругих свойств в тонких пленках.
42. Особенности измерения неупругих свойств в магнитоstrictionных ферромагнетиках.
43. Импульсный метод измерения упругих и неупругих свойств.
44. Определение энергии активации релаксационного процесса по результатам измерения внутреннего трения.
45. Измерение коэффициента диффузии методом внутреннего трения.
46. Основные параметры магнитных материалов.
47. Метод амперметра и вольтметра и потенциометрический метод для измерения магнитных параметров.
48. Мостовой и резонансный методы измерения магнитных параметров.
49. Методы измерения магнитоstriction.
50. Методы наблюдения доменной структуры ферромагнетиков.
51. Методы измерения плотности.
52. Определение термического расширения.
53. Методы измерения плотности.
54. Определение теплопроводности.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

*Экзамен 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 «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент*

набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)

### 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Введение Методы исследования электрических свойств и термоэДС	ПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Методы контроля параметров полупроводников и диэлектриков	ПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Механические методы испытаний	ПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Методы измерения магнитных свойств	ПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Методы исследования физических свойств функциональных материалов	ПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
6	Релаксационные методы исследования высокодемпфирующих материалов	ПК-2	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

### 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 экзаменатором и выставляется оценка согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики 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 экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

*Укажите учебную литературу*

<b>7.1 Рекомендуемая литература</b>				
№ п/п	Авторы, составители	Заглавие	Годы издания. Вид издания	Обеспечен ность
<b>7.1.1. Основная литература</b>				
8.1.1. 1	Золотухин И.В., Калинин Ю.Е., Железный В.С., Гуцин В.С.	Экспериментальные методы исследований. – Воронеж: ВГТУ, 2004. – 494 с.	2004 Печ.	1,0
8.1.1. 2	Калинин Ю.Е.	Калинин Ю.Е. Экспериментальные методы исследований: учеб. пособие [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые, граф. данные (15 Мб) / Ю.Е. Калинин. – Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Систем. требования: ПК 500 и выше; 256 Мб ОЗУ; Windows XP; Adobe Acrobat; 1024x768; CD-ROM ; мышь. – Загл. с экрана.	2015 Электр.	1,0

<b>7.1.2. Дополнительная литература</b>				
8.1.2. 1	Головин Ю.И.	Основы нанотехнологий. – М.: Машиностроение, 2012. – 656 с.	2012 Печ.	0,1
8.1.2. 2	Миронов В.Л.	Основы сканирующей зондовой микроскопии. – Нижний Новгород: РАН, Институт физики микро-структур, 2004. – 110 с.	2004. Печ.	0,2
8.1.2. 3	Головин Ю.И.	Наноиндетирование и его возможности. – М.: Машиностроение, 2009. – 312 с.	2009 Печ.	0,1
<b>7.1.3 Методические разработки</b>				
8.1.3.1	Калинин Ю.Е. Янченко Л.И.	<b>Экспериментальные методы исследования</b> (Лабораторный практикум) (ВГТУ) – 2017 № госрегистрации <b>0321702086</b>	2017 Электр.	1
7.1.3.2	Калинин Ю.Е.	Методические указания к выполнению курсовых работ по дисциплине «Экспериментальные методы исследований» для студентов направления 16.03.01 «Техническая физика» (профиль «Физическая электроника») очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. Ю.Е. Калинин. Воронеж, 2015. 21 с (361-2015)	2015 магн. носитель	1
7.1.3. 3	Калинин Ю.Е.	Методические указания к практическим занятиям по курсу «Экспериментальные методы исследований» для студентов направления 16.03.01 «Техническая физика» (профиль «Физическая электроника») очной формы обучения	2015 магн. носитель	1

	(71-2015)		
--	-----------	--	--

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

*Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, Строй Консультант (<http://www.stroykonsultant.com>).*

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

*Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная плакатами и пособиями по профилю.*

<b>9.1</b>	<b><i>Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой</i></b>
<b>9.2</b>	<b><i>Учебные лаборатории:</i></b> – “«Физического материаловедения»” – ”«Физ. свойства твердых тел»
<b>9.3</b>	<b><i>Дисплейный класс</i></b>

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Экспериментальные методы исследований» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

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 стандартных и прикладных задач. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

<b>Вид учебных занятий</b>	<b>Деятельность студента</b>
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.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, 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: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul>
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 экзаменом 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
----------	-----------------------------	----------------------------	--