

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Структурное подразделение «Радиоэлектроники и телекоммуникационных систем»

УТВЕРЖДЕНА:
на заседании кафедры
Протокол №13 от 02 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины
«ТВЕРДОТЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

Направление: 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

Компоненты микро- и наносистемной техники

Квалификация: Бакалавр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Строкин Николай
Александрович
Дата подписания: 01.07.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Ченский Александр
Геннадьевич
Дата подписания: 05.07.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Ниндакова Лидия
Очировна
Дата подписания: 02.07.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Твердотельная электроника» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПКР-9 Готовность работать на современном технологическом оборудовании, используемом в производстве материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	ПКР-9.6

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПКР-9.6	Активным компонентам твердотельной электроники, приборам и устройствам, выполненным на их основе, определяет место в современном базовом технологическом оборудовании для производства материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	Знать типы нелинейных компонентов и активных приборов твердотельной электроники, которые используются в базовом технологическом оборудовании, применяемом в производстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники, их характеристики, зависимости параметров от условий эксплуатации. Уметь использовать компоненты твердотельной электроники для построения базовых ячеек электроники и применять модели линейных и нелинейных компонентов при анализе поведения электронных устройств. Владеть навыками экспериментального определения основных характеристик и параметров нелинейных компонентов и активных приборов твердотельной электроники.

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Твердотельная электроника» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Физические основы электроники», «Физические основы оптоэлектроники», «Электроника и схемотехника», «Производственная практика: практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Квантовая и оптическая электроника», «Материалы и элементы электронной техники»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 5 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 7
Общая трудоемкость дисциплины	180	180
Аудиторные занятия, в том числе:	80	80
лекции	32	32
лабораторные работы	16	16
практические/семинарские занятия	32	32
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	64	64
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 7

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)				
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Разновидности контактных явлений и переходов	1	3							Тест
2	Контактные явления на границе металл- полупроводник	2	3					3	6	Тест
3	Характеристики р-п перехода	3	3			1	4	2	6	Тест
4	Полупроводников ые диоды	4	2	1	3	2, 3	10			Тест
5	Биполярные транзисторы: характеристики, параметры, модели	5	4	1, 2, 3	7	4	10	5	10	Тест
6	Полевые транзисторы: характеристики, параметры, модели	6	3	4	3	5	8			Тест
7	Тиристоры: характеристики, параметры,	7	4	5	3			4	6	Тест

	модели									
8	Фотоэлектрические и излучательные приборы	8	6					1	36	Тест
9	Основы использования приборов твердотельной электроники	9	4							Тест
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего		32		16		32		100	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 7

№	Тема	Краткое содержание
1	Разновидности контактных явлений и переходов	Выпрямление тока на р-п-переходе. ВАХ р-п-перехода. Зонная модель р-п-перехода при прямом и обратном смещении. Влияние температуры на ВАХ р-п-перехода. Пробой р-п-перехода. Законы распределения носителей в зонах полупроводника. Концентрация носителей в собственном и примесном полупроводниках. Подвижность носителей. Электропроводность. Рекомбинация носителей. Равновесное и неравновесное состояние. Время жизни.
2	Контактные явления на границе металл-полупроводник	Контакт металл-полупроводник (КМП). Зонная модель КМП. Выпрямление тока и вольт-амперная характеристика (ВАХ) КМП. Анализ р-п-перехода в неравновесном состоянии. Гетеропереходы (ГП). Анизотипные и изотипные ГП. Зонные модели ГП. Особенности ГП в сравнении с гомогенными р-п-переходами.
3	Характеристики р-п перехода	ВАХ р-п-перехода. Анализ перехода в равновесном состоянии. Структуры металл-диэлектрик-полупроводник (МДП-структуры). Идеальная МДП-структура. Режимы обогащения, обеднения, инверсии и глубокого обеднения в приповерхностном слое полупроводника. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры. Поперечная и про-дольная проводимости МДП-структуры.
4	Полупроводниковые диоды	Анализ идеализированного диода. Решение диффузионного уравнения. Вольт-амперная характеристика идеализированного диода. Характеристические сопротивления. Выпрямительные диоды. Стабилитроны. Варикапы. Сверхвысокочастотные диоды. Туннельные диоды. Лавинно-пролетные диоды. Диоды Ганна.
5	Биполярные	Структура и основные режимы работы

	транзисторы: характеристики, параметры, модели	биполярного транзистора (БТ). Взаимодействие двух р-п-переходов. Схемы включения БТ во внешнюю цепь. Энергетическая диаграмма БТ в нормальном активном режиме. Принцип действия БТ в качестве усилителя. Физические параметры БТ и связь между ними. Дрейфовый транзистор. Статические характеристики БТ. Физика работы транзистора на малом переменном сигнале. Эквивалентная схема БТ. Факторы, определяющие быстродействие транзистора. Составные транзисторы. Транзистор, включенный по схеме с общим коллектором. Дрейфовые транзисторы. Разновидности дискретных транзисторов.
6	Полевые транзисторы: характеристики, параметры, модели	Полевые транзисторы (ПТ) с управляющим р-п-переходом: принцип действия. Статические характеристики ПТ. Эквивалентная схема ПТ. ПТ с изолированным затвором (МДП-транзисторы). МДП-транзисторы с встроенным и индуцированным каналами.
7	Тиристоры: характеристики, параметры, модели	Структура и принцип действия динистора. ВАХ динистора. Принцип действия тиристора.
8	Фотоэлектрические и излучательные приборы	Оптоэлектронные приборы. Фотодиоды. Светодиоды. Лазеры. Оптопары.
9	Основы использования приборов твердотельной электроники	Терморезисторы, фоторезисторы, тензорезисторы и тензодиоды, магниторезисторы и магнитодиоды, варисторы, приборы с зарядовой связью, акусто-электронные приборы, датчики Холла.

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 7

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Полупроводниковые диоды	3
1	Изучение универсального лабораторного стенда	2
2	Биполярные транзисторы	3
3	Частотные свойства биполярного транзистора	2
4	Полевые транзисторы	3
5	Тиристоры	3

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 7

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Свойства р-п-перехода	4
2	Полупроводниковые диоды	6
3	Стабилитрон	4
4	Схемы с биполярным транзистором	10

5	МДП–транзисторы	8
---	-----------------	---

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 7

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Выполнение тренировочных и обучающих тестов	36
2	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	6
3	Подготовка к практическим занятиям	6
4	Подготовка к сдаче и защите отчетов	6
5	Проработка разделов теоретического материала	10

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Интерактивная лекция; компьютерная симуляция; семинар–дискуссия; разбор конкретных ситуаций.

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Основной задачей практических занятий студентов является закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях. Цель работы – научиться ориентироваться в теоретическом материале, получить навыки решения задач и применения прикладной специализированной компьютерной программы PTC_MathCAD15.

При выполнении задания для практических занятий рекомендуется начать с изучения лекционного материала по рассматриваемой теме. При возникновении неясностей или затруднений в понимании материала следует обратиться к литературе, рекомендованной преподавателем.

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Предназначены для оказания помощи студентам по выполнению лабораторных работ. Содержание лабораторных работ: тема; цель и задачи работы; рекомендуемая литература; краткие сведения по теории; схема выполнения лабораторной работы; задания; контрольные вопросы.

Перечень лабораторных работ

1. Ознакомление с лабораторным стендом.
2. Полупроводниковые диоды.
3. Биполярные транзисторы.
4. Частотные свойства биполярного транзистора.
5. Полевые транзисторы.
6. Тиристоры.

Методические указания и задания к лабораторным работам получают студентами у преподавателя перед их выполнением.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Параметры для расчетных работ уточняются преподавателем при выдаче тестовых заданий и задач. Подготовка к экзамену состоит из самостоятельного углубленного изучения – повторения курса лекций с использованием основной и дополнительной литературы и выяснения возникших вопросов у преподавателя на консультациях.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 семестр 7 | Тест

Описание процедуры.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).
Тестирование (примеры)

Тема (раздел): Разновидности контактных явлений и переходов.

Вопросы для контроля:

1. Каковы соотношения между толщиной базы транзистора δ и диффузионной длиной неосновных носителей в базе L ?

- 1) $\delta = L$.
- 2) $\delta \ll L$.
- 3) $\delta > L$.

2. Что является причиной движения неосновных носителей в базе к коллекторному переходу при малом уровне инжекции в бездрейфовом транзисторе?

- 1) Действие сил диффузии.
- 2) Действие электрического поля.
- 3) Нет правильного ответа.

3. В каком случае наблюдается заметный дрейф неосновных носителей в базе бездрейфового транзистора?

- 1) При малом уровне инжекции.
- 2) Никогда не наблюдается.
- 3) При высоком уровне инжекции.

4. Какова теоретическая зависимость тока через р-п переход от значения приложенного внешнего напряжения?

- 1)
- 2)
- 3)

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).

Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

5. В случае контакта металл – полупроводник возможны из-за различных комбинаций полупроводников (р- и п-типы) и соотношения термодинамических работ выхода из металла и полупроводника следующие контакты (состояния):

- 1) нейтральный контакт (плоские зоны в полупроводнике);

2) омический контакт (соответствует условию обогащения приповерхностной области полупроводника (дырками в р-типе и электронами в п-типе);
3) блокирующий контакт или барьер Шоттки (приповерхностная область полупроводника обогащена основными носителями, в этом случае в области контакта со стороны металла формируется область пространственного заряда ионизированных доноров или акцепторов.

6. Если контакта металл – полупроводник п-типа термодинамическая работа выхода из полупроводника $\Phi_{пп}$ меньше, чем термодинамическая работа выхода из металла $\Phi_{Ме}$, то:

- 1) ток термоэлектронной эмиссии с поверхности полупроводника $j_{пп}$ будет больше, чем ток термоэлектронной эмиссии с поверхности металла $j_{Ме}$;
- 2) ток термоэлектронной эмиссии с поверхности полупроводника $j_{пп}$ будет меньше, чем ток термоэлектронной эмиссии с поверхности металла $j_{Ме}$;
- 3) ток термоэлектронной эмиссии с поверхности полупроводника $j_{пп}$ будет равен току термоэлектронной эмиссии с поверхности металла $j_{Ме}$.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).
Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

Тема (раздел): Характеристики р-п-перехода

Вопросы для контроля:

1. Что такое р-п переход?

- 1) Граница раздела областей полупроводника с проводимостью р- и п-типов.
- 2) Место соприкосновения двух полупроводников с разной структурой.
- 3) Переходный слой между двумя областями полупроводника, одна из которых имеет электропроводность р-типа, а другая – п-типа.

2. Какое включение р-п перехода называется прямым?

- 1) Увеличивающее скачок потенциала на р-п переходе.
- 2) Включение, при котором уменьшается высота потенциального барьера и переход представляет собой малое сопротивление протекающему току.
- 3) Плюс внешнего источника к п-области, минус к р-области.

3. Какое включение р-п перехода называется обратным?

- 1) Плюс внешнего источника к р-области, минус к п-области.
- 2) Включение, при котором увеличивается высота потенциального барьера и переход представляет большое сопротивление протекающему току.
- 3) Уменьшающее скачок потенциала на р-п переходе.

4. Как изменится высота потенциального барьера р-п перехода при прямом включении?

- 1) Увеличится.
- 2) Не изменится.
- 3) Уменьшится.

5. Как изменяется толщина р-п перехода при обратном включении?

- 1) Уменьшается.
- 2) Увеличивается.
- 3) Не изменяется.

6. Чем объясняется изменение толщины р-п перехода при включении внешнего источника?

- 1) Изменением структуры кристаллической решетки.
- 2) Нагреванием р-п перехода.
- 3) Изменением концентрации подвижных носителей вблизи границы раздела полупроводников разной структуры.

7. Какими процессами определяется наличие барьерной емкости р-п перехода?

- 1) Изменением объемного заряда в р-п переходе при изменении напряжения.
- 2) Изменением концентрации неподвижных носителей в области р-п перехода при изменении напряжения.
- 3) Изменением тока основных носителей через р-п переход.

8. Какими процессами определяется наличие диффузионной емкости в р-п структуре?

- 1) Изменением объемного заряда в р-п переходе при изменении напряжения.
- 2) Перераспределением зарядов в областях, прилегающих к р-п переходу за счет инжекции и экстракции подвижных носителей.
- 3) Изменением концентрации неподвижных носителей при изменении напряжения.

9. Как изменяется барьерная емкость при увеличении (по абсолютной величине) обратного напряжения на р-п переходе?

- 1) Уменьшается.
- 2) Увеличивается.
- 3) Не изменяется.

10. Какова примерно высота потенциального барьера р-п перехода в равновесном состоянии у кремния?

- 1) 0,01 – 0,5 В.
- 2) 0,5 – 0,7 В.
- 3) 0,8 – 1 В.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов). Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

Тема (раздел): Полупроводниковые диоды

Вопросы для контроля:

1. Укажите график теоретически ожидаемой зависимости тока полупроводникового диода от значения приложенного напряжения (2):
2. Укажите график экспериментально наблюдаемой зависимости тока полупроводникового диода от значения приложенного напряжения (1):
3. Как изменяется вольт-амперная характеристика кремниевого выпрямительного диода при повышении температуры (3)?
4. Какие полупроводниковые диоды могут работать на более высоких частотах?
 - 1) Плоскостные диоды.
 - 2) Точечные диоды.
 - 3) Рабочая частота от типа перехода не зависит.

5. Импульсный диод – это...

- 1) Диод, работающий в режиме пробоя.
- 2) Диод, имеющий малую постоянную времени.
- 3) Диод с большой емкостью р-п перехода.

6. Для чего база некоторых импульсных диодов дополнительно легируется примесями металлов (например, золотом)?

- 1) Для увеличения механической прочности диода.
- 2) Для улучшения теплоотвода.
- 3) Для уменьшения времени восстановления за счет образования рекомбинационных ловушек.

7. Полупроводниковый стабилитрон – это...

- 1) Полупроводниковый диод, работающий в режиме электрического пробоя на обратной ветви характеристики.
- 2) Диод, работающий на линейном участке прямой ветви.
- 3) Точечный диод, работающий при небольших прямых смещениях.

8. Что такое варикап?

- 1) Диод с очень малой емкостью р-п перехода.
- 2) Диод, работающий в режиме пробоя.
- 3) Диод, в котором используется зависимость барьерной емкости перехода от значения обратного напряжения.

9. Что называется туннельным диодом?

- 1) Диод, имеющий на прямой ветви вольт-амперной характеристики участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением.
 - 2) Диод, имеющий на обратной ветви вольт-амперной характеристики участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением.
 - 3) Диод, работающий в режиме лавинного пробоя при больших обратных смещениях.
10. Укажите обратную ветвь вольт-амперной характеристики стабилитрона (1):

11. Укажите схему включения стабилитрона (2):

12. Какова вольт-амперная характеристика туннельного диода (3)?

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).
Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

Тема (раздел): Биполярные транзисторы: характеристики, параметры, модели

Вопросы для контроля:

1. Что называется эмиттером биполярного транзистора?

- 1) Область транзистора, назначением которой является инжекция в базу не-основных носителей.
- 2) Область транзистора со стороны открытого перехода.
- 3) Область транзистора, назначением которой является экстракция из базы неосновных

носителей.

2. Что называется коллектором биполярного транзистора?

- 1) Область транзистора со средней концентрацией примеси.
- 2) Область транзистора, назначением которой является инжекция в базу неосновных носителей.
- 3) Область транзистора, назначением которой является экстракция из базы неосновных носителей.

3. Что показывает эффективность эмиттера (коэффициент инжекции)?

- 1) Долю вводимых в базу неосновных носителей в общем токе эмиттера.
- 2) Долю вводимых в базу неосновных носителей в сравнении с неосновными носителями в коллекторе.
- 3) Долю составляющей, обусловленной током эмиттера, во всем коллекторном токе.

4. Что показывает коэффициент переноса?

- 1) Долю неосновных носителей, захваченных коллекторным переходом, в общем количестве неосновных носителей, инжектированных в базу эмиттером.
- 2) Долю основных носителей в общем количестве носителей, имеющих в базе.
- 3) Долю основных носителей в общем количестве носителей, рекомбинирующих в базе.

5. Какой из переходов транзистора обычно имеет большую площадь?

- 1) Эмиттерный переход.
- 2) Коллекторный переход.
- 3) Оба перехода имеют одинаковую площадь.

6. Укажите определение интегрального коэффициента передачи тока эмиттера

- 1)
- 2)
- 3)

7. Почему коэффициент передачи тока эмиттера меньше единицы?

- 1) Вследствие инжекции неосновных носителей из коллектора в базу.
- 2) Из-за большого сопротивления базы.
- 3) Вследствие рекомбинации в базе части неосновных носителей, инжектированных эмиттером, и поскольку эффективность эмиттера меньше единицы.

8. Какие носители (электроны или дырки) инжектируются в базу транзистора типа р-п-р?

- 1) Дырки.
- 2) Электроны.
- 3) Дырки и электроны.

9. Укажите условное обозначение в схемах транзистора типа р-п-р.

9. Что такое режим отсечки?

- 1) Коллекторный переход смещен в прямом направлении, а эмиттерный в обратном.
- 2) Коллекторный переход смещен в обратном направлении, а эмиттерный в прямом.
- 3) Коллекторный и эмиттерный переходы смещены в обратном направлении.

10. При каком включении транзистора входное сопротивление усилительного каскада меньше?

- 1) При включении с общей базой.
- 2) При включении с нагрузкой по схеме с общим коллектором.
- 3) При включении с общим эмиттером.

11. Можно ли получить усиление тока при включении транзистора по схеме с общей базой?

- 1) Можно.
- 2) Нельзя.
- 3) При малых нагрузках в цепи коллектора – можно, при больших – нельзя.

12. Какая из схем включения транзистора обеспечивает максимальное усиление мощности?

- 1) Схема с общей базой.
- 2) Схема с общим эмиттером.
- 3) Во всех схемах усиление мощности одинаково.

13. Можно ли получить усиление по напряжению при включении транзистора по схеме с общим коллектором?

- 1) Можно.
- 2) Нельзя.
- 3) Можно только при больших сопротивлениях нагрузки.

14. Что такое активный режим транзистора?

- 1) Эмиттерный и коллекторный переходы смещены в обратном направлении.
- 2) Эмиттерный и коллекторный переходы смещены в прямом направлении.
- 3) Эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный — в обратном.

15. В какой схеме включения транзистора усилительный каскад имеет минимальное выходное сопротивление?

- 1) В схеме с общей базой.
- 2) В схеме с общим эмиттером.
- 3) В схеме с общим коллектором.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).
Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

Тема (раздел): Полевые транзисторы: характеристики, параметры, модели

Вопросы для контроля:

1. В зависимости от знака и величины приложенного напряжения присутствуют четыре состояния области пространственного заряда полупроводника – обогащение, обеднение, слабая и сильная инверсия. Полевые транзисторы в активном режиме могут работать только:

- 1) в области слабой инверсии;
- 2) в области сильной инверсии;
- 3) в отсутствии инверсии, то есть в том случае, когда инверсионный канал между истоком и стоком отделен от объема подложки слоем обеднения.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточки с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).
Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

Тема (раздел): Тиристоры: характеристики, параметры, модели

Вопросы для контроля:

1. Тиристор – это:

- 1) полупроводниковый прибор с двумя и более р-п переходами;
- 2) полупроводниковый прибор, вольт-амперная характеристика которого имеет участок с отрицательным дифференциальным сопротивлением;
- 3) полупроводниковый прибор, который используется для усиления импульсных сигналов.

2. Тиристор имеет 3 устойчивых состояния:

- 1) малый ток, большое напряжение, высокое сопротивление;
- 2) большой ток, малое напряжение, высокое сопротивление;
- 3) большой ток, малое напряжение, малое сопротивление.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточка с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).

Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

Тема (раздел): Фотоэлектрические и излучательные приборы

Вопросы для контроля:

1. Фотоэлектрические и излучательные приборы:

- 1) светодиоды – это полупроводниковые приборы, генерирующие монохроматическое когерентное оптическое излучение при прохождении через них электрического тока;
- 2) фотодиоды – это полупроводниковые приборы, принцип действия которых основан на внешнем фотоэффекте;
- 3) фототранзисторы – это полупроводниковые приборы, в которых управление током базы осуществляется на основе внутреннего фотоэффекта.

Описание процедуры: каждому студенту выдается раздаточный материал – карточка с тестовыми заданиями (2 подраздела темы; в каждом по 3 вопроса с вариантами ответов).

Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

Тема (раздел): Основы использования приборов твердотельной электроники

Вопросы для контроля:

1. В полупроводниковых датчиках используются:

- 1) физико-химические эффекты и явления в проводниках и диэлектриках, связанные с преобразованием механических, тепловых, электрических, магнитных величин в соответствующие электрические сигналы;
- 2) эффект Холла – генерация холловского напряжения при протекании по полупроводнику тока в направлении, параллельном внешнему магнитному полю;
- 3) тензорезисторы – резисторы, которые сохраняют свое электрическое сопротивление при их механической деформации.

2. Что называется пробоем р-п перехода?

- 1) Разрушение перехода вследствие изменения концентрации примесей.
- 2) Возрастание тока через переход при больших обратных смещениях.
- 3) Резкое увеличение дифференциальной проводимости при увеличении (по абсолютной величине) прямого напряжения.

3. Какой пробой перехода называется электрическим?

- 1) Пробой, обусловленный ростом температуры перехода.
- 2) Пробой, обусловленный лавинным размножением носителей заряда или туннельным эффектом.
- 3) Пробой, обусловленный уменьшением (по абсолютной величине) обратного напряжения.

4. Какие виды пробоя являются обратимыми процессами?

- 1) Лавинный и тепловой.
- 2) Туннельный и тепловой.
- 3) Лавинный и туннельный.

5. Как зависит напряжение лавинного пробоя от температуры?

- 1) Увеличивается с ростом температуры.
- 2) Уменьшается с ростом температуры.
- 3) От температуры не зависит.

Критерии оценивания.

Критерии оценки: зачтено – если процент правильных ответов превышает 50% (50% и менее – не зачет).

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПКР-9.6	Излагает физические законы, на основе которых построены элементы твердотельной электроники, определяет назначение и функциональные связи между элементами в устройствах твердотельной электроники, которые используются в базовом технологическом оборудовании, применяемом в производстве материалов, компонентов nano- и микросистемной техники.	Устное собеседование по теоретическим вопросам на экзамене и выполнение практических заданий.

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 7, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Описание процедуры экзамена:
устное собеседование на экзамене по теоретическим вопросам.

Пример задания:

Образец экзаменационного билета

Иркутский национальный исследовательский технический университет
Институт высоких технологий
Кафедра радиоэлектроники и телекоммуникационных систем

Дисциплина «Твердотельная электроника»

Экзаменационный билет № 8

1. Термоэлектронная эмиссия из полупроводника, термодинамическая работа выхода, электронное сродство.
2. Собственный полупроводник.

Билет составил профессор кафедры РЭиТС
_____ Строкин Н.А.

Утверждаю:
Заведующий кафедрой РЭиТС

_____ Ченский А.Г.
15 декабря 2025 г.

20 декабря 2025 г.

Вопросы, темы для подготовки к экзамену

1. Введение. Исторический обзор физики полупроводников. Определение полупроводника.
2. Механизм образования энергетических зон. Закон дисперсии.
3. Заполнение энергетических зон – металлы, полупроводники.
4. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля.
5. Эффективная масса носителей заряда. Понятие дырки.
6. Зонная структура некоторых полупроводников (Si, Ge, GaAs, InSb).
7. Метод эффективной массы.
8. Примесные состояния в полупроводниках. Глубокие примеси.
9. Плотность квантовых состояний в энергетических зонах.
10. Функция распределения Ферми – Дирака.
11. Степень заполнения примесных уровней.
12. Концентрация электронов и дырок в зонах.
13. Собственный полупроводник.
14. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примесей и от температуры для невырожденного полупроводника.
15. Время релаксации.
16. Удельная проводимость полупроводника.
17. Механизмы рассеяния электронов в полупроводниках. Оценка эффективного сечения рассеяния. Зависимость подвижности от температуры.
18. Температурная зависимость удельной проводимости полупроводника.
19. Эффект Холла.
20. Магнитосопротивление полупроводников.

21. Термоэлектрические эффекты в полупроводниках.
22. Теплопроводность полупроводников.
23. Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми.
24. Биполярная оптическая генерация неравновесных носителей заряда.
25. Монополярная оптическая генерация неравновесных носителей заряда, время релаксации Максвелла.
26. Механизмы рекомбинации неравновесных носителей заряда в полупроводниках.
27. Диффузия и дрейф неравновесных носителей в случае монополярной генерации.
28. Диффузия и дрейф неосновных носителей заряда в примесном полупроводнике.
29. Термоэлектронная эмиссия из полупроводника, термодинамическая работа выхода, электронное сродство.
30. Контактная разность потенциалов.
31. Контакт металл – полупроводник, диодная теория выпрямления.
32. Контакт электронного и дырочного полупроводников, образование р-п перехода. Ширина области объемного заряда и барьерная емкость р-п перехода.
33. Выпрямление тока на р-п переходе, диодная теория.
34. Пробой р-п перехода.
35. Туннельный диод.
36. Импульсные свойства р-п переходов.
37. Принцип работы биполярного транзистора.
38. Параметры и выходные характеристики транзистора.
39. Принцип работы полевого транзисторов. Выходные характеристики.
40. Фотопроводимость полупроводников, релаксация фотопроводимости.
41. Фотоэффект в р-п переходе. Различные режимы работы фотодиода. Солнечные элементы.
42. Светодиоды. Оптронная пара.
33. Полупроводниковые лазеры.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительн о	Неудовлетворительно
Излагает физические законы, на основе которых построены твердотельные электронные элементы, определяет назначение и функциональные связи между элементами в устройствах базового технологического оборудования, применяемого в производстве материалов, компонентов nano- и микро-	Допускает незначительные ошибки при изложении физических законов, на основе которых построены твердотельные электронные элементы, при определении назначения и функциональных связей между элементами в устройствах базового технологического оборудования, применяемого в про-	Допускает существенные ошибки при изложении физических законов, на основе которых построены твердотельные электронные элементы, при определении назначения и функциональных связей между элементами в устройствах базового технологического оборудования, применяемого в произ-	Допускает принципиальные ошибки при изложении физических законов, на основе которых построены твердотельные электронные элементы, при определении назначения и функциональных связей между элементами в устройствах базового технологического оборудования, применяемого в производстве материалов, компонентов nano- и микросистемной техники,

системной техники; учитывает современные тенденции развития электроники, вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.	изготовлении материалов, компонентов нано- и микросистемной техники, при рассказе о современных тенденциях развития электроники, вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.	водстве материалов, компонентов нано- и микросистемной техники, при рассказе о современных тенденциях развития электроники, вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.	при рассказе о современных тенденциях развития электроники, вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности.
---	---	--	--

7 Основная учебная литература

1. Прянишников В.А. Электроника: полный курс лекций / В.А. Прянишников, 2010. 415 с.
2. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы: учебное пособие / В.В. Пасынков, Л.К. Чиркин, 2009. 478, [2] с. <https://e.lanbook.com/book/300#book>
3. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: учебное пособие по направлениям подготовки «Электроника и микроэлектроника» и «Телекоммуникации» / А.Н. Игнатов, 2017. 538 с.
4. Трубочкина Н.К. Наноэлектроника и схемотехника [Электронный ресурс]: учебник для академического бакалавриата: в 2 ч. Ч. 2, 2018. 250 с. <http://www.biblio-online.ru/book/035AAF79-5C5F-4AAF-B4FE-F71CB05A08C8?>
5. Щука А.А. Электроника [Электронный ресурс]: учебник для академического бакалавриата: в 4 ч. Ч. 4: Функциональная электроника, 2018. 183 с. <http://www.biblio-online.ru/book/3B38A277-09AE-4298-93DD-CBE861D2B625?>
6. Трубочкина Н.К. Наноэлектроника и схемотехника [Электронный ресурс]: учебник для академического бакалавриата: 2 ч. Ч. 1, 2018. 269 с. <http://www.biblio-online.ru/book/5C192121-0891-4D41-B892-C28E94681142?>

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Неупорядоченные полупроводники: учеб. пособие для вузов по спец. «Материалы и компоненты электрон. техники» и «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы» / А.А. Айвазов, Б.Г. Будагян, С.П. Вихров, А.И. Попов, 1995. 352 с. <http://www.biblio-online.ru/book/5C192121-0891-4D41-B892-C28E94681142?>
2. Куртев Н.Д. Радиотехника: учеб. для вузов по направлению «Радиотехника» специальности «Материалы и компоненты твердотельной электроники», «Микроэлектроника и полупроводниковые приборы» / Н.Д. Куртев, В.И. Нефедов, 1997. 296 с. <http://www.biblio-online.ru/book/5C192121-0891-4D41-B892-C28E94681142?>
3. Полупроводниковые приборы. Диоды выпрямительные. Стабилитроны. Тиристоры: справочник / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др., 1997. 527 с. <http://www.biblio-online.ru/book/5C192121-0891-4D41-B892-C28E94681142?>
4. Каганов В.И. Компьютерные вычисления в средах Excel и Mathcad: монография / В.И.

Каганов, 2015. 325 с. <http://www.biblio-online.ru/book/5C192121-0891-4D41-B892-C28E94681142?>

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Лицензионное программное обеспечение Системное программное обеспечение
2. Лицензионное программное обеспечение Пакет прикладных офисных программ
3. Лицензионное программное обеспечение Интернет-браузер

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Учебная аудитория для проведения лекционных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.
2. Учебная аудитория для проведения лабораторных/практических (семинарских) занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации. Оснащение: комплект учебной мебели, рабочее место преподавателя, доска. Мультимедийное оборудование (в том числе переносное): мультимедийный проектор, экран, акустическая система, компьютер с выходом в интернет.