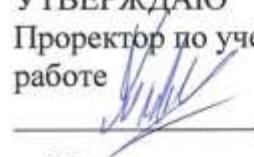


Министерство просвещения Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ульяновский государственный педагогический университет  
имени И. Н. Ульянова»  
(ФГБОУ ВО «УлГПУ им. И.Н. Ульянова»)

Факультет физико-математического и технологического образования  
Кафедра физики и технических дисциплин

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебно-методической  
работе  
  
С.Н. Титов  
«\_25\_» \_\_ июня \_\_ 2021 г.

## СОВРЕМЕННЫЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

Программа учебной дисциплины модуля  
Специальные разделы предметной области

основной профессиональной образовательной программы высшего  
образования – программы бакалавриата по направлению подготовки  
44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилями подготовки),

направленность (профиль) образовательной программы  
Физика. Математика

(очная форма обучения)

Составитель: Шишкарев В.В., к.т.н., доцент,  
зав. кафедрой физики и технических  
дисциплин

Рассмотрено и одобрено на заседании ученого совета факультета физико-  
математического и технологического образования, протокол от 21 июня  
2021г. №\_7\_

Ульяновск, 2021

## **Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина «Современные вопросы физики полупроводников и диэлектриков» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1. Дисциплины (модули) модуля Специальные разделы предметной области учебного плана основной профессиональной образовательной программы высшего образования – программы бакалавриата по направлению подготовки 44.03.05 Педагогическое образование (с двумя профилиями подготовки), направленность (профиль) образовательной программы «Физика. Математика», очной формы обучения.

Дисциплина опирается на результаты обучения ряда дисциплин учебного плана, изученных обучающимися в 3-9 семестрах: Общая и экспериментальная физика, Основы теоретической физики.

### **1. Перечень планируемых результатов обучения (образовательных результатов) по дисциплине**

**Целью** освоения дисциплины «Современные вопросы физики полупроводников и диэлектриков» является подготовка бакалавра, владеющего современными теоретическими знаниями, методами научно-исследовательской работы и прикладной деятельности в области современной твердотельной электроники.

**Задачей** освоения дисциплины является получение студентами набора знаний, умений и навыков, которые обеспечивают полноценное освоение основных понятий и современных представлений, методов и приложений физики полупроводников и диэлектриков. Предусматривается получение студентами основных теоретических сведений о электрофизических процессах в изучаемых структурах.

Процесс изучения дисциплины «Современные вопросы физики полупроводников и диэлектриков» направлен на расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения законов физической и функциональной электроники.

В результате освоения программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине «Современные вопросы физики полупроводников и диэлектриков»:

Компетенция и индикаторы её достижения в дисциплине	Образовательные результаты дисциплины (этапы формирования дисциплины)		
	зnaet	умeет	владеет
ПК-11. Способен использовать теоретические и практические знания для постановки и решения исследовательских задач в предметной области (в соответствии с профилем и уровнем обучения) и в области образования. ПК-11.1. Знает основные научные понятия и особенности их использования, методы и приёмы изучения и анализа литературы в предметной области; основы организации исследовательской деятельности; основные информационные технологии поиска, сбора, анализа и обработки данных; интерпретирует явления и процессы в контексте общей динамики и периодизации исторического развития предмета, с учетом возможности их использования в ходе постановки и решения исследовательских задач. ПК-11.2. Умеет самостоятельно и в	ОР-1 знает теорию полупроводников и диэлектриков	ОР-2 умеет решать задачи по физике полупроводников и диэлектриков	ОР-3 владеет способами решения задач в области полупроводниковой электроники

составе научного коллектива решать конкретные задачи профессиональной деятельности; самостоятельно и под научным руководством осуществлять сбор и обработку информации; способен применять полученные знания для объяснения актуальных проблем и тенденций развития предмета; проводить исследовательскую работу в соответствии с индивидуальным планом.

ПК-11.3. Владеет базовыми представлениями о принципах организации и осуществления исследований, практическими навыками осуществления исследований; применяет навыки комплексного поиска, анализа и систематизации информации по изучаемым проблемам с использованием научной и учебной литературы, информационных баз данных.

ПК-12 - Способен выделять структурные элементы, входящие в систему познания предметной области (в соответствии с профилем и уровнем обучения), анализировать их в единстве содержания, формы и выполняемых функций.

ПК-12.1. Знает формулировки определений, содержательное значение терминов и понятий предметной области, правила и алгоритмы оперирования с объектами предметной области, понимает взаимосвязь между структурными элементами; имеет представление о функциях и практическом применении изучаемых объектов.

ПК-12.2. Умеет выделять и анализировать структурные элементы, входящие в систему познания предметной области; определять логическую взаимосвязь между компонентами предметной области; строить логически верные и обоснованные рассуждения; решать задачи предметной области.

ПК-12.3. Владеет профессиональной терминологией и основами профессиональной речевой культуры; методами доказательных рассуждений; методами анализа изучаемых объектов, методами систематизации и структурирования знаний в предметной области, основами моделирования в предметной области.

**2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся**

Номер семестра	Учебные занятия						
	Всего		Лекции, час	Практические занятия, час	Лабораторные занятия, час	Самостоятельная работа, час	Форма промежуточной аттестации
	Трудоемк.	Зач. ед.					
10	2	72	12	20	0	40	зачёт
Итого:	2	72	12	20	0	40	

**3. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

**3.1. Указание тем (разделов) и отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий**

Наименование раздела и тем	Количество часов по формам организации обучения			
	Лекционные занятия	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>10 семестр</b>				
Тема 1. Современные полупроводниковые и диэлектрические материалы для микроэлектроники. Ранние исследования и основные физические свойства.	2	4	0	8
Тема 2. Физические основы технологий получения толстых и тонких полупроводниковых и диэлектрических пленок.	2	2	0	6
Тема 3. Основные физические свойства полупроводников. Контактные явления в полупроводниках. Полупроводниковые приборы и их применение.	2	2	0	6
Тема 5. Ионная электропроводность в твердых телах.	2	4	0	2
Тема 6. Пробой твердых диэлектриков.	2	4	0	6
Тема 7. Диэлектрическая поляризация и потери. Перспективы развития твердотельной электроники.	2	4	0	8
<b>Итого по 10 семестру</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>40</b>
<b>Всего по дисциплине:</b>	<b>12</b>	<b>20</b>	<b>0</b>	<b>40</b>

**3.2. Краткое описание содержания тем (разделов) дисциплины  
Краткое содержание курса (10 семестр)**

## **Тема 1. Современные полупроводниковые и диэлектрические материалы для микроэлектроники. Ранние исследования и основные физические свойства.**

История открытия основных полупроводниковых и диэлектрических материалов для микроэлектроники. Ранние исследования и основные физические свойства. Особенности структуры и физических свойств. Физические основы создания современных радиоэлектронных приборов.

## **Тема 2. Физические основы технологий получения толстых и тонких полупроводниковых и диэлектрических пленок.**

Физические основы технологий получения толстых и тонких полупроводниковых и диэлектрических пленок. Основы толстопленочной технологии. Спекание толстых пленок.

Особенности технологии получения тонких пленок. Термическое вакуумное напыление. Ионное (катодное) распыление. Ионно-плазменное распыление. Эпитаксия из газовой фазы. Жидкостная эпитаксия. Молекуллярно-лучевая эпитаксия. Применение ионных пучков для выращивания тонких аморфных пленок. Золь-гель-технологии и их применение для выращивания тонких пленок. Коллоидное состояние вещества. Дисперсные системы. Физический и химический гель. Методы получения золей. Превращение золя в гель.

## **Тема 3. Основные физические свойства полупроводников. Контактные явления в полупроводниках. Полупроводниковые приборы и их применение.**

Классификация твердых тел, зонные схемы металлов, полупроводников и диэлектриков. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Собственные и примесные полупроводники, их основные электрические свойства. Контакт двух полупроводников. Контакт полупроводников с металлом. Контактная разность потенциалов. Электронно-дырочный переход, токи через р-п переход. Распределение напряженности и потенциала в электронно-дырочном переходе. Зонная схема р-п перехода, смещенного в прямом направлении, высота потенциального барьера и ширина запорного слоя. Барьерная емкость р-п перехода. Обратное смещение р-п перехода, ток неосновных носителей.

Структура и основные элементы, вольтамперная характеристика диода. Физический смысл параметров диода. Генерация и рекомбинация носителей заряда в р-п переходе. Виды пробоев. Разновидности полупроводниковых диодов, их принцип действия и применение.

Биполярные транзисторы. Структура и основные режимы работы. Параметры, характеристики. Разновидности транзисторов и их применение. Классификация и маркировка транзисторов. Устройство биполярных транзисторов. Принцип действия биполярных транзисторов. Схемы включения биполярных транзисторов.

Полевые транзисторы и приборы с зарядовой связью. Разновидности полевых транзисторов, физические принципы работы, применение. Представление о полевых транзисторах. Устройство и принцип действия полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Характеристики и параметры полевых транзисторов. Полевые транзисторы с изолированным затвором

## **Тема 4. Ионная электропроводность в твердых телах.**

Разновидности ионной электропроводности кристаллических диэлектриков. Механизм собственной ионной электропроводности. Расчет энергии образования дефектов. Механизм ионной электропроводности при низких температурах. Определение характера проводимости твердых диэлектриков. Соотношение Нернста-Эйнштейна.

## **Тема 5. Пробой твердых диэлектриков.**

Пробой как нарушение стационарного режима электропроводности. Экспериментальное изучение пробоя. Статистическая обработка экспериментальных данных. Тепловой пробой. Теория теплового пробоя при высоких частотах. О протекании теплового пробоя во времени. Классические теории электрического пробоя твердых диэлектриков. Квантовомеханические теории электрического пробоя. Теория ударной ионизации электронами. Электрохимическое старение диэлектриков. Доменная неустойчивость в полупроводниках.

## **Тема 6. Диэлектрическая поляризация и потери. Перспективы развития твердотельной электроники. Механизмы поляризации.**

Уравнения и константы электрического поля. Вычисление действующего электрического поля для кристаллических диэлектриков. Классическая теория электронной поляризации

смещения в атомах и ионах. Поляризация ионного смещения. Поляризация упруго связанных полярных молекул. Изменение поляризации при изменении поляризующего электрического поля в однородных диэлектриках. Диэлектрические потери в диэлектриках с релаксационной поляризацией и сквозной проводимостью. Разработка современных перспективных материалов для электронной техники.

#### **4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Самостоятельная работа студентов является особой формой организации учебного процесса, представляющая собой планируемую, познавательно, организационно и методически направляемую деятельность студентов, ориентированную на достижение конкретного результата, осуществляющую без прямой помощи преподавателя. Самостоятельная работа студентов является составной частью учебной работы и имеет целью закрепление и углубление полученных знаний и навыков, поиск и приобретение новых знаний, а также выполнение учебных заданий, подготовку к предстоящим занятиям и зачёту. Она предусматривает, как правило, разработку рефератов, написание и защиту докладов или проектов, выполнение творческих, индивидуальных заданий в соответствии с учебной программой (тематическим планом изучения дисциплины). Тема для такого выступления может быть предложена преподавателем или избрана самим студентом, но материал выступления не должен дублировать лекционный материал. Реферативный материал служит дополнительной информацией для работы на лабораторных занятиях. Основная цель данного вида работы состоит в обучении студентов методам самостоятельной работы с учебным материалом. Для полноты усвоения тем, вынесенных на лабораторные занятия, требуется работа с первоисточниками. Курс предусматривает самостоятельную работу студентов со специальной научной литературой. Следует отметить, что самостоятельная работа студентов результативна лишь тогда, когда она выполняется систематически, планомерно и целенаправленно.

Задания для самостоятельной работы предусматривают использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

Общий объём самостоятельной работы студентов по дисциплине включает аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу студентов в течение семестра.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется в форме численного решения теоретических задач по дисциплине. Аудиторная самостоятельная работа обеспечена методическими материалами.

Внеаудиторная самостоятельная работа осуществляется в формах:

- подготовка к устным опросам по теории;
- подготовка к устным докладам по теории;
- численное решение теоретических задач;
- решение домашней контрольной работы;
- подготовка к защите реферата и научных проектов.

#### ***Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине***

Общий объем самостоятельной работы студентов по дисциплине включает аудиторную и внеаудиторную самостоятельную работу студентов в течение семестра.

Аудиторная самостоятельная работа осуществляется в форме решения задач по дисциплине. Аудиторная самостоятельная работа обеспечена методическими материалами.

Внеаудиторная самостоятельная работа осуществляется в формах:

- подготовка к устным докладам по теории;
- анализ физических свойств и расчет основных параметров и характеристик приборов на основе полупроводниковых и диэлектрических материалов;
- решение домашних задач;

- подготовка к защите реферата и научных проектов.

### **Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по дисциплине**

#### **Пример контрольной работы № 1.**

Вариант 1.

1. В беспримесном полупроводнике общее число носителей заряда в два раза больше числа электронов в зоне проводимости, поэтому  $n_{oi} = p_{oi} = \frac{ni}{2}$ , т.е. число электронов равно числу дырок.

2. Концентрация донорных примесей в Германии  $n_n = 10^{21} m^{-3}$  при  $T=300$  К. Найти проводимость  $\gamma$ . Указание при температуре  $T=300$  К можно считать, что все примесные атомы ионизированы, а подвижность равна  $0,39 \text{ } m^2 / B \cdot c$ .

3. Определить удельную проводимость образца кремния при температуре 300 К, если концентрация акцепторов в полупроводнике  $n_p = 2,3 \cdot 10^{19} m^{-3}$  и концентрация доноров  $n_n = 2,2 \cdot 10^{19} m^{-3}$ .

4. Используя рисунок 1, сравните параметры работы полупроводникового стабилитрона при различных температурах. Какими физическими процессами объясняется их изменение?

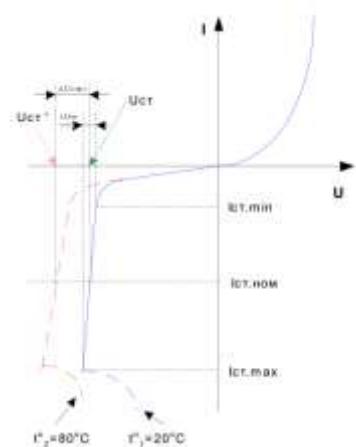


Рис. 1.

5. По графикам, изображенным на рисунке 2 определите параметры работы биполярного транзистора.

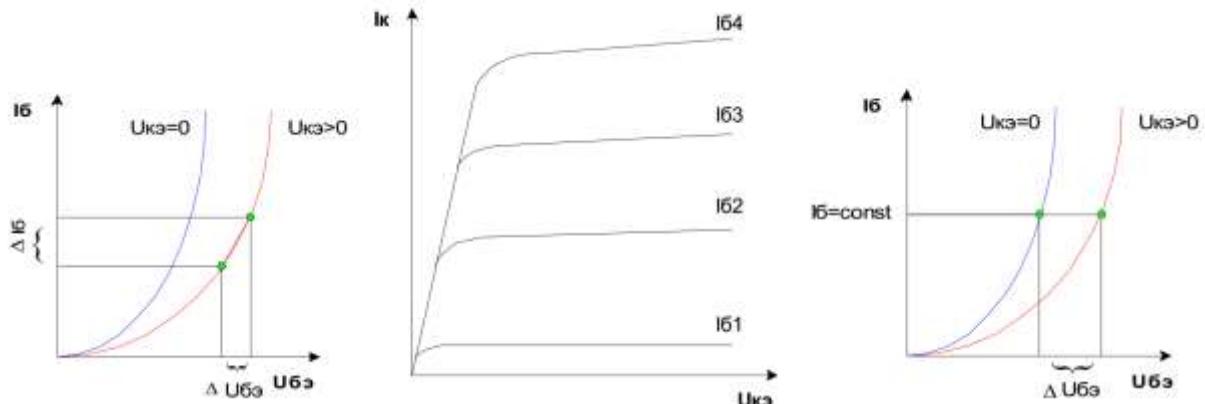


Рис. 2.

#### **Пример контрольной работы № 2.**

Вариант 2.

1. Диэлектрик конденсатора представляет собой тесную смесь двух керамических материалов: Т-80 и ультрафарфора. Каково должно быть соотношение составных частей, чтобы температурный коэффициент диэлектрической проницаемости смеси был равен нулю? Чему равна диэлектрической проницаемости такой смеси? Для материала Т-80  $\epsilon = 80$  и  $\text{TKE} = -7 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$ . Для ультрафарфора  $\epsilon = 8$  и  $\text{TKE} = 1 \cdot 10^{-4} \text{ град}^{-1}$ .

2. Определить емкость плоского конденсатора с диэлектрического из полиэтилена ( $\epsilon = 2,3 \div 2,4$ ). Размер обкладок  $5 \times 5 \text{ см}^2$  ( $5 \cdot 10^{-2} \times 5 \cdot 10^{-2} = 25 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ). Толщина диэлектрика 2мм ( $2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ).

3. Определите величину тока утечки и рассеиваемую в диэлектрике конденсатора мощность при постоянном напряжении  $U$  кВ, а также рассеиваемую в диэлектрике мощность при переменном напряжении  $U$  кВ и частотах  $f_1$  и  $f_2$ . Размер обкладок конденсатора  $a \times b$   $\text{см}^2$ , толщина диэлектрика  $h$  мм. Даны следующие характеристики диэлектрика:  $\rho_v$ ,  $\operatorname{tg}\delta$ ,  $\epsilon$ . Поверхностной утечкой пренебрегите. Приближенно считайте, что характеристики диэлектрика не зависят от частоты. Значение  $U, f_1, f_2, a \times b, h, \rho_v, \operatorname{tg}\delta, \epsilon$  даны в таблице согласно варианту.

Вариант	U кв	$f_1$ Гц	$f_2$ КГц	axb $\text{см}^2$	h мм	$\rho_v$ Ом м	$\epsilon$	$\operatorname{tg}\delta$
2	5	50	5	5x5	20	$10^{14}$	3	0,001

4. Определите пробивное напряжение композиции из двух диэлектриков: воздуха и фарфора при постоянном и переменном напряжении. Оба диэлектрика плоской формы, толщина воздушной прослойки 0,1 мм, толщина фарфора 5 мм. Свойства материалов следующие:

	$\rho_v$ Ом · м	$\epsilon$	Епр мВ/м
Воздух	$10^{16}$	1	3
Фарфор	$10^{11}$	6	30

5. Двухслойный диэлектрик включен под переменное напряжение. Напряжение на первом слое толщиной 1 мм составляет 6 кВ, на втором толщиной 4 мм - 12 кВ. Определите диэлектрическую проницаемость первого слоя, если диэлектрическая проницаемость второго слоя равна 2.

#### Критерии оценивания:

- за правильное решение 1 задачи – 3 балла,
- за правильное решение 2 задачи – 3 балла,
- за правильное решение 3 задачи – 3 балла,
- за правильное решение 4 задачи – 3 балла,
- за правильное решение 5 задачи – 4 балла.

#### *Вопросы, предлагаемых студентам для самостоятельного изучения (темы мини - выступлений):*

1. История открытия основных полупроводниковых и диэлектрических материалов для микроэлектроники.
2. Примесная проводимость полупроводников и положение уровня Ферми.
3. Плоскостной полупроводниковый диод и его применение
4. Применение выпрямительных диодов.
5. Физические особенности режимов работы биполярных транзисторов.
6. Интегральные микросхемы и их применение.
7. Основы солнечной энергетики.
8. Керамические диэлектрики и их применение.
9. Современные сегнетоэлектрические материалы с высокой диэлектрической проницаемостью.

## 10. Титанат бария и его применение.

### Перечень тем рефератов

1. Исторический обзор развития электроники.
2. Контактные явления в полупроводниках.
3. Собственные и примесные полупроводники.
4. Полупроводниковые материалы применяемые в микроэлектронике.
5. Интегральные схемы, их классификация и разновидности.
6. Физические основы транзисторной электроники.
7. Тонкие пленки в микроэлектронике.
8. Толстопленочная технология в микроэлектронике.
9. Пробой твердых диэлектриков.
10. Управление свойствами керамических материалов.

### *Перечень учебно-методических изданий кафедры по вопросам организации самостоятельной работы обучающихся*

1. Алтунин К.К. Оптика наноструктур и наноматериалов : учебное пособие. 1 : Микроскопические уравнения электродинамики / К.К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 82 с. - ISBN 978-5-4475-0322-2. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240553>.
2. Алтунин, К. К. Оптика наноструктур и наноматериалов : учебное пособие. 2 : Уравнения для атомных переменных / К.К. Алтунин. - 2-е изд. - Москва : Директ-Медиа, 2014. - 61 с. - ISBN 978-5-4475-0323-9. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=240554>.
3. Шайланов С.Н. Решение задач по электротехнике и электронике [Текст]: учебно-методические рекомендации. Ч. 1 / ФГБОУ ВО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова". - Ульяновск : ФГБОУ ВО "УлГПУ им. И. Н. Ульянова", 2017. - 44 с. URL: [http://els.ulspu.ru/?song\\_lyric=%d1%80%d0%b5%d1%88%d0%b5%d0%bd%d0%b8%d0%b5-%d0%b7%d0%b0%d0%b4%d0%b0%d1%87-%d0%bf%d0%be-%d1%8d%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%82%d1%80%d0%be%d1%82%d0%b5%d1%85%d0%bd%d0%b8%d0%ba%d0%b5-%d0%b8-%d1%8d%d0%bb%d0%b5](http://els.ulspu.ru/?song_lyric=%d1%80%d0%b5%d1%88%d0%b5%d0%bd%d0%b8%d0%b5-%d0%b7%d0%b0%d0%b4%d0%b0%d1%87-%d0%bf%d0%be-%d1%8d%d0%bb%d0%b5%d0%ba%d1%82%d1%80%d0%be%d1%82%d0%b5%d1%85%d0%bd%d0%b8%d0%ba%d0%b5-%d0%b8-%d1%8d%d0%bb%d0%b5)

## 5. Примерные оценочные материалы для проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

### Организация и проведение аттестации студента

ФГОС ВО в соответствии с принципами Болонского процесса ориентированы преимущественно не на сообщение обучающемуся комплекса теоретических знаний, но на выработку у бакалавра компетенций – динамического набора знаний, умений, навыков и личностных качеств, которые позволяют выпускнику стать конкурентоспособным на рынке труда и успешно профессионально реализовываться.

В процессе оценки бакалавров используются как традиционные, так и инновационные типы, виды и формы контроля. При этом постепенно традиционные средства совершенствуются в русле компетентностного подхода, а инновационные средства адаптированы для повсеместного применения в российской вузовской практике.

**Цель проведения аттестации** – проверка освоения образовательной программы дисциплины через сформированность образовательных результатов.

### Типы контроля:

**Текущая аттестация:** представлена следующими работами: отчётность по лабораторным занятиям.

**Промежуточная аттестация** осуществляется в конце семестра и завершает изучение дисциплины; помогает оценить более крупные совокупности знаний и умений, формирование определённых компетенций.

Оценочными средствами текущего оценивания являются: устные опросы по теории, решение задач, физические диктанты, эвристическая беседа по теме занятия, групповое

обсуждение темы занятия, защита реферата или проекта, контрольная работа. Контроль усвоения материала ведётся регулярно в течение всего семестра на лабораторных занятиях.

№ п/п	<b>СРЕДСТВА ОЦЕНИВАНИЯ,</b> используемые для текущего оценивания показателя формирования компетенции	Образовательные результаты дисциплины
1	<b>Оценочные средства для текущей аттестации</b> <b>ОС-1</b> устный опрос по теории, <b>ОС-2</b> разноуровневые задачи и задания, <b>ОС-3</b> физический диктант, <b>ОС-4</b> эвристическая беседа, <b>ОС-5</b> групповое обсуждение, <b>ОС-6</b> защита реферата или проекта, <b>ОС-7</b> контрольная работа	ОР- знает теорию полупроводников и диэлектриков; ОР-2 умеет решать задачи по физике полупроводников и диэлектриков; ОР-3 владеет способами решения задач в области полупроводниковой электроники
2	<b>Оценочные средства для промежуточной аттестации</b> <b>зачёт</b> <b>ОС-8</b> зачёт в форме устного собеседования по вопросам	

Описание оценочных средств и необходимого оборудования (демонстрационного материала), а также процедуры и критерии оценивания индикаторов достижения компетенций на различных этапах их формирования в процессе освоения образовательной программы представлены в Фонде оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине «Современные вопросы физики полупроводников и диэлектриков».

**Материалы, используемые для текущего контроля успеваемости обучающихся по  
дисциплине**

Материалы для организации текущей аттестации представлены в п. 5 программы.

**Материалы, используемые для промежуточного контроля успеваемости обучающихся  
по дисциплине**

**ОС-8 Зачёт в форме устного собеседования по вопросам**

**Перечень вопросов к зачёту**

1. История открытия основных полупроводниковых и диэлектрических материалов для микроэлектроники. Ранние исследования и основные физические свойства.
2. Особенности структуры и физических свойств полупроводниковых материалов.
3. Физические основы создания современных радиоэлектронных приборов.
4. Физические основы технологий получения тонких полупроводниковых и диэлектрических пленок.
5. Основы толстопленочной технологии. Спекание толстых пленок.
6. Особенности технологии получения тонких пленок. Термическое вакуумное напыление. Ионное (катодное) распыление. Ионно-плазменное распыление. Эпитаксия из газовой фазы. Жидкостная эпитаксия. Молекулярно-лучевая эпитаксия.
7. Применение ионных пучков для выращивания тонких аморфных пленок. Золь-гель-технологии и их применение для выращивания тонких пленок.
8. Коллоидное состояние вещества. Дисперсные системы. Физический и химический гель. Методы получения золей. Превращение золя в гель.
9. Классификация твердых тел, зонные схемы металлов, полупроводников и диэлектриков.
10. Генерация и рекомбинация носителей заряда. Собственные и примесные полупроводники, их основные электрические свойства.
11. Контакт двух полупроводников.
12. Контакт полупроводников с металлом. Контактная разность потенциалов.
13. Электронно-дырочный переход, токи через р-п переход. Распределение напряженности и потенциала в электронно-дырочном переходе.

14. Зонная схема р-п перехода, смещенного в прямом направлении, высота потенциального барьера и ширина запорного слоя.
15. Барьерная емкость р-п перехода.
16. Обратное смещение р-п перехода, ток неосновных носителей.
17. Структура и основные элементы, вольтамперная характеристика диода. Физический смысл параметров диода.
18. Разновидности полупроводниковых диодов, их принцип действия и применение.
19. Биполярные транзисторы. Структура и основные режимы работы. Параметры, характеристики. Разновидности транзисторов и их применение.
20. Классификация и маркировка транзисторов. Устройство биполярных транзисторов. Принцип действия биполярных транзисторов. Схемы включения биполярных транзисторов.
21. Полевые транзисторы и приборы с зарядовой связью. Разновидности полевых транзисторов, физические принципы работы, применение.
22. Устройство и принцип действия полевых транзисторов с управляющим р-п переходом. Характеристики и параметры полевых транзисторов. Полевые транзисторы с изолированным затвором
23. Разновидности ионной электропроводности кристаллических диэлектриков.
24. Механизм собственной ионной электропроводности. Расчет энергии образования дефектов. Механизм ионной электропроводности при низких температурах.
25. Определение характера проводимости твердых диэлектриков. Соотношение Нернста-Эйнштейна.
26. Пробой как нарушение стационарного режима электропроводности. Экспериментальное изучение пробоя. Статистическая обработка экспериментальных данных.
27. Тепловой пробой. Теория теплового пробоя при высоких частотах. О протекании теплового пробоя во времени. Классические теории электрического пробоя твердых диэлектриков.
28. Кvantovomehanicheskie teorii elektricheskogo proboya. Teoriya udarnoy ionizatsii elektronami.
29. Elektrokhimicheskoe starenie dielktrikov. Domennaya neustoychivost' v poluprovodnikakh.
30. Upravleniya i konstanty elektricheskogo polya. Vyчисlenie delyayushchego elektricheskogo polya dlya kristallicheskikh dielktrikov.
31. Klassicheskaya teoriya elektronnoi poliarizatsii smeshcheniya v atomakh i ionakh. Poliarizatsiya ionnogo smeshcheniya.
32. Poliarizatsiya uprugo svyazannih polarnyih molekul. Izmenenie poliarizatsii pri izmenenii poliarizuyuchego elektricheskogo polya v odnorodnyih dielktrikakh.
33. Dielktricheskie poteri v dielktrikakh s relaksacionnoi poliarizatsiei i skvoznoi provodimostyu.
34. Razrabotka perspektivnyih materialov dlya elektronnoi tekhniki.

### **Критерии оценивания знаний обучающихся по дисциплине**

#### **Формирование балльно-рейтинговой оценки работы обучающихся**

Семестр		Посещение лекций	Посещение лабораторных занятий	Работа на лабораторных занятиях и текущий контроль	Зачёт
10	Разбалловка по видам работ	6 * 1 = 6 баллов	10 * 1 = 10 баллов	152 балла	32 балла
	Суммарный максимальный балл	6 баллов	16 баллов	168 балла	200 баллов

По результатам промежуточных аттестаций студенту засчитывается трудоёмкость в зачётных единицах. Студент по учебной дисциплине получает отметку согласно следующей таблице:

	Баллы (2 зачётные единицы)
«зачтено»	101-200
«не зачтено»	0-100

## 6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Успешное изучение курса требует от студентов посещения лекций, активной работы на лабораторных занятиях, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с базовыми учебниками, основной и дополнительной литературой.

Основной формой изложения материала курса являются лекции. Как правило, на лекции выносится основной программный материал курса. Часть материала выносится для самостоятельного изучения студентами с непременным, сообщением им литературных источников и методических разработок. На практических занятиях рассматривают фрагменты теории, требующие сложных математических выкладок, различные методы решения задач и наиболее типичные задачи. Для закрепления материала, рассматриваемого на практических занятиях, студенты получают домашние задания в виде ряда задач из соответствующих задачников.

На лекциях изучается материал по основополагающим вопросам дисциплины, раскрывается их практическая значимость. В ходе проведения лекции используются приемы и методы проблемного обучения. На практических занятиях рассматриваются методы решения прикладных задач, проводится анализ полученных результатов. В ходе практического занятия одновременно преследуется цель расширения и углубления знаний, полученных на лекции.

При изложении теоретического материала на лекции, а также при решении задач на практических занятиях для демонстрации графиков, обучающих программ и т.п. рекомендуется использовать компьютерную мультимедийную установку.

Запись лекции – одна из форм активной самостоятельной работы студентов, требующая навыков и умения кратко, схематично, последовательно и логично фиксировать основные положения, выводы, обобщения, формулировки. В конце лекции преподаватель оставляет время (5 минут) для того, чтобы студенты имели возможность задать уточняющие вопросы по изучаемому материалу. Из-за недостаточного количества аудиторных часов некоторые темы не удается осветить в полном объеме, поэтому преподаватель, по своему усмотрению, некоторые вопросы выносит на самостоятельную работу студентов, рекомендуя ту или иную литературу. Кроме этого, для лучшего освоения материала и систематизации знаний по дисциплине, необходимо постоянно разбирать материалы лекций по конспектам и учебным пособиям. В случае необходимости обращаться к преподавателю за консультацией.

Рекомендуется после каждой лекции оформлять конспект лекций. Перед каждой лекцией прочитывать конспект предыдущей лекции, что способствует лучшему восприятию нового материала.

Лекции имеют в основном обзорный характер и нацелены на освещение наиболее трудных и дискуссионных вопросов, а также призваны способствовать формированию навыков работы с научной литературой. Предполагается также, что студенты приходят на лекции, предварительно проработав соответствующий учебный материал по источникам, рекомендуемым программой.

Наиболее важные разделы курса выносятся на практические занятия. На каждом занятии предлагается несколько задач. Часть задач решается на занятии с подробным обсуждением метода и полученных результатов. Остальные задачи студент решает самостоятельно. Для зачёта контрольной работы студент должен защитить все задания. Предусмотрена защита реферата.

Практическое занятие – важнейшая форма самостоятельной работы студентов над научной, учебной и периодической литературой. Именно на практическом занятии каждый студент имеет возможность проверить глубину усвоения учебного материала, показать

знание категорий, положений и инструментов профессиональной деятельности. Участие в практическом занятии позволяет студенту соединить полученные теоретические знания с решением конкретных практических задач и моделей в области профессиональной деятельности. Практические занятия в равной мере направлены на совершенствование индивидуальных навыков решения теоретических и прикладных задач, выработку навыков интеллектуальной работы, а также ведения дискуссий. Конкретные пропорции разных видов работы в группе, а также способы их оценки, определяются преподавателем, ведущим занятия.

### **Подготовка к практическим занятиям.**

При подготовке к практическим занятиям студент должен изучить теоретический материал по теме занятия (использовать конспект лекций, изучить основную литературу, ознакомиться с дополнительной литературой, при необходимости дополнить конспект, делая в нем соответствующие записи из литературных источников). В случае затруднений, возникающих при освоении теоретического материала, студенту следует обращаться за консультацией к преподавателю. Идя на консультацию, необходимо хорошо продумать вопросы, которые требуют разъяснения.

В начале практического занятия преподаватель знакомит студентов с темой, оглашает план проведения занятия, выдает задания. В течение отведенного времени на выполнение работы студент может обратиться к преподавателю за консультацией или разъяснениями. В конце занятия проводится прием выполненных заданий, собеседование со студентом.

Результаты выполнения практических заданий оцениваются в баллах, в соответствии с балльно-рейтинговой системой университета.

Основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Рекомендованная преподавателями литература и учебные пособия служат информационной основой и позволяют регулярно занимающимся студентам усваивать лекционный материал. Для обеспечения терминологической однозначности учебное пособие содержит словарь основных терминов, используемых в нём. Кроме того, программа курса лекций содержит вопросы для самоконтроля.

Самостоятельная работа студентов подразумевает выполнение студентами домашнего задания в виде решения необходимого минимума задач из сборника для практических занятий, консультаций и анализа их решения совместно с преподавателем.

Контроль самостоятельной (внеаудиторной) работы – написание и защита реферата, выступление с докладом на практических занятиях, решение контрольной работы.

В процессе оценивания письменных контрольных и самостоятельных работ при разделении задания на действия при оценивании за основание берётся следующая процентная шкала:

91-100 % от числа пунктов – оценка "5",  
74-90 % от числа пунктов – оценка "4",  
60-73 % от числа пунктов – оценка "3",  
40-59 % от числа пунктов – оценка "2",  
0-39 % от числа пунктов – оценка "1".

Студенту можно поставить оценку выше, если студентом оригинально выполнена работа.

Основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Основным методом обучения является самостоятельная работа студентов с учебно-методическими материалами и научной литературой.

Рекомендации для студента включают в себя следующее:

- обязательное посещение лекций ведущего преподавателя; лекции – основное методическое руководство при изучении дисциплины, наиболее оптимальным образом структурированное и скорректированное на современный материал; в лекции глубоко и подробно, аргументировано и методологически строго рассматриваются главные проблемы темы; в лекции даются необходимые разные подходы к исследуемым проблемам;

- подготовку и активную работу на практических занятиях; подготовка к практическим занятиям включает проработку материалов лекций, рекомендованной учебной литературы, а также выполнение заданий на самостоятельное решение задач.

Методические рекомендации по подготовке к практическим занятиям. Практическое занятие включает в себя два вида работ: подготовку сообщения и участие в обсуждении проблемы, затронутой сообщением. Основной вид работы на занятии – участие в обсуждении проблемы.

Выступления на практических занятиях должны быть по возможности компактными и в то же время вразумительными. На практическом занятии идёт проверка степени проникновения в суть материала, обсуждаемой проблемы. Поэтому беседа будет идти не по содержанию прочитанных работ; преподаватель будет ставить проблемные вопросы.

По окончании практического занятия к нему следует обратиться ещё раз, повторив сделанные выводы, проследив логику их построения, отметив положения, лежащие в их основе – для этого в течение занятия следует делать небольшие пометки. Таким образом, практическое занятие не пройдёт даром, закрепление результатов занятия ведёт к лучшему усвоению материала изученной темы и лучшей ориентации в структуре курса. Вышеприведённая процедура должна практиковаться регулярно – стабильная и прилежная работа в течение семестра будет залогом успеха на сессии.

Методические указания по организации и проведению самостоятельной работы формулируются в виде заданий для самостоятельной работы, предусматривающих использование необходимых терминов и понятий по проблематике курса. Они нацеливают на практическую работу по применению изучаемого материала, поиск библиографического материала и электронных источников информации, иллюстративных материалов. Эти задания также ориентируют на написание контрольных работ, рефератов. Задания по самостоятельной работе даются по темам, которые требуют дополнительной проработки.

#### **Подготовка к устному докладу.**

Доклады делаются по каждой теме с целью проверки теоретических знаний обучающегося, его способности самостоятельно приобретать новые знания, работать с информационными ресурсами и извлекать нужную информацию.

Доклады заслушиваются в начале практического занятия после изучения соответствующей темы. Продолжительность доклада не должна превышать 5 минут. Тему доклада студент выбирает по желанию из предложенного списка.

При подготовке доклада студент должен изучить теоретический материал, используя основную и дополнительную литературу, обязательно составить план доклада (перечень рассматриваемых им вопросов, отражающих структуру и последовательность материала), подготовить раздаточный материал или презентацию. План доклада необходимо предварительно согласовать с преподавателем.

Выступление должно строиться свободно, убедительно и аргументировано. Преподаватель следит, чтобы выступление не сводилось к простому воспроизведению текста, не допускается простое чтение составленного конспекта доклада. Выступающий также должен быть готовым к вопросам аудитории и дискуссии.

Текущий контроль успеваемости и качества подготовки обучаемых может проводиться как на практических, так и лекционных занятиях. Проверку качества усвоения материала можно проводить в виде письменного или устного опроса, теста или коллоквиума по вопросам, сформулированным на основе учебных вопросов теоретического курса дисциплины.

Самостоятельная работа предполагает: самостоятельное изучение отдельных вопросов по литературе, предложенной преподавателем; подготовку к выполнению лабораторных работ; решение задач, задаваемых на дом; подготовку к выполнению заданий в компьютерном классе.

Основными видами аудиторной работы студентов являются:

- запись, усвоение, обсуждение лекций;
- выполнение заданий лабораторных занятиях;
- защита отчётов по лабораторным занятиям;

- решение задач;
- защита реферата или проекта;
- защита самостоятельных и контрольных работ;
- сдача зачёта.

### **Лекционный курс (10 семестр)**

1. Современные полупроводниковые и диэлектрические материалы для микроэлектроники. Ранние исследования и основные физические свойства.
2. Физические основы технологий получения тонких полупроводниковых и диэлектрических пленок. Физические основы технологий получения толстых полупроводниковых и диэлектрических пленок.
3. Основные физические свойства полупроводников. Контактные явления в полупроводниках. Полупроводниковые приборы и их применение. Полупроводниковые диоды. Биполярные транзисторы. Полевые транзисторы. Стабилитроны. Тиристоры. Фоточувствительные приборы.
4. Ионная электропроводность в твердых телах.
5. Пробой твердых диэлектриков.
6. Диэлектрическая поляризация и потери. Механизмы поляризации. Перспективы развития твердотельной электроники.

### **Темы лабораторно-практических занятий**

1. Современные полупроводниковые и диэлектрические материалы для микроэлектроники.
  2. Физические основы технологий получения тонких полупроводниковых и диэлектрических пленок. Физические основы технологий получения толстых полупроводниковых и диэлектрических пленок. Основы толстопленочной технологии. Спекание толстых пленок.
  3. Основные физические свойства полупроводников. Собственная и примесная проводимость полупроводников. Контактные явления в полупроводниках.
  4. Полупроводниковые приборы и их применение. Полупроводниковые диоды.
  5. Биполярные транзисторы. Полевые транзисторы. Стабилитроны. Тиристоры. Фоточувствительные приборы.
  6. Разновидности ионной электропроводности кристаллических диэлектриков. Механизм собственной ионной электропроводности. Расчет энергии образования дефектов. Механизм ионной электропроводности при низких температурах.
  7. Определение характера проводимости твердых диэлектриков. Соотношение Нернста-Эйнштейна.
  8. Пробой твердых диэлектриков. Классические теории электрического пробоя твердых диэлектриков. Квантовомеханические теории электрического пробоя. Теория ударной ионизации электронами. Электрохимическое старение диэлектриков. Доменная неустойчивость в полупроводниках.
  9. Диэлектрическая поляризация. Уравнения и константы электрического поля. Вычисление действующего электрического поля для кристаллических диэлектриков. Классическая теория электронной поляризации смещения в атомах и ионах.
  10. Диэлектрические потери в диэлектриках с релаксационной поляризацией и сквозной проводимостью. Разработка современных перспективных материалов для электронной техники.
- 7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, Интернет-ресурсов, необходимых для освоения дисциплины**

### **Основная литература**

1. Пасынков В.В. Полупроводниковые приборы [Текст] : учеб. пособие для вузов / Л.К. Чиркин. - 9-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2009. - 478,[1] с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Список лит.: с. 460. - ISBN 978-5-8114-0368-4

2. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников [Текст] : учеб. пособие для вузов. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2008. - 616 с. : ил. - (Классическая учебная литература по физике). - ISBN 5-8114-0762-0
3. Анализ работы и применение активных полупроводниковых элементов: учеб. пособие / Данилов В.С., Раков Ю.Н. - Новосиб.:НГТУ, 2014. - 418 с. ISBN 978-5-7782-2406-3. <http://znanium.com/catalog/product/556806>
4. Игумнов Д.В. Основы полупроводниковой электроники [Текст] : учеб. пособ. для вузов / Г. П. Костюнина. - Москва : Горячая линия - телеком, 2005. - 391 с. : ил. - ISBN 5-93517-226-7
5. Физика твердого тела: Учебное пособие / Ю.А. Стрекалов, Н.А. Тенякова. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 307 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-369-00967-3, 500 экз. URL: <http://znanium.com/catalog/product/363421>

### **Дополнительная литература**

1. Павлов П.В.Физика твердого тела [Текст] : [учеб. для вузов] / А. Ф. Хохлов. - Москва : Высшая школа, 2000. - 493,[1] с. : ил. - (Высшее образование). - ISBN 5-06-003770-3
2. Физика полупроводников и полупроводниковые приборы: Учебное пособие / Панюшкин Н.Н. - Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2016. - 131 с. <http://znanium.com/catalog/product/858616>
3. Материаловедение и технологии электроники: Учебное пособие / В.И. Капустин, А.С. Сигов. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 427 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование: Бакалавриат). (переплет) ISBN 978-5-16-008966-9, 200 экз. URL: <http://znanium.com/catalog/product/416461>
4. Юзова, В. А. Материалы и компоненты электронных средств [Электронный ресурс] : лаб. практикум / В. А. Юзова, О. В. Семенова, П. А. Харлашин. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2012. - 140 с. - ISBN 978-5-7638-2496-4. URL: <http://znanium.com/catalog/product/442958>
5. Шишкин, Г.Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства [Текст] : учебное пособие. - Москва : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2014. - 408 с. : ил. - (Нанотехнологии). - Список лит.: с. 404-406. - ISBN 978-5-9963-0638-1

### **Интернет-ресурсы**

- 1) [biblioclub.ru](http://biblioclub.ru) – ЭБС «Университетская библиотека онлайн» – электронная библиотека, обеспечивающая доступ высших и средних учебных заведений, публичных библиотек и корпоративных пользователей к наиболее востребованным материалам учебной и научной литературы по всем отраслям знаний от ведущих российских издательств. Ресурс содержит учебники, учебные пособия, монографии, периодические издания, справочники, словари, энциклопедии.
- 2) [els.ulspu.ru](http://els.ulspu.ru) – сайт ЭБС Научная библиотека Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова, содержащий ссылки на образовательные (электронно-библиотечные системы, каталог библиотечных сайтов, методические рекомендации) и научные ресурсы (научные электронные библиотеки, научные электронные издательства).
- 3) [bibl.ulspu.ru](http://bibl.ulspu.ru) - сайт научной библиотеки Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова, содержащие электронный каталог книг и журналов.
- 4) Электронная библиотека портала РФФИ <http://www.rfbr.ru/>,
- 5) Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" <http://window.edu.ru/>,
- 6) Электронная библиотека издательства "Венец" <http://venec.ulstu.ru/lib/>.

- 7) Интернет-версия журнала "Успехи физических наук" <http://ufn.ru/>.
- 8) Информационно-справочная и поисковая система <http://www.phys.msu.ru/> официальный сайт физического факультета Московского государственного университета,
- 9) *Научная электронная библиотека*. Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>.
- 10) *Журнал «Российские нанотехнологии»*. Режим доступа: <http://www.nanorf.ru/>.
- 11) Вьюрков В. В., Гридчин В. А., Драгунов В. П. Наноэлектроника. Часть 1. Введение в наноэлектронику. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. - 711 с. Электронная библиотека портала РФФИ. (Электронный ресурс. - Режим доступа: [http://www.rfbr.ru/rffi/tu/books/o\\_27028](http://www.rfbr.ru/rffi/tu/books/o_27028)).
- 12) Дубровский В. Г. Теоретические основы технологии полупроводниковых наноструктур: Учебное пособие. СПб.: СПбГПУ, 2006. - 347 с. (Электронный ресурс. - Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/346/63346>).