

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета  Небольсин В.А.

«30» августа 2017 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

**« Физика диэлектриков »**

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы

 / С.И. Рембеза /

Заведующий кафедрой  
Полупроводниковой элек-  
троники и наноэлектроники

 / С. И Рембеза /

Руководитель ОПОП

 / С.И Рембеза /

Воронеж 2017

## ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** формирование у студентов научной основы для осознанного и целенаправленного использования физических свойств диэлектриков для создания приборов и устройств микро и наноэлектроники.

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

– расширение научного кругозора и эрудиции студентов на базе изучения фундаментальных закономерностей физики диэлектриков и освоение способов практического использования свойств диэлектриков;

– развитие понимания связи физических свойств диэлектриков с параметрами изделий микроэлектроники на базе этих материалов;

– практическое овладение методами теоретического описания физических свойств диэлектриков, владение навыками постановки физического эксперимента по изучению основных свойств и параметров диэлектриков;

– владение экспериментальными методами контроля свойств диэлектриков;

– создание основы для последующего изучения вопросов физики полупроводниковых приборов, включая устройства и приборы наноэлектроники, твердотельной электроники и технологии микро- и наносистем.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика диэлектриков» относится к вариативной части блока Б1 учебного плана. Индекс дисциплины Б1.В.ДВ.3.2.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика полупроводников» направлен на формирование следующих компетенций:

**ОПК-1:** способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики;

**ОПК-9:** способность использовать навыки работы с компьютером, владеть методами информационных технологий, соблюдать основные требования информационной безопасности;

**ПКВ-3:** способность идентифицировать новые области исследований, новые проблемы в сфере физики, проектирования, технологии изготовления и применения микроэлектронных приборов и устройств.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	<b>знать:</b> - основные параметры диэлектриков; - механизмы электропроводности диэлектриков, происхождение поляронов;
	<b>уметь</b> определять величину диэлектрической проницаемости диэлектрика
	<b>владеть</b> экспериментальными методами расчетов и измерения диэлектрической постоянной на разных частотах;
ОПК-9	<b>знать:</b> - механизмы электронной, ионной и дипольной поляризации, частотную зависимость диэлектрической постоянной и ее связь с механизмами поляризации; - природу диэлектрических потерь, их частотную зависимость;
	<b>уметь:</b> - оценивать вклад разных механизмов поляризации из частотных зависимостей диэлектрической проницаемости; - оценивать природу дефектов из частотных зависимостей диэлектрических потерь;
	<b>владеть</b> методами подбора диэлектриков для их различного целевого использования;
ПКВ-3	<b>знать:</b> - прямой и обратный пьезоэффект; - связь симметрии кристаллической решетки с ее пьезоэлектрическими свойствами; - сегнетоэлектрические свойства диэлектриков, их температурную зависимость;
	<b>уметь</b> определять параметры сегнетоэлектрика из кривой гистерезиса, определять температуру Кюри;
	<b>владеть</b> экспериментальными методами определения параметров сегнетоэлектриков.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Физика полупроводников» составляет 3 зачетные единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		5
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)		
Лабораторные работы (ЛР)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	72	72
Курсовой проект(работа) (есть, нет)	нет	нет
Контрольная работа(есть, нет)	нет	нет
Вид промежуточной аттестации (зачет, зачет с оценкой, экзамен)	зачет	зачет
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Зонная теория твердых тел	Введение. Уравнение Шредингера для кристалла. Приближенные методы решения уравнения Шредингера – адиабатическое и валентное приближения. Одноэлектронное приближение. Приближение сильной связи и образование зон разрешенных энергий в кристалле. Периодический характер изменения энергии в пределах зоны. Число состояний в разрешенной зоне. Приближение слабой связи. Спектр разряженных энергий электрона в кристалле. Зона Бриллюэна и характер движения электрона в зоне. Эффективная масса электрона. Металлы, полупроводники и диэлектрики с точки зрения зонной структуры.	6	4	15	25
2	Электрические свойства кристаллов	Поляризация кристаллов. Тензор диэлектрической проницаемости. Упругие свойства кристаллов.	2	4	14	20
3	Электромеханические свойства кристаллов	Прямой и обратный пьезоэлектрические эффекты. Влияние симметрии кристалла на вид матрицы пьезомодулей. Способы определения пьезоэлектрических коэффициентов. Электрострикция и электроиндуцированный пьезоэффект. Физическая природа электромеханической связи.	4	4	15	23
4	Методы определения пьезоэлектрических характеристик	Статические методы и квазистатический метод. Динамические методы. Продольные и сдвиговые волны в пьезоэлектрическом кристалле. Эквивалентная схема пьезоэлектрического резонатора.	2	2	14	18

5	Практические применения пьезоэлектриков	Пьезопреобразователи энергии. Пьезоэлектрические трансформаторы и двигатели. Пьезоэлектрические датчики. Пьезоэлектрические устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Электроуправляемый пьезоэффект и микропозиционеры. Перспективы пьезоэлектроники. Заключение.	4	4	14	22
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>72</b>	<b>108</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. Определение ширины запрещенной зоны кристалла
2. Определение диэлектрической проницаемости разных веществ
3. Исследование пьезоэлектрического эффекта
4. Исследование электрострикции
5. Изучение характеристик пьезоэлектрического резонатора

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины «Физика полупроводников» не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) и контрольной работы.

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

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

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

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

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ОПК-1	<b>знать:</b> - основные параметры диэлектриков; - механизмы электропроводности диэлектриков, происхождение поляронов;	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> определять величину диэлектрической проницаемости диэлектрика	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> экспериментальными методами расчетов и измерения диэлектрической постоянной на разных частотах;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

ОПК-9	<b>знать:</b> - механизмы электронной, ионной и дипольной поляризации, частотную зависимость диэлектрической постоянной и ее связь с механизмами поляризации; - природу диэлектрических потерь, их частотную зависимость;	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь:</b> - оценивать вклад разных механизмов поляризации из частотных зависимостей диэлектрической проницаемости; - оценивать природу дефектов из частотных зависимостей диэлектрических потерь;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> методами подбора диэлектриков для их различного целевого использования;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-3	<b>знать:</b> - прямой и обратный пьезоэффект; - связь симметрии кристаллической решетки с ее пьезоэлектрическими свойствами; - сегнетоэлектрические свойства диэлектриков, их температурную зависимость;	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>уметь</b> определять параметры сегнетоэлектрика из кривой гистерезиса, определять температуру Кюри;	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	<b>владеть</b> экспериментальными методами определения параметров сегнетоэлектриков.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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, в 5 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ОПК-1	<b>знать:</b> - основные параметры диэлектриков; - механизмы электропроводности диэлектриков, происхождение поляронов;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> определять величину диэлектрической проницаемости диэлектрика	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> экспериментальными методами расчетов и измерения диэлектрической постоянной на разных частотах;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве	Задачи не решены

			задач	
ОПК-9	<b>знать:</b> - механизмы электронной, ионной и дипольной поляризации, частотную зависимость диэлектрической постоянной и ее связь с механизмами поляризации; - природу диэлектрических потерь, их частотную зависимость;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь:</b> - оценивать вклад разных механизмов поляризации из частотных зависимостей диэлектрической проницаемости; - оценивать природу дефектов из частотных зависимостей диэлектрических потерь;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> методами подбора диэлектриков для их различного целевого использования;	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПКВ-3	<b>знать:</b> - прямой и обратный пьезоэффект; - связь симметрии кристаллической решетки с ее пьезоэлектрическими свойствами; - сегнетоэлектрические свойства диэлектриков, их температурную зависимость;	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	<b>уметь</b> определять параметры сегнетоэлектрика из кривой гистерезиса, определять температуру Кюри;	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> экспериментальными методами определения параметров сегнетоэлектриков.	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

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

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1	Подвижность носителей зарядов в твердом теле определяется а) тепловой скоростью электронов б) тепловой скоростью отрицательных ионов в) дрейфовой скоростью электронов г) дрейфовой скоростью ионов
2	Уравнение электронейтральности отражений а) закон сохранения заряда б) закон сохранения энергии в) нейтральное поведение ионов примеси г) закон сохранения объема
3	Поверхностные состояния обусловлены а) плоскостью кристалла

	б) обрывок валентных связей в) работой выхода электронов г) окисление кристалла
4	В каких случаях в кристалле для квантовых частиц – электронов можно применять классическую статистику Больцмана? Когда уровень Ферми расположены а) в зоне проводимости от 1 кТ до 5 кТ б) в валентной зоне более 5 кТ от края в) в запрещенной зоне глубже, чем на 1 кТ от края г) совпадает с дном зоны проводимости
5	При каких соотношениях эффективных масс электронов и дырок положения уровня Ферми с ростом температуры не изменяется а) $m_n^x = m_p^x$ б) $m_n^x < m_p^x$ в) $m_n^x > m_p^x$ г) не зависит от $m_n^x$ и $m_p^x$
6	Уравнение Шредингера для кристалла и физический смысл его слагаемых. а) слагаемые уравнения Шредингера отображают основные виды взаимодействий квантовых частиц в кристалле; б) слагаемые уравнения Шредингера отображают потенциальное поле кристалла; в) слагаемые уравнения Шредингера отображают характер движения электронов в кристалле.
7	Физический смысл одноэлектронного приближения. а) одноэлектронное приближение характеризует взаимодействие одного электрона с усредненным полем всех других электронов; б) это приближение отражает реакцию одного электрона на потенциал всего кристалла; в) в этом приближении один электрон взаимодействует с потенциалом всех протонов кристалла.
8	Решение уравнения Шредингера в приближении сильной связи. а) в этом приближении за нулевой порядок теории взаимодействия принимается энергия электрона с собственным атомом; б) сильная связь означает, что электрон не покидает предела кристалла; в) сильная связь означает сильное взаимодействие между электронами.
9	Решение уравнения Шредингера в приближении слабой связи. а) в приближении слабой связи движущейся свободный электрон испытывает периодические возмущения со стороны кристаллической решетки; б) в приближении слабой связи электрон может покинуть объем кристалла; в) в этом приближении электроны слабо связаны между собой.
10	Эффективная масса электрона в кристалле. а) эффективная масса электрона отражает влияние на движение электрона потенциального поля кристаллической решетки; б) эффективная масса электрона определяется размерами кристалла; в) эффективная масса электрона зависит от взаимодействия со всеми другими электронными кристалла.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1	Построить зоны Бриллюэна для двумерной простой прямоугольной решетки с межатомными расстояниями $a$ и $b = 2a$ . Показать, что на границе зоны Бриллюэна выполняется условие Вульфа-Брегга.
---	---

2	Построить зависимости скорости и эффективной массы электрона от волнового вектора в первой и второй зонах Бриллюэна.
3	Определить форму изоэнергетических поверхностей в зонах проводимости кремния и германия. Найти значения полуосей эллипсоидов.
4	Используя приближение сильносвязанных электронов, посчитать ширину энергетической зоны, в которую расщепляется атомный уровень: а) для двумерной квадратной решетки; б) для простой кубической решетки.
5	Построить первую зону Бриллюэна для простой кубической решетки.
6	Посчитать для трехмерной простой кубической решетки, во сколько раз кинетическая энергия свободного электрона в углу первой зоны Бриллюэна больше, чем в центре боковой поверхности зоны.
7	Посчитать для двумерной прямоугольной решетки с межатомными расстояниями $a$ и $b = 2a$ , во сколько раз кинетическая энергия свободного электрона в углу первой зоны Бриллюэна больше, чем в середине боковой стороны зоны.
8	Посчитать для двумерной простой квадратной решетки, во сколько раз кинетическая энергия свободного электрона в углу первой зоны Бриллюэна больше, чем в середине боковой стороны зоны.
9	Определить температуру, при которой вероятность нахождения электрона с энергией $E = 0,5$ эВ выше уровня Ферми в металле равна 1 %.
10	Вычислить отношение концентраций электронов в двух экстремумах зоны проводимости, если экстремумы отделены от уровня Ферми энергетическими зазорами $E_1 = 0,2$ эВ и $E_2 = 0,3$ эВ.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1	Нормально вектору напряженности однородного электрического поля $E_0 = 100$ В/м расположена пластина изотропного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 2$ . Определить: а) напряженность поля $E$ и электрическое смещение (электрическую индукцию) $D$ внутри пластины; б) поляризованность диэлектрика $P$ и поверхностную плотность связанных зарядов $\sigma$ .
2	Пространство между пластинами плоского конденсатора заполнено диэлектриком, молекулы которого можно рассматривать как жесткие диполи с электрическим моментом $\rho = 1$ Д. Концентрация диполей $n = 10^{26}$ м <sup>-3</sup> . До заполнения пространства между пластинами диэлектриком напряженность электрического поля была $10^8$ В/м. Определить среднее значение напряженности поля внутри конденсатора при заполнении его таким диэлектриком.
3	Кристалл с кубической решеткой имеет диэлектрическую восприимчивость $\chi = 0,75$ . Определить диэлектрическую проницаемость $\epsilon$ кристалла.
4	Определить ионную поляризуемость $\alpha_i$ молекул хлористого натрия в кристалле поваренной соли. Диэлектрическая проницаемость кристалла $\epsilon = 5,62$ ; показатель преломления $n = 1,5$ ; плотность $\rho = 2,17 \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup> .
5	Вычислить ориентационную поляризуемость $\alpha_{op}$ молекул воды, находящихся при температуре $27$ °С, если электрический момент молекул $p_0 = 1,87$ Д.
6	Между пластинами плоского конденсатора без воздушных промежутков зажат лист гетинакса толщиной $h = 1$ мм. На конденсатор подано напряжение $U = 200$ В. Определить поверхностную плотность заряда на пластинах конденсатора $\sigma_1$ и на диэлектрике $\sigma_0$ . Диэлектрическую проницаемость материала принять равной шести.
7	Спонтанная поляризованность монокристаллов титаната бария при комнатной температуре равна $0,25$ Кл/м <sup>3</sup> . Предполагая, что причиной возникновения спонтанной

	поляризации является только смещение иона титана из центра элементарной кубической ячейки, определить это смещение. Период идентичности $a$ решетки принять равным 0,4 нм.
8	Расстояние между пластинами конденсатора 2 мм, разность потенциалов 1,8 кВ. диэлектрик – стекло ( $\varepsilon = 4$ ). Определить диэлектрическую восприимчивость стекла и поверхностную плотность поляризованных (связанных) зарядов на поверхности стекла.
9	Описать основные механизмы электропроводности диэлектриков. Почему подвижность носителей заряда в диэлектриках намного меньше, чем в полупроводниках? Что такое полярон?
10	Вычислить вероятность заполнения электронами энергетического уровня, расположенного на $10 kT$ выше уровня Ферми. Как изменится вероятность заполнения этого уровня электронами, если температуру увеличить в два раза?

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

1. Анизотропия эффективной массы электрона в кристалле.
2. Периодический характер изменения энергии в пределах зоны.
3. Число состояний в разрешенной зоне.
4. Уравнение Шредингера для кристалла.
5. Описать основные механизмы электропроводности диэлектриков.
6. Почему подвижность носителей заряда в диэлектриках намного меньше, чем в полупроводниках?
7. Что такое полярон?
8. Перечислить основные механизмы поляризации диэлектриков.
9. Как механизмы поляризации диэлектриков зависят от температуры?
10. Как механизмы поляризации диэлектриков зависят от частоты внешнего электрического поля?
11. Как можно экспериментально определить механизм поляризации диэлектрика?
12. Показать схематически частотную зависимость диэлектрической проницаемости диэлектрика.
13. Дать определение тангенса угла диэлектрических потерь.
14. Тензор диэлектрической проницаемости.
15. Какими механизмами могут определяться диэлектрические потери?
16. Практическое значение диэлектрических потерь в применении диэлектриков.
17. Прямой и обратный пьезоэффекты и их физическая природа.
18. Влияние симметрии кристалла на вид матрицы пьезомодулей.
19. Способы определения пьезоэлектрических коэффициентов.
20. Практическое применение пьезоэффекта в микроэлектронике и в технике.
21. Продольные и сдвиговые волны в пьезоэлектрическом кристалле.
22. Эквивалентная схема пьезоэлектрического резонатора.
23. Пьезопреобразователи энергии.
24. Пьезоэлектрические трансформаторы и двигатели.
25. Пьезоэлектрические датчики.
26. Пьезоэлектрические устройства на поверхностных акустических волнах (ПАВ).
27. Электроуправляемый пьезоэффект и микропозиционеры.
28. Перспективы пьезоэлектроники.
29. Физическая природа сегнетоэлектричества.
30. Практическое применение сегнетоэлектриков в микроэлектронике и в технике.

#### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

Не предусмотрено учебным планом.

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

Промежуточная аттестация проводится по тестам и билетам, каждый из которых содержит 5 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 5 баллов. Максимальное количество набранных баллов – 10.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 8 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 8 до 10 баллов.

### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

<b>№ п/п</b>	<b>Контролируемые разделы (темы) дисциплины</b>	<b>Код контролируемой компетенции (или ее части)</b>	<b>Наименование оценочного средства</b>
1	Зонная теория твердых тел	ОПК-1, ОПК-9, ПКВ-3	Тест
2	Электрические свойства кристаллов	ОПК-1, ОПК-9, ПКВ-3	Тест
3	Электромеханические свойства кристаллов	ОПК-1, ОПК-9, ПКВ-3	Тест
4	Методы определения пьезоэлектрических характеристик	ОПК-1, ОПК-9, ПКВ-3	Тест
5	Практические применения пьезоэлектриков	ОПК-1, ОПК-9, ПКВ-3	

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

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

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

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

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

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

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников; учебник для вузов. - СПб.: Лань, 2014. - 400 с.
2. Рембеза С.И. Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 1. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 207 с.
3. Рембеза С.И. Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 2. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 137 с.
4. Павлов, П. В. Хохлов А.Ф. Физика твердого тела : учеб. пособие. - М.: Высш. шк., 2000. - 494с.
5. Митрохин В.И. Неравновесные процессы в полупроводниках: учеб. пособие. - Воронеж: ВГТУ, 2006. - 123 с.
6. Шретер Ю.Г., Ребане Ю.Т., Зыков В.А., Сидоров В.Г. Широкозонные полупроводники: учеб. пособие. - СПб.: Наука, 2001. – 125 с.
7. Энциклопедия технологии полупроводниковых материалов / пер. с англ. Э.П. Домашевской. Т.1: Электронная структура и свойства полупроводников / под ред. К.А. Джексона, В. Шретера. - Воронеж: Водолей, 2004. – 967 с.
8. Чеботарев С.Н. Физика и техника полупроводников: учеб. пособие. – Новочеркасск: ЮРГПУ(НПИ), 2017. – 92 с.
9. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. - СПб.: Лань, 2009. - 480 с.

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

Профессиональные справочные системы «Техэксперт»  
<http://195.209.112.161:3000/>

Независимая информационно-консалтинговая компания Enerdata  
<https://www.enerdata.ru/>

Научная электронная библиотека: <http://www.elibrary.ru>

ЭБС Книгафонд: <http://www.knigafund.ru/>

ЭБС <http://e.lanbook.com/>

Единое окно доступа к информационным ресурсам <http://window.edu.ru>

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

1. Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой
2. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в «Интернет».
3. Учебное, научное и технологическое оборудование кафедры полупроводниковой электроники и наноэлектроники.

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

По дисциплине «Физика полупроводников» читаются лекции, проводятся лабораторные занятия.

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

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

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

Контроль усвоения материала дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	<p>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.</p>
Лабораторная работа	<p>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.</p>
Самостоятельная работа	<p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</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	<p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1		31.08.2018	
2		31.08.2019	
3		31.08.2020	