

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

УТВЕРЖДАЮ
Декан факультета радиотехники
и электроники
/ В.А. Небольсин /
25 ноября 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Физика полупроводников»**

Направление подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Профиль Микроэлектроника и твердотельная электроника

Квалификация выпускника бакалавр

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

Форма обучения очная / заочная

Год начала подготовки 2023

Автор программы

В.И.У. А.А. Винокуров

И.о.заведующего кафедрой
полупроводниковой электроники
и наноэлектроники

В.И.У. А.В. Строгонов

Руководитель ОПОП

В.И.У. А.В. Арсентьев

Воронеж 2022

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины: формирование у студентов научной основы для осознанного и целенаправленного использования физических свойств полупроводников 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 полупроводников и освоение способов практического использования свойств полупроводников;
- развитие понимания связи физических свойств полупроводников с параметрами изделий микроэлектроники на базе этих материалов;
- практическое овладение методами теоретического описания физических свойств полупроводников, владение навыками постановки физического эксперимента по изучению основных свойств и параметров полупроводников;
- владение экспериментальными методами контроля свойств полупроводников;
- 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 Б1.В.12 «Физика полупроводников» относится к дисциплинам части блока Б1 учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика полупроводников» направлен на формирование следующей компетенции:

ПК-7: 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
ПК-7	знать: – структуру зон полупроводников, влияние положения уровня Ферми на статистику электронов; – методы составления и решения уравнений электронейтральности; влияние механизмов рассеивания на температурную зависимость подвижности носителей зарядов; – механизмы пробоя полупроводников и эффект Ганна, эф-

	фект Холла и сопутствующие ему явления; – механизм поглощения света, фотолюминесценцию и фотопроводимость; – физическую природу образования выпрямляющих и омических контактов, характер прямых и обратных токов в разных видах контактов и гетеропереходах.
	уметь: – правильно выбрать вид статистики электронов в зависимости от положения уровня Ферми; – решать уравнения электронейтральности, определять энергию примесных уровней и ширину запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации электронов; – определять критерии сильных электрических полей, рассчитывать частоты диодов Ганна из параметров приборной структуры; – определять ширину запрещенной зоны и энергию ионизации примесных уровней из спектров поглощения, люминесценции и фотопроводимости; – строить зонные диаграммы барьеров Шоттки, p-n переходов и гетеропереходов.
	владеть: – методами расчета равновесной концентрации электронов в полупроводниках; – способами определения энергии активации примесей и ширины запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации, из спектров оптического поглощения, из спектров фотолюминесценции и фотопроводимости; – экспериментальными методами определения времени жизни неравновесных носителей зарядов; – измерениями вольт-амперных характеристик барьерных структур.

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
Аудиторные занятия (всего)	50	50
В том числе:		
Лекции	34	34
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Самостоятельная работа	58	58
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	6	6
В том числе:		
Лекции	2	2
Лабораторные работы (ЛР)	4	4
Самостоятельная работа	98	98
Часы на контроль	4	4
Вид промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость	час	108
	зач. ед.	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Зонная структура твердых тел	Введение. Уравнение Шредингера для кристалла. Приближенные решения уравнения. Одноэлектронное приближение. Приближение сильной связи. Решение уравнения Шредингера в приближении слабой связи. Зона Бриллюэна. Эффективная масса электрона в кристалле. Зонная структура реальных полупроводников	8	4	10	22
2	Статистика электронов в полупроводниках	Распределение Ферми-Дирака. Концентрация электронов в зоне проводимости. Физический смысл энергии Ферми. Концентрация электронов на примесных уровнях. Уравнение электронейтральности. Определение положения уровня Ферми. Примеры решения уравнения электронейтральности. Собственный и примесный полупроводники. Температурная зависимость концентрации носителей зарядов, определение энергии активации.	16	8	24	48

3	Физические свойства поверхности полупроводника	Поверхностные состояния и поверхностный потенциал. Решение уравнения Пуассона. Дебаевская длина экранирования. Поверхностная проводимость. Эффект поля. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры и ее связь с параметрами поверхности.	6	2	12	20
4	Контактные явления в полупроводниках	Работа выхода электронов и полупроводника и металла. Контакт полупроводника с металлом и его вольт-амперная характеристика. Контакт полупроводников n- и p- типа проводимости. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Гетеропереходы и их типы.	4	2	12	18
Итого			34	16	58	108

заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
1	Зонная структура твердых тел	Введение. Уравнение Шредингера для кристалла. Приближенные решения уравнения. Одноэлектронное приближение. Приближение сильной связи. Решение уравнения Шредингера в приближении слабой связи. Зона Бриллюэна. Эффективная масса электрона в кристалле. Зонная структура реальных полупроводников	1	2	18	21
2	Статистика электронов в полупроводниках	Распределение Ферми-Дирака. Концентрация электронов в зоне проводимости. Физический смысл энергии Ферми. Концентрация электронов на примесных уровнях. Уравнение электронейтральности. Определение положения уровня Ферми. Примеры решения уравнения электронейтральности. Собственный и примесный полупроводники. Температурная зависимость концентрации носителей зарядов, определение энергии активации.	1	2	34	37
3	Физические свойства поверхности полупроводника	Поверхностные состояния и поверхностный потенциал. Решение уравнения Пуассона. Дебаевская длина экранирования. Поверхностная проводимость. Эффект поля. Структура металл-диэлектрик-полупроводник. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры и ее связь с параметрами поверхности.	-	-	23	23
4	Контактные явления в полупроводниках	Работа выхода электронов и полупроводника и металла. Контакт полупроводника с металлом и его вольт-амперная характеристика. Контакт полупроводников n- и p- типа проводимости. Вольт-амперная характеристика p-n перехода. Гетеропереходы и их типы.	-	-	23	23
Всего			2	4	98	104
Контроль						4
Итого						108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Исследование температурной зависимости электропроводности полупроводников
2. Исследование температурной зависимости термоэлектродвижущей силы в полупроводниках
3. Исследование параметров термоэлектрического модуля

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

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

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

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

7.1.1 Этап текущего контроля

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

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-7	знать: структуру зон полупроводников, влияние положения уровня Ферми на статистику электронов; методы составления и решения уравнений электронейтральности; влияние механизмов рассеивания на температурную зависимость подвижности носителей зарядов; механизмы пробоя полупроводников и эффект Ганна, эффект Холла и сопутствующие ему явления; механизм поглощения света, фотолюминесценцию и фотопроводимость; физическую природу образования выпрямляющих и омических контактов, характер прямых и обратных токов в разных видах контактов и гетеропереходах.	Успешное выполнение лабораторных работ	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь: правильно выбрать вид статистики электронов в зависимости от положения уровня Ферми; решать уравнения электронейтральности, определять энергию примесных уровней и ширину запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации электронов; определять критерии сильных электрических полей, рассчитывать частоты диодов Ганна из параметров приборной структуры; определять ширину запрещенной зоны и энергию ионизации примесных уровней из спектров поглощения, люминесценции и фотопроводимости; строить зонные диаграммы барьеров Шоттки, p-n переходов и гетеропереходов.	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть: методами расчета равновесной концентрации электронов в полупроводниках; способами определения энергии активации примесей и ширины запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации, из спектров оптического поглощения, из спектров фотолюминесценции и фотопроводимости; экспериментальными методами определения времени жизни неравновесных носителей зарядов; измерениями вольт-амперных характеристик барьерных структур.	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 6 семестре для заочной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-7	знать: структуру зон полупроводников, влияние положения уровня Ферми на статистику электронов; методы составления и решения уравнений электронейтральности; влияние механизмов рассеивания на температурную зависимость подвижности носителей зарядов; механизмы пробоя полупроводников и эффект Ганна, эффект Холла и сопутствующие ему явления; механизм поглощения света, фотолюминесценцию и фотопроводимость; физическую природу образования выпрямляющих и омических контактов, характер прямых и обратных токов в разных видах контактов и гетеропереходах.	Тест	Выполнение теста на 70 – 100 %	Выполнение менее 70 %
	уметь: правильно выбрать вид статистики электронов в зависимости от положения уровня Ферми; решать уравнения электронейтральности, определять энергию примесных уровней и ширину запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации электронов; определять критерии сильных электрических полей, рассчитывать частоты диодов Ганна из параметров приборной структуры; определять ширину запрещенной зоны и энергию ионизации примесных уровней из спектров поглощения, люминесценции и фотопроводимости; строить зонные диаграммы барьеров Шоттки, р-п переходов и гетеропереходов.	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеть: методами расчета равновесной концентрации электронов в полупроводниках; способами определения энергии активации примесей и ширины запрещенной зоны из температурных зависимостей концентрации, из спектров оптического поглощения, из спектров фотолюминесценции и фотопроводимости; экспериментальными методами определения времени жизни неравновесных носителей зарядов; измерениями вольт-амперных характеристик барьерных структур.	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

- Уравнение Шредингера для кристалла и физический смысл его слагаемых.
 - слагаемые уравнения Шредингера отображают основные виды взаимодействий квантовых частиц в кристалле;
 - слагаемые уравнения Шредингера отображают потенциальное поле кристалла;
 - слагаемые уравнения Шредингера отображают характер движения электронов в кристалле.
- Физический смысл одноэлектронного приближения.
 - в этом приближении один электрон взаимодействует с потенциалом всех протонов кристалла;
 - это приближение отражает реакцию одного электрона на потенциал всего кристалла;
 - это приближение характеризует взаимодействие одного электрона с усредненным полем всех других электронов.
- При решении уравнения Шредингера в приближении сильной связи
 - в качестве исходного состояния используется значение энергии свободного электрона;

- б) в качестве исходного состояния используется значение энергии электрона в изолированном атоме;
- в) сильная связь означает сильное взаимодействие между электронами.

4. При решении уравнения Шредингера в приближении слабой связи

- а) в качестве исходного состояния используется значение энергии свободного электрона;
- б) в качестве исходного состояния используется значение энергии электрона в изолированном атоме;
- в) слабая связь означает слабое взаимодействие между атомами.

5. 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.

6. Уравнение электронейтральности отражает

- а) закон сохранения энергии
- б) закон сохранения заряда
- в) нейтральное поведение ионов примеси
- г) закон сохранения объема.

7. Поверхностные состояния обусловлены

- а) плоскостью кристалла
- б) обрывом валентных связей
- в) работой выхода электронов
- г) окисление кристалла

8. Подвижность носителей зарядов в твердом теле определяется

- а) тепловой скоростью электронов
- б) тепловой скоростью отрицательных ионов
- в) дрейфовой скоростью электронов
- г) дрейфовой скоростью ионов

9. Выбор статистики электронов в полупроводниках определяется

- а) типом легирующей примеси;
- б) положение уровня Ферми в зонной структуре;
- в) наличием свободных электронов;
- г) отсутствие дырок в полупроводнике.

10. Концентрация электронов в полупроводнике в зависимости от температуры определяется

- а) квадратичной зависимостью;
- б) экспоненциальной зависимостью;
- в) линейной зависимостью;
- г) параболической зависимостью.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Вычислить вероятность заполнения электронами энергетического уровня, расположенного на $10 kT$ выше уровня Ферми.
2. Определить температуру, при которой вероятность нахождения электрона с энергией $E = 0,5$ эВ выше уровня Ферми в металле равна 1 %.
3. Вычислить дебаевскую длину экранирования при 300 К в собственном кремнии ($\varepsilon = 12$).
4. Для двух полупроводников с разной шириной запрещенной зоны нарисовать график $\ln n = f\left(\frac{1}{T}\right)$ для определения ширины запрещенной зоны.
5. Для полупроводника с одним примесным уровнем показать качественно последовательность переходов электронов в зону проводимости по мере повышения температуры.
6. Построить две первые зоны Бриллюэна для квадратной кристаллической решетки.
7. Найти эквивалентные энергетические точки в 1 и 2 зонах Бриллюэна квадратной решетки.
8. Нарисовать зонную структуру контакта полупроводника с металлом.
9. Нарисовать схему зонной структуры кристалла в одномерном случае с учетом поверхностных состояний.
10. Нарисовать вольт-амперную характеристику перехода металл-полупроводник.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Донорная примесь (фосфор) в кремнии имеет концентрацию $N = 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и полностью ионизирована. Рассчитать удельное сопротивление образца ($\mu = 900 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$).
2. Слиток кремния имеет обозначение КЭФ-10. Рассчитать количество примеси в ней при полной ионизации ($\mu = 900 \frac{\text{см}^2}{\text{В} \cdot \text{с}}$) и комнатной температуре.
3. Эффективная масса электрона в кремнии $m_n^* = 0,9m_0$. Найти кинетическую энергию теплового электрона, если тепловая скорость $v_T = 3 \cdot 10^3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.
4. Постоянная кубической кристаллической решетки кристалла $a = 5$ нм. Чему равен период зон Бриллюэна в этом кристалле.
5. Записать выражение для температурной зависимости концентрации собственных носителей заряда для кремния $\Delta E_g = 1,12 \text{ эВ}$.
6. Как определить энергию активации примеси и ширину запрещенной зоны полупроводника из зависимости $\ln n = f\left(\frac{1}{T}\right)$?
7. На какой из поверхностей кремния (100), (110), (111) наименьшее количество образованных связей приходится на 1 см^2 .
8. Какое соотношение работ выхода электрона из металла и из полупроводника должно быть для получения омического контакта?
9. Какой составляющей определяется обратный ток контакта металл – полупроводник?
10. Как определить омичность контакта металл – полупроводник из вольт-амперной характеристики.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Уравнение Шредингера для кристалла. Приближенные решения уравнения.
2. Одноэлектронное приближение. Приближение сильной связи.
3. Принципы построения уравнения Шредингера.

4. Теория возмущений в квантовой механике.
5. Анизотропия эффективной массы электрона в кристалле.
6. Решение уравнения Шредингера в приближении слабой связи.
7. Зона Бриллюэна. Эффективная масса электрона в кристалле.
8. Зонная структура реальных полупроводников
9. Распределение Ферми-Дирака.
10. Концентрация электронов в зоне проводимости.
11. Эффективная масса плотности состояний. Физический смысл энергии Ферми.
12. Статистическое описание поведения электронов.
13. Эффективная масса плотности состояний.
14. Концентрация электронов на примесных уровнях.
15. Уравнение электронейтральности.
16. Определение положения уровня Ферми.
17. Собственный и примесный полупроводники.
18. Статистика электронов на примесных уровнях.
19. Температурная зависимость концентрации носителей зарядов, определение энергии активации.
20. Поверхностные состояния и поверхностный потенциал.
21. Решение уравнения Пуассона.
22. Дебаевская длина экранирования.
23. Поверхностная проводимость.
24. Влияние природы адсорбированных молекул на характер искривленных зон.
25. Зависимость дебаевской длины экранирования от концентрации носителей заряда.
26. Структура металл-диэлектрик-полупроводник.
27. Вольт-фарадная характеристика МДП-структуры
28. Определение параметров полупроводников из вида вольт-емкостных характеристик
29. Работа выхода электронов для полупроводника и металла.
30. Контакт полупроводника с металлом и его вольт-амперная характеристика.
31. Требования к металлам для барьеров Шоттки.
32. Контакт полупроводников n- и p- типа проводимости.
33. Вольт-амперная характеристика p-n перехода.
34. Гетеропереходы.
35. Зависимость ВАХ барьера Шоттки от температуры.
36. Зависимость ВАХ p-n перехода от температуры.

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-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.

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

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Зонная структура твердых тел	ПК-7	Тест, защита лабораторных работ
2	Статистика электронов в полупроводниках	ПК-7	Тест, защита лабораторных работ
3	Физические свойства поверхности полупроводника	ПК-7	Тест
4	Контактные явления в полупроводниках	ПК-7	Тест

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

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

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

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

8 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников [Электронный ресурс]: учебник / К.В. Шалимова. - 4-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2022. - 384 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-0922-8. URL: <https://e.lanbook.com/book/210524>

2. **Ансельм А.И.** Введение в теорию полупроводников [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Ансельм. - 4-е изд., стер. - СПб.: Лань, 2022. - 624 с. - Книга из коллекции Лань - Физика. - ISBN 978-5-8114-0762-0. URL: <https://e.lanbook.com/book/212255>

3. **Рембеза С.И.** Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 1 / С.И. Рембеза. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. – 207 с.

4. **Рембеза С.И.** Физика твердого тела: учеб. пособие. Ч. 2 / С.И. Рембеза. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007. - 137 с.

5. **Бонч-Бруевич В.Л.** Физика полупроводников: учеб. пособие / В.Л. Бонч-Бруевич, С.Г. Калашников. - 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1990. - 688 с. - ISBN 5-02-014032-5

6. **Рембеза С.И.** Физические свойства низкоразмерных структур / С.И. Рембеза, Е.С. Рембеза, Н.Н. Кошелева. - Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011. - 139 с.

7. **Митрохин В.И.** Неравновесные процессы в полупроводниках: учеб. пособие / В.И. Митрохин. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2006. – 123 с.

Дополнительная литература

8. **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. - 982 с. - ISBN 5-88563-041-0

9. **Пантелеев В.И.** Физика и технология полупроводниковых гетеропереходных структур : учеб. пособие / В.И. Пантелеев. -Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2000. - 82 с.

10. **Шалимова К.В.** Физика полупроводников: учебник / К. В. Шалимова. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоиздат, 1985. - 392 с.

11. **Митрохин В.И.** Фотопьезоэлектрические свойства монокристаллов арсенида галлия с глубокими примесными центрами: учеб. пособие / В.И. Митрохин. – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009. – 105 с.

12. **Широкозонные полупроводники:** учеб. пособие / Ю.Г. Шретер, Ю.Т. Ребане, В.А. Зыков, В.Г. Сидоров.- СПб.: Наука, 2001. - 125 с. - (Новые разделы физики полупроводников). - ISBN 5-02-024959-9

13. **Лыков С.Н.** Сверхпроводимость полупроводников: учеб. пособие / С.Н. Лыков; под общ. ред. В.И. Ильина, А.Я. Шика. - СПб.: Наука , 2001. - 104 с. - (Новые разделы физики полупроводников). - ISBN 5-02-024943-2

14. **Ланге П.К.** Физика полупроводников и нанотехнологий [Электронный ресурс]: учеб.-методич. пособие / П.К. Ланге. - Самара: Самарский государственный технический университет, 2017. - 88 с. - ISBN 2227-8397. URL: <http://www.iprbookshop.ru/91129.html>

15. **Шурыгина Л.И.** Основы теории физико-химических процессов в гетерогенных системах [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Л.И. Шурыгина, Э.П. Суровой, Л.Н. Бугерко. - Кемерово : КемГУ, 2015. - 104 с. - ISBN 978-5-8353-1824-7. URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=69991

16. **Митрохин В.И.** Акустооптические свойства полупроводников с глубокими примесными центрами [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В.И. Митрохин. - Электрон. текстовые, граф. дан. (840 кб). – Воронеж: ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2009.

17. **Физика. Полупроводники** [Электронный ресурс]: методические указания к изучению темы «Полупроводники» для студентов всех технических направлений и специальностей очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т», Каф. физики; сост.: А.В. Бугаков. - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. - Электрон. текстовые и граф. данные (1,0 Мб) (№ 200-2021).

18. **Физика полупроводников** [Электронный ресурс]: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Физика» для студентов технических специальностей всех форм обучения / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. техн. ун-т», Каф. физики; сост.:

А.Г. Москаленко, Е.П.Татьянина, Т.Л. Тураева [и др.] - Воронеж: Воронежский государственный технический университет, 2021. (№ 235-2021).

19. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 - 3 по дисциплинам «Физика конденсированного состояния» и «Физика полупроводников» для студентов направления 210100.62 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») заочной формы обучения [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники: Сост. Е.П. Новокрещенова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (0,98 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. (№ 227-2013)

20. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 4 - 7 по дисциплинам «Физика конденсированного состояния» и «Физика полупроводников» для студентов направления 210100.62 «Электроника и наноэлектроника» (профиль «Микроэлектроника и твердотельная электроника») заочной формы обучения [Электронный ресурс] / Каф. полупроводниковой электроники и наноэлектроники: Сост. Е.П. Новокрещенова. - Электрон. текстовые, граф. дан. (1,03 Мб). - Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2013. (№ 228-2013)

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

Программное обеспечение компьютеров для самостоятельной и аудиторной работы:

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

Используемые электронные библиотечные системы:

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

Информационные справочные системы:

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

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

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

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

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

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 16 человек;
автоматическая многоканальная зондовая установка;
осциллограф С 9- 4 А (2 штуки);
измеритель удельного сопротивления ВМП-0,5-001;
микротвердомер ПМТ-3;
частотомер ЧЗ-34;
вольтметр В7-20;
осциллограф С1-67;
вольтметр селективный GMS;
осциллограф МСР ОСУ-10А;
генератор сигналов FG-515;
лабораторный источник питания НУ5003 (2 штуки);
генератор ГЗ-104;
мультиметр АМ-1109;
вольтметр В6-9;
обучающее устройство (2 штуки);
огнетушитель.

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

комплект учебной мебели: рабочее место преподавателя (стол, стул);
рабочие места обучающихся (столы, стулья) на 20 человек.
компьютер-сборка каф.9;
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/20" LCD);
компьютер-сборка каф.7;
компьютер-сборка каф.3;
компьютер в составе: (Н61/IntelCorei3/Кв/М/23" LCD);
компьютер-сборка каф.5;
компьютер-сборка каф.4;
компьютер-сборка каф.8;
компьютер-сборка каф.2;
компьютер-сборка каф.6;

компьютер-сборка каф.10;
 комп. в сост: Сист.блок RAMEC GALE,монитор 17" LCD;
 компьютер-сборка каф.1;
 экран Projecta ProScreen настенный рулонный;
 проектор BenQ MP515 DLP;
 огнетушитель.

10 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «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 обо всех видах самостоятельной работы студенты получают на занятиях.

Контроль усвоения материала дисциплины осуществляется тестированием. Освоение дисциплины оценивается на зачете.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных, для подготовки к ним необходимо: разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в

к промежуточной аттестации	течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.
----------------------------	---

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
1	Актуализирован раздел 8.1 в части состава учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.	04.02.2025	
2			
3			
4			