

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Высшая школа общей и прикладной физики

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Физика полупроводников

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

03.03.02 - Физика

---

Направленность образовательной программы

Фундаментальная физика

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.12 Физика полупроводников относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен выполнять научную работу в избранной области экспериментальных и (или) теоретических исследований с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК-1.1: Демонстрация способности выполнять научную работу в избранной области экспериментальных и (или) теоретических исследований с помощью современной приборной базы, сложного физического оборудования и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта	ПК-1.1: Знать основные понятия, используемые в современной научной литературе для описания физических свойств полупроводников, современные подходы и уравнения, используемые в физике полупроводников; основные физические свойства полупроводников Уметь использовать методы физики полупроводников. (основные уравнения и способы их решения) для описания экспериментальных результатов. Владеть методами решения основных уравнений, используемых в физике полупроводников	Задачи Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Задачи Контрольные вопросы
ПК-2: Способен применять в научно-исследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин	ПК-2.1: Демонстрация способности применять в научноисследовательской деятельности профессиональные знания и умения, полученные при освоении профильных дисциплин	ПК-2.1: Обладать профессиональными знаниями и умениями, необходимыми для научно-исследовательской деятельности Уметь применять полученные знания по физике полупроводников при реализации научно-исследовательских, научно-инновационных и практических проектов. Владеть навыками	Задачи Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Задачи Контрольные вопросы

		экспериментальной работы в области физики полупроводников.		
ПК-3: Способен ставить и решать научно-инновационные задачи, применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	ПК-3.1: Демонстрация способности ставить и решать научноинновационные задачи, применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности	<p>ПК-3.1:</p> <p>ПК-3. Способен ставить и решать научноинновационные задачи, применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности</p> <p>ПК-3.1: Демонстрация способности ставить и решать научноинновационные задачи, применять результаты научных исследований в инновационной и проектной деятельности</p> <p>ПК-3.1: Знать кристаллическую и зонную структуру широко используемых полупроводников Ge, Si, GaAs; методы нахождения концентрации свободных носителей заряда, механизмы рассеяния электронов в полупроводниках и методы их описания, методы вычисления электропроводности и коэффициентов поглощения света, устройство и принципы работы основных элементов полупроводниковой электроники (р-п -переход, контакт, металл-полупроводник, биполярный и полевой транзистор, полупроводниковый лазер), основные свойства полупроводниковых низкоразмерных структур. Уметь пользоваться методами физики полупроводников для описания электрических и оптических свойств полупроводников и приборов на их основе. Владеть навыками решения задач, основанных на полученных в ходе освоения дисциплины знаниях.</p>	Задачи Отчет по лабораторным работам	Экзамен: Задачи Контрольные вопросы

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>24</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>48</b>
- КСР	<b>2</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>70</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>36</b> <b>Экзамен</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Тема 1. Электронный спектр вблизи экстремумов зон. Приближение эффективной массы	10	2	4	6	4
Тема 2. Зонная структура Ge, Si, GaAs. Спектры электронов и дырок.	10	2	4	6	4
Тема 3. Движение электронов твердого тела в слабых внешних полях.	10	2	4	6	4
Тема 4. Мелкие примеси в полупроводниках.	10	2	4	6	4
Тема 5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках	10	2	4	6	4
Тема 6. Рассеяние носителей тока в полупроводниках	10	2	4	6	4
Тема 7. Линейные процессы переноса в полупроводниках	10	2	4	6	4
Тема 8. Неравновесные носители в полупроводниках	12	2	4	6	6
Тема 9. Оптические свойства полупроводников	12	2	4	6	6
Тема 10. Контактные явления	12	2	4	6	6
Тема 11. Барьер Шоттки и омический контакт	9	1	2	3	6
Тема 12. p-n переход	9	1	2	3	6
Тема 13. Биполярный и полевой транзисторы	9	1	2	3	6
Тема 14. Полупроводники в сильных электрических полях	9	1	2	3	6

Аттестация	36				
КСР	2			2	
Итого	180	24	48	74	70

### Содержание разделов и тем дисциплины

Тема 1. Электронный спектр вблизи экстремумов зон. Приближение эффективной массы

Тема 2. Зонная структура Ge, Si, GaAs. Спектры электронов и дырок.

Тема 3. Движение электронов твердого тела в слабых внешних полях.

Тема 4. Мелкие примеси в полупроводниках.

Тема 5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках

Тема 6. Рассеяние носителей тока в полупроводниках

Тема 7. Линейные процессы переноса в полупроводниках

Тема 8. Неравновесные носители в полупроводниках

Тема 9. Оптические свойства полупроводников

Тема 10. Контактные явления

Тема 11. Барьер Шоттки и омический контакт

Тема 12. p-n переход

Тема 13. Биполярный и полевой транзисторы

Тема 14. Полупроводники в сильных электрических полях

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 24 ч.

### 4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

а) основная литература:

1) Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников : Учебное пособие. М.: Наука, 1977. -672 с. -70 экз.

2) Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников .2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1978. -615 с. -21 экз.

3) Г.Е.Пикус Основы теории полупроводниковых приборов. М. Наука 1965. -448 с. -32 экз.

4) В.Я.Алешкин курс лекций «Современная физика полупроводников» (Деканат ВШОПФ) -30 экз.

б) дополнительная литература:

1) Пожела Ю.К. Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1977. -367 с. -6 экз.

- 2) Ашкрофт Н., Мермин Н. Физика твердого тела т.1. М.: Мир 1979. -399 с. -7 экз.
- 3) Зи С. Физика полупроводниковых приборов т.1 - М.: Мир, 1984. -455 с. -16 экз.
- 4) Смит Р.А. Полупроводники М.Мир 1982. -560 с. -21 экз.
- 5) Э.Конуэлл. Кинетические свойства полупроводников в сильных электрических полях. М.: Мир, 1970. -384 с. -6 экз.
- 6) А.Милнс, Д.Фойгт. Гетеропереходы и переходы металл-полупроводник. М.: Мир, 1975. -432 с. -6 экз.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины)

- 1) Федеральный портал “Российское образование” [http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web\\_Links&file=index&l\\_op=viewlink&cid=2578&fids\[\]=2675](http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web_Links&file=index&l_op=viewlink&cid=2578&fids[]=2675)
- 2) Кафедра “Физика наноструктур и наноэлектроника” ННГУ им Н.И.Лобачевского В.Я.Алешкин курс лекций «Современная физика полупроводников» [http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Aleshkin\\_lectures.pdf](http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Aleshkin_lectures.pdf)

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

Задача 1.1. Показать, что в случае, когда через экстремум зоны проходит ось вращения выше второго порядка, поверхность постоянной энергии является эллипсоидом вращения.

Задача 1.2. Используя условие слабой туннельной прозрачности барьеров (приближение сильной связи) найти спектр электронов в сверхрешетке.

Задача 1.3. Найти выражение для плотности состояний в валентной зоне германия вблизи потолка валентной зоны.

#### **5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2:**

Задача 2.1. Найти зависимость плотности электрического тока от величины внешнего электрического поля в сверхрешетке с законом дисперсии  $E(k) = -A \cos(k/a)$ . Для интеграла столкновений использовать тау-приближение.

Задача 2.2. Используя статистику Больцмана найти точное выражение для удельной емкости контакта Шоттки.

#### **5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3:**

Задача 3.1. Найти положение уровня Ферми и концентрацию электронов и дырок в собственном полупроводнике в германии. Полагать что ширина запрещенной зоны равна  $E_g = (0.785 \text{ эВ} - a \cdot T)$ .

Задача 3.2. Определить величину сдвига Бурштейна-Мосса в полупроводнике

с  $m_n=0.07m_0$ ,  $m_h=0.5m_0$ ,  $n=10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Температуру принять равной нулю.

**Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

#### 5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

1. Измерение параметров полупроводников методом Холла.
2. Электрические свойства  $p$ - $n$  переходов.
3. Горячие носители заряда в полупроводниках.
4. Вольт-амперные характеристики диодов Шоттки.

#### 5.1.5 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

1. Измерение параметров полупроводников методом Холла.
2. Электрические свойства  $p$ - $n$  переходов.
3. Горячие носители заряда в полупроводниках.
4. Вольт-амперные характеристики диодов Шоттки.

#### 5.1.6 Типовые задания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

1. Измерение параметров полупроводников методом Холла.
2. Электрические свойства  $p$ - $n$  переходов.
3. Горячие носители заряда в полупроводниках.
4. Вольт-амперные характеристики диодов Шоттки.

#### Критерии оценивания (оценочное средство - Отчет по лабораторным работам)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	(1). Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач. (2). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов. (3). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов. (4). Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами. (5). Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.
не зачтено	Справедливо одно из следующих утверждений: (1). Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.



Оценка	Критерии оценивания
	<p>(2). Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений.</p> <p>Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа.</p> <p>Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.</p>

## 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели	Имеется минимальный набор навыков для решения	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартны	Продemonстрированы навыки при решении нестандарт	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартны

	вследствие отказа обучающегося от ответа	место грубые ошибки	стандартны х задач с некоторым и недочетами	х задач с некоторым и недочетами	х задач без ошибок и недочетов	ных задач без ошибок и недочетов	х задач
--	--	---------------------	---	----------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	---------

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-1

Задача 1.1. Показать, что в случае, когда через экстремум зоны проходит ось вращения выше второго порядка, поверхность постоянной энергии является эллипсоидом вращения.

Задача 1.2. Используя условие слабой туннельной прозрачности барьеров (приближение сильной связи) найти спектр электронов в сверхрешетке.

Задача 1.3. Найти выражение для плотности состояний в валентной зоне германия вблизи потолка валентной зоны.

#### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Задача 2.1. Найти зависимость плотности электрического тока от величины внешнего электрического поля в сверхрешетке с законом дисперсии  $E(k) = -A \cos(k/a)$ . Для интеграла столкновений использовать тау-приближение.

Задача 2.2. Используя статистику Больцмана найти точное выражение для удельной емкости контакта Шоттки.

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Задача 3.1. Найти положение уровня Ферми и концентрацию электронов и дырок в собственном полупроводнике в германии. Полагать что ширина запрещенной зоны равна  $E_g = (0.785 \text{ эВ} - a \cdot T)$ .

Задача 3.2. Определить величину сдвига Бурштейна-Мосса в полупроводнике с  $m_n = 0.07m_0$ ,  $m_h = 0.5m_0$ ,  $n = 10^{18} \text{ см}^{-3}$ . Температуру принять равной нулю.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами.

Оценка	Критерии оценивания
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

#### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

- 1) Кристаллическая и зонная структура Ge, Si, GaAs.
- 2) Определение концентрации электронов и дырок в полупроводниках при заданном химическом потенциале. Нахождение химического потенциала при заданном уровне легирования.
- 3) Мелкие акцепторы и доноры в полупроводниках.
- 4) Основные механизмы рассеяния носителей тока в полупроводниках.
- 5) Линейные процессы переноса в полупроводниках. Диффузионно-дрейфовое приближение. Соотношение Эйнштейна.
- 6) Неравновесные носители в полупроводниках
- 7) Механизмы поглощения света в полупроводниках
- 8) Контактная разность потенциалов. Работа выхода.
- 9) Барьер Шоттки
- 10) Омический контакт. Токи, ограниченные объемным зарядом.
- 11) p-n переход
- 12) туннельный диод. Вероятность межзонного туннелирования
- 13) конструкция и принципы работы биполярного и полевого транзистора
- 14) Эффект Ганна
- 15) Примесный пробой. Лавинный пробой p-n перехода

### **5.3.5 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

- 1) Кристаллическая и зонная структура Ge, Si, GaAs.
- 2) Определение концентрации электронов и дырок в полупроводниках при заданном химическом потенциале. Нахождение химического потенциала при заданном уровне легирования.
- 3) Мелкие акцепторы и доноры в полупроводниках.
- 4) Основные механизмы рассеяния носителей тока в полупроводниках.
- 5) Линейные процессы переноса в полупроводниках. Диффузионно-дрейфовое приближение. Соотношение Эйнштейна.
- 6) Неравновесные носители в полупроводниках
- 7) Механизмы поглощения света в полупроводниках
- 8) Контактная разность потенциалов. Работа выхода.
- 9) Барьер Шоттки
- 10) Омический контакт. Токи, ограниченные объемным зарядом.
- 11) p-n переход
- 12) туннельный диод. Вероятность межзонного туннелирования
- 13) конструкция и принципы работы биполярного и полевого транзистора
- 14) Эффект Ганна
- 15) Примесный пробой. Лавинный пробой p-n перехода

### **5.3.6 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3**

- 1) Кристаллическая и зонная структура Ge, Si, GaAs.
- 2) Определение концентрации электронов и дырок в полупроводниках при заданном химическом потенциале. Нахождение химического потенциала при заданном уровне легирования.
- 3) Мелкие акцепторы и доноры в полупроводниках.
- 4) Основные механизмы рассеяния носителей тока в полупроводниках.
- 5) Линейные процессы переноса в полупроводниках. Диффузионно-дрейфовое приближение. Соотношение Эйнштейна.
- 6) Неравновесные носители в полупроводниках

- 7) Механизмы поглощения света в полупроводниках
- 8) Контактная разность потенциалов. Работа выхода.
- 9) Барьер Шоттки
- 10) Омический контакт. Токи, ограниченные объемным зарядом.
- 11) p-n переход
- 12) туннельный диод. Вероятность межзонного туннелирования
- 13) конструкция и принципы работы биполярного и полевого транзистора
- 14) Эффект Ганна
- 15) Примесный пробой. Лавинный пробой p-n перехода

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов. Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач.
отлично	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок. Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме. Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.
очень хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.
хорошо	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок. Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами. Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами.
удовлетворительно	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания но не в полном объеме. Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с

Оценка	Критерии оценивания
	некоторыми недочетами.
неудовлетворительно	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.
плохо	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа. Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа.

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Бонч-Бруевич Виктор Леопольдович. Физика полупроводников : учеб. пособие для физ. специальностей вузов. - М. : Наука, 1990. - 685 с. : ил. - ISBN 5-02-014032-5 : 2.00., 7 экз.
2. Ансельм Андрей Иванович. Введение в теорию полупроводников = Introduction to the Semiconductor Theory : учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по физ. и техн. направлениям и специальностям. - Изд. 3-е, стер. - СПб. : Лань, 2008. - 624 с. : ил. - (Классическая учебная литература по физике / ред. совет: Ж. И. Алферов (пред.) [и др.]) (Учебники для вузов. Специальная литература) (Лучшие классические учебники). - ISBN 978-5-8114-0762-0 : 419.50., 25 экз.
3. Пикус Григорий Езекиелевич. Основы теории полупроводниковых приборов. - М. : Наука, 1965. - 448 с. : черт. - (Физика полупроводников и полупроводниковых приборов). - 1.23., 42 экз.

Дополнительная литература:

1. Пожела Юрас Карлович. Плазма и токовые неустойчивости в полупроводниках. - М. : Наука, 1977. - 367 с. : ил. - (Физика полупроводников и полупроводниковых приборов). - ISBN 5-11-002304-2 (в пер.) : 1.40., 6 экз.
2. Ашкрофт Н. Физика твердого тела : в 2 т. [Т.] 1 / пер. с англ. А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова. - М. : Мир, 1979. - 399 с. : ил. - 2.60., 4 экз.
3. Ашкрофт Н. Физика твердого тела : в 2 т. [Т.] 2 / пер. с англ. К. И. Кугеля и А. С. Михайлова ; под ред. М. И. Каганова. - М. : Мир, 1979. - 422 с. : ил. - 2.90., 5 экз.
4. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. [Кн.] 1 / пер. с англ. В. А. Гергеля, В. В. Ракитина ; под ред. Р. А. Суриса. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир, 1984. - 455 с. : ил. - 2.20., 16 экз.
5. Зи С. М. Физика полупроводниковых приборов : в 2 кн. [Кн.] 2 / пер. с англ. В. А. Гергеля [и др.]

; под ред. Р. А. Суриса. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Мир , 1984. - 455 с. : ил. - 2.20., 16 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

- 1) Федеральный портал “Российское образование” [http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web\\_Links&file=index&l\\_op=viewlink&cid=2578&fids\[\]=2675](http://www.edu.ru/modules.php?op=modload&name=Web_Links&file=index&l_op=viewlink&cid=2578&fids[]=2675)
- 2) Кафедра “Физика наноструктур и наноэлектроника” ННГУ им Н.И.Лобачевского  
В.Я.Алешкин курс лекций «Современная физика полупроводников»  
[http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Aleshkin\\_lectures.pdf](http://www.pnn.unn.ru/UserFiles/lectures/Aleshkin_lectures.pdf)

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: для проведения лекций и практических занятий требуется типовое оборудование лекционной аудитории. Для подготовки самостоятельных контрольных работ и для их графического представления (если это необходимо), а также для расширения коммуникационных возможностей студенты имеют возможность работать в компьютерных классах с соответствующим лицензионным программным обеспечением и выходом в Интернет. Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети Интернет и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.03.02 - Физика.

Автор(ы): Алешкин Владимир Яковлевич, доктор физико-математических наук, профессор.

Заведующий кафедрой: Викторов Михаил Евгеньевич, кандидат физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 07.02.2024, протокол № 4.