

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего об-  
разования «Кабардино-Балкарский государственный университет  
им. Х.М. Бербекова»**

**Институт информатики, электроники и робототехники**

**Кафедра электроники и цифровых информационных технологий**

**СОГЛАСОВАНО**  
Руководитель образовательной  
программы Мустафаев Г.А.  
« 30 » 2023 г.



**УТВЕРЖДАЮ**  
Директор института  
Тетиев Р.Ш.  
« 30 » 2023 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.В.ДВ.04 «ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ  
НАНОСТРУКТУР»**

Направление подготовки

**11.03.04 - Электроника и нанoeлектроника**

**Профиль: Современные информационные технологии в электронной технике**

Квалификация (степень) выпускника  
**Бакалавр**

Форма обучения  
**Очная**

**Нальчик, 2023**

Рабочая программа дисциплины «Физика полупроводников и полупроводниковых наноструктур» /сост.Калмыков Р.М.Нальчик: КБГУ, 2023.

Рабочая программа дисциплины предназначена для студентов *очной* формы обучения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, 8 семестра, 4 курса.

Рабочая программа составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации «12» марта 2015 г. №218.

## Содержание

	стр
1. Цели и задачи освоения дисциплины	4
1.1. Цели освоения дисциплины	4
1.2. Задачи изучения дисциплины	4
2. Место дисциплины в структуре ООП ВО	4
3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины	4
4. Содержание и структура дисциплины	6
4.1. Содержание разделов дисциплины	6
4.2. Структура дисциплины	8
4.2.1. Общий трудоемкость дисциплины	8
4.2.2. Лекционные занятия	9
4.2.3. Лабораторные занятия	10
4.2.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплины	12
5. Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации	13
5.1. Задания для текущего контроля	13
5.1.1. Коллоквиумы	13
5.1.2. Примеры тестовых заданий	10
5.1.3. Промежуточная аттестация	19
6. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности	16
7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины (модуля)	24
7.1. Основная литература	24
7.2. Дополнительная литература.	25
7.3. Периодические издания	25
7.4. Интернет-ресурсы	25
7.5. Методические указания по проведению учебных занятий и организации самостоятельной работы студентов	25
7.5.1. Методические рекомендации к чтению лекции	25
7.5.2. Критерии оценки лекции	26
8. Материально-техническое обеспечение дисциплины	28
Лист изменений в рабочей программе дисциплины	29

## **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

### **1.1. Цели:**

обучения студентов основам и методам исследования физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

### **1.2. Задачи:**

- ознакомить студентов с основными законами и явлениями физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур и с их теоретической интерпретацией;
- дать четкое представление о границах применимости физических моделей и гипотез;
- ознакомить студента с современными достижениями физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур и использованием их в науке и технике;
- сформировать навыки экспериментальной работы в области физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур;
- дать навыки расчета физических характеристик полупроводниковых материалов и структур на их основе.

## **2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО**

Дисциплина входит в вариативную часть Б1.В.ДВ.06.01 учебного плана по направлению подготовки ВО 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника и профилю «Современные информационные технологии в электронной технике».

Дисциплина предназначена для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, 8 семестра, 4 года обучения и относится к дисциплинам вариативной части.

Основой для изучения данной дисциплины являются курсы математики, общей физики, физики твердого тела.

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование элементов следующих компетенций в соответствии с ФГОС ВО и ОПОП ВО по данному направлению подготовки:

**а)Выпускник должен обладать следующими общекультурными компетенциями:**

**ПКС-1.** Способен строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования

**ПКС-Б.1.1.**Способен строить физические и математические модели моделей, узлов, блоков

**ПКС-Б.1.2.** Способен пользоваться методами компьютерного моделирования

В результате освоения дисциплины студент должен:

**Знать:**

- основные понятия, законы и модели электронных процессов на поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур и их математические выражения; границы их применимости, применение законов в практических приложениях.
- фундаментальные физические опыты в области физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур и их роль в развитии науки и техники.
- методы экспериментального и теоретического исследования электронных процессов на поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.
- понимать сущность физических явлений на поверхности полупроводников.

-оценивать численные порядки величин, характерных для физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур .

-области применения физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

- современное состояние и основные направления развития физики поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

-вклад российских и зарубежных ученых оказавших наибольшее влияние на развитие физики электронных процессов на поверхности полупроводников и полупроводниковых наноструктур.

#### **Уметь:**

- правильно понимать и объяснять физические законы явлений и свойства тел, отличать гипотезы от научных теорий;

- пользоваться основными физическими приборами, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи, обрабатывать, анализировать оценивать полученные результаты;

- видеть физическое явление с разных точек зрения;

- мыслить творчески и самостоятельно;

- проявлять осведомленность в вопросах, связанных с историей важнейших открытий в физике полупроводников и полупроводниковых наноструктур;

- пользоваться при работе справочной и учебной литературой;

- применять полученные знания для объяснения разнообразных явлений и свойств полупроводниковых материалов и нано структур на их основе;

- оценивать достоверность естественнонаучной информации;

- использовать приобретенные знания и умения для решения практических задач, обеспечения безопасности собственной жизни, природопользования и охраны окружающей среды.

#### **Владеть:**

навыками по работе с экспериментальными установками и анализа результатов эксперимента.

#### **Приобрести опыт деятельности:**

-по измерению основных свойств полупроводников и полупроводниковых наноструктур и интерпретации результатов измерений;

-по обслуживанию экспериментального оборудования;

-по использованию математических моделей полупроводников и полупроводниковых наноструктур при изучении их свойств.

## **4. Содержание и структура дисциплины**

### **4.1. Содержание разделов дисциплины**

*Таблица 1.*

№ раздела	Наименование раздела	Содержание раздела	Код контролируемых компетенция	Форма текущего контроля
1	2	3		4

1	Введение	Предмет и задачи курса «физика полупроводников и полупроводниковых наноструктур». Краткий исторический очерк развития науки о полупроводниках. Роль отечественных ученых в развитии современной "Физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур".	ПК-1 К Т	
2	Полупроводники. Элементарная теория электропроводности	1. Классификация твёрдых тел по электрическим свойствам. Зависимость свойств полупроводников от внешних воздействий и наличие примесей. Виды полупроводниковых материалов. 2. Модельные представления электропроводности полупроводников. Собственные и примесные полупроводники.	ПК-1 К	ЛР Т
3	Основные положения зонной теории полупроводников	1. Краткие сведения из квантовой механики. Корпускулярно-волновой дуализм и принцип Гейзенберга. Уравнение Шрёдингера. 2. Шредингера для кристалла. Волновая функция и волновой вектор. Решение уравнения Шредингера в приближении сильной связи для электрона в периодическом поле простой кубической решётки. Выводы из этого решения относительно энергетического спектра электронов в кристаллах. 3. Число состояний электронов в энергетической зоне. Квазиимпульс. Зона Бриллюэна. Заполнение электронных состояний разрешенных зон. 4. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны. 5. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Скорость и ускорение электронов в кристалле. 6. Эффективная масса носителей. Метод эффективной массы. 7. Энергетические зоны в типичных полупроводниках. 8. Элементарная теория примесных состояний. Мелкие и глубокие уровни. Многозарядные примесные центры. "Глубокие" уровни.	ПК-1 К Т	ЛР
4	Колебание атомов кристаллической решетки	1. Колебание атомов одномерной кристаллической решетки. 2. Колебание атомов трехмерной кристаллической решетки.	ПК-1 К Т	
6	Рассеяние	1. Механизмы рассеяния электронов и	ПК-1 К	

	электронов и дырок в полупроводниках	дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Неравновесная функция распределения. состояние. Равновесное и стационарное состояний. Время релаксации. 2. Эффективное сечение и время релаксации для разных типов дефектов. Зависимость времени релаксации от энергии и температуры для различных механизмов рассеяния. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.	Т	ЛР
7	Кинетические явления в полупроводниках	1. Удельная электрическая проводимость полупроводников и ее зависимость от температуры. 2. Гальваномагнитные и термомагнитные явления в полупроводниках. Классификация гальваномагнитных и термомагнитных явлений. 3. Эффект Холла. Коэффициент Холла. Холловская и дрейфовая подвижности. Холл фактор при различных механизмах рассеяния носителей. 4. Магнитосопротивление. 3. Термэлектрические явления в полупроводниках. Явления Зеебека. Зависимость дифференциальной термо-ЭДС от температуры и степени легирования. Эффект фотонного увлечения. Явления Пельтье, Томпсона и связь коэффициентов, характеризующих эти явления. 4. Эффекты в сильных электрических полях. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле. Эффект Ганна. Механизмы увеличения концентрации носителей заряда в сильных электрических полях (ударная ионизация, туннельный эффект, электростатическая ионизация).	ПК-1 К Т	ЛР
8	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока в полупроводниках	1. Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми. Биполярная оптическая генерация носителей заряда. 2. Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через ловушки. Классификация ловушек.	ПК-1 К Т	ЛР
9	Диффузия и дрейф неравновесных носителей за-	1. Уравнение непрерывности. Диффузионные и дрейфовые токи. Соотношение Эйнштейна. 2. Диффузия и дрейф неравновесных	ПК-1 К Т	ЛР

	ряда	носителей заряда в случае монополярной проводимости. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике.		
10	Люминесценция полупроводников	1. Типы люминесценции. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Рекомбинационное излучение полупроводников при переходах между зоной и примесными уровнями. 2. Релаксация люминесценции полупроводников. Спонтанное и вынужденное излучение. Стимулированное излучение твердых тел.	ПК-1 К	ПК ЛР Т
11	Фотоэлектрические явления в полупроводниках	Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.	ПК-1 К	ПК ЛР Т
12	Физика полупроводников с пониженной размерностью	1. Введение 2. Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур 3. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины 4. Параболическая потенциальная яма 5. Треугольная потенциальная яма 6. Квантовые проволоки 7. Квантовые точки 8. Напряженные слои 9. Влияние напряжений на валентную зону 10. Зонная структура в квантовых ямах 11. Экситонные эффекты в квантовых ямах	ПК-1 К	ПК ЛР Т

## 4.2. Структура дисциплины

4.2.1. Общая трудоёмкость дисциплины составляет 4 зачетных единиц (144 часов)

Таблица 2.

Вид работы	Трудоёмкость, часы	
	8 семестр	Всего
<b>Общая трудоёмкость</b>	<i>144</i>	<i>144</i>
<b>Контактная работа:</b>	<i>66</i>	<i>66</i>
<b>Лекции (Л)</b>	<i>33</i>	<i>33</i>
<b>Лабораторные работы (ЛР)</b>	<i>33</i>	<i>33</i>
<b>Самостоятельная работа (в часах):</b>	<i>69</i>	<i>69</i>
<b>Вид промежуточной аттестации</b>	9(Зачет)	9(Зачет)

### 4.2.2. Лекционные занятия

Таблица 3

№ п/п	Темы
1	Предмет и задачи курса «физика полупроводников и полупроводниковых наноструктур». Краткий исторический очерк развития науки о полупроводниках. Роль отечественных ученых в развитии современной "Физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур". Классификация твёрдых тел по электрическим свойствам. Зависимость свойств полупроводников от внешних воздействий и наличие примесей. Виды полупроводниковых материалов. Модельные представления электропроводности полупроводников. Собственные и примесные полупроводники.
2	Краткие сведения из квантовой механики. Корпускулярно-волновой дуализм и принцип Гейзенберга. Уравнение Шрёдингера. Шредингера для кристалла. Волновая функция и волновой вектор. Решение уравнения Шредингера в приближении сильной связи для электрона в периодическом поле простой кубической решётки. Выводы из этого решения относительно энергетического спектра электронов в кристаллах. Число состояний электронов в энергетической зоне. Квазиимпульс. Зона Бриллюэна. Заполнение электронных состояний разрешенных зон. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Скорость и ускорение электронов в кристалле. Эффективная масса носителей. Метод эффективной массы. Энергетические зоны в типичных полупроводниках. Элементарная теория примесных состояний. Мелкие и глубокие уровни. Многозарядные примесные центры. "Глубокие" уровни.
3	Механизмы рассеяния электронов и дырок. Кинетическое уравнение Больцмана. Неравновесная функция распределения состояние. Равновесное и стационарное состояний. Время релаксации. Эффективное сечение и время релаксации для разных типов дефектов. Зависимость времени релаксации от энергии и температуры для различных механизмов рассеяния. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры.
4	Удельная электрическая проводимость полупроводников и ее зависимость от температуры. Гальваномагнитные и термомагнитные явления в полупроводниках. Классификация гальваномагнитных и термомагнитных явлений. Эффект Холла. Коэффициент Холла. Холловская и дрейфовая подвижности. Холл фактор при различных механизмах рассеяния носителей. Магнитосопротивление. Термэлектрические явления в полупроводниках. Явления Зеебека. Зависимость дифференциальной термо-ЭДС от температуры и степени легирования. Эффект фотонного увлечения. Явления Пельтье, Томпсона и связь коэффициентов, характеризующих эти явления. Эффекты в сильных электрических полях. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле. Эффект Ганна. Механизмы увеличения концентрации носителей заряда в сильных электрических полях (ударная ионизация, туннельный эффект, электростатическая ионизация).
5	Равновесные и неравновесные носители заряда. Квазиуровни Ферми. Биполярная оптическая генерация носителей заряда. Механизмы рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Рекомбинация носителей заряда через ловушки. Классификация ловушек.
6	Уравнение непрерывности. Диффузионные и дрейфовые токи. Соотношение Эйнштейна. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в

	примесном полупроводнике.
7	Типы люминесценции. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Рекомбинационное излучение полупроводников при переходах между зоной и примесными уровнями. Релаксация люминесценции полупроводников. Спонтанное и вынужденное излучение. Стимулированное излучение твердых тел.
8	Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости.
9	Введение. Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины. Параболическая потенциальная яма. Треугольная потенциальная яма.
10	Квантовые проволоки. Квантовые точки. Напряженные слои. Влияние напряжений на валентную зону. Зонная структура в квантовых ямах. Экситонные эффекты в квантовых ямах.

#### 4.2.3. Лабораторные работы (контролируемая компетенция ПК-3)

Таблица 4

№ п/п	Тема
1	Определение типа, концентрации и подвижности носителей заряда в полупроводниках
2	Определение ширины запрещенной зоны полупроводников
3	Измерение диффузионной длины и времени жизни неравновесных носителей заряда в полупроводниках
4	Измерение диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь
5	Изучение вольт-амперной характеристики электронно-дырочного перехода
6	Изучение вольт-фарадной характеристики электронно-дырочного перехода
7	Изучение поглощения света в полупроводниках
8	Изучение фотопроводимости полупроводников

#### Методические рекомендации по проведению лабораторных занятий

Лабораторный практикум является важным элементом процесса обучения. Лабораторные занятия должны быть ориентированы на решение типовых (базовых) задач, в будущей профессиональной деятельности с использованием методов, методик, формул, подходов, алгоритмов, моделей и прочих, изложенных на лекциях и в материалах, вынесенных на самостоятельную работу. Лабораторные занятия должны обеспечивать формирование компонентов «уметь» заданных дисциплинарных компетенций. Лабораторные занятия целесообразно предусмотреть (при наличии возможности) по всем темам непосредственно после изучения на лекциях теоретического материала. Одной из главных целей лабораторных занятий является углубление, закрепление и наиболее полное усвоение того материала, который был освещен на лекциях или задан для самостоятельного изучения. Лабораторный практикум должен прививать навыки самостоятельной работы на различном лабораторном оборудовании и умение пользоваться различными приборами и инструментами.

Успех лабораторных занятий зависит от качества подготовки преподавателя, студентов и лабораторного оборудования.

На первом занятии студенты изучают технику безопасности, получают список лабораторных работ и индивидуальный график выполнения лабораторных работ в виде

### Индивидуальный график выполнения лабораторных работ

Таблица 5

Даты выполнения работ									
№№ лабораторных работ									
Количество баллов за одну работу									
Сумма баллов по рейтинго- вым точкам	I			II			III		

Студенты также получают основные требования к выполнению и оформлению лабораторных работ по дисциплине в электронном или бумажном виде.

Выполнение каждой лабораторной работы складывается из следующих этапов

1. Самостоятельная подготовка студентов к работе и получение допуска. Перед началом работы студенты должны знать: название работы; краткую теорию темы; цель работы; методику измерения и экспериментальную установку; задания и ожидаемые результаты. Рекомендуется иметь запись в рабочей тетради по всем этим пунктам и заготовку таблицы для записи результатов измерений и вычислений. Студенты, не подготовившиеся к работе в соответствии с этими требованиями, к выполнению работы не допускаются.

2. Проведение эксперимента. Этот этап осуществляется в соответствии с методическими указаниями, которые содержатся в руководстве к каждой работе и техническому описанию лабораторной установки. Результаты первичных измерений записываются без какой-либо обработки в “Таблицу результатов измерений и вычислений”.

При работе в лаборатории необходимо строго выполнять все правила техники безопасности и указания преподавателя.

3. Обработку результатов измерений рекомендуется проводить одним из современных пакетов математических программ, например, Mathcad, Origin. Если требуется графики строятся на миллиметровой бумаге или одним из пакетов программ. Для полного понимания «обнаруженной закономерности» студенту необходимо описать ход графика и сделать выводы, являющиеся итогом самостоятельного анализа результатов эксперимента.

4. Отчет о проделанной работе представляет собой совокупность всех этапов от допуска до полного завершения лабораторной работы и описанные в рабочей тетради.

5. Завершающим этапом является защита выполненной работы. На защите студент представляет отчет и отвечает на контрольные вопросы из руководства к лабораторным работам по физике полупроводников и полупроводниковых структур и ему выставляется балл, которым оценена данная лабораторная работа.

В ходе проведения лабораторных занятий преподаватель помогает студентам овладеть лабораторной техникой, проводить измерения, анализ результатов и сделать выводы из полученных результатов.

Активная работа студентов на практических занятиях является одним из показателей хорошей организации таких занятий. При этом очень важно подлинно научное решение на лабораторных занятиях задач, связанных с областью и видам професси-

ональной деятельности выпускников по направлению подготовки «Электроника и микроэлектроника»

#### 4.2.4. Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Таблица 6

№ п/п	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение
1	Элементарная теория электропроводности полупроводников
2	Основные положения зонной теории
3	Статистика равновесных электронов и дырок в полупроводниках
4	Рассеяние электронов и дырок в полупроводниках
5	Кинетические явления в полупроводниках
6	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей тока в полупроводниках
7	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда
8	Поверхностные явления в полупроводниках
9	Отражение и поглощение света полупроводниками
10	Люминесценция
11	Физика низкоразмерных полупроводниковых систем

### 5. Оценочные материалы для текущего и рубежного контроля успеваемости и промежуточной аттестации

#### 5.1. Задания для текущего контроля

##### 5.1. 1. Коллоквиумы (контролируемая компетенция ОК-7,ОПК-7, ПК-3)

##### Вопросы к коллоквиуму по I текущему контролю

1. По каким признакам, и на какие классы делятся все вещества? 2. По какому свойству оказалось проще классифицировать вещества? 3. Какие материалы названы полупроводниками? 4. В каких пределах находится удельное сопротивление  $\rho$  полупроводников? 5. В чём разница между температурными зависимостями удельного сопротивления и удельной электрической проводимости металлов и полупроводников? 6. Почему нельзя всегда отличить полупроводник от металла по знаку температурного коэффициента удельной проводимости? 7. Что происходит с удельной проводимостью металлов и полупроводников с понижением их температуры? 8. Что следует из того, что удельная проводимость у металлов растёт, а у полупроводников падает с понижением их температуры? 9. Какими способами можно увеличить количество свободных носителей заряда в полупроводнике? 10. Каких носителей заряда называют тепловыми или равновесными? 11. Каких носителей заряда называют неравновесными? 12. От чего зависит процесс образования как равновесных, так и неравновесных носителей заряда? 13. Дайте как можно более полное определение полупроводникам. 14. Каков механизм изменения электропроводности в металлах и полупроводниках? 15. За счёт изменения, какого параметра меняется электропроводность металлов и полупроводников с температурой? 16. Какие вещества являются полупроводниковыми? 17. Каков механизм образования электропроводности в полупроводниках, например, кремния? 18. Какую связь называют ковалентной? 19. Может ли в полупроводнике с идеальной структурой при  $T = 0^{\circ} K$  возникнуть электрический ток? Почему? 20. Что происходит в полупроводнике при воздействии на него, например, теплоты? 21. Какой процесс называют генерацией? 22. Какой процесс называют рекомбинацией? 23. Что назы-

вают дыркой? 24.Какой полупроводник называют собственным? 25.К чему приводит увеличение температуры полупроводника? 26.Как ведут себя в полупроводнике свободные электроны и дырки? 27.Что называют длиной свободного пробега, средней длиной свободного пробега носителя заряда? 28. Что называют временем свободного пробега, средним временем свободного пробега носителя заряда? 29.Как связана средняя длина свободного пробега  $\ell$  со средним временем свободного пробега  $\tau$  носителя заряда? 30.Почему беспорядочное тепловое движение носителей заряда (электронов и дырок) в полупроводнике не даёт тока? 31.Каков характер движения носителей заряда в собственном полупроводнике, помещённом во внешнее электрическое поле? 32.Какое движение называют дрейфовым? 33.Какую скорость называют дрейфовой? 34.Что называют подвижностью носителей заряда? 35.Какова связь между дрейфовой скоростью и подвижностью носителей заряда? 36.Какой механизм электропроводности называют электронной? 37.Какой механизм электропроводности называют дырочной? 38.Какими составляющими определяются электрический ток в собственном полупроводнике? 39.Что происходит с энергетическими уровнями электронов в изолированном атоме при их сближении, образуя кристалл? 40.Что называют валентной зоной? 41.Что называют зоной проводимости? 42.Что называют запрещённой зоной? 43.Как объяснить электропроводность собственного полупроводника исходя из энергетических представлений? 44.Начертите схему энергетических зон собственного полупроводника. 45.Какой полупроводник называют примесным? 46.Какую электропроводность называют примесной? 47.Что будет, если один из атомов полупроводника заменить атомом элемента V группы, например мышьяка в решётке кремния? 48.Что будет, если один из атомов полупроводника заменить атомом элемента III группы, например алюминия в решётке кремния? 49.Каких носителей заряда в полупроводнике называют основными? 50.Каких носителей заряда в полупроводнике называют неосновными? 51.Какой полупроводник называют электронным? 52.Какой полупроводник называют полупроводником  $n$ -типа? 53.Какую примесь называют донорной? 54.Какую примесь называют примесью  $n$ -типа? 55.Где должен располагаться уровень донорной примеси в энергетической диаграмме полупроводника? 56.Какова энергетическая диаграмма донорного полупроводника? 57.Каков механизм электропроводности донорного полупроводника? 58.Какой полупроводник называют дырочным? 59.Какой полупроводник называют полупроводником  $p$ -типа? 60.Какую примесь называют акцепторной? 61.Какую примесь называют примесью  $p$ -типа? 62.Где должен располагаться уровень акцепторной примеси в энергетической диаграмме полупроводника? 63.Какова энергетическая диаграмма дырочного полупроводника? 64.Каков механизм электропроводности дырочного полупроводника? 65.Приведите выражение для удельной проводимости электронного полупроводника. 66.Приведите выражение для удельной проводимости дырочного полупроводника. 67.Приведите выражение для удельной проводимости полупроводника при наличии в нём двух типов примеси.

### Вопросы к коллоквиуму по II текущему контролю

1. Что нужно сделать для определения энергетического спектра электронов в кристалле?
2. Какие приближения применяют для решения уравнения Шредингера кристалла?
3. Какое поле называют самосогласованным?
4. Какой вид имеет потенциал кристалла  $V(r)$  для одномерной решетки?
5. Какую величину называют волновым числом?
6. Что является решением уравнения Шредингера для электрона в периодическом поле кристалла?
7. Какой вид имеет решение уравнения Шредингера для кристалла в приближении сильно связанных электронов?
8. Приведите выражения для компонент волнового вектора электрона в кристалле, имеющего форму параллелепипеда с размерами  $L_x, L_y, L_z$ ?

9. Какие значения может принимать квазиимпульс электрона?
10. Сколько энергетических состояний в первой зоне Бриллюэна?
1. Приведите уравнение Шредингера для кристалла.
2. В чём заключается адиабатическое приближение и валентная аппроксимация?
3. Что позволяет введение самосогласованного поля?
4. Каким свойством обладает потенциал кристалла?
5. Какой вид имеет стационарная волновая функция электрона в периодическом поле кристалла?
6. В чём заключается приближение почти свободных электронов?
7. Какой вывод следует из решения уравнения Шредингера в приближении сильно связанных электронов?
8. Как изменяются компоненты волнового вектора электрона в кристалле?
9. В каких пределах может изменяться волновой вектор электрона в кристалле?
10. Сколько элементарных ячеек в первой зоне Бриллюэна?
1. Что включает в себя оператор Гамильтона в уравнении Шредингера для кристалла?
2. К чему приводит применение адиабатического приближения при решении уравнения Шредингера для кристалла?
3. Что позволяет введение самосогласованного поля?
14. Чем отличается волновая функция электрона от волновой функции другого электрона, отстоящего от первого на период решетки?
4. Какую функцию называют волной или функцией Блоха?
5. В чём заключается приближение сильно связанных электронов?
6. Какой вид имеет выражение для энергии электрона в периодическом поле простой кубической решетки?
7. Как могут изменяться энергия электронов в разрешённой зоне?
8. В каких пределах может изменяться квазиимпульс электрона?
9. Сколько электронов может быть в первой зоне Бриллюэна?
10. Какую величину называют эффективной массой носителей заряда?
1. Что нужно сделать для решения уравнения Шредингера кристалла?
2. В чём заключается одноэлектронное приближение?
3. Как выражается одноэлектронное уравнение Шредингера для кристалла?
4. Что называют волновым вектором?
5. Что представляет собой волновая функция электрона в периодическом поле кристалла?
6. Как можно представить волновую функцию электрона в приближении сильно связанных электронов?
7. Какие выводы можно сделать из выражения для энергии электрона в периодическом поле простой кубической решетки относительно энергетического спектра электронов в кристаллах?
8. Какую величину называют квазиимпульсом?
9. Какую область называют первой зоной Бриллюэна? Как ещё называют эту зону?
10. К чему приводит приложение электрического поля к кристаллу?

### Вопросы к коллоквиуму по III текущему контролю

1. В чем состоит важнейшая задача статистической физики?
2. Чему равна энергия электрона у дна зоны проводимости?
3. Какой вид имеет функция, выражающая вероятность того, что данное состояние с энергией  $E$  занято электроном?
4. Какой вид принимает распределение Ферми-Дирака для электронов, находящихся в состояниях с энергией  $E - F \ll kT$ ?
5. Чему равна вероятность заполнения дырками потолка валентной зоны  $E_v$  в невырожденном полупроводнике?

6. Какую величину называют эффективной плотностью квантовых состояний в валентной зоне?
7. Как связаны между собой равновесные концентрации электронов  $n_0$  и дырок  $p_0$  для невырожденного примесного полупроводника с собственной концентрацией  $n_i$ ?
8. Каков физический смысл каждого члена кинетического уравнения Больцмана?
9. От каких величин зависит ЭДС Холла и какова, эта зависимость?
10. Что происходит с концентрацией электронов и дырок в приповерхностной области при внесении полупроводника в электрическое поле?
1. Что нужно знать для определения числа частиц, энергия которых лежит в определенном интервале?
2. Чему равна энергия дырок у потолка валентной зоны?
3. Какую величину называют энергией или уровнем Ферми?
4. Какова зависимость функции распределения Ферми-Дирака от значения энергии уровня  $E$  при  $T \geq 0$ ? Поясните график.
5. Чему равна вероятность заполнения электронами дна зоны проводимости  $E_c$  в невырожденном полупроводнике?
6. Какую величину называют эффективной плотностью квантовых состояний в зоне проводимости?
7. Чему равна равновесная концентрация основных носителей заряда в собственном полупроводнике?
8. Из каких частей состоит кинетическое уравнение Больцмана?
9. Какое явление называют эффектом Холла?
10. Как меняется концентрация неосновных избыточных носителей заряда в результате рекомбинации со временем после выключения освещения?
1. Какую величину называют плотностью квантовых состояний?
2. Приведите выражение плотности квантовых состояний у дна зоны проводимости. При каких условиях справедлива эта формула?
3. Какой вид имеет распределение Ферми-Дирака и, для каких частиц оно справедливо?
4. Какова зависимость функции распределения Ферми-Дирака от значения энергии уровня  $E$  при  $T = 0$ ? Поясните график.
5. Какой полупроводник называют невырожденным?
6. Чему равна эффективная плотность квантовых состояний в валентной зоне?
7. Чему равна равновесная концентрация основных носителей заряда в невырожденном дырочном полупроводнике?
8. Какое уравнение называется кинетическим уравнением Больцмана?
9. Как выражается зависимость удельной проводимости от температуры?
10. Как меняется концентрация неосновных избыточных носителей заряда в результате рекомбинации с расстоянием в неосвещенной части образца?
1. Приведите общее выражение для концентрации электронов, энергия которых лежит в пределах от  $E_1$  до  $E_2$ .
2. Приведите выражение плотности квантовых состояний у дна зоны проводимости. При каких условиях справедлива эта формула?
3. Что такое распределение Ферми-Дирака и что оно выражает?
4. Какой вид имеет функция, выражающая вероятность того, что данное состояние с энергией  $E$  занято дыркой?
5. При каком условии распределение Ферми-Дирака переходит в распределение Больцмана?
6. Чему равна эффективная плотность квантовых состояний в зоне проводимости?
7. Чему равна равновесная концентрация основных носителей заряда в невырожденном электронном полупроводнике?
8. Каких явлений называют кинетическими?
9. Какую величину называют временем релаксации?
10. В чем заключается эффект Зеебека и что называют удельной термо-ЭДС?

11. Полупроводниковые наноструктуры. Основные характеристики наноструктур.
12. Потенциальные ямы.
13. Прямоугольная потенциальная яма конечной глубины.
14. Квантовые проволоки.
15. Квантовые точки.
16. Зонная структура в квантовых ямах.
17. Экситонные эффекты в квантовых ямах.

#### Рекомендации при подготовке к коллоквиуму

- проработать конспекты лекций по вопросам коллоквиума;
- прочитать основную и дополнительную литературу, рекомендованную по изучаемым вопросам;
- ответить на вопросы коллоквиума;
- при затруднениях, проконсультироваться с преподавателем.

#### Критерии оценивания

Таблица 7

Оценка			
неудовлетворительно 2 балла	Удовлетворительно 4 балла	хорошо 6 баллов	отлично 8 баллов
Студент не знает значительной части вопросов, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы.	Студент поверхностно знает вопросы коллоквиума, допускает неточности в ответе на вопрос	Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

### 5.1.2. Примеры тестовых заданий (контролируемая компетенция ОК-7, ОПК-7, ПК-3)

#### Первая контрольная точка

КТ = ; МТ = ;

Состояние электрона в атоме определяется квантовым числом:

- 1) главным  $n$
- 2) орбитальным  $l$
- 3) магнитным  $m$
- 4) спиновым  $s$
- 5) **всеми перечисленными**

КТ = ; МТ = ;

Главное квантовое число принимает значения:

- 1)  $1/2, 1/3, 1/4, \dots$
- 2)  $0, 1, 2, 3, \dots$
- 3)  **$1, 2, 3, \dots$**
- 4)  $-1, 0, 1$
- 5)  $-1/2, 1/2$

КТ = ; МТ = ;

Орбитальное квантовое число принимает значения:

- 1)  **$0, 1, 2, \dots, (n-1)$**
- 2)  $-n, -(n-1), \dots, 0, \dots, (n-1), n$

- 3)  $-1/2, 0, 1/2$   
 4)  $-1/2, 1/2$   
 5)  $-1, -2, -3, \dots, -(n-1)$   
 КТ = ; МТ = ;

## Вторая контрольная точка

### Кинетические явления в полупроводниках

КТ = ; МТ = ;

В реальных полупроводниках комбинированная подвижность определяется рассеянием на ионах примеси и фононах, а в зависимости от температуры выражается соотношением

$$\frac{1}{\mu} = \frac{1}{aT^{-3/2} + bT^{3/2}}$$

@

КТ = ; МТ = ;

В атомных полупроводниках с ростом температуры, если рассеяние происходит только на ионах примеси, подвижность носителей заряда растет пропорционально

- 1)  $T$   
 2)  $T^{3/2}$   
 3)  $T^{-3/2}$   
 4)  $T^{5/2}$   
 5)  $T^{-5/2}$

@

КТ = ; МТ = ;

В атомных полупроводниках с ростом температуры, если рассеяние происходит только на длинноволновых акустических фононах, подвижность носителей заряда уменьшается пропорционально

- 1)  $T$   
 2)  $T^{3/2}$   
 3)  $T^{-3/2}$   
 4)  $T^{5/2}$   
 5)  $T^{-5/2}$

@

КТ = ; МТ = ;

## Третья контрольная точка

### Контактные явления в полупроводниках

Контактные явления в полупроводниках КТ = ; МТ = ;

... -энергия необходимая для перевода электрона с уровня Ферми на нулевой уровень в вакууме.

+: Работа выхода электрона

@

Контактные явления в полупроводниках КТ=; МТ=;

Невырожденный полупроводник  $n$  – типа контактирует с металлом работа выхода электрона из которого выше, чем у полупроводника. Полученный контакт является ... .

-: запирающим

+: антизапирающим

-: омическим

@

Контактные явления в полупроводниках КТ=; МТ=;

Невырожденный полупроводник  $n$  – типа контактирует с металлом работа выхода электрона из которого меньше, чем у полупроводника. Полученный контакт является ... .

+: запирающим

-: антизапирающим

-: омическим  
@

В рамках обеспечения применения компьютерных технологий в образовательном процессе имеются специализированные компьютерные классы с современным программным обеспечением и имеющим выход в Интернет. С текущего учебного года организована возможность тестирования и вне университета.

#### **Методические рекомендации по подготовке к тестированию**

Тесты – это вопросы или задания, предусматривающие конкретный, краткий, четкий ответ на имеющиеся эталоны ответов. При самостоятельной подготовке к тестированию студенту необходимо:

- а) готовясь к тестированию, проработать информационный материал по дисциплине. Проконсультироваться с преподавателем по вопросу выбора учебной литературы;
- б) четко выясните все условия тестирования заранее. Знать, сколько тестов Вам будет предложено, сколько времени отводится на тестирование, какова система оценки результатов и т.д.
- в) приступая к работе с тестами, внимательно и до конца прочтите вопрос и предлагаемые варианты ответов. Выберите правильные ответы (их может быть несколько);
- г) если Вы встретили чрезвычайно трудный для Вас вопрос, не тратьте много времени на него. Переходите к другим тестам. Вернитесь к трудному вопросу в конце.
- е) обязательно оставьте время для проверки ответов, чтобы избежать механических ошибок.

#### **Критерии оценивания**

**Таблица 8**

<b>Оценка</b>			
<b>неудовлетворительно 0 баллов</b>	<b>удовлетворительно 3 балла</b>	<b>хорошо 4 балла</b>	<b>отлично 5 баллов</b>
Менее 50 % правильно выполненных заданий.	50-70% правильно выполненных заданий.	71-85% правильно выполненных заданий.	86-100% правильно выполненных заданий.

### **5.1.3. Промежуточная аттестация (контролируемая компетенция ПК-2)**

#### **Список вопросов**

1. Введение. Классификация веществ по удельной электрической проводимости.
2. Модельные представления электропроводности собственных полупроводников.
3. Модельные представления электропроводности электронных полупроводников.
4. Модельные представления электропроводности дырочных полупроводников.
5. Элементарная теория примесных состояний.
6. Уравнение Шредингера для кристалла и её составные части.
7. Решение уравнения Шредингера для простой кубической решетки.
8. Число состояний электронов в энергетической зоне.
9. Квазиимпульс.
10. Зоны Бриллюэна в k- и p-пространстве.
11. Число энергетических уровней и квантовых состояний в первой зоне Бриллюэна.
12. Возможное заполнение электронных состояний валентной зоны.
13. Эффективная масса носителей заряда.
14. Решение уравнения Шредингера методом эффективной массы.

15. Зависимость энергии электрона от волнового вектора у дна и потолка энергетической зоны.
16. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля.
17. Плотность квантовых состояний в разрешенных зонах.
18. Функция распределения Ферми-Дирака и ее свойства.
19. Концентрация электронов и дырок в зонах.
20. Концентрация электронов и дырок в невырожденном примесном полупроводнике. Энергия активации.
21. Собственный полупроводник. Уровень Ферми. Энергия активации.
22. Концентрация носителей зарядов в собственном полупроводнике.
23. Концентрация электронов и дырок в сильно вырожденном примесном полупроводнике.
24. Зависимость уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника.
25. Механизм рассеяния электронов и дырок в полупроводниках.
26. Рассеяние носителей зарядов на ионах примеси.
27. Рассеяние носителей зарядов на атомах примеси и дислокациях.
28. Рассеяние носителей зарядов на тепловых колебаниях решетки.
29. Кинетические явления в полупроводниках. Неравновесная функция распределения.
30. Кинетическое уравнение Больцмана.
31. Кинетическое уравнение Больцмана для равновесного состояния.
32. Кинетическое уравнение Больцмана для стационарного состояния.
33. Время релаксации.
34. Удельная эклектическая проводимость полупроводников.
35. Зависимость электропроводности полупроводников от температуры.
36. Эффект Холла в полупроводниках.
37. Термоэлектрические явления. Эффект Зеебека.
38. Электропроводность полупроводников в сильном электрическом поле.
39. Эффект Ганна.
40. Ударная ионизация.
41. Туннельный эффект и электростатическая ионизация.
42. Равновесные и неравновесные носители заряда.
43. Оптическая генерация носителей заряда.
44. Рекомбинация носителей заряда.
45. Уравнение непрерывности.
46. Диффузионный и дрейфовый токи.
47. Соотношение Эйнштейна.
48. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости.
49. Диффузия и дрейф неосновных избыточных носителей заряда в примесном полупроводнике.
50. Полупроводник во внешнем электрическом поле.
51. Термоэлектронная работа выхода в полупроводниках.
52. Контакт металл-полупроводник.
53. Контакт электронного и дырочного полупроводников.
54. Спектр отражения и спектр поглощения в полупроводниках.
55. Механизмы поглощения света в полупроводниках.
56. Собственное поглощение при прямых переходах.
57. Собственное поглощение при непрямых переходах.
58. Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводников.
59. Экситонное поглощение.
60. Поглощение свободными носителями заряда.

61. Примесное поглощение.
62. Решеточное поглощение.
63. Типы люминесценции.
64. Мономолекулярное свечение твердых тел.
65. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах.
66. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.
67. Релаксация люминесценции полупроводников.
68. Температурное тушение люминесценции полупроводников.
69. Спонтанное и вынужденное излучение атома.
70. Стимулированное излучение твердых тел.
71. Внутренний фотоэффект.
72. Фотопроводимость. Механизм фотопроводимости.
73. Релаксация фотопроводимости.
74. Фотоэффект в  $p$ - $n$  переходе.
75. Фотоэффект на барьере Шоттки.
76. Внешний фотоэффект.
77. Основные характеристики двумерных полупроводниковых наноструктур. Потенциальные ямы.
78. Квантовые проволоки. Квантовые точки. Напряженные слои. Влияние напряжений на валентную зону. Зонная структура в квантовых ямах. Экситонные эффекты в квантовых ямах.

#### **Методические рекомендации по подготовке к процедуре осуществления промежуточной аттестации**

Подготовка студентов к экзамену включает проработку лекций, в течение всего семестра и непосредственную подготовку в дни, предшествующие экзамену, включая подготовку к коллоквиумам, тестированию, выполнению лабораторных работ и их защите.

В конце семестра студентам выдаются экзаменационные вопросы. При подготовке ответов на вопросы студент должен использовать не только курс лекций, но и основную и дополнительную литературу для выработки умения давать развернутые ответы на поставленные вопросы.

В ходе подготовки студенту необходимо обращать внимание не только на уровень запоминания, но и на степень понимания изучаемых вопросов. А это достигается не простым заучиванием, а усвоением прочных систематизированных знаний аналитическим мышлением. Следовательно, непосредственная подготовка к экзамену должна в разумных пропорциях сочетать и запоминание, и понимание программного материала.

По рейтинговой системе в КБГУ на экзамен выделяется 30 баллов. Их можно распределять по уровню знания студента следующим образом

Баллы на экзамене			
15 баллов	20 балла	25 балла	30 баллов
Посещение менее 50 % лекционных и практических занятий и студент не знает значительной части материала, допускает существенные ошибки в ответах на вопросы.	Посещение составляет не менее 60% лекционных и практических занятий. Студент поверхностно знает материал основных разделов и тем учебной дисциплины, допускает неточности в ответе на вопрос.	Посещение составляет не менее 70 % лекционных и практических занятий. Студент хорошо знает материал, грамотно и по существу излагает его, допуская некоторые неточности в ответе на вопрос.	Посещение составляет не менее 85% лекционных и практических занятий. Студент в полном объеме знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.

Итоговая оценка выставляется по пятибалльной системе исходя из таблицы 10.

Шкала оценки успеваемости студентов

Таблица 10

Сумма баллов	Оценка
0-35	недопуск
36-60	неудовлетворительно
61-80	удовлетворительно
81-90	хорошо
91-100	отлично

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

Таблица 11. Результаты освоения дисциплины, подлежащие проверке

Результаты обучения (компетенции)	Основные показатели оценки результатов обучения	Вид оценочного материала
Способность к самоорганизации и самообразованию (ОК-7)	Планирует собственную работу в рамках самообразования, использует результаты самообразования для решения профессиональных задач. Понимает значение самообразования для профессиональной деятельности. Использует результаты самообразования в профессиональной деятельности. Умеет составлять и реализовывать план работы.	Оценочные материалы для проведения коллоквиума. Оценочные материалы для промежуточной аттестации
Способностью учитывать современные тенденции развития электроники, изме-	Имеет представление о роли и месте математики в современной цивилизации и мировой культуре. Знает и понимает физическую сущность явлений и процессов, происходящих в материалах при взаимодействии с электромагнитным полем и рабочей средой в различных условиях эксплуатации.	Оценочные материалы для проведения коллоквиума. Оценочные материалы для

<p>рительной и вычислительной техники, информационных технологий в своей профессиональной деятельности (ОК-7)</p>	<p>Умеет логически мыслить, оперировать с абстрактными объектами и быть корректным в употреблении математических понятий и символов для выражения количественных и качественных отношений. Владеет терминологией, методами решения систем линейных и алгебраических уравнений, основами векторной алгебры и аналитической геометрии, методами дифференциального и интегрального исчисления, методами исследования функции и построения графиков. Уметь решать уравнения Пуассона, кинетического уравнения Больцмана, Уравнения Шредингера.</p>	<p>промежуточной аттестации</p>
<p>Готовностью анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов, публикаций, презентаций (ПК-2).</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные понятия, законы и модели в физике полупроводников и полупроводниковых наноструктур и их математические выражения; границы их применимости, применение законов в практических приложениях.</li> <li>- фундаментальные физические опыты в области физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур .</li> <li>- методы экспериментального и теоретического исследования в физике полупроводников и полупроводниковых наноструктур.</li> <li>- области применения физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур.</li> <li>- современное состояние и основные направления развития физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур.</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- правильно понимать и объяснять физические законы явлений и свойства тел, отличать гипотезы от научных теорий;</li> <li>- пользоваться основными физическими приборами, ставить и решать простейшие экспериментальные задачи, обрабатывать, анализировать оценивать полученные результаты;</li> <li>- видеть физическое явление с разных точек зрения;</li> <li>- мыслить творчески и самостоятельно;</li> <li>- пользоваться при работе справочной и учебной литературой;</li> <li>- применять полученные знания для объяснения разнообразных явлений и свойств полупроводниковых материалов и нано структур на их основе;</li> <li>- оценивать достоверность естественнонаучной информации;</li> <li>- использовать приобретенные знания и умения для решения практических задач, обеспечения безопасности собственной жизни, природопользования и охраны окружающей среды.</li> </ul> <p><b>Владеть:</b></p>	<p>Оценочные материалы для проведения коллоквиума. Оценочные материалы для промежуточной аттестации</p> <p>и</p>

	<p>навыками по работе с экспериментальными установками и анализа результатов эксперимента с помощью современных математических пакетов программ.</p> <p><b>Приобрести опыт деятельности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-по измерению основных свойств полупроводников и полупроводниковых наноструктур и интерпретации результатов измерений;</li> <li>-по обслуживанию экспериментального оборудования;</li> <li>-по использованию математических моделей полупроводников и полупроводниковых наноструктур при изучении их свойств.</li> </ul>	
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

## 7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### 7.1. Основная литература

1. Шалимова К.В. Физика полупроводников. – Изд-во «Лань», 2010.
2. Алешкин Г.Н. Современная физика полупроводников. Н. Новгород: ННГУ, 2011. - 88 с.
3. Нанотехнологии для микро- и оптоэлектроники. Мартинес-Дуарт Дж.М. 2009.
4. Калмыков Ш.А., Каров Б.Г. Физика полупроводников и диэлектриков: Руководство к лабораторным работам – Нальчик: Каб.-Балк. ун-т, 2005. – 125 с.

### 7.2. Дополнительная литература

1. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. М.: Наука, 1978.
2. Питер Ю., Кардона М. Введение в физику полупроводников. - М.: Физматлит, 2002. - 560 с.
3. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника: Пер. с испан. С. И. Баскова / Под ред. В. А. Терехова; - М.: Высш. шк., 1991. - 351 с.: ил.
4. Левинштейн М.Е., Симин Г.С. Знакомство с полупроводниками. М.: Наука, 1984. – 240 с.
2. Тареев Б.М. Физика диэлектрических материалов. – М.: Энергоиздат., 1982.

### 7.3. Периодические издания

1. Журнал «Физика и техника полупроводников».
2. Журнал «Российские нанотехнологии».
3. "Нанотехника".

### 7.4. Интернет-ресурсы

- 1.Поисковая система e-library.ru
- 2.Поисковая система google.ru
- 3.Электронная библиотека КБГУ lib.kbsu.ru
4. [www.nanorf.ru](http://www.nanorf.ru)

### 7.5. Методические указания по проведению учебных занятий и организация самостоятельной работы студента

### **7.5.1. Методические рекомендации к чтению лекций**

Основными формами организации учебных занятий по дисциплине «физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур» являются лекции и лабораторные занятия.

При подготовке лекционных занятий преподаватель должен определить цели и задачи лекции, разработать план проведения лекции, осуществить подбор литературы (ознакомить с периодическими изданиями по теме лекций), отбор необходимого и достаточного по содержанию учебного материала. Лектор определяет методы, приемы и средства поддержания интереса, внимания, стимулирования творческого мышления студентов.

Лекция должна включать в качестве этапов формулировку темы лекций, перечень вопросов, изложение вводной части, основной части, краткие выводы по каждому рассмотренному вопросу, замечание и рекомендации литературных источников по излагаемым вопросам. Если очередное занятие является продолжением предыдущей лекции, целесообразно кратко сформулировать полученное ранее результаты, необходимые для понимания и усвоения изучаемых вопросов. В заключительной части лекции желательно обобщить наиболее важные и существенные моменты лекции, сделать выводы, а также сформулировать задачи для самостоятельной работы студентов и указать рекомендуемую литературу. Целесообразной также оставить время для ответа на вопросы студентов и возможную дискуссию по изложенному материалу на лекции.

Содержание лекции по данной дисциплине должно соответствовать дидактическим принципам, которые обеспечивают соответствие излагаемого материала научно-методическим основам педагогической деятельности. Основными из них являются целостность, научность, доступность, систематичность и наглядность.

Эффективность лекции может быть повышена за счет рационального использования технических средств. Комплекты технических средств необходимо готовить к каждой лекции заблаговременно, не перегружая ими аудиторию.

Существует классификация лекций по типам и методам их проведения (вводная, установочная, программная, обзорная, итоговая и др.). При изложении программного материала по данной дисциплине на лекциях рекомендуется широкое использование средств информационно-коммуникационных технологии (ИКТ) или аудио-видеотехники. Подготовка видео – лекции состоит в перекодировании, переконструировании учебной информации по теме в визуальную форму для предъявления студентам через технические средства обучения или схемы, рисунки, чертежи.

### **7.5.2. Критерии оценки лекции**

Анализ качества лекции строится из оценки содержания, методики чтения, организации лекции, руководства работой студентов на лекции, лекторских данных преподавателя, результативности лекции.

#### **Оценка содержания лекции**

1. Соответствие темы и содержания лекции тематическому плану и учебной программе курса.
2. Научность, соответствие современному уровню развития науки.
3. Точность используемой научной терминологии.
4. Информативность; раскрытие основных понятий темы; сочетание теоретического материала с конкретными примерами.
5. Реализация принципа органической связи теории с практикой; раскрытие практического значения излагаемых теоретических положений.
6. Реализация внутри предметных и междисциплинарных связей.
7. Связь с профилем подготовки студентов, их будущей специальностью.

8. Соотношение содержания лекции с содержанием учебника (излагается материал, которого нет в учебнике; разъясняются особо сложные вопросы; дается задание самостоятельно прорабатывать часть материала по учебнику, пересказывается учебник и т.п.).

#### **Оценка методики чтения лекции**

1. Дидактическая обоснованность используемого вида лекции и соответствующих ему форм и методов изложения материала.
2. Структурированность содержания лекции: наличие плана, списка рекомендуемой литературы, вводной, основной и заключительной части лекции.
3. Акцентирование внимания аудитории на основных положениях и выводах лекции.
4. Рациональное сочетание методических приемов традиционной педагогики и новых методов обучения (проблемного, программного, контекстного, деятельностного и др.).
5. Логичность, доказательность и аргументированность изложения.
6. Ясность и доступность материала с учетом подготовленности обучаемых.
7. Соответствие темпов изложения возможностям его восприятия и ведения записей студентами.
8. Использование методов активизации мышления студентов.
9. Использование приемов закрепления информации (повторение, включение вопросов на проверку внимания, усвоения и т.п., подведение итогов в конце рассмотрения каждого вопроса, в конце всей лекции).
10. Использование записей на доске, наглядных пособий.
11. Использование раздаточного материала на лекции.
12. Использование ИКТ.

#### **Оценка организации лекции**

1. Соответствие лекции учебному расписанию.
2. Четкость начала лекции (задержка во времени, вход лектора в аудиторию, приветствие, удачность первых фраз и т.п.).
3. Посещаемость лекции студентами.
4. Дисциплина на лекции.
5. Рациональное распределение времени на лекции.
6. Соответствие аудитории, в которой проводится лекция, современным нормам и требованиям (достаточная вместимость, возможность использования ТСО, оформленные и т.п.).
7. Наличие необходимых средств наглядности и ТС.

#### **Оценка руководства работой студентов на лекции**

1. Осуществление контроля за ведением студентами конспекта лекций.
2. Оказание студентам помощи в ведении записи лекции (акцентирование изложения материала лекции, выделение голосом, интонацией, темпом речи наиболее важной информации, использование пауз для записи таблиц, вычерчивания схем и т.п.).
3. Просмотр конспектов лекций студентов (до, во время, после лекции).
4. Использование приемов поддержания внимания и снятия усталости студентов на лекции (риторические вопросы, шутки, исторические экскурсы, рассказы из жизни замечательных людей, из опыта научно-исследовательской, творческой работы преподавателя и т.п.).
5. Разрешение задавать вопросы лектору (в ходе лекции или после нее).
6. Согласование сообщаемого на лекции материала с содержанием других видов аудиторной и самостоятельной работы студентов.

#### **Оценка результативности лекции**

1. Степень реализации плана лекции (полная, частичная).
2. Степень полноты и точности рассмотрения основных вопросов, раскрытие темы лекции.
3. Информационно-познавательная ценность лекции.
4. Воспитательное воздействие лекции.

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Материально-техническую базу для проведения занятий по дисциплине составляют:

- Лекционная специализированная аудитория №134, оснащенная мультимедийным проектором и комплектом аппаратуры, позволяющей демонстрировать текстовые и графические материалы;

- Электронные версии лекций, учебников и методическими материалами для контрольных мероприятий (заданиями для коллоквиумов, тестов, экзаменационными билетами);

- Книжный фонд библиотеки;

- Учебная лаборатория физики полупроводников и полупроводниковых наноструктур №133, оборудованная современными приборами и установками, как промышленного производства, так и созданными в лабораторных условиях, необходимыми для выполнения лабораторных работ, предусмотренных в физическом практикуме;

- Методические указания к выполнению лабораторных работ, технические описания к лабораторным установкам и инструкция по технике безопасности.

Перечень программных продуктов включает:

- Продукты MICROSOFT (Desktop Education ALNG LicSaPk OLVS Academic Edition Enterprise) подписка (Open Value Subscription) № V 2123829;

- Kaspersky Endpoint Security Стандартный Russian Edition № лицензии 17E0-180427-050836-287-197;

- Academic MathCAD License

- Архиватор 7z (бесплатное ПО)

- Программа для работы с pdf публикациями Adobe Reader (бесплатное ПО)

- Программа для работы с pdf публикациями Adobe Reader (бесплатное ПО)

- Программа для работы с pdf публикациями Adobe Acrobat XI Pro (бесплатное ПО)

- Пакет математического анализа SMath Studio (бесплатное ПО)

- Система построение графиков Origin (бесплатное ПО)

- Среда разработки виртуальных приборов MyOpenLab (бесплатное ПО)

Для студентов с ограниченными возможностями здоровья созданы специальные условия для получения образования. В целях доступности получения высшего образования по образовательным программам инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья университетом обеспечивается: 1)альтернативной версией официального сайта в сети «Интернет» для слабовидящих; 2)присутствие ассистента, оказывающего обучающемуся необходимую помощь; 3)для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху - дублирование вслух справочной информации о расписании учебных занятий; обеспечение надлежащими звуковыми средствами воспроизведения информации. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, созданы материально-технические условия обеспечивающие возможность беспрепятственного доступа обучающихся в учебные помещения, объекты питания, туалетные и другие помещения университета, а также пребывания в указанных помещениях (наличие расширенных дверных проемов, поручней и других приспособлений).



Дополнения и изменения в рабочей программе дисциплины **«Физика полупроводников и полупроводниковых наноструктур»** по направлению подготовки 11.03.04 - Электроника и наноэлектроника на 202\_\_\_ - 202\_\_\_ уч. г.

**Таблица 12**

№ п/п	Элемент (пункт) РПД	Перечень вносимых изменений (дополнений)	Примечание

Обсуждена и рекомендована на заседании кафедры электроники и цифровых информационных технологий, протокол № \_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_\_ г.

Зав.кафедрой \_\_\_\_\_ Р.Ш.Тешев