




УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НР


Ахметова И.Г.
«28» октября 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.03. Физика полупроводников

(указывается индекс и наименование дисциплины согласно учебному плану в соответствии с ФГОС ВО)

Направление
подготовки

03.06.01 Физика и астрономия

Направленность
подготовки

01.04.10 Физика полупроводников

Уровень высшего об-
разования

Подготовка кадров высшей квалификации

Квалификация (степень)
выпускника

Исследователь. Преподаватель-
исследователь

Форма обучения

Очная

(очная)

г. Казань
2020

1. Цели и задачи освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Физика полупроводников» является формирование представлений о предмете, объектах, теоретических и практических достижениях современной физики полупроводников, а также развитие способностей практического применения полученных знаний.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

1. Изучить строение, физико-химические свойства, кристаллическую структуру полупроводников;
2. Изучить теорию, описывающую основные свойства полупроводников;
3. Сбор, изучение и систематизация отечественной и иностранной научно-технической литературы по тематике исследований в области физики полупроводников;
4. Изучение сфер применения полупроводниковых материалов при создании новых систем функционального назначения.

В результате изучения дисциплины «Физика полупроводников» аспирант должен овладеть:

Формируемые компетенции (код и формулировка компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-1 способностью самостоятельно разрабатывать, исследовать и применять теоретические модели для исследования физических свойств полупроводниковых материалов и композитных структур на их основе	З1(ПК-1) Знать: Знать основные направления, проблемы и новейшие достижения в области физики твердого тела, связанной с получением новых материалов и исследованием их свойств. У1 (ПК-1) Уметь: проводить классификацию материалов, процессов обработки материалов и готовых изделий из них; объяснять взаимосвязь между структурой твердых тел и свойствами материалов. В1 (ПК-1) Владеть: Владеть навыками применения знаний фундаментальных законов физики для решения научно-исследовательских задач в области физики твердого тела, связанной с получением новых материалов и исследованием их свойств, в том числе с применением новейших информационно-коммуникационных технологий.
ПК-2 способностью к разработке методологии экспериментальных исследований физических явлений, происходящих в полупроводниках, разработки и исследования технологических процессов получения полупроводниковых материалов и композитных структур на их	З1(ПК-2) Знать: теоретические основы и базовые представления научного исследования в выбранной области фундаментальной и экспериментальной физики; У1 (ПК-2) Уметь: Обрабатывать данные, полученные физико-химическими и физическими методами исследо-

основе, создания оригинальных полупроводниковых приборов и интегральных устройств	вания; В1 (ПК-2) Владеть: способностью к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях.
ПК-3 готовностью к самостоятельному пониманию и изучению современных проблем физики полупроводников и использованию фундаментальных представлений в сфере профессиональной деятельности для постановки и решения новых задач	З1(ПК-3) Знать: Знать основные законы естественных применяемых в области физики твердого тела, связанной с получением новых материалов и исследованием их свойств. У1 (ПК-3) Уметь: Использовать полученные и имеющиеся знания в современных проблемах физики твердого тела в сфере профессиональной деятельности. В1 (ПК-3) Владеть: Владеть навыками анализа и интерпретирования полученных результатов научных исследований для постановки и решения задач.

2 Место дисциплины в структуре ООП ВО

Дисциплина «Физика полупроводников» относится к дисциплинам по выбору и является образовательной составляющей учебного плана. Дисциплина преподается на 4 курсе. Содержание дисциплины базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин: Квантовая электроника; Физика металлов, полупроводников и диэлектриков; Физика сверхпроводимости; История и методология науки и техники.

Знания, полученные при изучении данной дисциплины, используются при выполнении научно-исследовательской работы аспиранта и диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

3. Структура и содержание дисциплины «Физика полупроводников»

3.1 Структура дисциплины

Объем дисциплины составляет 5 зачетных единицы, 180 часов.

для аспирантов очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего часов	из них, проводимых в интерактивной форме	семестры			
			7	8		
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	180		108	36		
АУДИТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ:						
Лекции (Лк)	36		18	18		
Практические (семинарские) занятия (ПЗ)	36		18	18		
Лабораторные работы (ЛР)						

и(или) другие виды аудиторных занятий						
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА:	72		72			
Курсовой проект (работа)						
Расчетно-графические работы						
Реферат						
и (или) другие виды самостоятельной работы						
ВИД ИТОГОВОГО КОНТРОЛЯ (З – зачет, Э – экзамен)	36		3	Э		

3.2. Содержание разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Раздел дисциплины	Всего часов на раздел	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лк	ПЗ	ЛР	СР	
1	2	3	4	6	7	8	9	10
1	Химическая связь и атомная структура полупроводников.	18	7	2	2		14	Устный опрос, доклад.
2	Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров.	22	7	4	4		14	Устный опрос, доклад.
3	Основы зонной теории полупроводников.	22	7	4	4		14	Устный опрос, доклад.
4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках.	22	7	4	4		14	Устный опрос, доклад.
5	Механизмы рассеяния носителей заряда в реальной решетке.	24	7	4	4		16	Устный опрос, доклад.
	Промежуточная аттестация							з
6	Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.	8	8	4	4			Устный опрос, доклад.
7	Оптические явления в полупроводниках.	8	8	4	4			Устный опрос, доклад.
8	Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки.	8	8	4	4			Устный опрос, доклад.
9	Оптические явления в структурах с квантовыми ямами.	12	8	6	6			Устный опрос, доклад.
	Промежуточная аттестация	36	8				36	э
	Итого:	180	–	36	36		108	–

3.3. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Химическая связь и атомная структура полупроводников.

Химическая связь и атомная структура полупроводников. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь. Структуры важнейших полупроводников – элементов AIV, AVI и соединений типов AШBV, AПBVI, AIVBVI. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Прimitивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна. Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.

Тема 2. Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров.

Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров. Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы). Молекулярно-лучевая эпитаксия.

Металлорганическая эпитаксия. Методы легирования полупроводников. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.

Тема 3. Основы зонной теории полупроводников.

Основы зонной теории полупроводников. Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны. Законы дисперсии для важнейших полупроводников. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

Тема 4. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках.

Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках. Функция распределения электронов. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных состояний. Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры.

Тема 5. Механизмы рассеяния носителей заряда в реальной решетке.

Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях. Горячие электроны. Отрицательная дифференциальная проводимость. Электрические неустойчивости; электрические домены и токовые шнуры.

Тема 6. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.

Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация

через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.

Тема 7. Оптические явления в полупроводниках.

Оптические явления в полупроводниках. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов. Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана-Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна-Мандельштама). Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.

Фотоэлектрические явления. Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопроводимость. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.

Тема 8. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки.

Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки. Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.

Тема 9. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами.

Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза. Общее представление о квантовом эффекте Холла.

3.4. Практические (семинарские) занятия

для аспирантов очной формы обучения

№ п/п	Тема практических (семинарских) занятий	Семестр	Номер раздела лекционного курса	Продолжительность (часов)
1	2	3	4	5
1	Химическая связь и атомная структура полупроводников.	7	1	2
2	Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров.	7	2	4
3	Основы зонной теории полупроводников.	7	3	4
4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках.	7	4	4
5	Механизмы рассеяния носителей заряда в реальной решетке.	7	5	4
	Промежуточная аттестация	7		

6	Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.	8	6	4
7	Оптические явления в полупроводниках.	8	7	4
8	Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки.	8	8	4
9	Оптические явления в структурах с квантовыми ямами.	8	9	6
	Промежуточная аттестация	8	1-9	
	Итого			36

3.5. Лабораторные занятия учебным планом дисциплины не предусмотрены.

3.6. Разделы дисциплины и связь с формируемыми компетенциями

			ПК-1	ПК-2	ПК-3	Количество компетенций
1	Химическая связь и атомная структура полупроводников.	18		З, У	З, В	2
2	Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров.	22	З, В		ЗУ	2
3	Основы зонной теории полупроводников.	22	З, У		З, У	2
4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках.	22	З, В	З, В		2
5	Механизмы рассеяния носителей заряда в реальной решетке.	24		З, В	У, В	2
6	Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.	8	З, В	З, У		2
7	Оптические явления в полупроводниках.	8		З, В	З, У	2
8	Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки.	8	З, В	З, У		2
9	Оптические явления в структурах с квантовыми ямами.	12	З, В		З, У	2

(Сумма компетенций, сформированных каждым разделом, соотношенная с часами на изучение данного раздела, позволяет оценить реальность формирования компетенций и скорректировать распределение часов отведенных на разделы).

Условные обозначения: З – знать,
У – уметь,
В – владеть.

3.7. Организация самостоятельной работы аспирантов

№ п/п	Тема самостоятельной работы	Семестр	Номер раздела лекционного курса	Объем академических часов
1	2	3	4	5
1	Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках.	7	1	14
2	Основные методы определения параметров полупроводников.	7	2	14
3	Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла.	7	3	14
4	Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний.	7	4	14
5	Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами.	7	5	16
6	Подготовка к зачету, экзамену	7-8	1-9	36
	Итого:			108

4. Образовательные технологии

№ п/п	Раздел дисциплины	Компетенции	Образовательные технологии	Оценочные средства
1	2	3	4	5
1	Химическая связь и атомная структура полупроводников.	ПК-2 з, у ПК-3 з, в	Лекция-визуализация	Устный опрос. доклад
2	Основы технологии полупроводников и методы определения их параметров.	ПК-1 з, в ПК-3 з, у	Лекция-визуализация, интерактивная форма	Устный опрос. Доклад.
3	Основы зонной теории полупроводников.	ПК-1 з, у ПК-1 з, у	Лекция-визуализация, интерактивная форма	Устный опрос. Доклад.
4	Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках.	ПК-1 з, в ПК-2 з, в	Лекция-визуализация	Устный опрос. Доклад.
5	Механизмы рассеяния носителей заряда в реальной решетке.	ПК-2 з, в ПК-3 у, в	Лекция-визуализация	Устный опрос. Доклад.
6	Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках.	ПК-1 з, в ПК-2 з, у	Лекция-визуализация, интерактивная форма	Устный опрос. Доклад.
7	Оптические явления в полупроводниках.	ПК-2 з, в ПК-3 з, у	Лекция-визуализация	Устный опрос. Доклад.
8	Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки.	ПК-1 з, в ПК-2 з, у	Лекция-визуализация	Устный опрос. Доклад.
9	Оптические явления в структурах с квантовыми ямами.	ПК-1 з, в ПК-3 з, у	Лекция-визуализация	Устный опрос. Доклад.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

5.1. Виды и формы контроля по дисциплине

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных навыков (владений) осуществляется в рамках текущего и промежуточного контроля в соответствии с Положением о текущем контроле и промежуточной аттестации обучающихся в КГЭУ.

Текущий контроль освоения компетенций по дисциплине проводится при изучении теоретического материала, выполнении индивидуальных заданий в форме устного опроса, докладов. Текущему контролю подлежат посещаемость аспирантами аудиторных занятий и работа на занятиях.

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине «Физика полупроводников») является промежуточная аттестация в форме зачета, экзамена, проводимая с учетом результатов текущего контроля в 7, 8 семестрах.

5.2. Типовые задания и материалы для оценки сформированности компетенций в процессе освоения дисциплины

5.2.1. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Комплект тем докладов

1. Развитие энергетической электроники.
2. Основы физики лазеров и лазерных технологий.
3. Лазеры с высокой мощностью и сверхмалой длительностью импульсов.
4. Взаимодействие мощного лазерного излучения с веществом.
5. Лазеры на свободных электронах.
6. Рентгеновские лазеры.
7. Мощные химические лазеры.
8. Полупроводниковые лазеры.
9. Современное состояние солнечной фотоэнергетики.
10. Материалы солнечной фотоэнергетики.
11. Установки солнечной фотоэнергетики.
12. Проблемы глобальной солнечной энергосистемы.
13. Топливные батареи.
14. Светодиоды как источники излучения.

Примерный перечень вопросов к зачету

1. Химическая связь и атомная структура полупроводников. Электронная конфигурация внешних оболочек атомов и типы сил связи в твердых телах.
2. Ван-дер-ваальсова, ионная и ковалентная связь.
3. Структуры важнейших полупроводников – элементов A^{IV} , A^{VI} и соединений типов $A^{III}B^V$, $A^{II}B^{VI}$, $A^{IV}B^{VI}$.
4. Симметрия кристаллов. Трансляционная симметрия кристаллов. Базис и кристаллическая структура. Элементарная ячейка. Примитивная ячейка. Ячейка Вигнера-Зейтца. Решетка Браве. Обозначения узлов, направлений и плоскостей в кристалле. Обратная решетка, ее свойства. Зона Бриллюэна.
5. Примеси и структурные дефекты в кристаллических и аморфных полупроводниках. Химическая природа и электронные свойства примесей. Точечные, линейные и двумерные дефекты.
6. Методы выращивания объемных монокристаллов из жидкой и газовой фаз. Методы выращивания эпитаксиальных пленок (эпитаксия из жидкой и газовой фазы). Молекулярно-лучевая эпитаксия. Металлорганическая эпитаксия.
7. Методы легирования полупроводников.
8. Основные методы определения параметров полупроводников: ширины запрещенной зоны, подвижности и концентрации свободных носителей, времени жизни неосновных носителей, концентрации и глубины залегания уровней примесей и дефектов.
9. Основные приближения зонной теории. Волновая функция электрона в периодическом поле кристалла. Теорема Блоха. Зона Бриллюэна. Энергетические зоны.
10. Законы дисперсии для важнейших полупроводников.
11. Изоэнергетические поверхности. Тензор обратной эффективной массы. Плотность состояний. Особенности Ван-Хова.
12. Уравнения движения электронов и дырок во внешних полях. Метод эффективной массы. Искривление энергетических зон в электрическом поле. Движение электронов и дырок в магнитном поле.
13. Определение эффективных масс из циклотронного (диамагнитного) резонанса.
14. Связь зонной структуры с оптическими свойствами полупроводника. Уровни энергии, создаваемые примесными центрами в полупроводниках. Доноры и акцепторы. Мелкие и глубокие уровни. Водородоподобные примесные центры.

15. Равновесная статистика электронов и дырок в полупроводниках. Функция распределения электронов.

16. Концентрация электронов и дырок в зонах, эффективная плотность состояний. Невырожденный и вырожденный электронный (дырочный) газ. Концентрации электронов и дырок на локальных уровнях. Факторы вырождения примесных + состояний.

17. Положение уровня Ферми и равновесная концентрация электронов и дырок в собственных и примесных (некомпенсированных и компенсированных) полупроводниках. Многозарядные примесные центры.

18. Механизмы рассеяния носителей заряда в неидеальной решетке. Взаимодействие носителей заряда с акустическими и оптическими фононами. Рассеяние носителей заряда на заряженных и нейтральных примесях.

19. Рекомбинация электронов и дырок в полупроводниках. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда. Квазиравновесие, квазиуровни Ферми. Уравнение кинетики рекомбинации. Времена жизни. Фотопроводимость.

20. Механизмы рекомбинации. Излучательная и безызлучательная рекомбинация. Межзонная рекомбинация. Рекомбинация через уровни примесей и дефектов. Центры прилипания. Оже-рекомбинация.

21. Пространственно неоднородные неравновесные распределения носителей заряда. Амбиполярная диффузия. Эффект Дембера. Длина диффузии неравновесных носителей заряда.

22. Оптические явления в полупроводниках. Комплексная диэлектрическая проницаемость, показатель преломления, коэффициент отражения, коэффициент поглощения. Связь между ними и соотношения Крамерса-Кронига. Межзонные переходы. Край собственного поглощения в случае прямых и непрямых, разрешенных и запрещенных переходов.

Экситонное поглощение и излучение. Спонтанное и вынужденное излучение. Поглощение света на свободных носителях заряда. Поглощение света на колебаниях решетки. Рассеяние света колебаниями решетки, комбинационное рассеяние на оптических фононах (Рамана-Ландсберга), рассеяние на акустических фононах (Бриллюэна-Мандельштама).

23. Влияние примесей на оптические свойства. Примесная структура оптических спектров вблизи края собственного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Межпримесная излучательная рекомбинация. Экситоны, связанные на примесных центрах.

24. Фотоэлектрические явления. Примесная и собственная фотопроводимость. Влияние прилипания неравновесных носителей заряда на фотопрово-

димось. Оптическая перезарядка локальных уровней и связанные с ней эффекты. Термостимулированная проводимость. Фоторазогрев носителей заряда. Фотоэлектромагнитный эффект.

25. Полупроводниковые структуры пониженной размерности и сверхрешетки. Размерное квантование. Двумерные и квазидвумерные электронные системы и структуры, в которых они реализуются. Контра- и ковариантные композиционные сверхрешетки, легированные сверхрешетки легирования.

26. Квантовые нити. Квантовые точки. Энергетический спектр электронов и плотность состояний в этих системах.

27. Оптические явления в структурах с квантовыми ямами, правила отбора для межзонных и внутризонных (межподзонных) переходов. Межзонное поглощение и излучательная рекомбинация в этих структурах. Экситоны в квантовых ямах, квантово-размерный эффект Штарка. Электрические и гальваномагнитные явления в двумерных структурах. Эффект Шубникова-де Гааза.

28. Квантовый эффект Холла.

Примерные билеты к экзамену:

Билет № 1

- 1) Отличительные черты полупроводников. Примеры полупроводников.
- 2) Многозарядные примесные центры.

Билет № 2

- 1) Электропроводность. Эффект Холла. Электронная и дырочная проводимость.
- 2) Оптические переходы в неупорядоченных полупроводниках.

Билет № 3

- 1) Энергетический спектр сверхрешеток. Классификация полупроводниковых сверхрешеток.
- 2) Проводимость неупорядоченных полупроводников.

Билет № 4

- 1) Потенциальные барьеры. Плотность тока. Соотношение Эйнштейна.
- 2) Качественные представления об электронном спектре в неупорядоченных полупроводниках.

Билет № 5

- 1) Понятие о запрещенной зоне. Примесные атомы.
- 2) Общие особенности неупорядоченных систем.

Билет № 6

- 1) Основные приближения зонной теории. Уравнение Шредингера для электронов в кристалле в одноэлектронном приближении.
- 2) Определение неупорядоченной системы. Примеры неупорядоченных твердых тел. Случайный потенциал.

Билет № 7

- 1) Теорема Блоха.
- 2) Рекомбинация через многозарядные примеси.

Билет № 8

- 1) Квазиимпульс и зона Бриллюэна. Понятие об энергетических зонах.
- 2) Центры прилипания и центры рекомбинации. Демаркационные уровни.

Билет № 9

- 1) Основные различия между металлами, полупроводниками и диэлектриками с точки зрения зонной теории.
- 2) Статистика Шокли-Рида-Холла.

Билет № 10

- 1) Метод сильно связанных электронов.
- 2) Рекомбинация через примеси и дефекты. Времена жизни в случае рекомбинации через примесный уровень.

Билет № 11

- 1) Понятие об эффективной массе. Тензор обратных эффективных масс.
- 2) Коэффициент межзонной рекомбинации. Время жизни при межзонной рекомбинации.

Билет № 12

- 1) Статистика электронов и дырок в компенсированных полупроводниках.
- 2) Условия равновесия контактирующих тел. Контактная разность потенциалов.

Билет № 13

- 1) Примеры зонных структур полупроводников: зоны проводимости полупроводников $A^{III}B^V$, Si, Ge.
- 2) Длина экранирования. Истощенный контактный слой. Обогащенный контактный слой. Экранирование электрического поля в 2 D-системах.

Билет № 14

- 1) Вырождение зон и гофрировка изоэнергетических поверхностей вблизи потолка валентной зоны.
- 2) Плотность состояний в системах пониженной размерности. Вычисление положения уровня Ферми в 2 D-системах.

Билет № 15

- 1) Прямозонные и непрямозонные полупроводники. Примеры.
- 2) Применение метода эффективной массы для нахождения энергетического спектра полупроводниковых систем пониженной размерности.

Билет № 16

- 1) Средняя скорость движения электрона в кристалле.
- 2) Энергетический спектр мелких примесных состояний в полупроводниковых квантовых ямах.

Билет № 17

- 1) Уравнение движения электрона в кристалле во внешних полях.
- 2) Квазиравновесие и квазиуровни Ферми.

Билет № 18

- 1) Заполнение зон. Дырочное описание.
- 2) Выпрямление в контакте металл-полупроводник. р-п переход. Статическая вольтамперная характеристика р-п перехода.

Билет № 19

- 1) Метод эффективной массы.
- 2) Уравнение кинетики рекомбинации в пространственно однородных и неоднородных системах.

Билет № 20

- 1) Мелкие уровни в гомеоплярных кристаллах (водородоподобные примесные центры). Условия применимости водородоподобной модели.
- 2) Туннельный эффект в р-п переходах. Туннельный диод.

Билет № 21

- 1) Плотность состояний и функция распределения электронов по квантовым состояниям.
- 2) Время жизни неравновесных носителей заряда.

Билет № 22

- 1) Концентрации электронов и дырок в зонах.
- 2) Темпы генерации и рекомбинации неравновесных носителей заряда.

Билет № 23

- 1) Концентрация носителей в случае невырожденного электронного (дырочного) газа.
- 2) Неравновесные носители заряда в полупроводниках.

Билет № 24

- 1) Концентрация носителей в условиях сильного вырождения.
- 2) Метод слабо связанных (почти свободных) электронов. Обсуждение особенностей электронного энергетического спектра на основе метода слабо связанных электронов.

Билет № 25

- 1) Эффективная масса плотности состояний.
- 2) Изоэнергетические поверхности. Многодолинные полупроводники.

Билет № 26

- 1) Статистика заполнения примесных уровней. Простые центры.

2) Биполярный транзистор.

5.3. Критерии оценивания уровня сформированности компетенций

Оценка результатов обучения по дисциплине «Физика полупроводников» в форме уровня сформированности компонентов знать, уметь, владеть заявленных дисциплинарных компетенций проводится по (в случае обычного зачета по 2-х бальной шкале) 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается. Что полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной дисциплины.

Критерии оценивания

Результат зачета	Критерии
«зачтено»	Аспирант показал знания основных положений дисциплины, умение решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умение правильно оценить полученные результаты расчетов или эксперимента.
«не зачтено»	При ответе аспиранта выявились существенные пробелы в знаниях основных положений дисциплины, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой дисциплины.

Критерии оценивания

Оценка	Критерии
«отлично»	Наличие глубоких и исчерпывающих знаний в объеме пройденного программного материала, правильные и уверенные действия по применению полученных знаний на практике, грамотное и стройное изложение материала при ответе, знание дополнительно рекомендованной литературы
«хорошо»	Наличие твердых и достаточно полных знаний программного материала, незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике, четкое изложение материала
«удовлетворительно»	Наличие твердых знаний пройденного материала,

	изложение ответов с ошибками, необходимость дополнительных вопросов, правильные действия по применению знаний на практике
«неудовлетворительно»	Наличие грубых ошибок в ответе, непонимание сущности излагаемого вопроса, неумение применять знания на практике, неточность ответов на дополнительные вопросы.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1 основная литература:

1. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников: учебное пособие / А. И. Ансельм. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 624 с. — Электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71742>.

2. Матухин, В. Л. Физика твердого тела: учебное пособие / В. Л. Матухин, В. Л. Ермаков. — Санкт-Петербург: Лань, 2010. — 224 с. — Электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/262>.

4. Владимиров, Г. Г. Физика поверхности твердых тел: учебное пособие / Г. Г. Владимиров. — Санкт-Петербург: Лань, 2016. — 352 с. — Электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/71707>.

6. Епифанов, Г. И. Физика твердого тела : учебное пособие / Г. И. Епифанов. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2011. — 288 с. — Электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/2023>.

10. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова. — 4-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2010. — 384 с. — Электронный ресурс Издательского дома «Лань». Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/648>.

6.2. Дополнительная литература:

1. Физика твердого тела: сборник задач для расчетных заданий / В. Л. Матухин. - Казань: КГЭУ, 2004. - 69 с.

2. Введение в квантовую физику кристаллических твердых тел : учебное пособие по курсу "Физика твердого тела" / В. Л. Матухин. - Казань : КФ МЭИ, 1997. - 96 с.

3. **Физика твердого тела** : учебное пособие / В. Л. Матухин. - Казань : КГЭУ, 2003. - 171 с. - Б. ц. - Текст : непосредственный.

5. Викулин И.М., Стафеев В.И. Физика полупроводниковых приборов. М.: Радио и связь, 1990

7. Основы физики полупроводниковых приборов / Я. А. Федотов. - 2-е изд., испр. и доп. - М. : Сов.радио, 1970. - 592 с.

8. Светодиоды / А. Берг, П. Дин; пер. с англ. - М. : Мир, 1979. - 688 с.

9. Микроструктура материалов. Методы исследования и контроля: учебное пособие для вузов / Д. Брандон, У. Каплан; пер. с англ. - М. : Техносфера, 2006. - 384 с.

6.3. Электронно-библиотечные системы

1 . e.lanbook.com.

6.4. Программное обеспечение дисциплины

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Описание	Реквизиты подтверждающих документов
1	Windows 7 Профессиональная (сертифицированная ФСТЭК)	Пользовательская операционная система	"ЗАО ""ТаксНет- Сервис"" №ПО-ЛИЦ 0000/2014 от 27.05.2014 Неискл. право. Бессрочно
2	Windows 10	Пользовательская операционная система	договор № Tr096148 от 29.09.2020, лицензиар - ООО "Софтлайн трейд", тип (вид) лицензии - неискл. право, срок действия лицензии - до 14.09.2021
3	Office Professional Plus 2007 Russian OLP NL	Пакет программных продуктов, содержащий в себе необходимые офисные программы	Договор № 225/ 10, лицензиар - ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии - неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно
4	Office Standard 2007 Russian OLP NL AcademicEdition+	Пакет программных продуктов, содержащий в себе необходимые офисные программы	договор №21/2010 от 04.05.2010, лицензиар - ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии - неискл. право, срок действия лицензии – бессрочно
5	Windows 7 Профессиональная (Pro)	Операционная система	договор №2011.25486 от 28.11.2011, лицензиар – ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.

6	Браузер Chrome	Система поиска и просмотра информации в сети интернет	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
7	LMS Moodle	Система управления обучением	Свободная лицензия, тип (вид) лицензии – неискл.право, срок действия лицензии – бессрочно

6.5. Интернет-ресурсы

1. [http:// otherreferats.allbest.ru](http://otherreferats.allbest.ru).
2. www.kgeu.ru.
3. www.mirknig.com

6.6. Профессиональные базы данных

1	Официальный сайт президента России	http://kremlin.ru/	http://kremlin.ru/
2	Официальный сайт Государственной Думы Федерального собрания Российской Федерации	http://duma.gov.ru/	http://duma.gov.ru/
3	Российская национальная библиотека	http://nlr.ru/	http://nlr.ru/
4	Фонд «Общественное мнение»	https://fom.ru/	https://fom.ru/
5	Всероссийский центр изучения общественного мнения	https://www.wciom.ru/	https://www.wciom.ru/
6	Исторический портал «ИСТОРИЯ.РФ»	https://histrf.ru/	https://histrf.ru/
7	Библиотека ГУМЕР	https://www.gumer.info/	https://www.gumer.info/
8	Справочно-информационный портал ГРАМОТА.РУ	http://gramota.ru/	http://gramota.ru/
9	Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/	http://window.edu.ru/
10	Аналитический центр Юрия Левады (Левада- центр)	http://www.levada.ru/	http://www.levada.ru/
11	Президентская библиотека имени Николаевича Ельцина	В http://prlib.ru	В http://prlib.ru
12	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU	http://elibrary.ru	http://elibrary.ru

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

№ п./п.	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Лекции	Специальные помещения для проведения занятий лекционно-	Специализированная учебная мебель, технические средства обу-

№ п./п.	Вид учебной работы	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
		го типа	чения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук), экран
2	Практические занятия	Специальные помещения для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: мультимедийный проектор, мобильный ПК (ноутбук)
		Компьютерный класс с выходом в Интернет	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения: ПК, лицензионное программное обеспечение
4	Самостоятельная работа обучающихся	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокamеры, программное обеспечение
		Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, мультимедийный проектор, экран, программное обеспечение

8. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета www/kgeu.ru. Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповеще-

ния о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);

- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);

- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;

- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;

- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;

- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;

- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;

- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;


- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;

- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется дополнительное время для подготовки ответа.

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденным приказом Министерством образования и науки Российской Федерации от 30 июля 2014 г. № 867.

Авторы:  д.ф.-м. н., проф. В.Л. Матухин

 к.ф.-м. н., Е. В. Шмидт

Программа обсуждена и одобрена на заседании кафедры «Физика» от 20.10.2020 г., протокол № 5.

Зав. кафедрой
«Физика»  к.ф.-м.н., доц. Р.Р. Хуснутдинов

На заседании методического совета ИЭЭ от 28.10.2020 г., протокол №3 программа рекомендована к утверждению.

Директор ИЭЭ  д.т.н., проф. И.В. Ившин



