

**Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

---

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Микроэлектроника и твердотельная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины  
ФИЗИКА ТВЁРДОГО ТЕЛА**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.01.06</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>5 семестр - 6; 6 семестр - 6; всего - 12</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>432 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>5 семестр - 32 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>5 семестр - 32 часа; 6 семестр - 28 часа; всего - 60 часов</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>5 семестр - 16 часов; 6 семестр - 12 часов; всего - 28 часа</b>
<b>Консультации</b>	<b>5 семестр - 2 часа; 6 семестр - 2 часа; всего - 4 часа</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>5 семестр - 133,5 часа; 6 семестр - 145,5 часа; всего - 279,0 часа</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b> Контрольная работа Расчетно-графическая работа Лабораторная работа	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
Экзамен	5 семестр - 0,5 часа;
Экзамен	6 семестр - 0,5 часа;
	<b>всего - 1,0 час</b>

**Москва 2021**

## ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Зезин Д.А.
	Идентификатор	Re7522a00-ZezinDA-ba8dbd73

(подпись)

Д.А. Зезин

(расшифровка  
подписи)

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Баринов А.Д.
	Идентификатор	Ra98e1318-BarinovAD-f138ec4f

(подпись)

А.Д. Баринов

(расшифровка подписи)

Заведующий  
выпускающей кафедры

(должность, ученая степень, ученое  
звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Мирошникова И.Н.
	Идентификатор	Rd1db27a5-MiroshnikovaIN-70caf8c

(подпись)

И.Н.

Мирошникова

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Формирование углубленных знаний для квалифицированного подхода к использованию физических явлений, лежащих в основе конструирования и совершенствования приборов полупроводниковой микроэлектроники и нанoeлектроники.

### Задачи дисциплины

- развитие способности аргументированно выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик полупроводниковых материалов;;
- формирование готовности анализировать и систематизировать результаты исследований, представлять материалы в виде научных отчетов..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-1 Способен участвовать в проектировании полупроводниковых приборов	ИД-1 <sub>ПК-1</sub> Демонстрирует знание принципов работы, физических и математических моделей основных полупроводниковых приборов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- основные оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках;;</li><li>- контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках;;</li><li>- механизмы диффузии и дрейфа неравновесных носителей заряда;;</li><li>- основные механизмы процессов генерация и рекомбинация электронов и дырок;;</li><li>- методы определения концентрации носителей заряда (в том числе графическое), подвижности носителей заряда в зависимости от температуры твердого тела;;</li><li>- методы и законы, определяющие зонную структуру твердого тела;.</li></ul> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- объяснить основные оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках по спектральным характеристикам.;</li><li>- изобразить энергетические диаграммы контактов твердых материалов (металлов, полупроводников в различных комбинациях, в том числе гетеропереходов);;</li><li>- рассчитать диффузионные и дрейфовые токи неравновесных носителей заряда;;</li><li>- рассчитать концентрации носителей заряда, подвижности носителей заряда в зависимости от температуры и</li></ul>

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		материала твердого тела;; - пояснить принцип формирования зонной структуры твердого тела на примере кремния и германия;.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Микроэлектроника и твердотельная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать – методы решения дифференциальных уравнений второго порядка;
- знать – основные свойства полупроводниковых материалов;
- знать – основы твердотельной электроники
- уметь – использовать измерительное оборудование, основные приемы обработки и представления полученных экспериментальных данных при измерении ВАХ полупроводниковых приборов;
- уметь – оценить правильность полученных экспериментальных результатов.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 12 зачетных единиц, 432 часа.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Основные понятия	30	5	10	-	10	-	-	-	-	-	10	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение рекомендованной литературы</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 8 - 20 [2], стр. 7 - 9</p>
1.1	Введение. Квантово-механический взгляд на строение твердого тела	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.2	Представление об атомных орбиталях.	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.3	Кристаллическое состояние и его классификация.	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.4	Идеальные монокристаллы.	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
1.5	Неидеальные структуры	6		2	-	2	-	-	-	-	-	2	-	
2	Механические свойства твёрдых тел	6	5	2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	<p><b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение рекомендованной литературы</p> <p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 84-92</p>
2.1	Закон Гука.	3		1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
2.2	Распространение акустических волн в кристаллах. Поверхностные акустические волны.	3		1	-	-	-	-	-	-	-	2	-	
3	Основы зонной теории кристаллических твёрдых тел	48	5	10	-	12	-	-	-	-	-	26	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы</p> <p><b><u>Подготовка домашнего задания:</u></b> Изучение рекомендованной литературы</p>
3.1	Зоны Бриллюэна.	17		4	-	3	-	-	-	-	-	10	-	

	Уравнение Шредингера для твёрдого тела.												<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 20 - 26 [2], стр. 22 - 69
3.2	Число состояний в энергетической зоне.	15	2	-	3	-	-	-	-	-	-	10	-
3.3	Приближение эффективной массы.	9	2	-	3	-	-	-	-	-	-	4	-
3.4	Поверхностные состояния. Водородоподобная модель мелких уровней доноров и акцепторов.	7	2	-	3	-	-	-	-	-	-	2	-
4	Колебания атомов кристаллической решётки. Фононы	10	2	-	2	-	-	-	-	-	-	6	-
4.1	Нормальные колебания.	5	1	-	1	-	-	-	-	-	-	3	-
4.2	Фононы.	5	1	-	1	-	-	-	-	-	-	3	-
5	Собственные и легированные полупроводники	26	2	4	2	-	-	-	-	-	-	18	-
5.1	Собственные и легированные полупроводники.	26	2	4	2	-	-	-	-	-	-	18	-
6	Статистика электронов и дырок	37.0	4.0	8	4	-	-	-	-	-	-	21	-
6.1	Задача статистики.	3.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
6.2	Понятие эффективной массы плотности состояний для электронов.	5.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
6.3	Функции Ферми и Больцмана	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-
													<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение рекомендованной литературы <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], стр. 69 - 91
													<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение рекомендованной литературы <b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 29 - 54 [2], стр. 109 - 120
													<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы <b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение рекомендованной литературы <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 26 - 28, 41 - 45 [2], стр. 92 - 109

	распределения электронов по энергиям. Функция распределения Бозе-Эйнштейна.												[4], стр. 50-60 [5], стр. 26-28, 41-45
6.4	Определение концентрации электронов и дырок	3.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
6.5	Положения уровня Ферми	6	1	-	2	-	-	-	-	-	3	-	
6.6	Определение концентрации электронов и дырок	14.5	0.5	8	2	-	-	-	-	-	4	-	
7	Кинетические явления в полупроводниках	23.0	2.0	4	2	-	-	-	-	-	15	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы
7.1	Теория электропроводности Друде-Лоренца. П	6	1	-	-	-	-	-	-	-	5	-	<b><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u></b> Изучение рекомендованной литературы
7.2	Процессы рассеяния.	7.5	0.5	-	2	-	-	-	-	-	5	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
7.3	Эффект Холла	9.5	0.5	4	-	-	-	-	-	-	5	-	[1], стр. 70 - 73, 38 -т40 [2], стр. 154 - 172
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>32.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>100</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>32.0</b>	<b>16</b>	<b>32</b>		<b>2</b>		<b>-</b>	<b>0.5</b>		<b>133.5</b>	
8	Генерация и рекомбинация электронов и дырок	48	6	4	8	-	-	-	-	-	30	-	<b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b>
8.1	Равновесные и неравновесные носители заряда.	18	2	2	4	-	-	-	-	-	10	-	[1], стр. 60 - 69 [2], стр. 199 - 224 [3], стр. 5 - 15
8.2	Механизмы рекомбинации.	16	2	2	2	-	-	-	-	-	10	-	
8.3	Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через	14	2	-	2	-	-	-	-	-	10	-	

	рекомбинационные ловушки.													
9	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда	40	2	4	8	-	-	-	-	-	26	-	<u><b>Подготовка к текущему контролю:</b></u> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы <u><b>Подготовка к аудиторным занятиям:</b></u> Изучение рекомендованной литературы <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], стр. 70 - 73 [2], стр. 224 - 239 [3], стр. 15 - 29	
9.1	Диффузионные и дрейфовые токи.	40	2	4	8	-	-	-	-	-	26	-		
10	Контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках	41	8	-	8	-	-	-	-	-	25	-	<u><b>Подготовка к текущему контролю:</b></u> Изучение лекционного материала и рекомендованной литературы <u><b>Подготовка к аудиторным занятиям:</b></u> Изучение рекомендованной литературы <u><b>Изучение материалов литературных источников:</b></u> [1], стр. 87 - 100 [2], стр. 240 - 282, 282 - 302 [3], стр. 29 - 51	
10.1	Полупроводник во внешнем электрическом поле.	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
10.2	Контакт металл-металл.	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
10.3	Контакт металл-полупроводник.	8	1	-	1	-	-	-	-	-	6	-		
10.4	Контакт электронного и дырочного полупроводников.	8	1	-	1	-	-	-	-	-	6	-		
10.5	Гетеропереходы.	5	1	-	1	-	-	-	-	-	3	-		
10.6	Поверхностные состояния.	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
10.7	Кинетические явления в сильных электрических полях.	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
10.8	Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона	4	1	-	1	-	-	-	-	-	2	-		
11	Оптические свойства полупроводников	40	6	4	4	-	-	-	-	-	26	-		
11.1	Взаимодействие электромагнитного	10	2	1	1	-	-	-	-	-	6	-	<u><b>Подготовка к аудиторным занятиям:</b></u> Изучение рекомендованной литературы <u><b>Подготовка к текущему контролю:</b></u> Изучение лекционного материала и	



	излучения с твёрдым телом.											рекомендованной литературы <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], стр. 261 [2], стр. 302 - 336
11.2	Собственное поглощение	10	2	1	1	-	-	-	-	-	6	-
11.3	Экситонное поглощение.	9	1	1	1	-	-	-	-	-	6	-
11.4	Иные виды поглощения	11	1	1	1	-	-	-	-	-	8	-
12	Люминесценция полупроводников	5.0	4	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-
12.1	Типы люминесценции.	2.5	2	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-
12.2	Релаксация люминесценции полупроводников.	2.5	2	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-
13	Фотоэлектрические явления	6.0	2.0	-	-	-	-	-	-	-	4	-
13.1	Внутренний фотоэффект.	1.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	1	-
13.2	Релаксация фотопроводимости	1.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	1	-
13.3	Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.	1.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	1	-
13.4	Эффект Дембера.	1.5	0.5	-	-	-	-	-	-	-	1	-
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5
	<b>Всего за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>28.0</b>	<b>12</b>	<b>28</b>	-	<b>2</b>	-	-	<b>0.5</b>	<b>112.0</b>	<b>33.5</b>
	<b>Итого за семестр</b>	<b>216.0</b>	<b>28.0</b>	<b>12</b>	<b>28</b>		<b>2</b>	-		<b>0.5</b>	<b>145.5</b>	
	<b>ИТОГО</b>	<b>432.0</b>	<b>-</b>	<b>60.0</b>	<b>28</b>	<b>60</b>	<b>4</b>	-		<b>1.0</b>	<b>279.0</b>	

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам

дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

## 3.2 Краткое содержание разделов

### 1. Основные понятия

#### 1.1. Введение. Квантово-механический взгляд на строение твердого тела

Цель дисциплины.. Движение электронов в атоме.. Постулаты Бора.. Уравнение Шредингера. Волновая функция и её свойства.. Квантование энергии атома. Квантовые числа.. Классификация твёрдых тел..

#### 1.2. Представление об атомных орбиталях.

Представление об атомных орбиталях.. Правило Хунда.. Молекулярные орбитали.. Гибридизация атомных орбиталей..

#### 1.3. Кристаллическое состояние и его классификация.

Кристаллическое состояние и его классификация.. Природа и типы межатомных связей. Взаимодействие молекул.. Силы Ван-дер-Ваальса.. Молекулярная связь.. Водородная связь.. Ионная связь.. Ковалентная связь.. Металлическая связь..

#### 1.4. Идеальные монокристаллы.

Идеальные монокристаллы.. Кристаллическая решётка. Элементарная ячейка. Базис решётки. Кристаллографические направления, плоскости и зоны.. Решётка Браве. Сингонии кристаллов. Пространственные и кристаллические решётки полупроводников: Si, Ge и AПВV (GaAs, GaP, AlAs, InSb и так далее).. Ячейка Вигнера–Зейтца.. Обратная решётка..

#### 1.5. Неидеальные структуры

Монокристаллы с дефектами.. Стехиометрия.. Поликристаллы. Аморфные кристаллы. Жидкие кристаллы.. Полиморфизм.. Некоторые полиморфные модификации углерода. Фуллерены и углеродные нанотрубки..

### 2. Механические свойства твёрдых тел

#### 2.1. Закон Гука.

Закон Гука. Тензоры напряжений и деформаций. Закон Гука для анизотропных твёрдых тел и энергия упругодеформированного тела..

#### 2.2. Распространение акустических волн в кристаллах. Поверхностные акустические волны.

Распространение акустических волн в кристаллах. Поверхностные акустические волны..

### 3. Основы зонной теории кристаллических твёрдых тел

#### 3.1. Зоны Бриллюэна. Уравнение Шредингера для твёрдого тела.

Зоны Бриллюэна.. Уравнение Шредингера для твёрдого тела.. Адиабатическое приближение или приближение Борна–Оппенгеймера.. Одноэлектронное приближение или метод Хартри – Фока.. Функции Блоха.. Приближение сильной связи в трёхмерных кристаллах. Энергетические зоны.. Приближение почти свободных электронов. Модель Кронига-Пенни.. Граничные условия Кармана-Борна..

#### 3.2. Число состояний в энергетической зоне.

Число состояний в энергетической зоне. Классификация твёрдых тел по характеру заполнения их энергетических зон электронами. Зависимость энергии электрона от квазиволнового вектора у дна и потолка энергетической зоны. Понятие дырки..

### 3.3. Приближение эффективной массы.

Приближение эффективной массы. Механическая аналогия эффективной массы.. Зонная структура некоторых полупроводников, параметры зонной структуры, определяющие возможность и эффективность использования данного полупроводника для конкретных практических приложений..

3.4. Поверхностные состояния. Водородоподобная модель мелких уровней доноров и акцепторов.

Поверхностные состояния.. Водородоподобная модель мелких уровней доноров и акцепторов..

## 4. Колебания атомов кристаллической решётки. Фононы

### 4.1. Нормальные колебания.

Нормальные колебания. Гармоническое и адиабатическое приближение.. Динамические характеристики кристаллической решётки.. Колебания однородной струны.. Колебания одноатомной линейной цепочки. Энергия колебаний атомов одномерной решётки.. Колебания двухатомной линейной цепочки.. Колебания атомов трёхмерной решётки..

### 4.2. Фононы.

Фононы. Статистика Бозе-Эйнштейна.. Термическое расширение и тепловое сопротивление твёрдого тела..

## 5. Собственные и легированные полупроводники

### 5.1. Собственные и легированные полупроводники.

Собственные и легированные полупроводники.. Типы и роль примесей в полупроводниках.. Уравнение электронейтральности.. Ловушки и центры рекомбинации.. Зонная структура неупорядоченных твёрдых тел..

## 6. Статистика электронов и дырок

### 6.1. Задача статистики.

Задача статистики.. Плотность состояния электронов в пространстве квазиимпульсов. Случай 3D-, 2D-, 1D- и нульмерного электронного газа.. Зависимость энергии от квазиимпульса для электрона в решётке..

### 6.2. Понятие эффективной массы плотности состояний для электронов.

Понятие эффективной массы плотности состояний для электронов..

6.3. Функции Ферми и Больцмана распределения электронов по энергиям. Функция распределения Бозе-Эйнштейна.

Функции Ферми и Больцмана распределения электронов по энергиям.. Функция распределения Бозе-Эйнштейна..

#### 6.4. Определение концентрации электронов и дырок

Определение концентрации электронов и дырок в собственном полупроводнике. Определение концентрации электронов и дырок в донорном и акцепторном полупроводниках в невырожденном случае.. Случай вырожденного полупроводника..

#### 6.5. Положения уровня Ферми

Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примеси.. Температурная зависимость ширины запрещенной зоны.. Расчет положения уровня Ферми в собственном полупроводнике.. Собственная концентрация и ее зависимость от температуры.. Невырожденный примесный полупроводник.. Расчет положения уровня Ферми в примесном полупроводнике..

#### 6.6. Определение концентрации электронов и дырок

Определение концентрации электронов и дырок в частично компенсированном полупроводниках в невырожденном случае. Зависимость концентрации электронов и дырок от температуры. Компенсированные полупроводники.. Случай вырожденного полупроводника. Определение концентрации носителей заряда и температурной зависимости в реальных полупроводниках..

### 7. Кинетические явления в полупроводниках

#### 7.1. Теория электропроводности Друде-Лоренца. П

Теория электропроводности Друде-Лоренца. Подвижность. Рассмотрение электропроводности на основе кинетического уравнения Больцмана. Время релаксации..

#### 7.2. Процессы рассеяния.

Процессы рассеяния. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на нейтральных атомах примеси. Рассеяние на дислокациях. Рассеяние на колебаниях решётки.. Свойства конкретных полупроводников.. Температурная зависимость подвижности носителей заряда. Температурная зависимость удельной проводимости..

#### 7.3. Эффект Холла

Эффект Холла при монополярной и биполярной проводимости.. Магнитосопротивление..

### 8. Генерация и рекомбинация электронов и дырок

#### 8.1. Равновесные и неравновесные носители заряда.

Равновесные и неравновесные носители заряда.. Биполярная оптическая генерация носителей заряда.. Монополярная генерация.. Максвелловское время релаксации.

#### 8.2. Механизмы рекомбинации.

Механизмы рекомбинации.. Межзонная излучательная рекомбинация: прямые и непрямые межзонные излучательные переходы.. Межзонная ударная рекомбинация.. Центры захвата и рекомбинационные ловушки.. Рекомбинация носителей заряда через рекомбинационные ловушки..

8.3. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через рекомбинационные ловушки.

Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через рекомбинационные ловушки..

## 9. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда

### 9.1. Диффузионные и дрейфовые токи.

Уравнение непрерывности.. Диффузионные и дрейфовые токи.. Соотношение Эйнштейна..

## 10. Контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках

### 10.1. Полупроводник во внешнем электрическом поле.

Полупроводник во внешнем электрическом поле.. Термоэлектронная работа выхода..

### 10.2. Контакт металл-металл.

Контакт металл-металл.. Контакт металл-металл. Контактная разность потенциалов..

### 10.3. Контакт металл-полупроводник.

Контакт металл-полупроводник. Энергетические диаграммы.. Выпрямление тока на контакте металл – полупроводник.. Диодная теория выпрямления.. Туннельный эффект в диодной теории. Диффузионная теория выпрямления..

### 10.4. Контакт электронного и дырочного полупроводников.

Контакт электронного и дырочного полупроводников.. Область пространственного заряда.. Распределения концентрации носителей при смещении.. Энергетические диаграммы рп-перехода.. Вольтамперная характеристика рп-перехода.. Теория тонкого р-п перехода.. Контакт вырожденных электронного и дырочного полупроводников.. Туннельный диод..

### 10.5. Гетеропереходы.

Гетеропереходы. Энергетические диаграммы.. Изотипные и анизотипные гетеропереходы.. Правило Андерсона..

### 10.6. Поверхностные состояния.

Природа поверхностных уровней. Зонные структуры границ раздела полупроводников.. Теория слоя пространственного заряда.. Эффект поля.. Вольт-фарадные методы исследования границ раздела.. Скорость поверхностной рекомбинации..

### 10.7. Кинетические явления в сильных электрических полях.

Кинетические явления в сильных электрических полях.. Отклонение от закона Ома.. Эффект Ганна.. Ударная ионизация.. Туннельный эффект..

### 10.8. Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона

Эффект Зеебека. Эффект Пельтье. Эффект Томсона.

## 11. Оптические свойства полупроводников

### 11.1. Взаимодействие электромагнитного излучения с твёрдым телом.

Уравнения Максвелла.. Поглощение и отражение оптического излучения.. Квантовый подход к физике оптических переходов.. Вертикальность оптических переходов. Правило отбора..

### 11.2. Собственное поглощение

Собственное поглощение (прямые и не прямые переходы).. Поглощение сильно легированных и аморфных полупроводников.. Влияние внешних воздействий на собственное поглощение полупроводников: температуры, давления, магнитного поля.. Собственное поглощение в сильном электрическом поле (эффект Келдыша – Франца)..

#### 11.3. Экситонное поглощение.

Экситоны Френкеля и Ванье–Мотта..

#### 11.4. Иные виды поглощения

Поглощение свободными носителями заряда.. Внутризонные переходы.. Примесное поглощение.. Поглощение при переходах между примесными уровнями.. Поглощение колебаниями кристаллической решётки..

### 12. Люминесценция полупроводников

#### 12.1. Типы люминесценции.

Типы люминесценции.. Мономолекулярное свечение твёрдых тел.. Рекомбинационное излучение полупроводников при фундаментальных переходах. Прямые переходы «зона проводимости – валентная зона».. Непрямые переходы «зона проводимости – валентная зона».. Сильно легированный полупроводник.. Экситонная рекомбинация. Рекомбинационное излучение при переходах между зоной и примесными уровнями.. Переход «зона – уровень примеси». Донорно-акцепторные пары..

#### 12.2. Релаксация люминесценции полупроводников.

Релаксация люминесценции полупроводников..

### 13. Фотоэлектрические явления

#### 13.1. Внутренний фотоэффект.

Внутренний фотоэффект.. Собственная фотопроводимость (прямые и не прямые переходы).. Примесная фотопроводимость..

#### 13.2. Релаксация фотопроводимости

Релаксация фотопроводимости (случаи линейной и квадратичной рекомбинаций)..

13.3. Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.

Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда..

#### 13.4. Эффект Дембера.

Эффект Дембера..

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда;
2. Генерация и рекомбинация электронов и дырок;
3. Кинетические явления в полупроводниках;
4. Статистика электронов и дырок;
5. Основы зонной теории кристаллических твёрдых тел;

6. Колебания атомов кристаллической решётки. Фононы;
7. Контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках;
8. Основные понятия. Квантово-механический взгляд на строение твердого тела;
9. Собственные и легированные полупроводники;
10. Оптические явления в полупроводниках.

### 3.4. Темы лабораторных работ

1. Расчёт зависимости концентрации носителей в полупроводнике и ширины запрещённой зоны полупроводника при помощи как при помощи эффекта Холла;
2. Измерение чувствительности датчика Холла;
3. Расчёт уровня легирования полупроводника при помощи измерения вольт-фарадных характеристик p-n-перехода;
4. Измерение электропроводности кремниевой пластины четырёхзондовым методом;
5. Изучение процессов рекомбинации и диффузии неосновных носителей заряда;
6. Измерение контактной разности потенциалов на контакте металл-полупроводник;
7. Исследование спектральной зависимости стационарной фотопроводимости.

### 3.5 Консультации

#### Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем
3. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем
4. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем
5. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем
6. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем
7. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем
8. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем



консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем

9. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). в рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий и особенности изучаемых инженерных систем

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основные понятия"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы зонной теории кристаллических твердых тел"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Колебания атомов кристаллической решётки. Фононы"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Собственные и легированные полупроводники"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Статистика электронов и дырок"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Кинетические явления в полупроводниках"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Генерация и рекомбинация электронов и дырок"
9. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда"
10. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках"
11. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптические свойства полупроводников"
12. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Люминесценция полупроводников"
13. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Фотоэлектрические явления"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Собственные и легированные полупроводники". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Статистика электронов и дырок". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Кинетические явления в полупроводниках". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Генерация и рекомбинация электронов и дырок". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель

- МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
  6. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
  7. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Оптические свойства полупроводников". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
  8. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Люминесценция полупроводников". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом
  9. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Фотоэлектрические явления". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоение программы студентом

### **3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ**

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

### 3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)													Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
<b>Знать:</b>															
методы и законы, определяющие зонную структуру твердого тела;	ИД-1ПК-1	+	+	+	+										Контрольная работа/Контрольная работа № 1 Контрольная работа/Контрольная работа № 2
методы определения концентрации носителей заряда (в том числе графическое), подвижности носителей заряда в зависимости от температуры твердого тела;	ИД-1ПК-1			+		+	+	+							Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1 «Расчёт зависимости концентрации носителей в полупроводнике и ширины запрещённой зоны полупроводника при помощи эффекта Холла» Расчетно-графическая работа/Защита РГР (5 семестр) Контрольная работа/Контрольная работа № 2
основные механизмы процессов генерация и рекомбинация электронов и дырок;	ИД-1ПК-1								+						Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №5 «Изучение процессов рекомбинации и диффузии неосновных носителей заряда» Расчетно-графическая работа/Защита РГР (6 семестр)
механизмы диффузии и дрейфа неравновесных носителей заряда;	ИД-1ПК-1									+					Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №5 «Изучение процессов рекомбинации и диффузии неосновных носителей

																				заряда»	
контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках;	ИД-1ПК-1																				Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №6 «Измерение контактной разности потенциалов на контакте металл-полупроводник»
основные оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках;	ИД-1ПК-1																				Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №7 «Исследование спектральной зависимости стационарной фотопроводимости» Расчетно-графическая работа/Защита РГР (6 семестр)
<b>Уметь:</b>																					
пояснить принцип формирования зонной структуры твердого тела на примере кремния и германия;	ИД-1ПК-1																				Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1 «Расчёт зависимости концентрации носителей в полупроводнике и ширины запрещённой зоны полупроводника при помощи эффекта Холла» Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №2 «Измерение чувствительности датчика Холла»
рассчитать концентрации носителей заряда, подвижности носителей заряда в зависимости от температуры и материала твердого тела;	ИД-1ПК-1																				Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №3 «Расчёт уровня легирования полупроводника при помощи измерения вольт-фарадных характеристик р-п-перехода»

																	Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №4 «Измерение электропроводности кремниевой пластины четырёхзондовым методом» Расчетно-графическая работа/Защита РГР (5 семестр)
рассчитать диффузионные и дрейфовые токи неравновесных носителей заряда;	ИД-1ПК-1								+	+							Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №5 «Изучение процессов рекомбинации и диффузии неосновных носителей заряда»
изобразить энергетические диаграммы контактов твердых материалов (металлов, полупроводников в различных комбинациях, в том числе гетеропереходов);	ИД-1ПК-1											+					Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №6 «Измерение контактной разности потенциалов на контакте металл-полупроводник»
объяснить основные оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках по спектральным характеристикам.	ИД-1ПК-1												+	+	+		Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №7 «Исследование спектральной зависимости стационарной фотопроводимости» Расчетно-графическая работа/Защита РГР (6 семестр)

#### **4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)**

##### **4.1. Текущий контроль успеваемости**

###### **5 семестр**

Форма реализации: Билеты (письменный опрос)

1. Контрольная работа № 1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 2 (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы №1 «Расчёт зависимости концентрации носителей в полупроводнике и ширины запрещённой зоны полупроводника при помощи эффекта Холла» (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №2 «Измерение чувствительности датчика Холла» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы №3 «Расчёт уровня легирования полупроводника при помощи измерения вольт-фарадных характеристик р-п-перехода» (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы №4 «Измерение электропроводности кремниевой пластины четырёхзондовым методом» (Лабораторная работа)
5. Защита РГР (5 семестр) (Расчетно-графическая работа)

###### **6 семестр**

Форма реализации: Устная форма

1. Защита лабораторной работы №5 «Изучение процессов рекомбинации и диффузии неосновных носителей заряда» (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №6 «Измерение контактной разности потенциалов на контакте металл-полупроводник» (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы №7 «Исследование спектральной зависимости стационарной фотопроводимости» (Лабораторная работа)
4. Защита РГР (6 семестр) (Расчетно-графическая работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

##### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

###### Экзамен (Семестр №5)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе (БАРС) для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

###### Экзамен (Семестр №6)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе (БАРС) для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

В диплом выставляется оценка за 6 семестр.

**Примечание:** Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

#### **5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### 5.1 Печатные и электронные издания:

1. Твердотельная электроника : учебное пособие для вузов по направлению "Электроника и микроэлектроника" / Э. Н. Воронков, [и др.] . – М. : АКАДЕМИЯ, 2009 . – 320 с. – (Высшее профессиональное образование) . - ISBN 978-5-7695-4618-1 .;
2. Шалимова, К. В. Физика полупроводников : учебник / К. В. Шалимова . – 4-е изд., стер . – М. : Лань-Пресс, 2010 . – 400 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-0922-8 .;
3. Зезин, Д. А. Физика твердого тела : практикум по курсу "Физика твердого тела" по направлению "Электроника и наноэлектроника" / Д. А. Зезин, И. Н. Мирошникова, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ") . – М. : Изд-во МЭИ, 2018 . – 64 с. - ISBN 978-5-7046-2040-2 .  
[http://elib.mpei.ru/action.php?kt\\_path\\_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10377](http://elib.mpei.ru/action.php?kt_path_info=ktcore.SecViewPlugin.actions.document&fDocumentId=10377);
4. Гуртов В. А., Осауленко Р. Н.- "Физика твердого тела для инженеров", (2-е изд., испр. и доп.), Издательство: "Техносфера", Москва, 2012 - (560 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=73515](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=73515);
5. Шалимова К. В.- "Физика полупроводников", (4-е изд., стер.), Издательство: "Лань", Санкт-Петербург, 2021 - (384 с.)  
<https://e.lanbook.com/book/167840>.

### 5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

### 5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - [http://biblioclub.ru/index.php?page=main\\_ub\\_red](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	К-106/1, Учебная лаборатория по курсам: «Физика твердого тела», «Методы исследования полупроводниковых материалов»	стол преподавателя, стол, стул, лабораторный стенд, оборудование учебное, кондиционер
	К-106/2, Учебная лаборатория по курсам: «Физика твердого тела»,	стол, стул, шкаф для документов, оборудование учебное, компьютер персональный, кондиционер, книги,

	«Методы исследования полупроводниковых материалов»	учебники, пособия
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	К-102а, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
	К-102, Учебная аудитория	парта, стул, доска меловая, ноутбук, кондиционер, телевизор
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-302, Читальный зал отдела обслуживания учебной литературой	стул, стол письменный, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный
Помещения для консультирования	К-109/1, Кабинет сотрудников каф. "ЭиН"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, стол для совещаний, доска меловая, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, оборудование для экспериментов, компьютер персональный, документы, книги, учебники, пособия
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	К-115, Склад каф. "ЭиН"	стеллаж, инвентарь учебный



## БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

### Физика твёрдого тела

(название дисциплины)

#### 5 семестр

#### Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа № 1 (Контрольная работа)
- КМ-2 Контрольная работа № 2 (Контрольная работа)
- КМ-3 Защита РГР (5 семестр) (Расчетно-графическая работа)
- КМ-4 Защита лабораторной работы №1 «Расчёт зависимости концентрации носителей в полупроводнике и ширины запрещённой зоны полупроводника при помощи эффекта Холла» (Лабораторная работа)
- КМ-5 Защита лабораторной работы №2 «Измерение чувствительности датчика Холла» (Лабораторная работа)
- КМ-6 Защита лабораторной работы №3 «Расчёт уровня легирования полупроводника при помощи измерения вольт-фарадных характеристик р-n-перехода» (Лабораторная работа)
- КМ-7 Защита лабораторной работы №4 «Измерение электропроводности кремниевой пластины четырёхзондовым методом» (Лабораторная работа)

#### Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5	КМ-6	КМ-7
		Неделя КМ:	8	16	16	13	14	15	16
1	Основные понятия								
1.1	Введение. Квантово-механический взгляд на строение твердого тела		+	+					
1.2	Представление об атомных орбиталях.		+	+		+	+		
1.3	Кристаллическое состояние и его классификация.		+	+		+	+		
1.4	Идеальные монокристаллы.		+	+		+	+		
1.5	Неидеальные структуры		+	+					
2	Механические свойства твёрдых тел								
2.1	Закон Гука.		+	+					
2.2	Распространение акустических волн в кристаллах. Поверхностные акустические волны.		+	+					
3	Основы зонной теории кристаллических твёрдых тел								
3.1	Зоны Бриллюэна. Уравнение Шредингера для твёрдого тела.		+	+					

3.2	Число состояний в энергетической зоне.		+	+	+			
3.3	Приближение эффективной массы.	+	+					
3.4	Поверхностные состояния. Водородоподобная модель мелких уровней доноров и акцепторов.	+	+					
4	Колебания атомов кристаллической решётки. Фононы							
4.1	Нормальные колебания.	+	+					
4.2	Фононы.	+	+					
5	Собственные и легированные полупроводники							
5.1	Собственные и легированные полупроводники.		+	+	+		+	+
6	Статистика электронов и дырок							
6.1	Задача статистики.		+	+	+		+	+
6.2	Понятие эффективной массы плотности состояний для электронов.		+	+	+			
6.3	Функции Ферми и Больцмана распределения электронов по энергиям. Функция распределения Бозе-Эйнштейна.		+	+	+			
6.4	Определение концентрации электронов и дырок		+	+	+		+	+
6.5	Положения уровня Ферми		+	+	+		+	+
6.6	Определение концентрации электронов и дырок		+	+	+		+	+
7	Кинетические явления в полупроводниках							
7.1	Теория электропроводности Друде-Лоренца. П		+	+	+			
7.2	Процессы рассеяния.		+	+	+			
7.3	Эффект Холла		+	+	+			
Вес КМ, %:		10	10	20	15	15	15	15

### 6 семестр

**Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-8 Защита лабораторной работы №5 «Изучение процессов рекомбинации и диффузии неосновных носителей заряда» (Лабораторная работа)
- КМ-9 Защита лабораторной работы №6 «Измерение контактной разности потенциалов на контакте металл-полупроводник» (Лабораторная работа)
- КМ- Защита лабораторной работы №7 «Исследование спектральной зависимости стационарной

10 фотопроводимости» (Лабораторная работа)  
 КМ- Защита РГР (6 семестр) (Расчетно-графическая работа)  
 11

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-8	КМ-9	КМ-10	КМ-11
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Генерация и рекомбинация электронов и дырок					
1.1	Равновесные и неравновесные носители заряда.		+			
1.2	Механизмы рекомбинации.		+			+
1.3	Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через рекомбинационные ловушки.		+			+
2	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда					
2.1	Диффузионные и дрейфовые токи.		+			
3	Контактные, поверхностные и термоэлектрические явления в полупроводниках					
3.1	Полупроводник во внешнем электрическом поле.			+		
3.2	Контакт металл-металл.			+		
3.3	Контакт металл-полупроводник.			+		
3.4	Контакт электронного и дырочного полупроводников.			+		
3.5	Гетеропереходы.			+		
3.6	Поверхностные состояния.			+		
3.7	Кинетические явления в сильных электрических полях.			+		
3.8	Эффекты Зеебека, Пельтье и Томсона			+		
4	Оптические свойства полупроводников					
4.1	Взаимодействие электромагнитного излучения с твёрдым телом.				+	+
4.2	Собственное поглощение				+	+
4.3	Экситонное поглощение.				+	+
4.4	Иные виды поглощения				+	+

5	Люминесценция полупроводников				
5.1	Типы люминесценции.			+	+
5.2	Релаксация люминесценции полупроводников.			+	+
6	Фотоэлектрические явления				
6.1	Внутренний фотоэффект.			+	+
6.2	Релаксация фотопроводимости			+	+
6.3	Фотопроводимость при наличии поверхностной рекомбинации и диффузии носителей заряда.			+	+
6.4	Эффект Дембера.			+	+
Вес КМ, %:		20	20	20	40