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 наноэлектроника

Наименование образовательной программы: Нанотехнология в электронике

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Блок:	**Блок 1 «Дисциплины (модули)»**
Часть образовательной программы:	**Часть, формируемая участниками образовательных отношений**
№ дисциплины по учебному плану:	**Б1.Ч.01.01**
Трудоемкость в зачетных единицах:	**4 семестр - 6;**
Часов (всего) по учебному плану:	**216 часов**
Лекции	**4 семестр - 32 часа;**
Практические занятия	**4 семестр - 32 часа;**
Лабораторные работы	**не предусмотрено учебным планом**
Консультации	**4 семестр - 18 часов;**
Самостоятельная работа	**4 семестр - 129,2 часа;**
в том числе на КП/КР	**не предусмотрено учебным планом**
Иная контактная работа	**4 семестр - 4 часа;**
включая: **Тестирование** **Проверочная работа** **Контрольная работа**	
Промежуточная аттестация:	
Защита курсовой работы **Экзамен**	**4 семестр - 0 часов;** **4 семестр - 0,8 часа;** **всего - 0,8 часа**

Москва 2019

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Холодный Д.С. Идентификатор: R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d	Д.С. Холодный
(должность)	(подпись)	(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель образовательной программы	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Холодный Д.С. Идентификатор: R0bac9dac-KholodnyDS-6393810d	Д.С. Холодный
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)
Заведующий выпускающей кафедры	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» Сведения о владельце ЦЭП МЭИ Владелец: Славинский А.З. Идентификатор: R99b3b9ab-SlavinskyAZ-c08f5214	А.З. Славинский
(должность, ученая степень, ученое звание)	(подпись)	(расшифровка подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: изучение физических явлений в полупроводниках, лежащих в основе работы приборов полупроводниковой и наноэлектроники, изучение научной основы методов расчета их параметров и параметров полупроводниковых структур

Задачи дисциплины

- изучение основных явлений и процессов, происходящих в полупроводниковых материалах и структурах;
- ознакомление с физическими основами работы современных полупроводниковых устройств;
- выработка у студентов приемов и навыков решения конкретных задач в области физики полупроводников, помогающим студентам в дальнейшем решать инженерные задачи;
- научить выявлять студентами наиболее существенные физические процессы и закономерности, протекающие в полупроводниковых материалах с целью оценки влияния, электрических, магнитных полей и температуры на их параметры;
- изучение студентами основных методов определения параметров полупроводниковых материалов;
- выработка навыков в исследованиях свойств полупроводников, приобретение знаний студентами в области создания современной элементной базы микро- и наноэлектроники.

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**
УК-2 способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений	ИД-1$_{УК-2}$ Формулирует в рамках поставленной цели проекта совокупность задач, обеспечивающих ее достижение	знать: - основные положения, законы и методы естественных наук, используемые в области физики полупроводников. уметь: - рассчитывать электрофизические характеристики полупроводниковых материалов.
ПК-2 Способен участвовать в проведении исследований материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-1$_{ПК-2}$ Демонстрирует знания методов контроля параметров материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - наиболее существенные физические процессы, протекающие в полупроводниковых материалах. уметь: - прогнозировать изменение свойств полупроводниковых материалов при изменении внешних условий или воздействий.
ПК-2 Способен участвовать в проведении исследований материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-2$_{ПК-2}$ Обладает знаниями о структуре и физико-химических свойствах материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - различные классы полупроводниковых материалов, используемых в электронике и наноэлектронике. уметь: - использовать физические законы и математические модели для описания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		процессов, происходящих в различных полупроводниковых материалах.
ПК-2 Способен участвовать в проведении исследований материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-3$_{ПК-2}$ Демонстрирует знания о физических и математических моделях явлений и процессов, протекающих в материалах электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - методы определения электрофизических параметров полупроводниковых материалов. уметь: - применять физические законы и математические методы для решения задач теоретического и прикладного характера.
ПК-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-1$_{ПК-3}$ Знает базовые технологические процессы изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	знать: - основные электрические, магнитные и оптические свойства полупроводниковых материалов.
ПК-3 Способен участвовать в проведении технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	ИД-2$_{ПК-3}$ Знает об физико-химических основах 9 технологических процессов изготовления материалов электронной техники, микро- и наноэлектроники	уметь: - оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в полупроводниковых материалах.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Нанотехнология в электронике (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Базируется на уровне среднего общего образования.

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 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ 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	Зонная структура полупроводниковых материалов.	20	4	4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Зонная структура полупроводниковых материалов." ***Проведение исследований:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***Подготовка к лабораторной работе:*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и
1.1	Зонная структура полупроводниковых материалов.	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	

														задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Зонная структура полупроводниковых материалов." материалу. ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Зонная структура полупроводниковых материалов." материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Зонная структура полупроводниковых материалов. и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания:

														Подготовка к практическим занятиям: Изучение материала по разделу "Зонная структура полупроводниковых материалов." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***Проведение эксперимента:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***Самостоятельное изучение теоретического материала:*** Изучение дополнительного материала по разделу "Зонная структура полупроводниковых материалов." ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Зонная структура полупроводниковых материалов.". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Подготовка реферата:*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
2	Статистика носителей заряда в полупроводниках	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Статистика носителей заряда в полупроводниках" ***Проведение исследований:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию.
2.1	Статистика носителей заряда в полупроводниках	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	

														Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u>*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***<u>Подготовка курсового проекта:</u>*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Статистика носителей заряда в полупроводниках" материалу. ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Статистика носителей заряда в полупроводниках" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры

														выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Статистика носителей заряда в полупроводниках и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Статистика носителей заряда в полупроводниках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Статистика носителей заряда в полупроводниках" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Статистика носителей заряда в полупроводниках". Студенты необходимо

														повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Подготовка реферата:*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
3	Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках" ***Проведение исследований:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет
3.1	Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	

														следующих показателей: ***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках" материалу. ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи

														по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***<u>Подготовка реферата:</u>*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
4	Кинетические явления в полупроводниках	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***<u>Подготовка к текущему контролю:</u>*** Повторение материала по разделу

4.1	Кинетические явления в полупроводниках	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	"Кинетические явления в полупроводниках" ***<u>Проведение исследований:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***<u>Подготовка расчетно-графического задания:</u>*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***<u>Подготовка курсового проекта:</u>*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Кинетические явления в полупроводниках" материалу. ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Кинетические явления в полупроводниках"

														материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Кинетические явления в полупроводниках и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Кинетические явления в полупроводниках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Кинетические явления в полупроводниках" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Кинетические явления в

														полупроводниках". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Подготовка реферата:*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
5	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда"
5.1	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Проведение исследований:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и

														графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда" материалу. ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи

														по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***<u>Подготовка реферата:</u>*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
6	Диффузия и дрейф неравновесных	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***<u>Подготовка к текущему контролю:</u>*** Повторение материала по разделу

	носителей заряда													"Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда"
6.1	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда	20		4	-	4	-	-	-	-	-	12	-	***Проведение исследований:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***Подготовка к лабораторной работе:*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда" материалу. ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка домашнего задания:*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе

														"Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда"

														Подготовка расчетных заданий: Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Подготовка реферата:*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
7	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	21		4	-	4	-	1	-	-	-	12	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках"
7.1	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках	21		4	-	4	-	1	-	-	-	12	-	***Проведение исследований:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы

														оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***<u>Подготовка к лабораторной работе:</u>*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках" материалу. ***<u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u>*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***<u>Подготовка домашнего задания:</u>*** Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Контактные и поверхностные явления в

														полупроводниках и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование: ***<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u>*** Изучение дополнительного материала по разделу "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках" ***<u>Подготовка расчетных заданий:</u>*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***<u>Подготовка реферата:</u>*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту

														предлагаются следующие варианты:
8	Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках	20.7		4	-	4	-	1	-	-	-	11.7	-	***Подготовка к текущему контролю:*** Повторение материала по разделу "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках"
8.1	Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках	20.7		4	-	4	-	1	-	-	-	11.7	-	***Проведение исследований:*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующие материалы: ***Подготовка расчетно-графического задания:*** В рамках расчетно-графического задания выполняется чертеж конструкции. Для выполнения чертежей выполняются предварительные расчеты основных показателей, которые указываются на чертеже. Задание выполняется индивидуально по вариантам. В качестве тем задания применяются следующие: ***Подготовка курсового проекта:*** Курсовой проект выполняется по индивидуальному заданию. В рамках работы необходимо рассчитать основные показатели работы оборудования, выбрать оптимальное решение. Курсовой проект предусматривает пояснительную записку с расчетами и графическую часть. В задание входит расчет следующих показателей: ***Подготовка к лабораторной работе:*** Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках" материалу. ***Подготовка к аудиторным занятиям:*** Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы ***Подготовка домашнего задания:***

														Подготовка домашнего задания направлена на отработку умений решения профессиональных задач. Домашнее задание выдается студентам по изученному в разделе "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках" материалу. Дополнительно студенту необходимо изучить литературу и разобрать примеры выполнения подобных заданий. Проверка домашнего задания проводится по представленным письменным работам. ***<u>Подготовка доклада, выступления:</u>*** Задание связано с углубленным изучением разделов дисциплины и самостоятельным поиском материалов для раскрытия темы доклада. Материалы выполненной работы представляются в электронном виде или в форме распечатанных презентационных слайдов. В качестве тем докладов студентам предлагаются следующие варианты: ***<u>Подготовка к контрольной работе:</u>*** Изучение материалов по разделу Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках и подготовка к контрольной работе ***<u>Подготовка курсовой работы:</u>*** Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Пример задания: ***<u>Подготовка к практическим занятиям:</u>*** Изучение материала по разделу "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях ***<u>Проведение эксперимента:</u>*** Работа выполняется по индивидуальному заданию. Для проведения исследования применяется следующее оборудование:

														Самостоятельное изучение теоретического материала: Изучение дополнительного материала по разделу "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках" ***Подготовка расчетных заданий:*** Задания ориентированы на решения минизадач по разделу "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: ***Подготовка реферата:*** В рамках реферативной части студенту необходим провести обзор литературных источников по выбранной теме, комплексно осветить вопрос в соответствии с темой реферата, подготовить презентацию для выступления по результатам работы на семинарском занятии. В качестве тем реферата студенту предлагаются следующие варианты:
	Экзамен	34.3		-	-	-	-	-	-	-	0.8	-	33.5	
	Курсовая работа (КР)	20		-	-	-	16	-	4	-	-	-	-	
	Всего за семестр	**216.0**		**32**	**-**	**32**	**16**	**2**	**4**	**-**	**0.8**	**95.7**	**33.5**	
	Итого за семестр	**216.0**		**32**	**-**	**32**	**18**		**4**		**0.8**	**129.2**		

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПР – 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. Зонная структура полупроводниковых материалов.

1.1. Зонная структура полупроводниковых материалов.

Раздел 1 Зонная структура полупроводниковых материалов 1.Введение Роль полупроводниковых материалов в современной физике и технике. Вещества, относящиеся к полупроводникам. Классификация полупроводниковых материалов. Элементарные полупроводники. Бинарные соединения. Окислы. Слоистые полупроводники. Органические полупроводники. Магнитные полупроводники. Структура полупроводников и типы проводимости. Особенности их кристаллической структуры и характер химических связей различных полупроводниковых материалов. Основные пути развития кремниевой электроники. 2. Квантовая механика и теории полупроводников Уравнение Шредингера для кристалла Адиабатическое приближение и валентная аппроксимация. Молекулярные орбитали и параметры перекрытия. Одноэлектронное приближение. Зонная структура почти свободных электронов. Энергетические зоны почти свободных электронов в кристаллах со структурным типом алмаза. 3. Основы зонной теории полупроводников Энергетические зоны твердого тела. Электроны и дырки. Зонная структура полупроводников. Зонная структура элементов группы IV в приближении сильной связи. Число состояний в разрешенной зоне. Зависимость энергии электронов от волнового вектора у дна и потолка энергетических зон..

2. Статистика носителей заряда в полупроводниках

2.1. Статистика носителей заряда в полупроводниках

Раздел 2. Статистика носителей заряда в полупроводниках 4. Уровень Ферми Плотность квантовых состояний. Функция распределения Ферми-Дирака и Максвелла-Больцмана. Собственный полупроводник. Заполнение энергетических зон. Плотность состояний. Примесный полупроводник.Уровни акцепторов в полупроводниках типа алмаза и цинковой обманки. Уровень Ферми. Зоны Бриллюэна. Параболические зоны. Законы распределения носителей в зонах полупроводника. Невырожденные, вырожденные и примесные полупроводники. Приближение эффективной массы. Водородоподобные, или мелкие доноры. 5. Статистика электронов и дырок в полупроводниках Степень заполнения примесных уровней. Концентрация носителей в собственных и примесных полупроводниках. Зависимость положения уровня Ферми от концентрации примеси и температуры для невырожденного полупроводника Температурная зависимость положения уровня Ферми и концентрации носителей заряда в полупроводнике, легированном одним типом примеси, в компенсированном полупроводнике. Примесные зоны..

3. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках

3.1. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках

Раздел 3. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках 6. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках Кинетическое уравнение Больцмана. Равновесное состояние. Время релаксации. Основные механизмы рассеяния: прямая межзонная, ловушечная, ударная, поверхностная. Эффективное сечение рассеяния. Типы центров рассеяния. Рассеяние на ионах примеси. Рассеяние на атомах примеси и дислокациях. Рекомендация и генерация. Тепловые колебания атомов одномерной решетки. Тепловые колебания атомов трехмерной решетки. Статистика фононов. Рассеяние на тепловых колебаниях решетки. 7. Колебательные свойства атомов в полупроводниках Дисперсионные кривые фононов в полупроводниках. Электрон – фононные взаимодействия.

Взаимодействия электронов с оптическими фононами. Взаимодействие между электронами и коротковолновыми фононами: междолинное электрон-фононное взаимодействие..

4. Кинетические явления в полупроводниках

4.1. Кинетические явления в полупроводниках

Раздел 4. Кинетические явления в полупроводниках 8. Кинетические явления в полупроводниках Уравнение непрерывности. Электропроводность полупроводников в слабых электрических полях. Движение электронов в кристалле под действием внешнего электрического поля. Подвижность носителей. Подвижность носителей в невырожденном электронном газе. Приближение времени релаксации. Удельная проводимость и удельное сопротивление. Электропроводность собственного и примесного полупроводников. Температурная зависимость подвижности и электропроводности при различных механизмах рассеяния носителей заряда. Закон полного тока. Равновесное состояние. Неравновесные носители заряда. 9. Модулированное легирование. Полупроводниковые материалы с почти равными постоянными решеток, но разной шириной запрещенной зоны в контакте друг над другом. Гетеропереходы. Резкий разрыв зон. Образование двумерного (2D) электронного газа. Модулированное легирование. Температурная зависимость подвижности двумерного электронного газа в гетеропереходах с модулированным легированием. 10. Эффект Ганна Отрицательное дифференциальное сопротивление (ОДС) на переменном токе. Структура зоны проводимости GaAs. Зависимость дрейфовой скорости электронов в GaAs от величины электрического поля. Тонкие образцы GaAs n-типа в сильном электрическом поле. Принципы работы генераторов с использованием эффекта ОДС. Применения эффекта Ганна для изготовления микроволновых генераторов. Уравнение Ван-дер-Поля. Туннельный МДП-диод. 11. эффект Холла и другие кинетические явления в полупроводниках Гальваномагнитные явления. Тензор магнитопроводности. Магнетосопротивление. Транспорт в магнитном поле и эффект Холла. Коэффициент Холла в тонких пленках. Элементарная теория гальваномагнитных явлений. Термоэлектрические явления. Эффект Томсона. Эффект Пельтье. Термомагнитные явления. Электропроводность полупроводников в сильных электрических полях..

5. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда

5.1. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда

Раздел 5. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда 12. Генерации и рекомбинация носителей заряда Общие сведения о генерации и рекомбинация носителей. Равновесные и неравновесные носители заряда. Монополярная световая генерация. Максвелловское время релаксации. Виды рекомбинации. Межзонная излучательная рекомбинация. Температурная зависимость времени жизни носителей заряда при рекомбинации через локальные уровни. Межзонная ударная рекомбинация. Рекомбинация на ловушках. Время жизни. Поверхностная рекомбинация..

6. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда

6.1. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда

13. Законы движения носителей заряда Классическая теория электропроводности, ее недостатки. Уравнение непрерывности. Законы движения носителей заряда в полупроводниках. Диффузия носителей под действием градиента концентрации. Дрейфовая скорость. Диффузионный и дрейфовый токи в полупроводнике. Соотношения Эйнштейна. Средняя диффузионная длина. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в случае монополярной проводимости. Движение неосновных носителей заряда. Объемные заряды и

поля в полупроводниках. Диэлектрическая релаксация. Закон действующих масс. Уравнение электронейтральности. Эффект поля. Неоднородные полупроводники. Квазинейтральность. 13. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда Монополярная диффузия. Биполярная диффузия. Эффекта Дембера. Дрейф носителей заряда. Анализ диффузионных процессов в рамках моделей, основанных на уравнениях математической физики. Распределение инжектированных носителей во время переходного процесса. Кинетика носителей заряда в полупроводниках. Комбинированное движение..

7. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках

7.1. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках

14. Контакт «металл-полупроводник» Контактные явления. Контакты: омические, нелинейные и инжектирующие. Требования к омическим контактам: Работа выхода. Энергетическая диаграмма твердое тело – вакуум. Термоэлектронная эмиссия электронов из твердого тела при его нагреве. Отсутствие нелинейности. Энергетическая диаграмма контакта металл – полупроводник. Энергетическая диаграмма возникновения внешней контактной разности потенциалов в состоянии термодинамического равновесия. Энергетическая диаграмма возникновения внутренней контактной разности потенциалов. Выпрямление на контакте металл-полупроводник. Переход Шоттки. Полупроводник во внешнем электрическом поле. 15. Электронно-дырочный переход Формирование p–n – перехода и процессы легирования примесными атомами. Образование p–n – перехода при введении донорной примеси в полупрводник p–типа. Образование p–n – перехода при введении акцепторной примеси в полупрводник n–типа. Контактная разность потенциалов. Диффузионная теория выпрямления. Решение диффузионного уравнения. Вольт-амперная характеристика. Уравнение Пуассона. Уравнения эллиптического типа применительно к анализу p-n переходов. Специальные типы переходов. Переходы между примесными и собственными полупроводниками. p – i – n диод...

8. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках

8.1. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках

Раздел 8. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках 16.Оптические свойства полупроводников Макроскопическая электродинамика. Единицы измерения частот электромагнитных волн. Экспериментальное определение оптических параметров. Соотношения Крамерса-Кронига. Спектр поглощения света. Микроскопическая теория диэлектрической функции. Собственное поглощение света при прямых переходах. Прямой край поглощения. Собственное поглощение света при непрямых переходах Экситонное поглощение света. Поглощение света свободными носителями заряда. Примесное поглощение. Решеточное поглощение и отражение. Спектроскопия рассеяния света. Спонтанное и вынужденное излучение атомов. Спектроскопия излучения. Люминесценция полупроводников. Стимулированное излучение в полупроводниках. Фотоэлектрические явления в полупроводниках. Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости..

3.3. Темы практических занятий

1. практика 8 Контактные явления в полупроводниках. Электрические переходы 2;
2. практика 7 Контактные явления в полупроводниках. Электрические переходы 1;
3. практика 6 Кинетические явления в полупроводниках 2;
4. практика 5 Кинетические явления в полупроводниках 1;
5. практика 4 Статистика носителей заряда в полупроводниках 2;
6. практика 3 Статистика носителей заряда в полупроводниках 1;

7. практика 2 Зонная структура полупроводниковых материалов 2;
8. практика 1 Зонная структура полупроводниковых материалов 1;
9. практика 9 Электронно-дырочный переход 1;
10. практика 10 Электронно-дырочный переход 2;
11. практика 11 Поверхностные явления в полупроводниках 1;
12. практика 12 Поверхностные явления в полупроводниках 2;
13. практика 13 Термоэлектрические и термомагнитные явления, эффект Холла, гальваномагнитные явления 1;
14. практика 14 Термоэлектрические и термомагнитные явления, эффект Холла, гальваномагнитные явления 2;
15. практика 15 Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках 1;
16. практика 16 Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках 2.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

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 раздела "Зонная структура полупроводниковых материалов."
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Статистика носителей заряда в полупроводниках"
3. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках"
4. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Кинетические явления в полупроводниках"
5. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда"
6. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда"
7. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках"
8. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках"

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Зонная структура полупроводниковых материалов."
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Статистика носителей заряда в полупроводниках"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Кинетические явления в полупроводниках"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда"
7. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках"
8. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках"

Индивидуальные консультации по курсовому проету /работе (ИККП)

1. Консультации проводятся по разделу "Зонная структура полупроводниковых материалов."
2. Консультации проводятся по разделу "Статистика носителей заряда в полупроводниках"
3. Консультации проводятся по разделу "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках"
4. Консультации проводятся по разделу "Кинетические явления в полупроводниках"
5. Консультации проводятся по разделу "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда"
6. Консультации проводятся по разделу "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда"
7. Консультации проводятся по разделу "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках"
8. Консультации проводятся по разделу "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках"

Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Зонная структура полупроводниковых материалов."
2. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Статистика носителей заряда в полупроводниках"
3. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках"
4. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Кинетические явления в полупроводниках"
5. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда"
6. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда"

7. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Контактные и поверхностные явления в полупроводниках"
8. Консультации направлены на получение индивидуального задания для выполнения контрольных мероприятий по разделу "Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

4 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Тема 1 Курсовая работа расчет плотности состояний
- Тема 2 Курсовая работа определение глубины залегания р-п перехода
- Тема 3 Курсовая работа уравнения Пуассона в двумерном случае
- Тема 4 Курсовая работа Расчет зонный структуры кремния
- Тема 5 Курсовая работа расчет энергетической структуры в приближении заданного потенциаля
- Тема 6 Курсовая работа Высислить эффективность солнечного элемента
- Тема 7 Курсовая работа Построение ВАХ диода
- Тема 8 Курсовая работа Энергетическая диаграмма диода

График выполнения курсового проекта

Неделя	1 - 4	5 - 8	9 - 12	13 - 15	Зачетная
Раздел курсового проекта	1	2	3	4	Защита курсового проекта
Объем раздела, %	25	25	25	25	-
Выполненный объем нарастающим итогом, %	25	50	75	100	-

Номер раздела	Раздел курсового проекта
1	111
2	222
3	333
4	444

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	
Знать:										
основные положения, законы и методы естественных наук, используемые в области физики полупроводников	ИД-1$_{УК-2}$	+								Тестирование/Тест № 1. Зонная структура полупроводниковых материалов.
наиболее существенные физические процессы, протекающие в полупроводниковых материалах	ИД-1$_{ПК-2}$		+							Проверочная работа/Тест № 2. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках
различные классы полупроводниковых материалов, используемых в электронике и наноэлектронике	ИД-2$_{ПК-2}$			+						Контрольная работа/Тест № 3. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда
методы определения электрофизических параметров полупроводниковых материалов	ИД-3$_{ПК-2}$				+					Контрольная работа/Тест № 4. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках
основные электрические, магнитные и оптические свойства полупроводниковых материалов	ИД-1$_{ПК-3}$					+				Контрольная работа/Контрольная работа № 1. Статистика носителей заряда в полупроводниках
Уметь:										
рассчитывать электрофизические характеристики полупроводниковых материалов	ИД-1$_{УК-2}$						+			Контрольная работа/Контрольная работа № 2. Кинетические явления в полупроводниках.
прогнозировать изменение свойств полупроводниковых материалов при изменении внешних условий или воздействий	ИД-1$_{ПК-2}$							+		Контрольная работа/Контрольная работа № 3. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда
использовать физические законы и математические модели для описания процессов, происходящих в различных полупроводниковых материалах	ИД-2$_{ПК-2}$								+	Контрольная работа/Контрольная работа № 4. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках
применять физические законы и математические	ИД-3$_{ПК-2}$								+	Контрольная работа/Тест № 4.

методы для решения задач теоретического и прикладного характера										Контактные и поверхностные явления в полупроводниках
оценивать пределы применимости классического подхода, роль и важность квантовых эффектов при описании физических процессов в полупроводниковых материалах	ИД-2$_{ПК-3}$								+	Контрольная работа/Тест № 3. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

4 семестр

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Контрольная работа № 3. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа № 1. Статистика носителей заряда в полупроводниках (Контрольная работа)
2. Контрольная работа № 2. Кинетические явления в полупроводниках. (Контрольная работа)
3. Контрольная работа № 4. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках (Контрольная работа)
4. Тест № 1. Зонная структура полупроводниковых материалов. (Тестирование)
5. Тест № 2. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках (Проверочная работа)
6. Тест № 3. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда (Контрольная работа)
7. Тест № 4. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.
Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №4)

стандартные правила

Курсовая работа (КР) (Семестр №4)

стандартные правила оценки екрсового проекта

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Практикум по физике полупроводниковых материалов / Моск. энерг. ин-т (МЭИ) ; ред. К. В. Шалимова . – М. : Энергия, 1969 . – 125 с.;
2. Зеегер, К. Физика полупроводников : пер. с англ. / К. Зеегер ; ред. Ю. К. Пожела . – М. : Мир, 1977 . – 615 с.;
3. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие для вузов по физическим и техническим направлениям и специальностям / А. И. Ансельм . – 4-е изд., стер . – СПб. : Лань-Пресс, 2016 . – 624 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература) . - ISBN 978-5-8114-0762-0 .;

4. Шишкин Г. Г., Агеев И. М.- "Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства", (4-е изд.), Издательство: "Лаборатория знаний", Москва, 2020 - (411 с.) https://e.lanbook.com/book/152031.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
1. СДО "Прометей";
2. Майнд Видеоконференции;
3. Libre Office;
4. GPSS World Student.

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
3. **Научная электронная библиотека** - https://elibrary.ru/

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
	отсутствует	

Приложение А

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Физика полупроводников

(название дисциплины)

4 семестр

Перечень контрольных мероприятий <u>текущего контроля</u> успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Тест № 1. Зонная структура полупроводниковых материалов. (Тестирование)
КМ-2 Тест № 2. Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках (Проверочная работа)
КМ-3 Тест № 3. Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда (Контрольная работа)
КМ-4 Тест № 4. Контактные и поверхностные явления в полупроводниках (Контрольная работа)
КМ-5 Контрольная работа № 1. Статистика носителей заряда в полупроводниках (Контрольная работа)
КМ-6 Контрольная работа № 2. Кинетические явления в полупроводниках. (Контрольная работа)
КМ-7 Контрольная работа № 3. Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда (Контрольная работа)
КМ-8 Контрольная работа № 4. Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках (Контрольная 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	КМ-8
		Неделя КМ:	2	4	6	8	10	12	14	15
1	Зонная структура полупроводниковых материалов.									
1.1	Зонная структура полупроводниковых материалов.		+							
2	Статистика носителей заряда в полупроводниках									
2.1	Статистика носителей заряда в полупроводниках			+						
3	Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках									
3.1	Механизмы рассеяния носителей заряда в полупроводниках				+					
4	Кинетические явления в полупроводниках									
4.1	Кинетические явления в полупроводниках					+				
5	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей									

	заряда								
5.1	Генерация и рекомбинация неравновесных носителей заряда					+			
6	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда								
6.1	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда						+		
7	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках								
7.1	Контактные и поверхностные явления в полупроводниках							+	
8	Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках								
8.1	Оптические и фотоэлектрические явления в полупроводниках			+	+				+
	Вес КМ, %:	10	15	10	15	10	15	10	15

Приложение Б

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Физика полупроводников

(название дисциплины)

4 семестр

Перечень контрольных мероприятий <u>текущего контроля</u> успеваемости по курсовой работе:

КМ-1 111
КМ-2 222
КМ-3 333
КМ-4 444

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

Номер раздела	Раздел курсового проекта/курсовой работы	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	15
1	111		+			
2	222			+		
3	333				+	
4	444					+
		Вес КМ, %:	25	25	25	25