

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
"РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В.Ф. УТКИНА"**

СОГЛАСОВАНО
Зав. выпускающей кафедры

УТВЕРЖДАЮ

Физика полупроводников
рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	Микро- и наноэлектроники
Учебный план	11.03.01_24_00.plx 11.03.01 Радиотехника
Квалификация	бакалавр
Форма обучения	очная
Общая трудоемкость	3 ЗЕТ

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	7 (4.1)		Итого	
Неделя	16			
Вид занятий	УП	РП	УП	РП
Лекции	24	24	24	24
Лабораторные	16	16	16	16
Практические	8	8	8	8
Иная контактная работа	0,35	0,35	0,35	0,35
Консультирование перед экзаменом и практикой	2	2	2	2
Итого ауд.	50,35	50,35	50,35	50,35
Контактная работа	50,35	50,35	50,35	50,35
Сам. работа	22	22	22	22
Часы на контроль	35,65	35,65	35,65	35,65
Итого	108	108	108	108

г. Рязань

Программу составил(и):

д.ф.-м.н., зав. каф., Литвинов Владимир Георгиевич

Рабочая программа дисциплины

Физика полупроводников

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника (приказ Минобрнауки России от 19.09.2017 г. № 931)

составлена на основании учебного плана:

11.03.01 Радиотехника

утвержденного учёным советом вуза от 26.01.2024 протокол № 8.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Микро- и нанoeлектроники

Протокол от 29.05.2024 г. № 9

Срок действия программы: 2024-2028 уч.г.

Зав. кафедрой Литвинов Владимир Георгиевич

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2025-2026 учебном году на заседании кафедры
Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2025 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2026-2027 учебном году на заседании кафедры
Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2026 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2027-2028 учебном году на заседании кафедры
Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2027 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2028-2029 учебном году на заседании кафедры

Микро- и нанoeлектроники

Протокол от ____ 2028 г. № ____

Зав. кафедрой _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1	Цель: изучение основных концепций и понятий, экспериментальных результатов и методов теоретического описания явлений в физике полупроводников как составной части физики конденсированного состояния вещества. Сходство и различие металлов, полупроводников и диэлектриков; знакомство с базовыми электронными и оптическими процессами: собственная и примесная электропроводность полупроводников, колебания решётки и теплоёмкость, процессы переноса, рассеяния, локализации, инжекции, особенности электронных и оптических процессов в неупорядоченных полупроводниках.
-----	--

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:	
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Системы автоматизированного проектирования в микроэлектронике
2.1.2	Технологическая (проектно-технологическая) практика
2.1.3	Устройства ГФС
2.1.4	Датчики на основе микро -и нанотехнологий
2.1.5	Электропреобразовательные устройства
2.1.6	Основы электроники
2.1.7	Авторегиессионное моделирование радиотехнических сигналов
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
2.2.2	Преддипломная практика
2.2.3	Физика микроэлектронных структур

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ПК-1: Способен моделировать, анализировать и верифицировать результаты моделирования разработанных принципиальных схем аналоговых блоков радиофотонных устройств

ПК-1.1. Проводит моделирование аналоговых блоков радиофотонных устройств и сложнофункционального блока средствами автоматизированного проектирования, в том числе статистическими методами

Знать
основы теории моделирования и системы автоматизированного проектирования аналоговых блоков радиофотонных устройств и сложнофункциональных блоков, в том числе статистическими методами.

Уметь
моделировать аналоговые блоки радиофотонных устройств и сложнофункциональных блоков средствами автоматизированного проектирования, в том числе статистическими методами.

Владеть
навыками моделирования аналоговых блоков радиофотонных устройств и сложнофункциональных блоков средствами автоматизированного проектирования, в том числе статистическими методами.

ПК-1.2. Проверяет соответствие результатов моделирования требованиям характеристик аналоговых блоков радиофотонных устройств

Знать
основные параметры и характеристики, модели аналоговых блоков радиофотонных устройств.

Уметь
проводить проверку на соответствие результатов моделирования требованиям характеристик аналоговых блоков радиофотонных устройств.

Владеть
навыками проверки на соответствие результатов моделирования требованиям характеристик аналоговых блоков радиофотонных устройств.

ПК-2: Способен проводить исследование модернизируемых функциональных узлов бортовой аппаратуры космических аппаратов

ПК-2.1. Выполняет расчет электрических режимов компонентной базы бортовой аппаратуры космических аппаратов

Знать основы теории цепей, электрических режимов компонентной базы узлов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов.
Уметь рассчитывать электрические режимы компонентной базы узлов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов.
Владеть навыками выполнения расчетов электрических режимов компонентной базы радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов.

ПК-2.2. Проводит измерения режимов работы элементов бортовой аппаратуры космических аппаратов

Знать теоретические основы методики измерения режимов работы элементов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов.
Уметь проводить измерения режимов работы элементов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов.
Владеть навыками измерения режимов работы элементов бортовой аппаратуры космических аппаратов.

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	основы теории моделирования и системы автоматизированного проектирования аналоговых блоков радиодетонных устройств и сложнофункциональных блоков, в том числе статистическими методами; основные параметры и характеристики, модели аналоговых блоков радиодетонных устройств; основы теории цепей, электрических режимов компонентной базы узлов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов; теоретические основы методики измерения режимов работы элементов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов.
3.2	Уметь:
3.2.1	моделировать аналоговые блоки радиодетонных устройств и сложнофункциональных блоков средствами автоматизированного проектирования, в том числе статистическими методами; проводить проверку на соответствие результатов моделирования требованиям характеристик аналоговых блоков радиодетонных устройств; рассчитывать электрические режимы компонентной базы узлов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов; проводить измерения режимов работы элементов радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов.
3.3	Владеть:
3.3.1	навыками моделирования аналоговых блоков радиодетонных устройств и сложнофункциональных блоков средствами автоматизированного проектирования, в том числе статистическими методами; навыками проверки на соответствие результатов моделирования требованиям характеристик аналоговых блоков радиодетонных устройств; навыками выполнения расчетов электрических режимов компонентной базы радиоэлектронной аппаратуры, бортовой аппаратуры космических аппаратов; навыками измерения режимов работы элементов бортовой аппаратуры космических аппаратов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Форма контроля
	Раздел 1. Введение. Элементарная теория электропроводности полупроводников.					
1.1	Введение. Элементарная теория электропроводности полупроводников. /Тема/	7	0			
1.2	Эмпирические особенности (механические, электронные, оптические) полупроводников. /Лек/	7	1	ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.2-3 ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-3 ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.

1.3	Кристаллические и аморфные полупроводники. Теория Друде. Подвижность, время релаксации, длина свободного пробега. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
1.4	Модельные представления о механизме электропроводности собственных и примесных полупроводников. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
1.5	Проводимость, удельное сопротивление. Температурные зависимости электропроводности металлов и полупроводников. Вычисление времени релаксации, длина свободного пробега, проводимость. /Пр/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
1.6	Введение. Элементарная теория электропроводности полупроводников. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 2. Основы зонной теории. Плотность состояний и равновесное энергетическое распределение носителей заряда в полупроводниках.					
2.1	Основы зонной теории. Плотность состояний и равновесное энергетическое распределение носителей заряда в полупроводниках. /Тема/	7	0			
2.2	Зонная структура полупроводников. Теорема Блоха. Зоны Бриллюэна. Электроны проводимости и дырки. Эффективная масса. Приближение сильно связанных электронов. Закон дисперсии. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.1-В ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.

2.3	Уровни энергии донорных и акцепторных примесей. Плотность электронных и дырочных состояний. Функция распределения Ферми-Дирака. Вырожденные и невырожденные полупроводники. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
2.4	Заселённость примесных состояний. Собственные и примесные полупроводники. Зависимость уровня Ферми от температуры и концентрации примеси. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
2.5	Изучение процесса термического окисления кремния. /Лаб/	7	4	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Отчет по лабораторной работе. Экзамен.
2.6	Блоховские волновые функции. Квазиимпульс, к- пространство. Зона Бриллюэна. Вычисление эффективной массы. Волновые функции в приближении сильно связанных электронов. Связь ширины разрешенной зоны с перекрытием атомных волновых функций. Применение статистики Ферми- Дирака для вычисления концентрации электронов и дырок в зонах для собственных и примесных полупроводников. /Пр/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
2.7	Основы зонной теории. Плотность состояний и равновесное энергетическое распределение носителей заряда в полупроводниках. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 3. Колебания атомов кристаллической решётки.					
3.1	Колебания атомов кристаллической решётки. /Тема/	7	0			

3.2	Акустические и оптические колебания решётки. Фононы. Спектр фононов. Модели Эйнштейна и Дебая. /Лек/	7	2	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
3.3	Распределение Бозе-Эйнштейна. Теплоёмкость кристалла в зависимости от температуры. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
3.4	Закон дисперсии для акустических и оптических колебаний на основе модели одноатомной и двухатомной цепочек. Вычисление температурной зависимости теплоёмкости в зависимости от температуры согласно модели Дебая. Колебания двухатомной линейной цепочки. /Пр/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
3.5	Колебания атомов кристаллической решётки. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 4. Кинетические явления и механизмы рассеяния электронов и дырок.					
4.1	Кинетические явления и механизмы рассеяния электронов и дырок. /Тема/	7	0			
4.2	Решение кинетического уравнения Больцмана в приближении времени релаксации. /Лек/	7	2	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.

4.3	Рассеяние на длинноволновых акустических фонах. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
4.4	Расчет диффузионных структур. /Лаб/	7	4	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Отчет по лабораторной работе. Экзамен.
4.5	Решение кинетического уравнения Больцмана в приближении времени релаксации. Рассеяние на длинноволновых акустических фонах. /Пр/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
4.6	Кинетические явления и механизмы рассеяния электронов и дырок. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчет. Экзамен.
	Раздел 5. Кинетические явления и перенос носителей заряда в полупроводниках.					
5.1	Кинетические явления и перенос носителей заряда в полупроводниках. /Тема/	7	0			
5.2	Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Эффект Холла в полупроводниках. /Лек/	7	2	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.

5.3	Термоэлектрические явления. Теплопроводность. /Лек/	7	1	ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.2-3 ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-3 ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
5.4	Эффект Холла в полупроводниках. Волновые функции локализованных носителей заряда. Сильная и слабая локализация. /Пр/	7	1	ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.2-3 ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-3 ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
5.5	Кинетические явления и перенос носителей заряда в полупроводниках. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.2-3 ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-3 ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 6. Генерация, перенос и рекомбинация неравновесных носителей заряда.					
6.1	Генерация, перенос и рекомбинация неравновесных носителей заряда. /Тема/	7	0			
6.2	Неравновесные носители. Квазиуровень Ферми. Максвелловское время релаксации. Центры рекомбинации. /Лек/	7	1	ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.2-3 ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-3 ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
6.3	Мономолекулярная и бимолекулярная рекомбинация. Механизмы рекомбинации: межзонная, через ловушки. Механизм Ланжевена. Оже-рекомбинация. /Лек/	7	1	ПК-1.1-3 ПК-1.1-У ПК-1.2-3 ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-3 ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-3 ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.

6.4	Диффузия и дрейф неравновесных носителей заряда в полупроводниках. Эффективность фотогенерации. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
6.5	Моделирование технологических режимов процесса диффузии при формировании биполярной транзисторной структуры. /Лаб/	7	4	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Отчет по лабораторной работе. Экзамен.
6.6	Эффективность разделения электронно-дырочной пары. Соотношение Эйнштейна и условия его применимости. Распределение концентрации носителей заряда при наличии мономолекулярной и бимолекулярной рекомбинации. Рекомбинация Ланжевена. Примеры вычисления константы рекомбинации. /Пр/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
6.7	Генерация, перенос и рекомбинация неравновесных носителей заряда. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчет. Экзамен.
	Раздел 7. Неупорядоченные полупроводники. Перенос носителей заряда в материалах с ловушками.					
7.1	Неупорядоченные полупроводники. Перенос носителей заряда в материалах с ловушками. /Тема/	7	0			
7.2	Типы беспорядка. Взаимосвязь структурного и энергетического беспорядка. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.

7.3	Квазинепрерывный спектр локализованных состояний. Локализация Андерсона. Край подвижности. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
7.4	Модель многократного захвата и освобождения носителей. Подвижность и коэффициент диффузии, контролируемые ловушками. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
7.5	Ионная имплантация. /Лаб/	7	4	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.1 Л3.2 Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Отчет по лабораторной работе. Экзамен.
7.6	Подвижность в неупорядоченных высокоомных полупроводниках с квазинепрерывным распределением ловушек, в случае квазиравновесной и неравновесной генерации носителей заряда. Анализ переходного тока в условиях времяпролётного эксперимента. /Пр/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
7.7	Неупорядоченные полупроводники. Пе-ренос носителей заряда в материалах с ловушками. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 8. Прыжковый перенос носителей заряда.					
8.1	Прыжковый перенос носителей заряда. /Тема/	7	0			

8.2	Переходы между локализованными состояниями. Уравнение баланса. Прыжковая проводимость. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
8.3	Однофононные и многофононные переходы. Модели Миллера-Абрахамса и Маркуса. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
8.4	Понятие транспортного уровня. Понятие о теории протекания и её применение к анализу прыжковой проводимости. /Лек/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
8.5	Температурная зависимость транспортного уровня для экспоненциального и гауссова распределения прыжковых центров. Порог протекания и прыжковая проводимость. Зависимость прыжковой проводимости от температуры и концентрации носителей. /Пр/	7	1	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
8.6	Прыжковый перенос носителей заряда. /Ср/	7	2,75	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 9. Промежуточная аттестация.					
9.1	Подготовка к аттестации, иная контактная работа. /Тема/	7	0			

9.2	Подготовка к экзамену. /Экзамен/	7	35,65	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В	Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1 Л2.2Л3.3 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольные вопросы.
9.3	Консультация перед экзаменом. /Кнс/	7	2	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В		
9.4	Приём экзамена. /ИКР/	7	0,35	ПК-1.1-З ПК-1.1-У ПК-1.2-З ПК-1.2-У ПК-1.2-В ПК-2.1-З ПК-2.1-У ПК-2.1-В ПК-2.2-З ПК-2.2-У ПК-2.2-В		Контрольные вопросы.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине "Физика полупроводников"").

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/ название ЭБС
Л1.1	Ушакова Е. В.	Введение в физику твердого тела. Конспект лекций : учебное пособие	Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2015, 100 с.	2227-8397, http://www.iprbookshop.ru/65817.html
Л1.2	Шалимова К.В.	Физика полупроводников : учеб.	СПб.: Лань, 2010, 391с.	978-5-8114-0922-8, 1
Л1.3	Поклонский, Н. А., Вырко, С. А., Поклонская, О. Н.	Физика полупроводниковых систем. Основные понятия	Минск: Белорусская наука, 2023, 312 с.	978-985-08-3053-1, https://www.iprbookshop.ru/135991.html

6.1.2. Дополнительная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.1	Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г.	Физика полупроводников : Учеб.пособие для вузов	М.:Наука, 1990, 688с.	5-02-014032-5
Л2.2	Ансельм А.И.	Введение в теорию полупроводников : Учеб.пособие	СПб.:Лань, 2008, 618с.	978-5-8114-0762-0

6.1.3. Методические разработки

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л3.1	Авачев А.П., Вековищев К.С., Воробьев Ю.В., Воробьева Ю.В.	Физико-химические основы технологических процессов микро- и наноэлектроники. Ч.2 : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2013,	, https://elib.rsreu.ru/ebs/download/608
Л3.2	Авачёв А., Воробьева Ю., Мишустин В., Фомин П.	Физико-химические основы технологических процессов микро- и наноэлектроники. ЧАСТЬ 1 : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2011,	, https://elib.rsreu.ru/ebs/download/1158
Л3.3	Холомина Т.А., Евдокимова Е.Н.	Подготовка студентов к текущему и промежуточному контролю освоения компетенций : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2016,	, https://elib.rsreu.ru/ebs/download/1295

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Сайт кафедры микро- и наноэлектроники РГРТУ: http://www.rsreu.ru/faculties/fe/kafedri/mnel
Э2	Система дистанционного обучения ФГБОУ ВО «РГРТУ», режим доступа по паролю: http://cdo.rsreu.ru/
Э3	Единое окно доступа к образовательным ресурсам: http://window.edu.ru/
Э4	Интернет Университет Информационных Технологий: http://www.intuit.ru/
Э5	Электронно-библиотечная система «IPRbooks» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный, доступ из сети Интернет – по паролю: https://iprbookshop.ru/
Э6	Электронно-библиотечная система издательства «Лань» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: доступ из корпоративной сети РГРТУ – свободный, доступ из сети Интернет – по паролю: https://www.e.lanbook.com/
Э7	Электронная библиотека РГРТУ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: из корпоративной сети РГРТУ – по паролю: http://elib.rsreu.ru/

6.3 Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

6.3.1 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства

Наименование	Описание
Kaspersky Endpoint Security	Коммерческая лицензия
Adobe Acrobat Reader	Свободное ПО
LibreOffice	Свободное ПО
Операционная система Windows XP	Microsoft Imagine, номер подписки 700102019, бессрочно

6.3.2 Перечень информационных справочных систем

6.3.2.1	Система КонсультантПлюс http://www.consultant.ru
---------	---

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	267 учебно-административный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий лекционного и семинарского типа, практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации Специализированная мебель. 80 мест, доска. Мультимедийное оборудование, компьютер.
---	--

2	42 учебно-административный корпус. Учебная лаборатория 24 места, мультимедиа проектор Ben QMP575, доска магнитно-маркерная, 3 компьютера, 3 измерительных прибора NanoEducator, устройство заточки/травления зондов, 2 спектрометра СФ-26, вольтметры В7-21А (3 шт.)
3	46 (46-48) учебно-административный корпус. Региональный центр зондовой микроскопии коллективного пользования (РЦЗМкп) 10 мест, мультимедийное оборудование, маркерная доска, специализированная мебель, компьютер, экран, атомно-силовой микроскоп «Smena-B»; сканирующий зондовый микроскоп «Solver-Pro»; зондовая нанолaborатория «Ntegra Aura»; универсальный автоматизированный спектрометрический комплекс «Ntegra Spectra»; растровый электронный микроскоп «JSM 6410LV»; рентгенофлуоресцентный спектрометр «QUANT-X»; атомно-абсорбционный спектрометр «contrAA 600»; оптический металлографический микроскоп; STM-головка с предусилителем, универсальный автоматизированный спектрометрический комплекс для
4	343 учебно-административный корпус. Учебно-вспомогательная Аудитория для хранения и ремонта оборудования 2 компьютера, принтер, сканер, 5 мест

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания по дисциплине "Физика полупроводников").

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО
ЗАВЕДУЮЩИМ
КАФЕДРЫ

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Литвинов Владимир
Георгиевич, Заведующий кафедрой МНЭЛ

03.09.24 11:56 (MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО
ЗАВЕДУЮЩИМ
ВЫПУСКАЮЩЕЙ
КАФЕДРЫ

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Паршин Юрий
Николаевич, Заведующий кафедрой РТУ

03.09.24 11:59 (MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО
НАЧАЛЬНИКОМ УРОП

ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ, Ерзылёва Анна
Александровна, Начальник УРОП

Подписано

04.09.24 11:09 (MSK)

Простая подпись