

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

Электронные процессы в твердом теле
рабочая программа дисциплины (модуля)

Закреплена за кафедрой	Микро- и наноэлектроники
Учебный план	11.04.04_25_00.plx 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
Квалификация	магистр
Форма обучения	очная
Общая трудоемкость	5 ЗЕТ

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	2 (1.2)		Итого	
Неделя	16			
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	16	16	16	16
Практические	16	16	16	16
Иная контактная работа	0,35	0,35	0,35	0,35
Консультирование перед экзаменом и практикой	2	2	2	2
Итого ауд.	34,35	34,35	34,35	34,35
Контактная работа	34,35	34,35	34,35	34,35
Сам. работа	101	101	101	101
Часы на контроль	44,65	44,65	44,65	44,65
Итого	180	180	180	180

г. Рязань

Программу составил(и):

д.ф.-м.н., проф., Холомина Татьяна Андреевна

Рабочая программа дисциплины

Электронные процессы в твердом теле

разработана в соответствии с ФГОС ВО:

ФГОС ВО - магистратура по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника (приказ Минобрнауки России от 22.09.2017 г. № 959)

составлена на основании учебного плана:

11.04.04 Электроника и нанoeлектроника

утвержденного учёным советом вуза от 28.02.2025 протокол № 8.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры

Микро- и нанoeлектроники

Протокол от 03.06.2025 г. № 8

Срок действия программы: 2025 - 2027 уч.г.

Зав. кафедрой Литвинов Владимир Георгиевич

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 наноэлектроники

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 наноэлектроники

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 наноэлектроники

Протокол от _____ 2028 г. № ____

Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2029-2030 учебном году на заседании кафедры

Микро- и наноэлектроники

Протокол от _____ 2029 г. № ____

Зав. кафедрой _____

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1.1	Целью освоения дисциплины является формирование базовых знаний и умений в области изучения физических процессов в материалах и приборах микро- и нанoeлектроники в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом, формирование у студентов способности к логическому мышлению, анализу и восприятию информации, посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусмотренных ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.
1.2	Задачи:
1.3	- формирование фундаментальных представлений о физической сущности процессов, протекающих в проводниковых, диэлектрических и полупроводниковых материалах при использовании их в приборах микро- и нанoeлектроники;
1.4	- обучение физическим принципам работы ряда электронных устройств;
1.5	- формирование навыков обоснованного выбора теоретических и экспериментальных методов и средств решения сформулированных задач;
1.6	- развитие навыков решения практических заданий на основе изученного теоретического материала;
1.7	- формирование умений обработки и анализа результатов решения теоретических задач;
1.8	- развитие способности предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Цикл (раздел) ОП:	Б1.О
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:
2.1.1	Методы анализа наносистем
2.1.2	Оптико-электронные приборы и системы
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:
2.2.1	Технологическая (проектно-технологическая) практика
2.2.2	Учебная практика
2.2.3	Выполнение и защита выпускной квалификационной работы
2.2.4	Преддипломная практика

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

ОПК-1: Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора

ОПК-1.1. Выявляет естественнонаучную сущность проблем, определяет пути их решения

Знать

Уметь

Владеть

ОПК-1.2. Представляет современную научную картину мира, оценивает эффективность сделанного выбора для решения сущности проблем

Знать

Уметь

Владеть

ОПК-3: Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач

ОПК-3.1. Приобретает и использует новую информацию в своей предметной области

Знать

Уметь

Владеть

ОПК-3.2. Предлагает новые идеи и подходы к решению инженерных задач

Знать
Уметь
Владеть

В результате освоения дисциплины (модуля) обучающийся должен

3.1	Знать:
3.1.1	базовые концепции и модели общей физики, квантовой физики, статистической физики, физики конденсированного состояния.
3.2	Уметь:
3.2.1	применять на практике основные приемы и программные средства решения прикладных задач и представления данных.
3.3	Владеть:
3.3.1	экспериментального исследования параметров и характеристик твердотельных материалов.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Компетенции	Литература	Форма контроля
	Раздел 1. Введение. Основные особенности электронных процессов в твердом теле.					
1.1	Введение. Основные особенности электронных процессов в твердом теле. /Тема/	2	0			
1.2	Введение. Основные особенности электронных процессов в твердом теле. /Лек/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.4 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
1.3	Локализованные электронные состояния в кристалле. Мелкие и глубокие примесные состояния. Примесная зона. Уровни Тамма и поверхностные состояния в реальных кристаллах. /Ср/	2	10		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчет. Экзамен.
	Раздел 2. Электронные процессы в полупроводниковых материалах в условиях термодинамического равновесия.					
2.1	Электронные процессы в полупроводниковых материалах в условиях термодинамического равновесия. /Тема/	2	0			
2.2	Обобщенная функция распределения. Расчет концентрации свободных носителей заряда в невырожденном полупроводнике. Условие электронейтральности. Закон действующих масс. /Лек/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
2.3	Зависимость концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в полупроводниках от температуры. Критерии принадлежности участкам примесной проводимости, истощения примеси и собственной проводимости. /Лек/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
2.4	Расчет вероятностей заполнения разрешенных состояний в твердом теле. концентрации носителей заряда в собственных и примесных полупроводниках. Условие электронейтральности. Закон действующих масс. /Пр/	2	4		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольная работа.

2.5	Расчет концентрации свободных носителей заряда и положения уровня Ферми в полупроводниках при изменении температуры в соответствии с критериями принадлежности участкам примесной проводимости, истощения примеси и собственной проводимости. /Пр/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольная работа.
2.6	Понятие сильного поля. Эффект Френкеля-Пула, туннельный эффект Зинера, лавинное умножение носителей заряда. /Ср/	2	16		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 3. Кинетические явления в твердых телах.					
3.1	Кинетические явления в твердых телах. /Тема/	2	0			
3.2	Кинетические явления в твердых телах. Кинетическое уравнение Больцмана. Электропроводность проводников и полупроводников. Подвижность носителей заряда. /Лек/	2	1		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
3.3	Тепловые колебания кристаллической решетки. Статистика фононов. Теплоемкость твердых тел. Модели Эйнштейна и Дебая –Борна зависимости молярной теплоемкости кристалла от температуры. Ангстремизм колебаний. Теплопроводность электронная и решеточная. Термоэлектрические явления в твердых телах, применение в электронной технике. /Лек/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
3.4	Гальваномагнитные явления, применение в электронной технике. /Лек/	2	1		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
3.5	Электропроводность проводников и полупроводников, зависимость от температуры в соответствии с критериями принадлежности участкам примесной проводимости, истощения примеси и собственной проводимости. /Пр/	2	3		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольная работа.
3.6	Тепловые колебания кристаллической решетки. Теплоемкость твердых тел. Термоэлектрические явления в твердых телах. Гальваномагнитные явления. /Пр/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольная работа.
3.7	Смещения атомов в струне, линейной цепочке и структуре с базисом. Колебательные моды одноатомной решетки. Волновой вектор, фазовая и групповая скорости. Закон дисперсии. Температура Дебая. /Ср/	2	17		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.

3.8	Природа термо-э.д.с. Вывод и применение соотношений Н. Писаренко. /Ср/	2	16		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 4. Неравновесные процессы в твердых телах.					
4.1	Неравновесные процессы в твердых телах. /Тема/	2	0			
4.2	Неравновесные процессы в твердых телах. Характеристики релаксации основных и неосновных неравновесных носителей заряда /Лек/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
4.3	Оптические и фотоэлектрические свойства твердых тел. /Лек/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Экзамен.
4.4	Закономерности и параметры релаксации основных неравновесных носителей заряда. /Пр/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольная работа.
4.5	Закономерности и параметры релаксации неосновных неравновесных носителей заряда. /Пр/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольная работа.
4.6	Расчет оптических и фотоэлектрических характеристик твердых тел. /Пр/	2	1		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Контрольная работа.
4.7	Кинетические явления в квантующих магнитных полях. /Ср/	2	16		Л1.1 Л1.2 Л1.3Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
4.8	Диффузионно-дрейфовые уравнения. Уравнение Эйнштейна. /Ср/	2	16		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4 Э1 Э2 Э3 Э4 Э5 Э6 Э7	Аналитический отчёт. Экзамен.
	Раздел 5. Заключение. Перспективы и тенденции разработки современных материалов и устройств электронной техники.					
5.1	Заключение. Перспективы и тенденции разработки современных материалов и устройств электронной техники. /Тема/	2	0			

5.2	Заключение. Перспективы и тенденции разработки современных материалов и устройств электронной техники. /Лек/	2	2		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4	Экзамен.
5.3	Квазиуровни Ферми, экстракция и инжекция. /Ср/	2	10		Л1.1 Л1.2 Л1.3 Л1.5Л2.1Л3.1 Л3.2 Л3.3 Л3.4	Аналитический отчет. Экзамен.
	Раздел 6. Промежуточная аттестация.					
6.1	Подготовка к аттестации, иная контактная работа. /Тема/	2	0			
6.2	Подготовка к экзамену. /Экзамен/	2	44,65			Контрольные вопросы.
6.3	Консультация перед экзаменом. /Кнс/	2	2			
6.4	Приём экзамена. /ИКР/	2	0,35			Контрольные вопросы.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Оценочные материалы приведены в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Оценочные материалы по дисциплине "Электронные процессы в твердом теле"").

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	Анфимов И. М., Кобелева С. П., Коновалов М. П., Осипов Ю. В., Орлова М. Н., Спицына Л. Г.	Физика твердого тела : сборник задач	Москва: Издательский Дом МИСиС, 2011, 70 с.	978-5-87623- 426-1, http://www.iprbookshop.ru/56591.html
Л1.2	Марков В. Ф., Мухамедзянов Х. Н., Маскаева Л. Н., Маркова В. Ф.	Материалы современной электроники : учебное пособие	Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014, 272 с.	978-5-7996- 1186-6, http://www.iprbookshop.ru/69626.html
Л1.3	Разумовская И. В.	Физика твердого тела. Часть 2. Динамика кристаллической решетки. Тепловые свойства решетки	Москва: Прометей, 2011, 64 с.	978-5-4263- 0032-3, http://www.iprbookshop.ru/9611.html
Л1.4	Епифанов Г. И.	Физика твердого тела	Санкт-Петербург: Лань, 2022, 288 с.	978-5-8114- 1001-9, https://e.lanbook.com/book/210671
Л1.5	Холомина Т. А.	Электронные процессы в твердом теле : учебное пособие для вузов	Москва: Горячая линия-Телеком, 2021, 110 с.	978-5-9912- 0764-5, https://e.lanbook.com/book/402356

6.1.2. Дополнительная литература

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
---	---------------------	----------	-------------------	-------------------------

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л2.1	Павлов П.В., Хохлов А.Ф.	Физика твердого тела : Учеб. для вузов	М.: Высш. шк., 2000, 494с.	5-06-003770-3, 1

6.1.3. Методические разработки

№	Авторы, составители	Заглавие	Издательство, год	Количество/название ЭБС
Л3.1	Холомина Т.А.	Физика твердого тела : Методические указания	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2006,	, https://elib.rsreu.ru/ebs/download/1294
Л3.2	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
Л3.3	Холомина Т.А.	Электронные процессы в твердом теле : Учебное пособие	Рязань: РИЦ РГРТУ, 2017,	, https://elib.rsreu.ru/ebs/download/1302
Л3.4	Холомина Т.А.	Электронные процессы в твердом теле : учеб. пособие	Рязань, 2017, 68с.	, 1

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет"

Э1	Сайт кафедры микро- и нанoeлектроники РГРТУ: http://www.rsreu.ru/faculties/fe/kafedri/mnel
Э2	Система дистанционного обучения ФГБОУ ВО «РГРТУ», режим доступа: 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://www.e.lanbook.com
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
Операционная система Windows XP	Microsoft Imagine, номер подписки 700102019, бессрочно
Операционная система MS DOS	Бессрочно. Корпоративная лицензия Microsoft Imagine Membership ID 700565239
Kaspersky Endpoint Security	Коммерческая лицензия
LibreOffice	Свободное ПО
Adobe Acrobat Reader	Свободное ПО
LabVIEW	Коммерческая лицензия

6.3.2 Перечень информационных справочных систем

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

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

1	501 лабораторный корпус. Учебная аудитория для проведения учебных занятий Специализированная мебель (37 посадочных мест) ПК: Intel Celeron CPVJ1800 – 25 шт. Возможность подключения к сети Интернет и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду РГРТУ
2	343 учебно-административный корпус. Учебно-вспомогательная Аудитория для хранения и ремонта оборудования 2 компьютера, принтер, сканер, 5 мест
3	106а учебно-административный корпус. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного и семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации 42 мест проектор BENQ 15 ПК с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду: ЦП: 2x Intel Pentium II/III class 2126, ОЗУ: 2 Гб, ПЗУ: 74 Гб (1 шт) ЦП: Intel Pentium II/III class 3192, ОЗУ: 4 Гб, ПЗУ: 200 Гб (13 шт.) ЦП: Intel Pentium II/III class 2128, ОЗУ: 2 Гб ПЗУ: 74 Гб (1 шт.)

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

Методическое обеспечение дисциплины приведено в приложении к рабочей программе дисциплины (см. документ "Методические указания по дисциплине "Электронные процессы в твердом теле").

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО
ЗАВЕДУЮЩИМ
КАФЕДРЫ

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

01.07.25 17:48 (MSK)

Простая подпись

ПОДПИСАНО
ЗАВЕДУЮЩИМ
ВЫПУСКАЮЩЕЙ
КАФЕДРЫ

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

01.07.25 17:48 (MSK)

Простая подпись