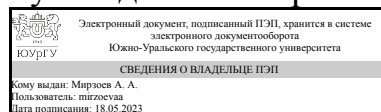


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель направления



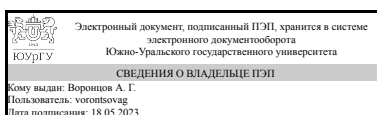
А. А. Мирзоев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.О.08 Радиационные технологии в электронике  
**для направления** 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника  
**уровень** Магистратура  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Физика наноразмерных систем

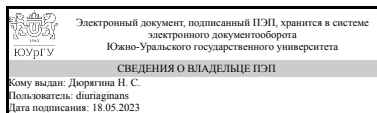
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.04.04 Электроника и нанoeлектроника, утверждённым приказом Минобрнауки от 22.09.2017 № 959

Зав.кафедрой разработчика,  
д.физ.-мат.н., доц.



А. Г. Воронцов

Разработчик программы,  
к.физ.-мат.н., доцент



Н. С. Дюрягина

## 1. Цели и задачи дисциплины

Формирование у студентов комплекса профессиональных знаний и умений, а также усвоение физических процессов воздействия радиации на материалы электронной техники, электронные приборы и микросхемы. По окончании освоения дисциплины обучающийся должен знать физическую природу процессов дефектообразования и легирования полупроводниковых материалов, используемых в электронной технике и интегральных микросхемах; пути реализации радиационной стойкости материалов для оптоэлектронных устройств; уметь теоретически исследовать процессы радиационных повреждений облученных полупроводниковых структур и интегральных микросхем; владеть навыками расчета радиационного воздействия и характеристик и радиационной стойкости материалов, электронных приборов и интегральных микросхем.

## Краткое содержание дисциплины

Данный курс является теоретическим курсом, в котором излагаются основы взаимодействия ионизирующего излучения с веществом; объясняются процессы образования, диффузии и отжига дефектов, а также радиационного легирования; рассматриваются радиационные свойства материалов, оптоэлектронных приборов и интегральных микросхем, а также пути реализации их радиационной стойкости и методы детектирования радиации.

## 2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ОПК-1 Способен представлять современную научную картину мира, выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора	Знает: Основные понятия и законы в области радиационных технологий; принципы построения радиационно-стойких интегральных схем Умеет: Определять радиационную стойкость интегральных схем

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.04 Актуальные проблемы современной электроники и наноэлектроники, 1.О.03 История и методология науки в области электроники	ФД.02 Введение в квантовые вычисления

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

Дисциплина	Требования
1.О.03 История и методология науки в области электроники	Знает: этапы развития электроники, физические и технологические основы современной

	электроники Умеет: Имеет практический опыт:
1.О.04 Актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники	Знает: актуальные проблемы современной электроники и нанoeлектроники Умеет: выявлять естественнонаучную сущность проблем, определять пути их решения и оценивать эффективность сделанного выбора Имеет практический опыт: поиска эффективного решения проблем

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 56,5 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		2
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48
Лекции (Л)	16	16
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	32	32
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	51,5	51,5
Подготовка к экзамену	30	30
Подготовка к семинарам	14	14
Выполнение домашнего задания	7,5	7,5
Консультации и промежуточная аттестация	8,5	8,5
Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен)	-	экзамен

#### 5. Содержание дисциплины

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Взаимодействие ионизирующего излучения с твердым телом	18	6	12	0
2	Радиационные дефекты	4	2	2	0
3	Радиационное легирование	2	0	2	0
4	Детектирование излучения	4	2	2	0
5	Свойства облученных полупроводников	10	2	8	0
6	Радиационная физика полупроводниковых приборов	10	4	6	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Вводная лекция. Виды ионизирующего излучения и радиационных	2

		повреждений. Характеристики взаимодействия ионизирующего излучения с веществом	
2	1	Облучение тяжелыми заряженными частицами и электронами. Ионизационные и радиационные потери энергии налетающей частицы. Линейный и экстраполированный свободные пробег.	2
3	1	Облучение нейтронами и гамма-квантами.	2
4	2	Виды дефектов. Образование дефектов, их диффузия и отжиг.	2
5	4	Свойства облученных полупроводников и диэлектриков. Механические, электромагнитные и химические свойства облученных материалов. Индуцированная проводимость. Эффекты заряжения.	2
6	5	Механизмы радиационных изменений в р-п переходах и биполярных транзисторах	2
7	6	Механизмы радиационных изменений в полевых транзисторах и интегральных микросхемах.	2
8	6	Радиационная стойкость полупроводниковых приборов и наноструктур	2

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Семинар 1. Источники ионизирующего излучения	2
2, 3	1	Практическое занятие 1. Взаимодействие тяжелых частиц с твердым телом	4
4, 5	1	Практическое занятие 2. Взаимодействие электронов с твердым телом	4
6	1	Практическое занятие 3. Взаимодействие гамма-квантов и рентгеновского излучения с твердым телом	2
7	2	Семинар 2. Радиационные дефекты	2
8	3	Семинар 3. Радиационное легирование материалов	2
9	4	Практическое занятие 4. Основы дозиметрии	2
10-12	5	Практическое занятие 5. Свойства облученных полупроводников.	6
13	5	Контрольная работа	2
14-16	6	Семинар 5-7. Взаимодействие ИИ с полупроводниковыми приборами	6

## 5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

## 5.4. Самостоятельная работа студента

Выполнение СРС			
Подвид СРС	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс	Семестр	Кол-во часов
Подготовка к экзамену	Яловец А.П. Радиационная физика твердого тела: Гл. 1: п-й. 1.1-1.5; Гл.2, п-ф. 2.3-2.4); Гл. 4, п-ф. 4.1-4.6); Аброян, И. А. Физические основы электронной и ионной технологии Учеб. пособие для специальностей электрон. техники вузов: Гл. 1, п-ф. 1.1-1.2; Гл. 2 п-ф. 2.1-2.3; Гл. 3, п-ф. 3.1-3.3; Гл. 4, п-ф. 4.1-4.8; Гл.5, п-ф. 5.1-5.5; Гл. 7, п-ф. 7.1-7.3. Белоус, А. И.	2	30

	Космическая электроника [Текст] Кн. 1 в 2 кн.: Гл.7, п-ф. 7.1-7.11; Гл.8, п-ф. 8.1-8.4. Белоус, А. И. Космическая электроника [Текст] Кн. 2 в 2 кн.: Гл. 9, п-ф.9.1-9.4; Гл.12, п-ф. 12.1-6; Гл. 13, п-ф.13.1-6; Гл. 14, п-ф. 14.1-3; Гл.15, п-ф. 15.13.		
Подготовка к семинарам	Белоус, А. И. Космическая электроника [Текст] Кн. 1 в 2 кн. А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов. - М.: Техносфера, 2015: стр. 1-696. Белоус, А. И. Космическая электроника [Текст] Кн. 2 в 2 кн. А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов. - М.: Техносфера, 2015: стр. 697-1183. Таперо К.И., Диденко С.И. Основы радиационной стойкости изделий электронной техники: учебно-методическое пособие. Издательство "МИСИС", 2013: стр.1-349. Таперо, К. И. Основы радиационной стойкости изделий электронной техники : Радиационные эффекты в изделиях электронной техники [Текст] учеб. пособие для вузов по направлению 210100 "Электроника и наноэлектроника" К. И. Таперо, С. И. Диденко ; МИСиС (нац. исслед. технол. ун-т), Каф. полупроводниковой электроники и физики полупроводников. - М.: Издательский Дом МИСиС, 2013: стр.- 1-348. Лебедев, А. И. Физика полупроводниковых приборов [Текст] учеб. пособие для вузов по специальностям 010701 - Физика и др. А. И. Лебедев. - М.: Физматлит, 2008: стр. 1-487. Кулаков, В. М. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники Ред. Е. А. Ладыгина. - М.: Советское радио, 1980: стр. 1-224. Ахиезер, И. А. Введение в теоретическую радиационную физику металлов и сплавов. - Киев: Наукова думка, 1985: стр. 1-142.	2	14
Выполнение домашнего задания	Яловец А.П. Радиационная физика твердого тела: Гл. 1: п-й. 1.1-1.5; Гл.2, п-ф. 2.3-2.4); Гл. 4, п-ф. 4.1-4.6). Аброян, И. А. Физические основы электронной и ионной технологии Учеб. пособие для специальностей электрон. техники вузов: Гл. 1, п-ф. 1.1-1.2; Гл. 2 п-ф. 2.1-2.3; Гл. 3, п-ф. 3.1-3.3; Гл. 4, п-ф. 4.1-4.8; Гл.5, п-ф. 5.1-5.5; Гл. 7, п-ф. 7.1-7.3.	2	7,5

## 6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

### 6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

№ КМ	Се-местр	Вид контроля	Название контрольного мероприятия	Вес	Макс. балл	Порядок начисления баллов	Учитывается в ПА
1	2	Текущий контроль	КМ1. Выступление на семинаре 1	15	5	Студент получает 5 баллов, - полностью раскрыл тему доклада; - продемонстрировал уверенное владение понятийным аппаратом и способность анализировать и делать обобщающие выводы; для подготовки использовал современную литературу; исчерпывающе ответил на все вопросы; студент получает 4 балла, если: - почти полностью раскрыл тему доклада; - уверенно владеет понятийным аппаратом и способностью анализировать и делать обобщающие выводы; - ответил почти на все вопросы или на все но недостаточно исчерпывающе; студент получает 3 балла, не полностью раскрыл тему доклада, продемонстрировал недостаточное владение понятийным аппаратом; студент получает 2 балла, если поверхностно раскрыл тему доклада или продемонстрировал поверхностное знание понятийного аппарата; студент получает 1 балл, если предоставил текст доклада, но не выступал; студент получает 0 баллов, если студент не сделал доклад или подготовил доклад не по теме.	экзамен
2	2	Текущий контроль	КМ2. Контрольная работа	10	10	Максимальный балл за контрольную работу 10. Состоит из 4 теоретических вопросов, каждый по 1-2 балла. 1 практическая задача 4 балла. Задача решена полностью – 4 балла; задача решена с небольшим допущением - 3 балла; задача не решена, но казаны необходимые формулы для ее решения – 2 балла; задача не решена, указанных формул не достаточно для решения задачи – 1 балл; задачу не пытались решать, или указанные формулы не верны - 0 баллов	экзамен
3	2	Текущий контроль	КМ3. Выступление на семинаре 2	15	5	Студент получает 5 баллов, - полностью раскрыл тему доклада; - продемонстрировал уверенное владение понятийным аппаратом и способность	экзамен

						анализировать и делать обобщающие выводы; для подготовки использовал современную литературу; исчерпывающе ответил на все вопросы; студент получает 4 балла, если: - почти полностью раскрыл тему доклада; - уверенно владеет понятийным аппаратом и способностью анализировать и делать обобщающие выводы; - ответил почти на все вопросы или на все но недостаточно исчерпывающе; студент получает 3 балла, не полностью раскрыл тему доклада, продемонстрировал недостаточное владение понятийным аппаратом; студент получает 2 балла, если поверхностно раскрыл тему доклада или продемонстрировал поверхностное знание понятийного аппарата; студент получает 1 балл, если предоставил текст доклада, но не выступал; студент получает 0 баллов, если студент не сделал доклад или подготовил доклад не по теме.	
4	2	Текущий контроль	КМ4. Активность на семинарах	10	4	Активность на семинарах оценивается преподавателем в конце семестра по результатам всех семинаров. Максимально возможный балл 5. Студент получает 5 баллов - если принимал активное участие на как минимум 4 из 6 семинаров и пропустил не больше 2 семинаров. Студент получает 4 балла, если пропустил не больше 2 семинаров и принимал активное участие на 2 из 6 семинарах. Студент получает 3 балла, если пропусти не больше 4 семинаров и принимал активное участие на 2 из 6 семинаров. Студент получает 2 балла, если присутствовал на 2 семинарах и принимал на них активное участие. Студент получает 1 балл, если пропустил не больше 3х семинаров.	экзамен
5	2	Текущий контроль	КМ5. Выполнение домашних заданий	10	10	Домашнее задание заключается в решении типовых задач по темам практических занятий. Максимальная оценка за одно домашнее задание - 2 балла. 0 - не выполнено, 1 - выполнено не полностью, 2 - выполнено. Всего домашних заданий 5. Максимальный балл за все домашние задания 10.	экзамен
6	2	Промежуточная аттестация	КМ6. Промежуточная аттестация	-	30	Экзаменационный билет состоит из двух теоретических вопросов по 10 баллов каждый и одной задачи на 10 баллов. Максимальный балл за экзамен 30 баллов.	экзамен

					<p>За теоретический вопрос студент получает от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты ответа, где: 10 баллов - вопрос раскрыт полностью; 5 баллов – вопрос не раскрыт, но студент знает основные формулы и терминологию; 0 баллов – студент не знает терминологию.</p> <p>За задачу студент может получить от 0 до 10 баллов в зависимости от полноты решения, где: 10 баллов - задача решена; 9-6 задача решена с ошибками (каждая небольшая ошибка по невнимательности - минус 1 балл, каждая грубая ошибка - минус 2 балла); 5 баллов - задача не решена, но указаны все формулы, необходимые для ее решения; 4-1 балла – задача не решена, указанных формул не достаточно для решения задачи; 0 баллов – студент не пытался решить задачу, предложенные формулы для решения не верны.</p>	
7	2	Бонус	КМ7. Баллы за особые достижения	- 15	<p>Студент может получить дополнительные баллы за активную работу в семестре.</p> <p>Максимальное количество бонусных баллов – 15.</p> <p>До 15 баллов - за дополнительное выступление на семинаре.</p> <p>Также от 0 до 5 бонусных баллов преподаватель может добавить студенту на свое усмотрение, если студент пропустил в семестре не больше 4 занятий, хорошо проявил себя на практических занятиях и семинарах, и ему до желаемой оценки не хватает меньше 5 баллов.</p>	экзамен

## 6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

Вид промежуточной аттестации	Процедура проведения	Критерии оценивания
экзамен	<p>На экзамене оценивается учебная деятельность студента по дисциплине на основе полученных в течение семестра баллов за контрольно-рейтинговые мероприятия текущего контроля.</p> <p>Студент может улучшить свой рейтинг, пройдя контрольно-рейтинговое мероприятие "промежуточная аттестация".</p> <p>Промежуточная аттестация проводится по расписанию сессии в виде письменного экзамена. Экзаменационный билет состоит из 3 заданий, 2 теоретических вопроса и 1 задач. Также преподаватель может провести устный опрос по дисциплине с целью определения степени освоения студентом материала дисциплины.</p>	<p>В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения</p>



### 6.3. Паспорт фонда оценочных средств

Компетенции	Результаты обучения	№ КМ						
		1	2	3	4	5	6	7
ОПК-1	Знает: Основные понятия и законы в области радиационных технологий; принципы построения радиационно-стойких интегральных схем	+		+	+		+	+
ОПК-1	Умеет: Определять радиационную стойкость интегральных схем	+		+	+		+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

### 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

#### Печатная учебно-методическая документация

##### а) основная литература:

1. Белоус, А. И. Космическая электроника [Текст] Кн. 1 в 2 кн. А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов. - М.: Техносфера, 2015. - 1-696 с. (продолж. паг.) ил.
2. Белоус, А. И. Космическая электроника [Текст] Кн. 2 в 2 кн. А. И. Белоус, В. А. Солодуха, С. В. Шведов. - М.: Техносфера, 2015. - 697-1183 с. (продолж. паг.) ил.

##### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

##### в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:

Не предусмотрены

##### г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. А.П. Яловец. Радиационная физика твердого тела: Тексты лекций/А.П. Яловец. Федеральное агенство по образованию Российской Федерации Южно-Уральский государственный университет. - Челябинск, 2006. - 52 с. 2006.

##### из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. А.П. Яловец. Радиационная физика твердого тела: Тексты лекций/А.П. Яловец. Федеральное агенство по образованию Российской Федерации Южно-Уральский государственный университет. - Челябинск, 2006. - 52 с. 2006.

#### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Таперо К.И., Диденко С.И. Основы радиационной стойкости изделий электронной техники: учебно-методическое пособие. Издательство "МИСИС", 2013. - 349с <a href="https://e.lanbook.com/book/116833">https://e.lanbook.com/book/116833</a>

2	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Алексеев И.И. Ионизирующие излучения космического пространства и их воздействие на бортовую аппаратуру космических аппаратов / Под ред. докт. техн. наук, проф. Г.Г. Райкунова — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2013 — 256 с. — ISBN 978-5-921-1456-1 <a href="https://e.lanbook.com/book/91181">https://e.lanbook.com/book/91181</a>
3	Дополнительная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Таперо К.И. Расчет частоты и вероятности возникновения одиночных сбоев в БИС: Метод. указ. к выполнению курсовых работ по дисциплине "Основы радиационной стойкости изделий электронной техники космического применения / К.И. Таперо — Москва: МИСиС, 2006 — 39 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/116697">https://e.lanbook.com/book/116697</a>
4	Основная литература	Электронно-библиотечная система издательства Лань	Бондаренко, Г. Г. Радиационная физика, структура и прочность твердых тел : учебное пособие / Г. Г. Бондаренко. — 2-е изд. — Москва : Лаборатория знаний, 2020. — 465 с. — ISBN 978-5-00101-912-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <a href="https://e.lanbook.com/book/151492">https://e.lanbook.com/book/151492</a> (дата обращения: 14.11.2021). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

Перечень используемого программного обеспечения:

Нет

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Вид занятий	№ ауд.	Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий
Экзамен	305 (16)	Компьютер
Практические занятия и семинары	305 (16)	Компьютер, проектор
Лекции	305 (16)	компьютер, проектор