

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

Рабочая программа дисциплины

Радиационная стойкость полупроводниковых приборов

Уровень высшего образования

Магистратура

Направление подготовки / специальность

03.04.03 - Радиофизика

Направленность образовательной программы

Физическая электроника

Форма обучения

очная

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.05.01 Радиационная стойкость полупроводниковых приборов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области радиофизики, микро- и нанoeлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности	ПК-1.1: Применяет принципы сбора и анализа информации, рассматривает и оценивает современные научные достижения, а также генерирует новые идеи при решении исследовательских и практических задач ПК-1.2: Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников, в том числе с использованием современных информационных и коммуникационных технологий	ПК-1.1: Знать принципы сбора и анализа информации о радиационной стойкости полупроводниковых приборов. Уметь оценивать современные научные достижения в области повышения радиационной стойкости полупроводниковых приборов. Владеть знаниями об основных радиационных эффектах в полупроводниковых приборах. ПК-1.2: Знать особенности проведения радиационных испытаний и обработки данных измерений радиационного отклика полупроводниковых приборов. Уметь применять полученные знания для решения стандартных задач по расчету радиационной стойкости полупроводниковых приборов. Владеть знаниями о характере смещения атомов под различным действием радиационного воздействия.	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен выполнять	ПК-2.1: Анализирует современное состояние	ПК-2.1: Знать современное состояние	Собеседование	

<p>теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области радиофизики, микро- и наноэлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты</p>	<p>исследований в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов</p> <p>ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи</p> <p>ПК-2.3: Участвует в планировании, подготовке и проведении НИР</p> <p>ПК-2.4: Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и наноэлектроники, мощной электроники</p>	<p>исследований в области радиационной физики полупроводниковых приборов.</p> <p>Уметь анализировать литературу в области радиационной физики полупроводниковых приборов.</p> <p>Владеть навыком моделирования радиационных эффектов в полупроводниковых приборах.</p> <p>ПК-2.2:</p> <p>Знать такие понятия, как горизонтальная конфигурация, вертикальный размер и слоистые структуры.</p> <p>Уметь выделять технологические и физические ограничения миниатюризации транзисторов при радиационном воздействии.</p> <p>Владеть навыком оценки горизонтальных и вертикальных размеров в различных полупроводниковых приборах.</p> <p>ПК-2.3:</p> <p>Знать основные этапы проведения научно-исследовательской работы.</p> <p>Уметь оформлять результаты исследований в форме протоколов и научно-технических отчетов.</p> <p>Владеть навыком планирования, подготовки и проведения научно-исследовательских работ в области повышения радиационной стойкости полупроводниковых приборов.</p> <p>ПК-2.4:</p> <p>Знать такие понятия, как горизонтальная конфигурация, вертикальный размер и слоистые структуры.</p> <p>Уметь выделять технологические и физические ограничения миниатюризации транзисторов при</p>		<p>Экзамен:</p> <p>Контрольные вопросы</p>
--	--	---	--	--

		радиационном воздействии. Владеть навыком оценки горизонтальных и вертикальных размеров в различных полупроводниковых приборах.		
ПК-3: Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок	<p>ПК-3.1: Использует знание нормативных документов для составления заявок, грантов, проектов НИР, применяет заданные требования и правила при оформлении рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях</p> <p>ПК-3.2: Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу</p> <p>ПК-3.3: Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика</p>	<p>ПК-3.1: Знать основные нормативные документы для составления заявок, грантов, проектов НИР. Уметь оформлять рукописи публикаций в рецензируемых научных изданиях. Владеть навыками оформления заявок, грантов, проектов НИР, рукописей к публикации в рецензируемых научных изданиях.</p> <p>ПК-3.2: Знать основные методы представления результатов исследований. Уметь оформлять результаты исследований. Владеть навыками представления результатов исследований.</p> <p>ПК-3.3: Знать основные виды документов конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ. Уметь оформлять конкурсные заявки на выполнение научно-исследовательских и проектных работ. Владеть навыками оформления конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ.</p>	Собеседование	Экзамен: Контрольные вопросы

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
--	-------

Общая трудоемкость, з.е.	3
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
самостоятельная работа	29
Промежуточная аттестация	45
	Экзамен

3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабора- торные работы), часы	Всего	
	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о	о ф о
Радиационная среда и ее основные характеристики	15	8	0	8	7
Взаимодействие частиц и излучений с веществом	15	8	0	8	7
Действие проникающих излучений на полупроводниковые приборы	15	8	0	8	7
Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений	16	8	0	8	8
Аттестация	45				
КСР	2			2	
Итого	108	32	0	34	29

Содержание разделов и тем дисциплины

1. Радиационная среда и ее основные характеристики: Источники проникающих излучений.
2. Радиационная среда и ее основные характеристики: Трансформация излучений
3. Взаимодействие частиц и излучений с веществом: Взаимодействие нейтронов с веществом.
4. Взаимодействие частиц и излучений с веществом: Взаимодействие тяжелых заряженных частиц с веществом.
5. Взаимодействие частиц и излучений с веществом: Взаимодействие гамма-квантов с веществом.
6. Взаимодействие частиц и излучений с веществом: Взаимодействие легких заряженных частиц с веществом.
7. Действие проникающих излучений на полупроводниковые приборы: Основные группы радиационных эффектов.

8. Действие проникающих излучений на полупроводниковые приборы: Эффекты смещения. Точечные радиационные дефекты и кластеры радиационных дефектов.
9. Действие проникающих излучений на полупроводниковые приборы: Ионизационные и термомеханические эффекты. Влияние границы раздела на пространственное распределение поглощенной дозы излучения.
10. Действие проникающих излучений на полупроводниковые приборы: Эффекты накопления заряда в диэлектрических слоях.
11. Действие проникающих излучений на полупроводниковые приборы: Эффекты одиночных сбоев и отказов.
12. Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений: Физико-топологическое моделирование и метод эквивалентной схемы.
13. Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений: Метод Монте-Карло.
14. Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений: Диффузионно-дрейфовая модель.
15. Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений: Квазигидродинамическая модель.
16. Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений: Эквивалентная схема диода.
17. Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений: Эквивалентная схема биполярного транзистора.
18. Расчетная оценка реакции полупроводниковых приборов на воздействие проникающих излучений: Эквивалентная схема полевого транзистора.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Е.В. Волкова, С.В. Оболенский, А.С. Пузанов Применение параллельных вычислений в задачах моделирования транспорта электронов в полупроводниках в условиях радиационного воздействия: Учебное пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. - 81 с.

С.В. Оболенский, А.С. Пузанов, Е.А. Тарасова Основы теории взаимодействия ионизирующего излучения с веществом: Учебно-методическое пособие. - Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2023. - 36 с.

5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:

5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:

Какие виды излучений характерны для ядерного взрыва?

Какие виды излучений характерны для ядерных энергетических установок?

Какие виды излучений характерны для космического пространства?

5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Как зависит средняя энергия радиационно-генерированной электронно-дырочной пары от ширины запрещенной зоны полупроводника?

Как зависит средняя энергия образования пары Френкеля от периода кристаллической решетки и температуры Дебая?

В чем основное отличие прохождения высокоэнергетичных протонов от более тяжелых элементов в веществе?

5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-3:

Как учитывается влияние радиации в модели полупроводникового диода?

Как учитывается влияние радиации в модели биполярного транзистора?

Как учитывается влияние радиации в модели полевого транзистора?

Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне «зачтено».
не зачтено	Хотя бы одна из компетенций (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформирована на уровне «не зачтено».

5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой

	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
не зачтено	неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

В чем заключаются основные особенности взаимодействия нейтронов с веществом?

В чем заключаются основные особенности взаимодействия гамма-излучения с веществом?

В чем заключаются основные особенности взаимодействия легких заряженных частиц с веществом?

В чем заключаются основные особенности взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом?

5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2

Как проявляются ионизационные эффекты в полупроводниковых приборах?

Как проявляются эффекты накопления заряда в полупроводниковых приборах?

Как проявляются эффекты смещения в полупроводниковых приборах?

Как проявляются одиночные радиационные эффекты в полупроводниковых приборах?

5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-3

Как учитываются радиационные эффекты в методе эквивалентной схемы?

Как учитываются радиационные эффекты в методе Монте-Карло?

Как учитываются радиационные эффекты в квазигидродинамической модели?

Как учитываются радиационные эффекты в диффузионно-дрейфовой модели?

Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне, выше предусмотренного программой.
отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично».
очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо».
хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо».
удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно».
неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо».
плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо».

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Коршунов Федор Павлович. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах / АН БССР, Ин-т физики твердого тела и полупроводников. - Минск : Наука и техника, 1978. - 231 с. : ил. - 1.80., 2 экз.
2. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники. - М. : Советское радио, 1980. - 224 с. : ил. - 1.20., 2 экз.
3. Мырова Людмила Ошеровна. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1988. - 295, [1] с. : ил. - 1.40., 1 экз.

Дополнительная литература:

1. Машкович Вадим Павлович. Защита от ионизирующих излучений : справочник. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Энергоатомиздат, 1982. - 296 с. : ил. - 1.90., 1 экз.
2. Сивухин Дмитрий Васильевич. Общий курс физики : учеб. пособие для студентов физ. специальностей вузов : [в 5 т.]. Т. 5. Атомная и ядерная физика. - Изд. 3-е, стер. - М. : Физматлит, 2008. - 784 с. - ISBN 978-5-9221-0645-0 : 454.00., 7 экз.
3. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. - Изд. 6-е, испр. - М. : Физматлит, 2008. - 800 с. - ISBN 978-5-9221-0530-9 : 364.32., 1 экз.
4. Ландау Лев Давидович. Теоретическая физика : учеб. пособие для студентов физ. специальностей ун-тов : в 10 т. Т. 4. Квантовая электродинамика / В. Б. Берестецкий, Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский ; под ред. Л. П. Питаевского. - Изд. 4-е, испр. - М. : Физматлит, 2006. - 720 с. - ISBN 5-9221-0058-0 (т. 4) : 350.00., 1 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

Программное обеспечение Stopping and Range of Ions in Matter (SRIM) <http://srim.org/>

Программное обеспечение Large-scale Atomic/Molecular Massively Parallel Simulator (LAMMPS) <https://www.sandia.gov/ccr/focus-area/molecular-dynamics/>

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами, специализированным оборудованием: Проектор

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.04.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Пузанов Александр Сергеевич, кандидат физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18.12.2023, протокол № 09/23.