

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
(факультет / институт / филиал)

УТВЕРЖДЕНО
решением президиума
ученого совета ННГУ
протокол от
«31» мая 2023 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

Радиационная стойкость полупроводниковых приборов
(наименование дисциплины (модуля))

Уровень высшего образования
магистратура
(бакалавриат / магистратура / специалитет)

Направление подготовки / специальность
03.04.03 радиофизика
(указывается код и наименование направления подготовки / специальности)

Направленность образовательной программы
Физическая электроника
(указывается профиль / магистерская программа / специализация)

Форма обучения
очная
(очная / очно-заочная / заочная)

Нижний Новгород
2023 год

1. Место и цели дисциплины в структуре ООП

| № варианта | Место дисциплины в учебном плане образовательной программы | Стандартный текст для автоматического заполнения в конструкторе РПД |
|-------------------|---|--|
| 1 | Блок 1. Дисциплины (модули) Часть, формируемая участниками образовательных отношений | Дисциплина «Радиационная стойкость полупроводниковых приборов» Б1.В.ДВ.05.01 относится к части ООП направления подготовки 03.04.03 «Радиофизика», формируемой участниками образовательных отношений. |

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 | |
| | | | |

| 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 | |
| <p><i>ПК-1.</i> Способен анализировать и обрабатывать научную информацию и результаты исследований в области микро- и нанoeлектроники, мощной электроники при решении задач своей профессиональной деятельности.</p> | <p><i>ПК-1.1.</i> Применяет принципы сбора и анализа информации, методы критического анализа и оценки современных научных достижений, а также методы генерирования новых идей при решении исследовательских и практических задач.</p> <p><i>ПК-1.2.</i> Работает с большим объемом данных, систематизирует и анализирует информацию, полученную из различных источников.</p> <p><i>ПК-1.3.</i> Владеет современными информационными и коммуникационными технологиями сбора теоретических и эмпирических данных, их анализа и представления полученных результатов исследования.</p> | <p><i>Знать</i> особенности проведения радиационных испытаний, понятие радиационной среды, ее основные характеристики и классификацию.</p> <p><i>Уметь</i> применять полученные знания для решения стандартных задач по расчету радиационной стойкости полупроводниковых приборов.</p> <p><i>Владеть</i> знаниями о характере смещения атомов под различным действием радиационного воздействия.</p> | <p><i>собеседование</i></p> |

| 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 | |
| <p><i>ПК-2.</i> Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования и разработки по отдельным разделам тем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники и оформлять их результаты.</p> | <p><i>ПК-2.1.</i> Анализирует современное состояние исследований в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов.</p> <p><i>ПК-2.2.</i> Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи.</p> <p><i>ПК-2.3.</i> Применяет навыки планирования, подготовки, проведения НИР, анализа полученных данных, формулировки выводов и рекомендаций по отдельным разделам тем в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники.</p> <p><i>ПК-2.4.</i> Анализирует полученные данные, формулирует выводы и рекомендации по отдельным разделам тем в области микро- и, нанoeлектроники, мощной электроники.</p> | <p><i>Знать</i> такие понятия, как горизонтальная конфигурация, вертикальный размер и слоистые структуры.</p> <p><i>Уметь</i> выделять технологические и физические ограничения миниатюризации транзисторов при радиационном воздействии.</p> <p><i>Владеть</i> навыком оценки горизонтальных и вертикальных размеров в различных полупроводниковых приборах.</p> | <p><i>собеседование</i></p> |

| 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 | |
| <i>ПК-3.</i> Способен разрабатывать и подготавливать составные части документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок. | <p><i>ПК-3.1.</i> 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><i>ПК-3.2.</i> Представляет результаты НИР академическому и бизнес-сообществу.</p> <p><i>ПК-3.3.</i> Участвует в составлении и подаче конкурсных заявок на выполнение научно-исследовательских и проектных работ по направленности Радиофизика.</p> | <p><i>Знать</i> основные методы написания протоколов и отчетов по измерениям</p> <p><i>Уметь</i> оформлять рукописи, протоколы, отчеты</p> <p><i>Владеть</i> навыками оформления протоколов и отчетов</p> | <i>собеседование</i> |

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Трудоемкость дисциплины

| | очная форма обучения |
|---|----------------------|
| Общая трудоемкость | 3 ЗЕТ |
| Часов по учебному плану | 108 |
| в том числе | |
| аудиторные занятия (контактная работа): | |
| - занятия лекционного типа | 32 |
| самостоятельная работа | 29 |
| КСР | 45 |
| Промежуточная аттестация – экзамен/зачет | экзамен |

3.2. Трудоемкость дисциплины

| Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля), форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю) | Всего (часы) | | | В том числе | | | | | | | | | | | | | | | Самостоятельная работа обучающегося, часы | | |
|--|--------------------------|--------------|---------|---|--------------|---------|----------------------------|--------------|---------|--------------|--------------|---------|-------|--------------|---------|-------|--------------|---------|---|--------------|---------|
| | | | | Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Занятия лекционного типа | | | Занятия семинарского типа | | | Занятия лабораторного типа | | | Консультации | | | Всего | | | | | | | | |
| | Очная | Очно-заочная | Заочная | Очная | Очно-заочная | Заочная | Очная | Очно-заочная | Заочная | Очная | Очно-заочная | Заочная | Очная | Очно-заочная | Заочная | Очная | Очно-заочная | Заочная | Очная | Очно-заочная | Заочная |
| 1. Введение. Источники радиационного излучения. | 10 | | | 5 | | | | | | | | | | | 5 | | | 6 | | | |
| 2. Деградация электрофизических характеристик полупроводников при радиационном воздействии. | 10 | | | 5 | | | | | | | | | | | 5 | | | 6 | | | |
| 3. Влияние радиационного излучения на приборы с р – n – переходами и диэлектрическими слоями. | 10 | | | 5 | | | | | | | | | | | 5 | | | 6 | | | |
| 4. Радиационные эффекты в GaAs – полупроводниковых приборах и интегральных схемах. | 10 | | | 5 | | | | | | | | | | | 5 | | | 6 | | | |
| 5. Радиационная стойкость оптоэлектронных приборов. | 10 | | | 5 | | | | | | | | | | | 5 | | | 6 | | | |
| 6. Технологические и физические ограничения миниатюризации транзисторов при радиационном воздействии. | 12 | | | 4 | | | | | | | | | | | 4 | | | 8 | | | |
| 7. Моделирование радиационного воздействия с помощью физико-топологической модели. | 10 | | | 3 | | | | | | | | | | | 3 | | | 6 | | | |
| Промежуточная аттестация: экзамен | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Итого | 108 | | | 32 | | | | | | | | | | | 32 | | | 45 | | | |

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

| Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций) | Шкала оценивания сформированности 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, без ошибок. | 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 несущественным 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 владения материалом. 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 оценки 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», 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» |
| не зачтено | 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» |

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения

5.2.1. Контрольные вопросы

| | |
|--|------|
| В чем заключаются основные особенности взаимодействия нейтронов с веществом? | ПК-1 |
| В чем заключаются основные особенности взаимодействия гамма-излучения с веществом? | ПК-1 |
| В чем заключаются основные особенности взаимодействия легких заряженных частиц с веществом? | ПК-1 |
| В чем заключаются основные особенности взаимодействия тяжелых заряженных частиц с веществом? | ПК-1 |
| Как проявляются ионизационные эффекты в полупроводниковых приборах? | ПК-2 |
| Как проявляются эффекты накопления заряда в полупроводниковых приборах? | ПК-2 |
| Как проявляются эффекты смещения в полупроводниковых приборах? | ПК-2 |
| Как проявляются одиночные радиационные эффекты в полупроводниковых приборах? | ПК-2 |
| Как учитываются радиационные эффекты в методе эквивалентной схемы? | ПК-3 |
| Как учитываются радиационные эффекты в методе Монте-Карло? | ПК-3 |
| Как учитываются радиационные эффекты в квазигидродинамической модели? | ПК-3 |
| Как учитываются радиационные эффекты в диффузионно-дрейфовой модели? | ПК-3 |

5.2.2. Типовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Какие виды излучений характерны для ядерного взрыва?
2. Какие виды излучений характерны для ядерных энергетических установок?
3. Какие виды излучений характерны для космического пространства?

5.2.3. Типовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-2

1. Как зависит средняя энергия радиационно-генерированной электронно-дырочной пары от ширины запрещенной зоны полупроводника?
2. Как зависит средняя энергия образования пары Френкеля от периода кристаллической решетки и температуры Дебая?
3. В чем основное отличие прохождения высокоэнергетичных протонов от более тяжелых элементов в веществе?

5.2.4. Типовые вопросы для оценки сформированности компетенции ПК-3

1. Как учитывается влияние радиации в модели полупроводникового диода?
2. Как учитывается влияние радиации в модели биполярного транзистора?
3. Как учитывается влияние радиации в модели полевого транзистора?

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Коршунов Ф.П., Гатальский Г.В., Иванов Г.М. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах. – Минск: Наука и техника, 1978. – 231 с. – 2 экз.
2. Кулаков В.М., Ладыгин Е.А., Шаховцов В.И., Вологдин Э.Н., Андреев Ю.Н. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники. – М.: Советское радио, 1980. – 224 с. – 2 экз.
3. Коршунов Ф.П., Богатырев Ю.В., Вавилов В.А. Воздействие радиации на интегральные микросхемы. – Минск: Наука и техника, 1986. – 253 с. – 2 экз.
4. Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с. – 1 экз.

б) дополнительная литература:

1. Гусев Н.Г., Климанов В.А., Машкович В.П., Суворов А.П. Защита от ионизирующих излучений: В 2 т. Т. 1. Физические основы защиты от излучений – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 509 с. – 1 экз.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Том 5, часть 2. Ядерная физика. – М.: Наука, 1989. – 415 с. – 393 экз.
3. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 3. Квантовая механика. Нерелятивистская теория. – М.: Физматлит, 2001. – 808 с. – 1 экз.
4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Том 4. Квантовая электродинамика. – М.: Физматлит, 2001. – 720 с. – 3 экз.

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: компьютеры, проектор, доска.

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 ННГУ по направлению подготовки 03.04.03 «Радиофизика».

Автор: доцент кафедры квантовой радиофизики и электроники Пузанов А.С.

и.о. заведующего кафедрой Маругин А.В.

Программа одобрена на заседании методической комиссии радиофизического факультета от «25» мая 2023 года, протокол № 04/23