

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

Физический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО  
решением Ученого совета ННГУ  
протокол № 4 от 26.04.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Радиационная стойкость материалов космического приборостроения

---

Уровень высшего образования  
Магистратура

---

Направление подготовки / специальность  
09.04.02 - Информационные системы и технологии

---

Направленность образовательной программы  
Информационные технологии в системах космической связи и дистанционного зондирования Земли

---

Форма обучения  
очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.07 Радиационная стойкость материалов космического приборостроения 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
<i>ПК-12: Способен осуществлять выбор оптимальных решений, моделирование процессов и объектов профессиональной деятельности при проведении научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ</i>	<i>ПК-12.1: Знает: способы выбора и методы математического моделирования процессов ПК-12.2: Умеет: применять методы цифровой обработки данных при решении традиционных задачах в области информационных технологий</i>	<i>ПК-12.1: Знать: способы выбора и методы математического моделирования процессов радиационного воздействия на полупроводниковые материалы и изделия  ПК-12.2: Уметь: применять методы цифровой обработки данных при оценке последствий воздействия проникающей радиации на полупроводниковые приборы как элементы интегральных схем и выбора изделий электронной техники с повышенной радиационной стойкостью для комплектации радиоэлектронной аппаратуры</i>	<i>Индивидуальное устное собеседование</i>	<i>Экзамен: Контрольные вопросы</i>

## 3. Структура и содержание дисциплины

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>5</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>180</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	

- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	0
- КСР	2
самостоятельная работа	92
Промежуточная аттестация	54 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			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/лабораторные работы), часы	Всего	
Ф	Ф	Ф	Ф	Ф	
Тема 1 Введение	16	4		4	12
Тема 2 Материалы электронной техники для космического приборостроения	40	10		10	30
Тема 3 Воздействие радиации на материалы электронной техники	68	18		18	50
Аттестация	54				
КСР	2			2	
Итого	180	32	0	34	92

### Содержание разделов и тем дисциплины

#### 1. Введение.

- 1.1. Основные материалы электронной техники для космического приборостроения.
- 1.2. Классификация твердых материалов по химическому составу, структуре, свойствам и функциональному назначению.
- 1.3. Виды радиации.
- 1.4. Характеристики излучений – диапазон энергий, длительность, интегральные потоки, дозы излучения, мощность дозы.

#### 2. Материалы электронной техники для космического приборостроения

- 2.1. Классификация элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений.
- 2.2. Методы очистки полупроводниковых соединений.
- 2.3. Синтез полупроводниковых соединений.
- 2.4. Методы выращивания монокристаллов.
- 2.5. Легирование полупроводников.
- 2.6. Металлы и сплавы со специальными свойствами.
- 2.7. Керамические материалы.

## 2.8. Полимерные материалы.

### 3. Воздействие радиации на материалы электронной техники и обеспечение их радиационной стойкости

#### 3.1. Вводные понятия и определения.

#### 3.2. Взаимодействие проникающих излучений с твёрдым телом.

#### 3.3. Механизмы взаимодействия нейтронов, протонов, электронов, гамма-квантов с полупроводниками.

#### 3.4. Распределение дефектов при различных видах излучений.

#### 3.5. Влияние радиации на основные электрофизические параметры материалов.

#### 3.6. Радиационные эффекты в полупроводниковых приборах и интегральных схемах

##### 3.6.1. Диодные структуры на основе р-п перехода

##### 3.6.2. Диоды Шоттки

##### 3.6.3. Биполярные транзисторы

##### 3.6.4. Полевые транзисторы на основе полупроводниковых соединений

##### 3.6.5. МОП-структуры

##### 3.6.8. Кремниевые интегральные схемы

#### 3.7. Радиационные эффекты в изделиях оптоэлектроники

##### 3.7.1. Светодиоды

##### 3.7.2. Лазерные диоды

##### 3.7.3. Фотоприемники

##### 3.7.4. Оптопары

##### 3.7.5. Солнечные батареи

##### 3.7.8. Приборы с зарядовой связью

#### 3.8. Пути повышения радиационной стойкости материалов и компонентов электронной техники.

## 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.

Самостоятельная работа студентов включает изучение учебных и учебно-методических пособий, лекционного материала по соответствующим разделам дисциплины, в том числе с использованием систем компьютерной графики и электронных образовательных ресурсов. Самостоятельная внеаудиторная работа студентов осуществляется в следующих формах: Использование Интернет-ресурсов, электронных библиотек, распределенных и централизованных издательских систем.

## 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 - Индивидуальное устное собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-12:

1. Чем сопровождается прохождение излучения через твердое тело?
2. Классификация твердых материалов по свойствам

3. Классификация твердых материалов по функциональному назначению
4. Классификация твердых материалов по структуре
5. Классификация элементарных полупроводников и полупроводниковых соединений
6. Классификация функциональных материалов
7. Классификация полупроводниковых приборов
8. Классификация изделий оптоэлектроники
9. Виды излучений
10. Классификация нежелательных радиационных эффектов по степени обратимости
11. Что такое ионизационный механизм?
12. Что такое ударный механизм?
13. Что такое эффект полной дозы?
14. Что такое эффект единичного события?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Индивидуальное устное собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Студент ответил на большую часть вопросов
не зачтено	Студент не ответил на половину заданных вопросов

### 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	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены

	обучающегося от ответа	ошибки	ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	задачи с отдельным и несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	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 некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	<b>превосходно</b>	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
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	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	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	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-12**

1. Классификация твердых материалов по химическому составу, структуре, свойствам и функциональному назначению
2. Связь свойств материалов со структурой и составом
3. Синтез полупроводниковых соединений
4. Методы очистки полупроводниковых соединений
5. Методы выращивания монокристаллов
6. Легирование полупроводников
7. Классификация и свойства металлов и сплавов со специальными свойствами
8. Классификация и свойства керамических материалов
9. Классификация и свойства полимерных материалов
10. Виды излучений и их характеристики
11. Механизм взаимодействия фотонного излучения с веществом
12. Механизм взаимодействия протонного излучения с веществом
13. Механизм взаимодействия электронов с веществом
14. Смещение атомов в твердых телах при воздействии излучений
15. Распределение дефектов при различных видах излучений
16. Возникновение примесных атомов в полупроводниковых материалах за счет ядерных реакций
17. Реальная структура радиационных дефектов в кристаллах
18. Структурные комплексы в кремнии, образующиеся с участием вакансий
19. Радиационные дефекты в арсениде галлия и германии
20. Пространственные радиационные нарушения в полупроводниках
21. Изменение времени жизни основных носителей заряда
22. Изменение удельного сопротивления полупроводниковых материалов
23. Изменение подвижности основных заряженных частиц, участвующих в электропроводности
24. Радиационные эффекты в диодных структурах на основе p-n перехода и диодах Шоттки
25. Радиационные эффекты в биполярных и полевых транзисторах
26. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах
27. Радиационные эффекты в светодиодах и фотоприемниках
28. Радиационные эффекты в лазерных диодах и оптопарах
29. Радиационные эффекты в солнечных батареях и приборах с зарядовой связью
30. Пути повышения радиационной стойкости материалов и компонентов электронной техники

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
превосходно	Студент ответил на оба основных вопроса и все дополнительные, показал глубокое понимание материала
отлично	Студент ответил на оба основных вопроса и дополнительные
очень хорошо	Студент ответил на оба основных вопроса, но не ответил на часть дополнительных вопросов
хорошо	Студент ответил на оба основных вопроса, но не ответил на дополнительные

Оценка	Критерии оценивания
удовлетворительно	Студент ответил на один из двух основных вопросов
неудовлетворительно	Студент не ответил на основные вопросы, ответил на часть дополнительных вопросов
плохо	Студент не ответил на основные вопросы, показал полное незнание материала

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

Основная литература:

1. Белоус А.И. Космическая электроника. Книга 1. : монография / Белоус А.И.; Солодуха В.А.; Шведов С.В. - Москва : Техносфера, 2021. - 696 с. - ISBN 978-5-94836-576-3., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=808587&idb=0>.
2. Белоус А.И. Космическая электроника. Книга 1. : монография / Белоус А.И.; Солодуха В.А.; Шведов С.В. - Москва : Техносфера, 2021. - 696 с. - ISBN 978-5-94836-576-3., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=808587&idb=0>.

Дополнительная литература:

1. Радиационная стойкость материалов радиотехнических конструкций : справочник / под ред. Н. Н. Сидорова, В. К. Князева. - М. : Советское радио, 1976. - 567 с. : ил. - 2.62., 2 экз.

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

Системные программные средства: Microsoft Windows 7, 10

Прикладные программные средства Microsoft Office 2007 Pro, Internet Explorer или Mozilla Firefox

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

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

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 ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 09.04.02 - Информационные системы и технологии.

Автор(ы): Домрачева Елена Георгиевна, кандидат химических наук.

Заведующий кафедрой: Морозов Олег Александрович, доктор физико-математических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 15.04.2024, протокол № б/н.