


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

 / Титова Л.В./
13.06.2025г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.ДВ.04.02 Радиационная физика

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.03.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

к.т.н. доц, Гитлин Валерий Рафаилович

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 24.06.2021, РП продлена на 2022-2023 учебный год, НМС физического факультета от 14.06.2022, протокол №6. РП продлена на 2025-2026 учебный год, НМС физического факультета от 20.05.2025, протокол №5.

8. Учебный год: 2025/2026

Семестр(ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление с современными представлениями о воздействии радиоактивных излучений на вещество.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение физики дефектообразования в полупроводниковых структурах и в полимерах под действием широкого класса радиационных и магнитных полей, процессов релаксации радиационных дефектов, ознакомление с радиационными технологиями изготовления МДП ИС, с процессами радиационной полимеризации, с моделированием радиационных дефектов в МДП структурах и полимерах;

- освоение основных методов расчета характеристик радиационного воздействия на различные материалы;

- изучение механизмов радиационных и магнитных воздействий на многослойные полупроводниковые структуры и полимеры, процессы релаксации дефектов в полупроводниковых структурах и полимерах.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Дисциплина относится к вариативной части цикла Б1.В.ДВ. (Дисциплины по выбору).

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-5	Способен к организации метрологического обеспечения технологических процессов, к использованию типовых методов контроля качества выпускаемой продукции	ПК-5.1	Знает физические основы и методы измерений, методы оценки погрешностей измерения.	Знать: механизмы радиационных и магнитных воздействий на многослойные полупроводниковые структуры и полимеры, процессы релаксации дефектов в полупроводниковых структурах и полимерах, Уметь: разбираться в основах радиационных технологий и моделировании радиационных процессов, Владеть: методикой расчета доз и режимов релаксации для технологии МДП ИС и процессов радиационной полимеризации.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час —4/144.

Форма промежуточной аттестации – зачет.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			7 семестр
Аудиторные занятия		54	54
в том числе:	лекции	36	36

	практические	18	18
	лабораторные		
Самостоятельная работа		90	90
в том числе: курсовая работа (проект)			
Контроль			
Форма промежуточной аттестации		Зачет	Зачет
Итого:		144	144

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Радиоактивность.	Радиоактивность. Взаимодействие излучения с веществом. Радиационное материаловедение.	-
1.2	Принципы контроля излучений.	Принципы контроля излучений. Дозиметрия.	-
1.3	Радиационное дефектообразование в твердом теле.	Радиационные эффекты в полупроводниках. Радиационное дефектообразование в твердом теле.	-
1.4	Методы исследования радиационного дефектообразования	Методы исследования радиационного дефектообразования	-
1.5	Радиационные воздействия.	Сопоставление различных радиационных воздействий.	-
1.6	Природа радиационных дефектов.	Природа радиационных дефектов в системе кремний-окись кремния. Механизмы образования радиационного заряда в диэлектрических слоях МДП- структур.	-
1.7	Релаксационные процессы	Релаксационные процессы в облученных МДП-структурах	-
1.8	Моделирование.	Моделирование радиационных эффектов в МДП-структурах.	-
1.9	Прогноз.	Прогноз и обеспечение радиационной стойкости элементной базы микро-, наноэлектроники.	-
1.10	Радиационные технологии в микроэлектронике	Радиационные технологии в микроэлектронике	-
1.11	Радиационная полимеризация.	Радиационные эффекты в полимерах. Радиационная полимеризация.	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Радиоактивность.	2			8		10
2	Принципы контроля излучений.	2			8		10
3	Радиационное дефектообразование в твердом теле.	2	2		8		12
4	Методы исследования радиационного дефектообразования	2	2		8		12
5	Радиационные воздействия.	4	2		8		14
6	Природа	4	2		8		14

	радиационных дефектов.						
7	Релаксационные процессы	4	2		8		14
8	Моделирование.	4	2		8		14
9	Прогноз.	4	2		8		14
10	Радиационные технологии в микроэлектронике	4	2		8		14
11	Радиационная полимеризация.	4	2		10		16
	Итого:	36	18		90		144

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины *(список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)*

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Ободовский, И. М. Физические основы радиационных технологий : [учебное пособие] / И.М. Ободовский. — Долгопрудный : Издательский дом Интеллект, 2014. — 351 с.
2	Физическое материаловедение: учебник для вузов. В 6 т. Т. 4. Физические основы прочности. Радиационная физика твердого тела. Компьютерное моделирование. МИФИ, 2008.
3	Орликов Л. Н. Технология материалов и изделий электронной техники: учебное пособие, Ч. 2/ Л. Н Орликов. – Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012.– 101 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
6	Трушин Ю.В. Радиационные процессы в многокомпонентных материалах. Теория и компьютерное моделирование / Ю.В.Трушин; Рос. акад. наук, Физико-технический ин-т им. А.Ф. Иоффе. — СПб., 2002. — 382 с.
7	Кирш Ю. Э.. Поли-Н-винилпирролидон и другие поли-Н-виниламиды : Синтез и физико-хим. свойства / РАН.Отделение общ.и техн.химии,М-во экономики РФ, Гос. науч. центр"Научно-исследоват.физико-хим. ин-т им.Л. Я. Карпова. — М. : Наука, 1998. — 251,
8	Радиоактивность учеб, пособие. / сост. М.Н.Левин, В.Р.Гитлин - Воронеж: ЛОП ВГУ, 2005.
9	Моделирование радиационных эффектов в структурах металл-диэлектрик-полупроводник: учеб, пособие / сост. Ю.В.Иванков, М.Н.Левин, В.Р.Гитлин, С.Г.Кадменский - Воронеж: ЛОП ВГУ, 2004.
10	Воздействие импульсных магнитных полей на структуры металл-диэлектрик-полупроводник: учеб, материалы для студентов спец. "Ядерная физика" / сост. М.Н.Левин, Ю.В.Иванков - Воронеж: ЛОП ВГУ, 1998.
11	Электрофизические методы исследования структур металл-диэлектрик-полупроводник: учеб, материалы для студентов спец. "Ядерная физика" / сост. М.Н.Левин, - Воронеж: ЛОП ВГУ, 1998.
12	Воздействие ионизирующих излучений на структуры металл-диэлектрик-полупроводник: учеб, материалы для студентов специальности "Ядерная физика" / сост. М.Н.Левин,

	Ю.В.Иванков - Воронеж: ЛОП ВГУ, 1996.
13	Вавилов В.С. Дефекты в кремнии и на его поверхности /В.С.Вавилов, В.Ф.Киселев, В.Н.Мурашев - М.: Наука, 1990.
14	Агаханян Т.М. Радиационные эффекты в интегральных схемах / Т.М.Агаханян, Е.Р.Аствацатурян, П.К.Скоробогатов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.
15	Котов, Александр Гордеевич. Радиационная физика и химия гетерогенных систем / А.Г. Котов, В.В. Громов. — М. : Энергоатомиздат, 1988.
16	Першенков В.С. Поверхностные радиационные эффекты в ИМС / В.С.Першенков, В.Д.Попов, А.В.Шальнов. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
17	Ma T.P. Ionizing Radiation Effects in MOS Devices and Circuits/ T. P.Ma, P.V. Dressendorfer – N.Y.: Wiley – Interscience Publ., 1989
18	Whorter Mc. Modeling the anneal of radiation – induced trappedholes in a varying thermal environment/ Mc. Whorter, S.L., Miller, W.M. Miller – IEEE Trans. Nuclear Physics.-1990 - Vol. 37,N 6. -0 P. 1682-1689
19	Иванов В. С. Радиационная химия полимеров : Учебное пособие для студ. химич. и химико-технол. спец. вузов / В.С. Иванов. — Л. : Химия, 1988. — 320 с.
20	Брагинский Р.П. Стабилизация радиационно-модифицированных полиолефинов/ Р.П. Брагинский, Э.Э.Финкель, С.С. Лещенко.— М.: Изд-во Химия, 1973, 197 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов направления 14.03.02. Ядерная физика и технологии, - Вахтель В.М., Титова Л.В. – ВГУ. 2018. – 17 с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лаборатория им. Л.Н. Сухотина (для проведения занятий лекционного и семинарского типов, текущего контроля и промежуточной аттестации) Специализированная мебель, ноутбук 15,6" DNS (0164925), проектор EPSON EB-X11, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apilo-T Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 30
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования Ноутбук ASUS VIVOBOOK X507-EJ057, проектор BenQ MP515 ST, переносной экран для проектора на штативе SceenMedia Apilo-T	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 31
Компьютерный класс, аудитория для групповых и индивидуальных консультаций, помещение для самостоятельной работы Специализированная мебель, компьютеры (системные блоки Intel Pentium-IV, мониторы LG FLATRON L17428-8F) (30 шт.) с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета Microsoft Windows 7, Windows 10 договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019. LibreOffice (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://www.libreoffice.org/about-us/licenses/) Adobe Reader (бесплатное и/или свободное ПО (лицензия: https://get.adobe.com/ru/reader/legal/licenses)	г.Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.І, ауд. 40/5

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Радиоактивность.	ПК-5	ПК-5.1	Устный опрос, собеседование по билетам к зачету
2	Принципы контроля излучений.			
3	Радиационное дефектообразование в твердом теле.			
4	Методы исследования радиационного дефектообразования			
5	Радиационные воздействия.			
6	Природа радиационных дефектов.			
7	Релаксационные процессы			
8	Моделирование.			
9	Прогноз.			
10	Радиационные технологии в микроэлектронике			
11	Радиационная полимеризация.			
Промежуточная аттестация форма контроля - зачет				Пункт 20.2.1 Вопросы к зачету

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Устный опрос

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	Повышенный уровень	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	Базовый уровень	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к зачету

20.2.1. Перечень вопросов к зачету:

1. Радиационная стойкость изделий полупроводниковой электроники.
2. Виды радиационных дефектов в структурах МОП.
3. Поверхностные состояния на границе раздела «окисел – полупроводник»
4. Радиационная полимеризация в полимерах виниламидной группы
5. Воздействие ионизирующей радиации на электрофизические параметры структуры «кремний-двуокись кремния»
6. Радиационная полимеризация винилпирролидона и капролактама
7. Процессы термической релаксации радиационных дефектов в структурах «металл-окисел-полупроводник»
8. Радиационно-индуцированный объемный заряд и его термостабильность.
9. Сопоставление воздействий альфа-, бета-, гамма-, рентгеновского излучений на параметры МОП структур.

10. Принципы моделирования радиационно-термических процессов в производстве полупроводниковых структур
11. Дефектообразование в полупроводниковых структурах под действием магнитных полей
12. Модификация водорастворимых полимеров фотонным облучением (гамма- и рентгеновскими квантами).
13. Релаксация радиационных дефектов в полях УФ-излучений ближнего спектра
14. Формирование глубоких ловушечных центров радиационно-индуцированного заряда в слоях подзатворного окисла.
15. Моделирование радиационных дефектов в полимерах
16. Радиационно-технологические процессы, используемые для повышения стабильности интегральных схем.
17. Стабилизация параметров малыми дозами рентгеновского излучения
18. Влияние ионизирующих излучений на механические напряжения в МОП структурах.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом дисциплины (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области физики.	<i>Достаточный уровень</i>	<i>Зачтено</i>
Ответ на контрольно-измерительный материал не соответствует перечисленным показателям. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки в ответе.	–	<i>Не зачтено</i>