

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 03.10.2023 10:10:23

Уникальный идентификатор документа:

d7a26b9e8ca85e98ec3de2eb454b4659d061f249

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования

«Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС»

Рабочая программа дисциплины (модуля)

Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Квалификация

Магистр

Форма обучения

очная

Общая трудоемкость

4 ЗЕТ

Часов по учебному плану

144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

экзамен 3

аудиторные занятия

51

самостоятельная работа

57

часов на контроль

36

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>)	3 (2.1)		Итого	
	19			
Неделя	уп	рп	уп	рп
Вид занятий	уп	рп	уп	рп
Лекции	17	17	17	17
Практические	34	34	34	34
Итого ауд.	51	51	51	51
Контактная работа	51	51	51	51
Сам. работа	57	57	57	57
Часы на контроль	36	36	36	36
Итого	144	144	144	144

Программу составил(и):

дтн, Профессор, Таперо Константин Иванович

Рабочая программа

Основы надежности элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - магистратура Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.04.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, 11.04.04-МЭН-23-2.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.06.2023, протокол № 5-23

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.04.04 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.06.2023, протокол № 5-23

Рабочая программа одобрена на заседании

Кафедра ППЭ и ФПП

Протокол от 21.06.2022 г., №11

Руководитель подразделения Диденко Сергей Иванович

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ

1.1	Цель – подготовка выпускников к научно-исследовательской деятельности при выполнении междисциплинарных проектов в профессиональной области, в том числе в интернациональном коллективе.
1.2	Задачи дисциплины:
1.3	1. Научить понимать механизмы отказов элементной базы электроники и физические основы её деградации при воздействии радиационных факторов.
1.4	2. Сформировать представления о научно-методическом и организационно-техническом обеспечении радиационных и надежностных испытаний полупроводниковых преобразователей энергии и других изделий электроники и микроэлектроники.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Блок ОП:		Б1.В.ДВ.04
2.1	Требования к предварительной подготовке обучающегося:	
2.1.1	Компьютерные технологии в научных исследованиях	
2.1.2	Микросхемотехника	
2.1.3	Планирование научной деятельности	
2.1.4	Приборные структуры на некристаллических материалах	
2.1.5	Приборные структуры на широкозонных полупроводниках	
2.1.6	Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности	
2.1.7	Силовые полупроводниковые приборы	
2.1.8	Технология наногетероструктур	
2.1.9	Физика наноструктур	
2.1.10	Методы математического моделирования	
2.1.11	Методы характеристики полупроводниковых материалов и структур	
2.1.12	Перспективные технологии и материалы для поиска новых физических эффектов	
2.1.13	Современные методы диагностики и исследования наногетероструктур	
2.2	Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее:	
2.2.1	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы	
2.2.2	Преддипломная практика для выполнения выпускной квалификационной работы	

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство	
Знать:	
ПК-1-31	Знать основные показатели надежности и радиационной стойкости элементной базы электроники.
ПК-1-32	Знать основные понятия надежности и радиационной стойкости изделий элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства.
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций	
Знать:	
ПК-2-31	Знать основные физические процессы, приводящие к деградации и отказу элементной базы электроники в условиях ионизирующего излучения космического пространства.
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области	
Знать:	
ОПК-2-31	Знать методы экспериментального, расчетного и расчетно-экспериментального моделирования радиационных эффектов в изделиях элементной базы электроники
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций	
Уметь:	
ПК-2-У1	Уметь анализировать результаты испытаний элементной базы электроники, рассчитывать на их основе значения показателей надежности и радиационной стойкости, прогнозировать работоспособность изделий при длительной эксплуатации в условиях космического пространства.
ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство	

Уметь:
ПК-1-У1 Уметь обосновывать выбор методик и режимов радиационных и надёжностных испытаний элементной базы электроники.
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области
Уметь:
ОПК-2-У1 Уметь прогнозировать радиационный отклик изделий элементной базы электроники на основе результатов моделирования радиационных эффектов
ПК-2: Способность оптимизировать параметры технологических операций
Владеть:
ПК-2-В1 Владеть методами (технологическими, схемотехническими, алгоритмическими) повышения сбое- и отказоустойчивости изделий электронной техники в условиях воздействия ионизирующих излучений космического пространства.
ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения сложных задач в профессиональной области
Владеть:
ОПК-2-В1 Владеть современными методами расчетно-экспериментальной и расчетно-аналитической оценки стойкости изделий элементной базы электроники к воздействию ионизирующих излучений космического пространства
ПК-1: Способность разрабатывать технологические процессы и внедрение их в производство
Владеть:
ПК-1-В1 Владеть методами определения показателей надёжности и радиационной стойкости элементной базы электроники.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ

Код занятия	Наименование разделов и тем /вид занятия/	Семестр / Курс	Часов	Формируемые индикаторы компетенций	Литература и эл. ресурсы	Примечание	КМ	Выполняемые работы
	Раздел 1. Основные понятия теории надёжности							
1.1	Основные понятия теории надёжности /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-У1	Л1.1Л2.3 Э1 Э2		КМ1,КМ3	
1.2	Механизмы отказа изделий электронной техники /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-31	Л1.1Л2.3 Э1 Э2		КМ1,КМ3	
1.3	Решение задач на определение количественных характеристик надёжности (занятие № 1) /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-У1	Л1.1 Э1 Э2		КМ1,КМ3	
1.4	Решение задач на определение количественных характеристик надёжности (занятие № 2) /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-У1	Л1.1 Э1 Э2		КМ1,КМ3	
1.5	Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела /Ср/	3	10	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-31	Л1.1Л2.3 Э1 Э2		КМ1,КМ3	
	Раздел 2. Радиационные эффекты в материалах и изделиях элементной базы электроники при воздействии ионизирующих излучений космического пространства							

2.1	Дозовые эффекты структурных повреждений в изделиях электронной техники (ИЭТ) при воздействии ионизирующих излучений (ИИ) космического пространства (КП) /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-2-31 ПК-2-У1 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э3 Э4		КМ1,К М3	
2.2	Ионизационные дозовые эффекты в изделиях МОП- и КМОП-технологии в условиях ИИ КП /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.4 Э1 Э4		КМ1,К М3	
2.3	Ионизационные дозовые эффекты в изделиях биполярной технологии в условиях ИИ КП /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Э1 Э2 Э4		КМ1,К М3	
2.4	Одиночные радиационные эффекты (ОРЭ) в изделиях электронной техники /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.4Л3.1 Э2 Э4		КМ1,К М3	
2.5	ОРЭ в изделиях электронной техники в условиях "наземного" применения /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1 Э4		КМ1,К М3	
2.6	Локальные радиационные условия на борту космических аппаратов /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-31	Л1.1Л2.1 Л2.3 Л2.4 Э1 Э2 Э3 Э4		КМ1,К М3	
2.7	Потери энергии высокоэнергетических заряженных частиц на ионизацию и образование смещений в полупроводниках /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-В1 ПК-2-31	Л1.1 Э1 Э2 Э4		КМ1,К М3	
2.8	Эффекты структурных повреждений в ИЭТ: решение задач /Пр/	3	2	ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.4 Э1		КМ1,К М3	
2.9	Ионизационные дозовые эффекты в ИЭТ: решение задач /Пр/	3	2	ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.4 Э1		КМ1,К М3	
2.10	Одиночные радиационные эффекты в ИЭТ: решение задач /Пр/	3	2	ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.4Л3.1 Э1 Э2		КМ1,К М3	
2.11	Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела /Ср/	3	15	ПК-1-31 ПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4		КМ1,К М3	
	Раздел 3. Методы испытаний и оценки стойкости элементной базы электроники к воздействию ионизирующих излучений космического пространства							
3.1	Расчетно-экспериментальное моделирование ионизационных дозовых эффектов в изделиях МОП- и КМОП-технологии при воздействии ИИ КП /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.4 Э1 Э2		КМ2,К М3	

3.2	Расчетно-экспериментальное моделирование ионизационных дозовых эффектов в изделиях биполярной технологии и изделиях смешанного типа при воздействии ИИ КП /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.4 Э1 Э2		КМ2,К М3	
3.3	Расчетно-экспериментальное моделирование дозовых эффектов в ИЭТ с учетом совместного действия ионизации и создания структурных повреждений /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1 Э1 Э4		КМ2,К М3	
3.4	Определительные испытания ИЭТ с учетом совместного действия ионизации и создания структурных повреждений /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1 Э1 Э2		КМ2,К М3	
3.5	Определительные испытания ИЭТ при неаддитивном характере взаимодействия ионизации и создания структурных повреждений /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1 Э1 Э2		КМ2,К М3	
3.6	Методы испытаний ИЭТ в части одиночных радиационных эффектов /Лек/	3	1	ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.4 Э1 Э2		КМ2,К М3	
3.7	Расчет частоты и вероятности возникновения ОРЭ в заданных радиационных условиях /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э4		КМ2,К М3	
3.8	Выбор режимов испытаний изделий МОП- и КМОП-технологии на стойкость к воздействию поглощенной дозы ИИ КП /Пр/	3	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.4 Э1 Э2 Э4		КМ2,К М3	
3.9	Выбор режимов испытаний изделий биполярной технологии на стойкость к воздействию ИИ КП /Пр/	3	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.4 Э2 Э4		КМ2,К М3	
3.10	Выбор режимов испытаний при использовании ускорителей электронов и протонов, а также источников гамма- и нейтронного излучения /Пр/	3	2	ПК-1-У1 ПК-1-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1	Л1.1 Э1 Э2		КМ2,К М3	
3.11	Оценка срока эксплуатации солнечных батарей в условиях ИИ КП /Пр/	3	2	ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Э2 Э3 Э4		КМ2,К М3	
3.12	Расчет частоты и вероятности возникновения ОРЭ в заданных радиационных условиях: решение задач /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э4		КМ2,К М3	

3.13	Оценка параметров чувствительности ИЭТ к ОРЭ с помощью экспериментов с изотопными источниками тяжелых заряженных частиц /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.4 Э2 Э4		КМ2,К М3	
3.14	Оценка параметров чувствительности ИЭТ к ОРЭ с помощью источников сфокусированного импульсного лазерного излучения /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Э4		КМ2,К М3	
3.15	Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела /Ср/	3	17	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4		КМ2,К М3	
Раздел 4. Учет радиационных эффектов при проектировании радиационно-стойких изделий электронной техники								
4.1	Методы повышения радиационной стойкости изделий электронной техники /Лек/	3	1	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-2-31 ПК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Э2 Э3 Э4		КМ2,К М3	
4.2	Численное моделирование ионизационных дозовых эффектов /Лек/	3	1	ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1 Э1 Э2 Э4		КМ2,К М3	
4.3	Численное моделирование одиночных радиационных эффектов /Лек/	3	1	ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л3.1 Э1 Э2 Э4		КМ2,К М3	
4.4	Влияние конструктивно-технологических характеристик на радиационно-индуцированную деградацию изделий электронной техники /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Л2.2 Л2.4 Э2 Э4		КМ2,К М3	
4.5	Моделирование ионизационных дозовых эффектов при различных условиях облучения /Пр/	3	2	ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.1Л2.1 Э1 Э2 Э4		КМ2,К М3	
4.6	Оценка параметров чувствительности к одиночным радиационным эффектам по результатам численного моделирования /Пр/	3	2	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ОПК-2-В1	Л1.1 Э2 Э4		КМ2,К М3	

4.7	Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела. Подготовка к коллоквиуму /Ср/	3	15	ПК-1-31 ПК-1-32 ПК-1-У1 ПК-1-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1	Л1.Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л2.4Л3.1 Э1 Э2 Э3 Э4		КМ2,К М3	
-----	--	---	----	--	---	--	-------------	--

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Контрольные мероприятия (контрольная работа, тест, коллоквиум, экзамен и т.п), вопросы для самостоятельной подготовки

Код КМ	Контрольное мероприятие	Проверяемые индикаторы компетенций	Вопросы для подготовки
КМ1	Коллоквиум 1	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Что в теории надежности понимается под качеством? 2. Что такое надёжность? 3. Чем обусловлено применение вероятностного подхода для количественной оценки надежности? 4. Что понимают под исправным и работоспособным состояниями прибора? 5. Что такое отказ прибора? 6. Что такое технический ресурс и срок службы прибора? 7. Что понимают под безотказностью, долговечностью и сохраняемостью прибора? 8. Что понимают под вероятностью безотказной работы и вероятностью отказа прибора? 9. Что такое плотность распределения наработки до отказа? 10. Что понимают под интенсивностью отказов? 11. Что понимают под средней наработкой до отказа? 12. Что понимают под гамма-процентной наработкой до отказа? 13. Какова функциональная связь между основными показателями надежности: вероятностью безотказной работы, вероятностью отказа, плотностью распределения наработки до отказа и интенсивностью отказов? 14. Какие основные участки можно выделить на кривой интенсивности отказов? 15. Какие отказы приборов называют независимыми, зависимыми, перемежающимися, конструкционными, производственными и эксплуатационными? 16. Что понимают под критериями отказа? 17. Что такое механизм отказа? 18. За счет каких механизмов может произойти отказ металлизации и контактов микросхем? 19. Какие виды локальных зарядов можно выделить в планарных структурах кремний – диоксид кремния? 20. В чем состоит механизм пробоя тонких диэлектриков за ударной ионизации – рекомбинации? 21. Какие носители заряда называются горячими? 22. Каковы основные внешние воздействующие факторы космического пространства? 23. Назовите источники ионизирующих излучений в космическом пространстве. 24. Что такое поглощенная доза ионизирующего излучения? 25. Перечислите первичные радиационные эффекты в полупроводниках при воздействии проникающей радиации. 26. Как зависят линейные потери энергии ионов в полупроводниках от энергии? 27. Каков механизм накопления положительного заряда в подзатворном диэлектрике при радиационном облучении? 28. Каковы особенности накопления заряда в подзатворном оксиде в зависимости от интенсивности облучения? 29. Каковы механизмы нейтрализации заряда, накопленного в подзатворном оксиде? 30. При каких температурах наблюдается отжиг поверхностных состояний? 31. Что такое латентное накопление поверхностных состояний?

			<p>32. Как влияет интенсивность облучения на накопление поверхностных состояний?</p> <p>33. За счет чего меняется пороговое напряжение МОП-транзисторов при радиационном облучении?</p> <p>34. Как меняются характеристики светоизлучающих диодов при радиационном облучении?</p> <p>35. Как меняются характеристики лазерных диодов при радиационном облучении?</p> <p>36. Как меняются характеристики суперлюминесцентных диодов при радиационном облучении?</p> <p>37. Как меняются характеристики фотодиодов при радиационном облучении?</p> <p>38. Как меняются характеристики фототранзисторов при радиационном облучении?</p> <p>39. Как меняются характеристики солнечных батарей при радиационном облучении?</p> <p>40. Как меняются характеристики оптронов при радиационном облучении?</p> <p>41. Как меняются характеристики приборов с зарядовой связью при радиационном облучении?</p> <p>42. Как меняются характеристики формирователей изображения на основе КМОП активных пиксельных структур при радиационном облучении?</p> <p>43. Какие изменения наблюдаются в прямой ветви ВАХ диодов при радиационном облучении?</p> <p>44. Какие изменения наблюдаются в обратной ветви ВАХ диодов при радиационном облучении?</p> <p>45. Как радиационное облучение влияет на динамические характеристики диодов?</p> <p>46. Как меняется коэффициент усиления биполярных транзисторов в схеме с общим эмиттером при радиационном облучении?</p> <p>47. Каковы особенности деградации диодов Шоттки при радиационном облучении?</p> <p>48. Каковы особенности деградации полевых транзисторов с управляющим р-n-переходом при радиационном облучении?</p> <p>49. Каковы особенности деградации полевых транзисторов с барьером Шоттки при радиационном облучении?</p> <p>50. Каковы особенности деградации полевых НЕМТ при радиационном облучении?</p> <p>51. В чем состоят особенности влияния низкоинтенсивного ионизирующего излучения на биполярные транзисторы и микросхемы?</p> <p>52. Перечислите основные виды одиночных радиационных эффектов (ОРЭ) при воздействии отдельных заряженных частиц космического пространства.</p> <p>53. Какие ОРЭ считаются обратимыми, а какие необратимыми?</p> <p>54. Что такое одиночные обратимые сбои и как они проявляются?</p> <p>55. Что такое радиационное защелкивание и как оно проявляется?</p> <p>56. Как проявляется одиночный эффект прерывания функционирования?</p> <p>57. Что такое одиночный микродозовый эффект и как он проявляется?</p> <p>58. Каков механизм возникновения эффектов выгорания и пробоя подзатворного диэлектрика в мощных МДП-транзисторах?</p> <p>59. Какие виды ОРЭ характерны для аналоговых схем и схем смешанного типа (АЦП, ЦАП)?</p> <p>60. Какие виды ОРЭ характерны для изделий оптоэлектроники?</p> <p>61. Перечислите основные параметры, характеризующие чувствительность ИС к ОРЭ.</p> <p>62. Как выглядит и какой функцией аппроксимируется зависимость сечения ОРЭ от ЛПЭ тяжелых заряженных частиц?</p> <p>63. Как выглядит и какой функцией аппроксимируется зависимость сечения ОРЭ от энергии протонов?</p> <p>64. Как рассчитать частоту и вероятность возникновения ОРЭ?</p> <p>65. Что такое дифференциальный и интегральный энергетический спектр протонов?</p> <p>66. Что такое дифференциальный и интегральный ЛПЭ-спектр тяжелых заряженных частиц?</p>
--	--	--	--

			67. Как проводится консервативная оценка частоты и вероятности возникновения ОРЭ?
--	--	--	---

КМ2	Коллоквиум 2	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<ol style="list-style-type: none"> 1. Что называют "зависящими от времени эффектами" и "истинными эффектами мощности дозы"? 2. Каковы методы ускоренных испытаний изделий МОП- и КМОП-технологии на стойкость к воздействию поглощенной дозы низкоинтенсивного ионизирующего излучения, рекомендуемые зарубежными нормативными документами? 3. Каковы методы ускоренных испытаний изделий биполярной технологии на стойкость к воздействию поглощенной дозы низкоинтенсивного ионизирующего излучения, рекомендуемые зарубежными нормативными документами? 4. Каковы методы ускоренных испытаний изделий МОП- и КМОП-технологии на стойкость к воздействию поглощенной дозы низкоинтенсивного ионизирующего излучения, рекомендуемые отечественными нормативными документами? 5. Каковы методы ускоренных испытаний изделий МОП- и КМОП-технологии на стойкость к воздействию поглощенной дозы низкоинтенсивного ионизирующего излучения, рекомендуемые отечественными нормативными документами? 6. Как проводится расчетная оценка стойкости изделий МОП- и КМОП-технологии к воздействию поглощенной дозы с учетом фактора низкой интенсивности? 7. В чем заключается метод аналитической оценки стойкости биполярных приборов и микросхем к воздействию низкоинтенсивного ионизирующего излучения? 8. Как выбирается электрический режим при радиационных испытаниях МОП- и КМОП-приборов и микросхем? 9. Как высокотемпературная наработка перед облучением влияет на радиационную стойкость МОП- и КМОП-приборов и микросхем? 10. В каких случаях можно, а в каких нельзя, заменить при испытаниях электронное и протонное излучение на гамма- или рентгеновское? 11. Каковы особенности ускоренных испытаний изделий смешанного типа (БиКМОП) с учетом эффектов низкоинтенсивного облучения? 12. Испытания ИЭТ на стойкость к воздействию ИИ КП в части дозовых эффектов с использованием ускорителей электронов и протонов. 13. Испытания ИЭТ на стойкость к воздействию ИИ КП в части дозовых эффектов с использованием источников гамма-и нейтронного излучения. 14. Что подразумевают понятия аддитивного и неаддитивного характера взаимодействия ионизационных и структурных эффектов? 15. Определительные испытания с учетом аддитивного характера взаимодействия ионизационных и структурных эффектов. 16. Определительные испытания с учетом неаддитивного характера взаимодействия ионизационных и структурных эффектов. 17. Каковы особенности испытаний ИС на чувствительность к ОРЭ на ускорителях ионов? 18. Каковы особенности испытаний ИС на чувствительность к ОРЭ на ускорителях протонов? 19. Как проводятся исследования чувствительности к ОРЭ с помощью изотопного источника Cf-252. 20. Как проводятся исследования чувствительности к ОРЭ с помощью лазерных имитаторов? 21. Как проводится расчет частоты и вероятности возникновения ОРЭ в заданных радиационных условиях? 22. Методы оценки срока эксплуатации солнечных батарей в заданных радиационных условиях космического пространства. 23. Режимы испытаний солнечных батарей на ускорителях электронов и протонов, определенные зарубежными нормативно-техническими документами. 24. Перечислите основные технологические методы повышения стойкости КМОП-микросхем к воздействию поглощенной дозы ионизирующих излучений. 25. Перечислите основные технологические методы повышения стойкости КМОП-микросхем к необратимым ОРЭ. 26. Перечислите основные технологические методы повышения
-----	--------------	--	---

			<p>стойкости КМОП-микросхем к обратимым ОРЭ.</p> <p>27. В каких случаях возможно применение квазистационарного приближения при моделировании радиационно- индуцированного накопления заряда в диэлектрике МОП-структур?</p> <p>28. Каковы особенности моделирования накопления заряда в диэлектрике МОП-структур при низкоинтенсивном радиационном облучении?</p> <p>29. Каковы особенности моделирования накопления заряда в диэлектрике МОП-структур при воздействии импульсного ионизирующего излучения?</p> <p>30. Каковы особенности рекомбинации неравновесных носителей заряда в треке, образующемся при попадании высокоэнергетической заряженной частицы?</p> <p>31. Каковы особенности переноса носителей заряда при сборе заряда из трека высокоэнергетической тяжелой заряженной частицы?</p> <p>32. Как результаты моделирования сбора заряда из треков тяжелых заряженных частиц можно использовать для оценки основных параметров чувствительности к ОРЭ?</p>
--	--	--	--

КМЗ	Экзамен	ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-1-31;ПК-1-32;ПК-1-У1;ПК-1-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1	<p>Вопросы для экзамена:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Основные понятия (термины и определения) теории надёжности. 2. Показатели надёжности. 3. Классификация отказов элементной базы электроники. 4. Понятие механизма отказа. Применение активационного комплекса для описания деградиционных процессов. 5. Механизмы отказов металлизации в результате электромиграции. 6. Механизмы коррозии и окисления металлизации. 7. Механизмы отказов контактов. 8. Механизмы отказов планарных структур. 9. Механизм пробоя в тонком окисле и эффект горячих носителей. 10. Механизмы отказов в результате действия ударных и вибрационных нагрузок 11. Источники ионизирующих излучений в космическом пространстве. 12. Особенности радиационно-индуцированного накопления заряда в диэлектриках МОП-структур. Нейтрализация положительного заряда в диэлектрике. Механизмы нейтрализации. Влияние интенсивности облучения на накопление заряда в диэлектрике. 13. Особенности радиационного накопления поверхностных состояний в МОП-структурах. Влияние напряжения на затворе и температуры на накопление поверхностных состояний. 14. Влияние мощности дозы ионизирующего излучения на накопление поверхностных состояний. Отжиг поверхностных состояний. 15. Влияние радиации на характеристики полупроводниковых диодов. 16. Влияние радиации на характеристики биполярных транзисторов. 17. Влияние низкоинтенсивного радиационного облучения на характеристики биполярных транзисторов и микросхем. 18. Влияние радиации на характеристики светоизлучающих диодов. 19. Основные виды и классификация одиночных радиационных эффектов (ОРЭ) при воздействии отдельных заряженных частиц космического пространства. 20. Основные параметры чувствительности полупроводниковых приборов и микросхем к ОРЭ. 21. Обратимые ОРЭ в цифровых ИС (SEU, SEFI). Особенности проявления и способы регистрации данных типов событий. 22. Обратимые ОРЭ в аналоговых и аналого-цифровых ИС (SET). 23. Одиночные события радиационного защелкивания в КМОП ИС (SEL). 24. Одиночные необратимые события в мощных МДП-транзисторах (SEB, SEGR). 25. Физические процессы, приводящие к возникновению ОРЭ (общее описание). 26. Методы испытаний изделий МОП- и КМОП-технологии в части ионизационных дозовых эффектов с учетом эффектов низкоинтенсивного облучения. 27. Методы испытаний изделий биполярной технологии в части ионизационных дозовых эффектов с учетом эффектов низкоинтенсивного облучения. 28. Испытания изделий электронной техники в части дозовых эффектов с учетом совместного действия ионизации и создания структурных повреждений. 29. Методы оценки деградации солнечных батарей при воздействии ионизирующих излучений космического пространства. 30. Исследование чувствительности изделий электронной техники к ОРЭ на ускорителях ионов: требования к источникам излучения и исследуемым образцам, организация эксперимента, получаемая из эксперимента информация, дозиметрическое сопровождение экспериментов, преимущества и недостатки данного экспериментального метода. 31. Исследование чувствительности изделий электронной техники к ОРЭ на ускорителях протонов: требования к источникам излучения и исследуемым образцам, организация эксперимента,
-----	---------	--	---

		<p>получаемая из эксперимента информация, дозиметрическое сопровождение экспериментов, преимущества и недостатки данного экспериментального метода.</p> <p>32. Влияние конструктивно-технологических характеристик на накопление зарядов в структуре Si/SiO₂ при радиационном облучении.</p> <p>33. Методы повышения радиационной стойкости изделий МОП- и КМОП-технологии в части дозовых эффектов.</p> <p>34. Методы повышения радиационной стойкости изделий МОП- и КМОП-технологии в части ОРЭ.</p> <p>35. Численное моделирование накопления заряда в структуре Si/SiO₂ при радиационном облучении.</p> <p>36. Численное моделирование сбора заряда из треков тяжелых заряженных частиц космического пространства.</p> <p>Типовые задачи для экзамена.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Задача на определение количественных характеристик надежности. 2. Задача на определение числа смещений атомов в единице объема при облучении кремния высокоэнергетическими частицами (нейтронами / протонами / электронами) с заданными значениями энергии и флюенса. Все справочные данные, необходимые для решения задачи, будут приведены в условии. 3. Определить суммарную поглощенную дозу в процессах ионизации и суммарную поглощенную дозу в процессах создания структурных повреждений при последовательном облучении кремния высокоэнергетическими электронами и протонами. Будут даны значения энергии и флюенса электронов и протонов, а также значения удельных поглощенных доз в ионизационных и структурных процессах для электронов и протонов. 4. Задача на расчет изменения характеристик полупроводников (времени жизни неосновных носителей заряда, диффузионной длина, удельного сопротивления) при воздействии высокоэнергетических частиц с заданным флюенсом. Все необходимые данные для расчета будут даны в условии. 5. Задача на расчет изменения порогового напряжения МОП-транзистора, вызванного радиационным облучением. В условии даны изменения концентрации положительно заряженных ловушек в подзатворном оксиде и плотности поверхностных состояний на границе полупроводник-диэлектрик. Кроме того, приведены необходимые для расчета конструктивно-технологические характеристики транзистора (толщина подзатворного оксида, уровень легирования подложки, тип канала транзистора) и справочные данные. 6. Задача на расчет частоты и вероятности возникновения одиночных отказов при воздействии ТЗЧ и протонов космического пространства. Все необходимые для расчётов параметры чувствительности интегральных схем, а также значения интегральной плотности потока ТЗЧ и протонов, будут даны в условии задачи. 7. Задача на расчет норм испытаний при использовании ускорителей электронов и протонов, а также источников гамма- и нейтронного излучения.
<p>5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (модулю, практике, НИР) - эссе, рефераты, практические и расчетно-графические работы, курсовые работы, проекты и др.</p>		
<p>Коллоквиум № 1. Основные понятия теории надежности. Основы физики взаимодействия ионизирующих излучений с материалами электронной техники. (УК-2-31, УК-2-У1, УК-2-В1, ПК-1-31, ПК-1-32, ПК-1-В1, ПК-2-31).</p>		
<p>Коллоквиум № 2. Радиационные эффекты в изделиях электронной техники в условиях космического пространства. (УК-2-31, УК-2-У1, УК-2-В1, ПК-1-31, ПК-1-32, ПК-1-В1, ПК-2-31, ПК-2-В1).</p>		
<p>Коллоквиум № 3. Расчетно-экспериментальное моделирование радиационных эффектов в изделиях электронной техники. Учет радиационных эффектов при проектировании радиационно-стойких изделий электронной техники (УК-2-31, УК-2-У1, УК-2-В1, ПК-1-31, ПК-1-32, ПК-1-У1, ПК-1-В1, ПК-2-31, ПК-2-У1, ПК-2-В1).</p>		

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

По дисциплине промежуточная аттестация предусмотрена в форме экзамена в 3-м семестре.

Текущая аттестация проводится в виде двух коллоквиумов:

Коллоквиум № 1 - по материалу первого и второго разделов (ОПК-2-31, ОПК-2-У1, ОПК-2-В1, УК-1-31, УК-1-У1, УК-1-В1, ПК-1-31, ПК-1-32, ПК-1-В1, ПК-2-31, ПК-2-У1, ПК-2-В1).

Коллоквиум № 2 - по материалу третьего и четвертого разделов (ОПК-2-31, ОПК-2-У1, ОПК-2-В1, УК-1-31, УК-1-У1, УК-1-В1, ПК-1-31, ПК-1-32, ПК-1-У1, ПК-1-В1, ПК-2-31, ПК-2-У1, ПК-2-В1).

Контроль качества освоения дисциплины включает в себя текущий контроль успеваемости и итоговую аттестацию обучающихся. Текущий контроль успеваемости обеспечивает оценивание хода освоения дисциплины (модуля), итоговая аттестация обучающихся – оценивание окончательных результатов обучения по дисциплине.

Экзамен сдается устно и состоит из двух вопросов и задачи. Все типовые экзаменационные задачи разбираются в ходе практических занятий. Пример экзаменационного билета приведен в приложении.

Бумажные копии билетов хранятся в номенклатуре дел кафедры.

5.4. Методика оценки освоения дисциплины (модуля, практики. НИР)

При аттестации (экзамене) предполагается следующая шкала оценок:

а) «отлично» – студент показывает глубокие, исчерпывающие знания в объеме пройденной программы, уверенно действует по применению полученных знаний на практике, грамотно и логически стройно излагает материал при ответе, умеет формулировать выводы из изложенного теоретического материала, знает дополнительно рекомендованную литературу;

б) «хорошо» – студент показывает твердые и достаточно полные знания в объеме пройденной программы, допускает незначительные ошибки при освещении заданных вопросов, правильно действует по применению знаний на практике, четко излагает материал;

в) «удовлетворительно» – студент показывает знания в объеме пройденной программы; ответы излагает хоть и с ошибками, но уверенно, исправляя ошибки после дополнительных и наводящих вопросов; правильно действует по применению знаний на практике;

г) «неудовлетворительно» – студент допускает грубые ошибки в ответе, не понимает сущности излагаемого вопроса, не умеет применять знания на практике, дает неполные ответы на дополнительные и наводящие вопросы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ**6.1. Рекомендуемая литература****6.1.1. Основная литература**

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л1.1	Гаперо К. И., Диденко С. И.	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники. Радиационные эффекты в изделиях электронной техники: учеб. пособие для студ. вузов, обуч. по напр. подг. 210100 - Электроника и нанoeлектроника	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2013

6.1.2. Дополнительная литература

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.1	Гаперо К. И., Улимов В. Н., Членов А. М.	Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения: монография	Электронная библиотека	Москва: Лаборатория знаний, 2017
Л2.2	Кулаков В. М., Ладыгин Е. А., Шаховцов В. И., др., Ладыгин Е. А.	Действие проникающей радиации на изделия электронной техники	Библиотека МИСиС	М.: Сов.радио, 1980
Л2.3	Ладыгин Е. А.	Обеспечение надежности электронных компонентов космических аппаратов: учеб. пособие для студ. спец. 200100 и 200200	Библиотека МИСиС	М.: Учеба, 2003

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л2.4	Таперо К. И.	Основы радиационной стойкости изделий электронной техники космического применения. Радиационные эффекты в кремниевых интегральных схемах космического применения: курс лекций	Библиотека МИСиС	М.: Изд-во МИСиС, 2011

6.1.3. Методические разработки

	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л3.1	Таперо К. И.	Расчет частоты и вероятности возникновения одиночных сбоев в БИС: метод. указания к выполн. курсовых работ по дисциплине 'Основы радиационной стойкости изделий электронной техники космического применения'	Электронная библиотека	М.: Учеба, 2006

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Э1	Информационная система Единое окно доступа к образовательным ресурсам	http://window.edu.ru/
Э2	Научная электронная библиотека	http://elibrary.ru
Э3	База полнотекстовых научных журналов издательства Эльзевир	http://www.sciencedirect.com/
Э4	База полнотекстовых научных журналов и материалов конференций IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)	http://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp

6.3 Перечень программного обеспечения

П.1	Microsoft Office
П.2	LMS Canvas
П.3	MS Teams
П.4	MATCAD

6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Ауд.	Назначение	Оснащение
Читальный зал №3 (Б)		комплект учебной мебели на 44 места для обучающихся, МФУ Xerox VersaLink B7025 с функцией масштабирования текстов и изображений, 8 ПК с доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus.
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus
Любой корпус Мультимедийная	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа и/или для проведения практических занятий:	комплект учебной мебели до 36 мест для обучающихся, мультимедийное оборудование, магнитно-маркерная доска, рабочее место преподавателя, ПКс доступом к ИТС «Интернет», ЭИОС университета через личный кабинет на платформе LMS Canvas, лицензионные программы MS Office, MS Teams, ESET Antivirus

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Дисциплина относится к точным наукам и требует значительного объема самостоятельной работы. Отдельные учебные вопросы выносятся на самостоятельную проработку и контролируются посредством текущей аттестации. При этом организуются групповые и индивидуальные консультации. Качественное освоение дисциплины возможно только при систематической самостоятельной работе, что поддерживается системой текущей и итоговой аттестации.

Чтение лекций по данной дисциплине проводится с использованием мультимедийных презентаций. Слайд-конспект курса лекций предназначен для более глубокого усвоения материала при изучении разделов, связанных с технической частью курса. Презентация позволяет преподавателю иллюстрировать лекцию не только схемами и рисунками, которые есть в учебном пособии, но и полноцветными фотографиями, рисунками и т.д. Студентам предоставляется возможность копирования презентаций для самоподготовки и подготовки к итоговому контролю.

Практические занятия проводятся с целью приобретения студентами практических навыков решения типовых задач в области надежности и радиационной стойкости изделий электронной техники, анализа результатов исследований деградации изделий электронной техники в условиях воздействия ионизирующего излучения космического пространства, планирования радиационных испытаний изделий электронной техники. Занятия, посвященные разбору и анализу практических результатов исследований и испытаний изделий полупроводниковой электроники, рекомендуется проводить в интерактивном виде с активным привлечением аудитории к обсуждению представляемых преподавателем результатов. Самостоятельная работа организуется с помощью рекомендуемой литературы.