

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:

ФИО: Исаев Игорь Магомедович

Должность: Проректор по учебной и научной работе

Дата подписания: 09.07.2023 20:53:25

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 радиационной стойкости изделий электронной техники

Закреплена за подразделением

Кафедра ППЭ и ФПП

Направление подготовки

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА

Профиль

Форма обучения **очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144

Формы контроля в семестрах:

в том числе:

зачет с оценкой 8

аудиторные занятия 48

самостоятельная работа 96

Распределение часов дисциплины по семестрам

| Семестр (<Курс>.<Семестр на курсе>) | 8 (4.2) | | Итого | |
|---|-----------|-----|-------|-----|
| | Неделя 12 | | | |
| Вид занятий | УП | РП | УП | РП |
| Лекции | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Практические | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Итого ауд. | 48 | 48 | 48 | 48 |
| Контактная работа | 48 | 48 | 48 | 48 |
| Сам. работа | 96 | 96 | 96 | 96 |
| Итого | 144 | 144 | 144 | 144 |

Программу составил(и):

Доктор технических наук, Профессор, Таперо Константин Иванович

Рабочая программа

Основы радиационной стойкости изделий электронной техники

Разработана в соответствии с ОС ВО:

Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» по направлению подготовки 11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА (приказ от 02.04.2015 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, 11.03.04-БЭН-22.plx , утвержденного Ученым советом НИТУ МИСИС в составе соответствующей ОПОП ВО 22.09.2022, протокол № 8-22

Утверждена в составе ОПОП ВО:

11.03.04 ЭЛЕКТРОНИКА И НАНОЭЛЕКТРОНИКА, , утвержденной Ученым советом НИТУ МИСИС 22.09.2022, протокол № 8-22

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 взаимодействия ионизирующих излучений с материалами электронной техники. |
| 1.4 | 2. Ознакомить с существующими методами экспериментальной и расчетно-экспериментальной оценки деградации изделий электронной техники в условиях воздействия внешних радиационных факторов. |
| 1.5 | 3. Сформировать представления об основных видах радиационных эффектов в изделиях электронной техники и механизмах их отказа в условиях воздействия внешних радиационных факторов. |

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

| | | |
|------------|---|------------|
| Блок ОП: | | Б1.В.ДВ.10 |
| 2.1 | Требования к предварительной подготовке обучающегося: | |
| 2.1.1 | Дефекты в оптоэлектронных полупроводниковых приборах на широкозонных материалах | |
| 2.1.2 | Ионно-плазменная обработка материалов | |
| 2.1.3 | Компьютерные технологии проектирования процессов наноэлектроники | |
| 2.1.4 | Материаловедение ферритов и родственных магнитных систем | |
| 2.1.5 | Методы исследования материалов и структур электроники | |
| 2.1.6 | Наноэлектроника полупроводниковых приборов и устройств | |
| 2.1.7 | Основы проектирования электронной компонентной базы. Пакеты прикладных программ | |
| 2.1.8 | Основы технологии электронной компонентной базы. Технология тонких пленок | |
| 2.1.9 | Полевые полупроводниковые приборы | |
| 2.1.10 | Полупроводниковая наноэлектроника | |
| 2.1.11 | Физико-математические модели процессов наноэлектроники | |
| 2.1.12 | Функциональная наноэлектроника | |
| 2.1.13 | Материаловедение полупроводников и диэлектриков | |
| 2.1.14 | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности | |
| 2.1.15 | Производственная практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности | |
| 2.1.16 | Физика конденсированного состояния | |
| 2.1.17 | Безопасность жизнедеятельности | |
| 2.1.18 | Метрология, стандартизация и технические измерения в магнитоэлектронике | |
| 2.1.19 | Метрология, стандартизация и технические измерения в полупроводниковой электронике | |
| 2.1.20 | Статистическая физика | |
| 2.1.21 | Электроника | |
| 2.1.22 | Математическая статистика и анализ данных | |
| 2.1.23 | Методы математической физики | |
| 2.1.24 | Практическая кристаллография | |
| 2.1.25 | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений | |
| 2.1.26 | Учебная практика по получению первичных профессиональных умений | |
| 2.1.27 | Физика | |
| 2.1.28 | Физическая химия | |
| 2.1.29 | Математика | |
| 2.1.30 | Органическая химия | |
| 2.1.31 | Химия | |
| 2.1.32 | Инженерная и компьютерная графика | |
| 2.2 | Дисциплины (модули) и практики, для которых освоение данной дисциплины (модуля) необходимо как предшествующее: | |

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫЕ С ФОРМИРУЕМЫМИ КОМПЕТЕНЦИЯМИ

ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники

Знать:

| |
|--|
| ПК-2-31 Знать основные виды радиационных эффектов в приборах и изделиях электронной техники |
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Знать: |
| ОПК-2-31 Знать механизмы отказов приборов и изделий электронной техники при радиационном облучении |
| УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения |
| Знать: |
| УК-2-31 Знать основные понятия радиационной стойкости приборов и изделий электронной техники |
| ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники |
| Уметь: |
| ПК-2-У1 Уметь описывать физические явления в отдельных областях полупроводниковых приборов и микросхем при воздействии проникающей радиации |
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Уметь: |
| ОПК-2-У1 Уметь применять знания в области физики твердого тела и твердотельной электроники для объяснения физических процессов в материалах и изделиях электронной техники при радиационном облучении |
| УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения |
| Уметь: |
| УК-2-У1 Уметь объяснять и прогнозировать радиационный отклик приборов и изделий электронной техники в условиях радиационного облучения |
| ПК-2: Способность контролировать соблюдение режимов технологических операций, процессов производства изделий микроэлектроники |
| Владеть: |
| ПК-2-В1 Владеть навыками самостоятельной работы с литературой для поиска информации об отдельных определениях, понятиях и терминах, объяснения их применения в практических ситуациях |
| ОПК-2: Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных, осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области |
| Владеть: |
| ОПК-2-В1 Владеть методами исследования радиационно-индуцированной деградации приборов и изделий электронной техники |
| УК-2: Способен собирать и интерпретировать данные и определять круг задач в рамках поставленной цели, выбирать оптимальные способы решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений, умение обосновывать принятые решения |
| Владеть: |
| УК-2-В1 Владеть навыками решения теоретических и практических типовых и системных задач, связанных с профессиональной деятельностью |

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. Взаимодействие ионизирующих излучений с полупроводниками | | | | | | | |
| 1.1 | Образование структурных повреждений и ионизация в полупроводниках при воздействии ионизирующих излучений /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-У1 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|----|--|-------------------------------|--|-------------|----|
| 1.2 | Изменение характеристик полупроводников при воздействии ионизирующих излучений /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 1.3 | Физические величины, характеризующие ионизирующее излучение и его взаимодействие с веществом /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-В1 ОПК-2-У1 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2Л3.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | Р1 |
| 1.4 | Определение поглощенной дозы при воздействии потоков заряженных частиц /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 1.5 | Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела /Ср/ | 8 | 24 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | Р1 |
| | Раздел 2. Эффекты структурных повреждений в полупроводниковых приборах и интегральных схемах | | | | | | | |
| 2.1 | Дозовые эффекты структурных повреждений в изделиях микроэлектроники /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 2.2 | Радиационные эффекты в светоизлучающих диодах, лазерных диодах, суперлюминесцентных диодах /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 2.3 | Радиационные эффекты в фотоэлектрических преобразователях /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 2.4 | Расчет числа смещенных атомов в единице объема полупроводника при воздействии ионизирующих излучений /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-В1 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 2.5 | Изменение характеристик полупроводников при радиационном облучении: решение задач /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 2.6 | Эффекты структурных повреждений в изделиях микроэлектроники и фотоники: решение задач /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| 2.7 | Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела. Подготовка к коллоквиуму по материалу первого и второго разделов /Ср/ | 8 | 24 | УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ1,К М3 | |
| | Раздел 3. Ионизационные дозовые эффекты в полупроводниковых приборах и интегральных схемах | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|---|--|---|----|--|---------------------------|--|-------------|----|
| 3.1 | Особенности строения структуры Si/SiO ₂ . Дефекты, отвечающие за радиационно-индуцированное накопление заряда /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.2 | Накопление и релаксация заряда в диэлектрике при радиационном облучении /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.3 | Накопление поверхностных состояний в структуре Si/SiO ₂ при радиационном облучении /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.4 | Ионизационные дозовые эффекты в изделиях микроэлектроники /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.5 | Электрические методы исследования заряда в оксиде МОП-структур и плотности поверхностных состояний /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.6 | Изменение характеристик МОП-структур при радиационном облучении: решение задач /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.7 | Влияние конструктивно-технологических характеристик на деградацию МОП-структур при радиационном облучении /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-В1 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.8 | Определение заряда в оксиде и плотности поверхностных состояний по результатам измерения вольт-фарадных характеристик и подпороговых вольт-амперных характеристик /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-В1 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 3.9 | Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела /Ср/ | 8 | 24 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31 ПК-2-У1 ПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.1 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| Раздел 4. Одиночные радиационные эффекты | | | | | | | | |
| 4.1 | Основные виды и классификация одиночных радиационных эффектов в изделиях электронной техники /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ПК-2-31 | Л1.1 Л1.2Л3.1 Э1 Э2 | | | |
| 4.2 | Основные параметры чувствительности изделий электронной техники к одиночным радиационным эффектам /Лек/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л3.1 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | Р1 |
| 4.3 | Физические механизмы возникновения одиночных радиационных эффектов /Лек/ | 8 | 2 | ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |

| | | | | | | | | |
|-----|--|---|----|---|-------------------------------|--|-------------|----|
| 4.4 | Расчет частоты и вероятности возникновения одиночных радиационных эффектов: указания по выполнению РГР /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-У1 ОПК-2-В1 ПК-2-31 | Л1.1 Л1.2Л3.1 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | Р1 |
| 4.5 | Решение задач на расчет частоты и вероятности возникновения одиночных радиационных эффектов /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-31 УК-2-В1 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2Л3.1 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | Р1 |
| 4.6 | Физические механизмы возникновения одиночных радиационных эффектов: решение задач /Пр/ | 8 | 2 | УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-У1 ПК-2-31 ПК-2-У1 | Л1.1 Л1.2 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | |
| 4.7 | Самостоятельное изучение литературы по тематике раздела. Выполнение РГР. Подготовка к коллоквиуму по материалу третьего и четвертого разделов /Ср/ | 8 | 24 | УК-2-31 УК-2-У1 УК-2-В1 ОПК-2-31 ОПК-2-В1 ПК-2-В1 | Л1.1 Л1.2Л2.1Л3.1 Э1 Э2 | | КМ2,К М3 | Р1 |

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 | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-2-В1 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Что такое сечение взаимодействия ионизирующих частиц? 2. Что такое поглощенная доза ионизирующего излучения? 3. Что такое флюенс частиц? 4. Перечислите первичные радиационные эффекты в полупроводниках при воздействии проникающей радиации. 5. Что такое пороговая энергия образования смещений? 6. Как определить энергию атома отдачи при упругих взаимодействиях высокоэнергетических частиц и атомов кристалла - мишени? 7. Как рассчитывается полное число смещений в единице объема кристалла-мишени? 8. Как рассчитывается пороговая энергия ионизации движущегося атома? 9. Каковы основные особенности образования смещений в полупроводниках при облучении быстрыми нейтронами? 10. Каковы основные особенности образования смещений в полупроводниках при облучении высокоэнергетическими протонами? 11. Каковы основные особенности образования смещений в полупроводниках при облучении релятивистскими электронами? 12. Каковы особенности образования смещений при облучении полупроводников гамма-квантами? 13. Как зависят линейные потери энергии ионов в полупроводниках от энергии? 14. Каковы механизмы взаимодействия фотонов с облучаемым материалом в зависимости от их энергии? 15. В чем заключается эффект дозового усиления? 16. Какая ядерная реакция на тепловых нейтронах определяет полезный эффект при трансмутационном легировании кремния? 17. Как меняется положение уровня Ферми в кремнии и в других широкозонных полупроводниках при радиационном облучении? 18. Как меняется положение уровня Ферми в германии при радиационном облучении? 19. Каковы основные особенности отжига радиационных дефектов в полупроводниках? 20. Как меняется время жизни неосновных носителей заряда в полупроводниках при радиационном облучении? 21. Как меняется удельное сопротивление кремния при |

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | | <p>радиационном облучении?</p> <p>22. Каковы основные особенности отжига радиационных изменений параметров ПП и ИС?</p> <p>23. Как меняются характеристики светоизлучающих диодов при радиационном облучении?</p> <p>24. Как меняются характеристики лазерных диодов при радиационном облучении?</p> <p>25. Как меняются характеристики суперлюминесцентных диодов при радиационном облучении?</p> <p>26. Как меняются характеристики фотодиодов при радиационном облучении?</p> <p>27. Как меняются характеристики фототранзисторов при радиационном облучении?</p> <p>28. Как меняются характеристики солнечных батарей при радиационном облучении?</p> <p>29. Как меняются характеристики оптронов при радиационном облучении?</p> <p>30. Какие изменения наблюдаются в прямой ветви ВАХ диодов при радиационном облучении?</p> <p>31. Какие изменения наблюдаются в обратной ветви ВАХ диодов при радиационном облучении?</p> <p>32. Как радиационное облучение влияет на динамические характеристики диодов?</p> <p>33. Как меняется коэффициент усиления биполярных транзисторов в схеме с общим эмиттером при радиационном облучении?</p> <p>34. Каковы особенности деградации диодов Шоттки при радиационном облучении?</p> <p>35. Каковы особенности деградации полевых транзисторов с управляющим р-n-переходом при радиационном облучении?</p> <p>36. Каковы особенности деградации полевых транзисторов с барьером Шоттки при радиационном облучении?</p> <p>37. Каковы особенности деградации полевых НЕМТ при радиационном облучении?</p> |
|--|--|--|---|

| | | | |
|-----|--------------|--|--|
| КМ2 | Коллоквиум 2 | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ПК-2-В1;ОПК-2-В1;ОПК-2-У1;ОПК-2-31 | <ol style="list-style-type: none"> 1. Какова природа точечных дефектов в объеме SiO₂ и на границе Si/SiO₂, отвечающих за накопление заряда в МОП-структурах при радиационном облучении? 2. Как рассчитать заряд в диэлектрике и плотность ПС по измеренной вольт-фарадной характеристике МОП-структуры? 3. Как определяется заряд диэлектрика и плотность ПС с помощью метода подпороговых ВАХ? 4. Каков механизм накопления положительного заряда в подзатворном диэлектрике при радиационном облучении? 5. Как зависит выход заряда от напряженности электрического поля в оксиде? 6. Как влияют на перенос дырок в оксиде температура, электрическое поле и толщина оксида? 7. Каковы особенности накопления заряда в подзатворном оксиде в зависимости от интенсивности облучения? 8. Каковы механизмы нейтрализации заряда, накопленного в подзатворном оксиде? 9. Как влияет температура на накопление поверхностных состояний? 10. Что такое латентное накопление поверхностных состояний? 11. Как влияет интенсивность облучения на накопление поверхностных состояний? 12. Каковы возможные механизмы накопления поверхностных состояний при радиационном облучении? 13. Что такое граничные ловушки? 14. За счет чего меняется пороговое напряжение МОП-транзисторов при радиационном облучении? 15. Как меняется пороговое напряжение р- и n-канальных МОП-транзисторов в зависимости от интенсивности облучения? 16. Как меняется подвижность носителей заряда в канале МОП-транзистора при радиационном облучении? 17. Как влияет радиация на шумовые характеристики МОП-транзисторов? 18. Как меняется коэффициент усиления биполярных транзисторов в схеме с общим эмиттером при радиационном облучении? 19. В чем состоят особенности влияния низкоинтенсивного ионизирующего излучения на биполярные транзисторы и микросхемы? 20. Как влияет толщина оксида на значения зарядов, накопленных в подзатворном оксиде и на границе полупроводник- диэлектрик при радиационном облучении? 21. Как влияет содержание водорода в оксиде на плотность ПС, встраиваемых при облучении? 22. В чем особенность радиационных эффектов в МОП-структурах с ультратонкими оксидами? 23. В чем заключается механизм возникновения радиационно-индуцированного тока утечки в МОП-структурах с ультратонкими оксидами? 24. Каковы особенности радиационных эффектах в МОП-структурах с RNO-оксидами? 25. Каковы особенности радиационных эффектов, связанных с накоплением заряда в полевых оксидах? 26. Каковы особенности дозовых эффектов в КНИ-структурах? 27. Перечислите основные виды одиночных радиационных эффектов (ОРЭ) при воздействии отдельных заряженных частиц космического пространства. 28. Какие ОРЭ считаются обратимыми, а какие необратимыми? 29. Что такое одиночные обратимые сбои и как они проявляются? 30. Что такое радиационное защелкивание и как оно проявляется? 31. Как проявляется одиночный эффект прерывания функционирования? 32. Что такое одиночный микродозовый эффект и как он проявляется? 33. Каков механизм возникновения эффектов выгорания и пробоя подзатворного диэлектрика в мощных МДП-транзисторах? 34. Какие виды ОРЭ характерны для аналоговых схем и схем смешанного типа (АЦП, ЦАП)? 35. Какие виды ОРЭ характерны для изделий оптоэлектроники? |
|-----|--------------|--|--|

| | | | |
|--|--|--|---|
| | | | <p>36. Перечислите основные параметры, характеризующие чувствительность ИС к ОРЭ.</p> <p>37. Как выглядит и какой функцией аппроксимируется зависимость сечения ОРЭ от ЛПЭ тяжелых заряженных частиц?</p> <p>38. Как выглядит и какой функцией аппроксимируется зависимость сечения ОРЭ от энергии протонов?</p> <p>39. Как рассчитать частоту и вероятность возникновения ОРЭ?</p> <p>40. Что такое дифференциальный и интегральный энергетический спектр протонов?</p> <p>41. Что такое дифференциальный и интегральный ЛПЭ-спектр тяжелых заряженных частиц?</p> <p>42. Как проводится консервативная оценка частоты и вероятности возникновения ОРЭ?</p> <p>43. Что такое дифференциальный и интегральный энергетический спектр протонов?</p> <p>44. Что такое дифференциальный и интегральный ЛПЭ-спектр тяжелых заряженных частиц?</p> <p>45. Как проводится консервативная оценка частоты и вероятности возникновения ОРЭ?</p> |
|--|--|--|---|

| | | | |
|-----|-----------------|--|---|
| КМЗ | Зачет с оценкой | УК-2-31;УК-2-У1;УК-2-В1;ПК-2-31;ПК-2-У1;ОПК-2-31;ОПК-2-У1;ОПК-2-В1;ПК-2-В1 | <p>Вопросы для зачета с оценкой:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Первичные радиационные эффекты при воздействии ионизирующих излучений на полупроводниковые материалы. 2. Смещение атомов из узлов решетки. Энергия атома отдачи, максимальная энергия атома отдачи, пороговая энергия образования смещений. Оценка полного числа смещений при воздействии ионизирующего излучения. 3. Образование смещений при взаимодействии нейтронов с полупроводниковыми материалами. 4. Образование смещений при взаимодействии высокоэнергетических протонов с полупроводниковыми материалами. 5. Образование смещений при взаимодействии высокоэнергетических электронов с полупроводниковыми материалами. 6. Образование смещений при взаимодействии гамма-квантов с полупроводниковыми материалами. Механизмы взаимодействия фотонов с облучаемым материалом в зависимости от их энергии. 7. Ионизация при взаимодействии нейтронов и заряженных частиц с полупроводниками. 8. Ионизация при воздействии гамма-квантов на полупроводники. Механизмы взаимодействия фотонов с облучаемым материалом в зависимости от их энергии. 9. Термостабильные радиационные дефекты в полупроводниковых материалах. Влияние интегрального потока облучения на положение уровня Ферми в кремнии и германии. 10. Изменение электрофизических свойств полупроводниковых материалов при облучении (время жизни, удельное сопротивление, концентрация носителей, подвижность). 11. Ионизационная модель накопления заряда в МОП-структурах. Выход заряда. Перенос дырок через диэлектрик. 12. 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. Латентное накопление поверхностных состояний. 15. Влияние мощности дозы ионизирующего излучения на накопление поверхностных состояний. Отжиг поверхностных состояний. 16. Изменение характеристик МОП-транзисторов при радиационном облучении 17. Влияние конструктивно-технологических характеристик на радиационную стойкость МОП-структур. 18. Радиационные эффекты, связанные с полевыми оксидами. 19. Особенности дозовых радиационных эффектов в МОП-транзисторах, изготовленных по КНИ-технологии. 20. Влияние радиации на характеристики полупроводниковых диодов. 21. Влияние радиации на характеристики биполярных транзисторов. 22. Влияние низкоинтенсивного радиационного облучения на характеристики биполярных транзисторов и микросхем. 23. Влияние радиации на характеристики светоизлучающих диодов. 24. Влияние радиации на характеристики лазерных диодов. 25. Влияние радиации на характеристики фотодиодов и фототранзисторов. 26. Влияние радиации на характеристики оптронов. 27. Влияние радиации на характеристики солнечных батарей. 28. Влияние радиации на характеристики приборов с зарядовой связью. 29. Основные виды и классификация одиночных событий при воздействии отдельных заряженных частиц космического пространства. 30. Основные параметры чувствительности полупроводниковых |
|-----|-----------------|--|---|

| | | | <p>приборов и микросхем к одиночным событиям</p> <p>31. Обратимые одиночные события в цифровых ИС (SEU, SEFI). Особенности проявления и способы регистрации данных типов событий.</p> <p>32. Обратимые одиночные события в аналоговых и аналого-цифровых ИС (SET).</p> <p>33. Одиночные события радиационного защелкивания в КМОП ИС (SEL).</p> <p>34. Одиночные необратимые события в мощных МДП-транзисторах (SEB, SEGR).</p> <p>35. Физические процессы, приводящие к возникновению ОС (общее описание).</p> <p>Типовые задачи для зачета с оценкой:</p> <p>1. Определить число 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. Сечение взаимодействий, приводящих к смещениям, рассчитывать не требуется <input type="checkbox"/> оно также будет задано.</p> <p>2. 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.</p> <p>3. 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.</p> <p>4. 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.</p> <p>5. Задача на расчет частоты и вероятности возникновения одиночных отказов при воздействии ТЗЧ и протонов космического пространства (оценка консервативным методом). Все необходимые для расчётов параметры чувствительности интегральных схем, а также значения интегральной плотности потока ТЗЧ и протонов, будут даны в условии задачи.</p> |
|---|-----------------|--|---|
| 5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине (Курсовая работа, Курсовой проект, РГР, Реферат, ЛР, ПР и т.п.) | | | |
| Код работы | Название работы | Проверяемые индикаторы компетенций | Содержание работы |
| P1 | РГР | УК-2-31;УК-2-В1;ПК-2-В1;ОПК-2-В1;УК-2-У1 | Расчет частоты и вероятности возникновения одиночных сбоя в БИС ОЗУ при воздействии ТЗЧ и протонов с заданными спектрально-энергетическими характеристиками |

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

По дисциплине промежуточная аттестация предусмотрена в форме: зачета с оценкой в 8-м семестре.

Текущая аттестация проводится в виде двух коллоквиумов и расчетно-графической работы (РГР). Коллоквиум № 1 - по материалу первого и второго раздела. Коллоквиум № 2 - по материалу третьего и четвертого разделов. РГР - по материалу первого и четвертого разделов.

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.

Зачет с оценкой сдается устно и состоит из двух вопросов и задачи. Пример билета для зачета с оценкой приведен в приложении.

Бумажные копии билетов хранятся в номенклатуре дел кафедры.

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

По дисциплине 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 хотя и с ошибками, но уверенно исправляемыми 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 | Таперо 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 |
| Л1.2 | Таперо 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 | Электронная библиотека | М.: Изд-во МИСиС, 2013 |

6.1.2. Дополнительная литература

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---|--|------------------|---------------------|
| Л2.1 | 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 |

6.1.3. Методические разработки

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|--|---------------------|----------|------------|-------------------|
| | | | | |

| | Авторы, составители | Заглавие | Библиотека | Издательство, год |
|------|---------------------|--|------------------------|-------------------|
| ЛЗ.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 | 11.03.04 Основы радиационной стойкости изделий электронной техники: Курс на платформе LMS Canvas. | https://lms.misis.ru/courses/5919 |
| Э2 | Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам" | http://window.edu.ru/ |

6.3 Перечень программного обеспечения

| | |
|-----|------------------|
| П.1 | Microsoft Office |
| П.2 | LMS Canvas |
| П.3 | MS Teams |
| П.4 | MATCAD |
| П.5 | WinRAR |

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. Выполнение РГР проводится с широким использованием компьютерных программ, как для выполнения, так и для оформления работы. 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 радиационной стойкости изделий электронной техники, анализа результатов исследований деградации изделий электронной техники в условиях воздействия ионизирующего излучения. 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.