

Программа курса школы-семинара

(предварительная)

«РАДИАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ-2012»

Дубна 18-21 июня 2012 г.

Обзорные лекции

1. Ионизирующие излучения искусственного и естественного происхождения.
Задание требований по радиационной стойкости ЭКБ и РЭА. Нормативная база
 - 1.1. Краткая характеристика основных ионизирующих частиц: нейтроны, протоны, электроны, тяжелые заряженные частицы, фотоны, рентгеновское и гамма-излучение.
 - 1.2. Источники ионизирующего излучения естественного происхождения
 - 1.2.1. Ионизирующее излучение космического пространства
 - 1.2.1.1. Особенности магнитосферы Земли
 - 1.2.1.2. Протоны ЕРПЗ
 - 1.2.1.3. Электроны ЕРПЗ
 - 1.2.1.4. СКЛ: протоны и ТЗЧ. Понятие максимальной плотности потока и средней.
 - 1.2.1.5. ГКЛ: протоны и ТЗЧ
 - 1.2.1.6. Влияние конструкционной защиты. Тормозное излучение.
 - 1.2.1.7. Типизация орбит
 - 1.2.1.8. Требования по радиационной стойкости
 - 1.2.2. Атмосферные нейтроны
 - 1.2.3. Естественная альфа-активность корпусов.
 - 1.3. Источники ионизирующего излучения искусственного происхождения
 - 1.3.1. Ионизирующее излучение ядерного взрыва
 - 1.3.1.1. Типы ЯВ и их основные поражающие факторы
 - 1.3.1.2. Нейтронный импульс
 - 1.3.1.3. Гамма- и СЖР излучения.
 - 1.3.1.4. Формирование суммарной дозы
 - 1.3.1.5. Типизация уровней воздействия ЯВ
 - 1.3.1.6. Требования по радиационной стойкости
 - 1.3.2. Ионизирующее излучение электрофизических установок
 - 1.3.2.1. Ускорители заряженных частиц
 - 1.3.2.2. Ядерные реакторы
 - 1.3.2.3. Установки физического эксперимента
 - 1.3.2.4. Типовые радиационные уровни
 - 1.3.3. Ионизирующее излучение ядерноэнергетических установок
 - 1.3.3.1. Атомные станции. Аварийная обстановка.
 - 1.3.3.2. Мобильные ядерные реакторы.
 - 1.3.3.3. Типовые уровни радиационных нагрузений.
 - 1.4. Принципы построения стандартов: ГОСТ, ОСТ, РД, ОТУ. Технический регламент.
 - 1.4.1. Нормативная база РФ (ГОСТ). Основные действующие документы.
 - 1.4.2. Отраслевая нормативная база МО РФ. Основные действующие документы.
 - 1.4.3. Отраслевая нормативная база Росатома. Основные действующие документы.
 - 1.4.4. Отраслевая нормативная база Роскосмоса. Основные действующие документы.
 - 1.4.5. Отраслевая нормативная база Минпромторга. Основные действующие документы.
 - 1.4.6. Система сертификации систем качества (краткое представление).

2. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом. Единицы измерений.
- 2.1. Ионизирующие и косвенно ионизирующие частицы.
- 2.2. Ионизационные потери
 - 2.2.1. Ионизационные и радиационные потери электронов. Массовые пробег и энергетические потери. Рассеивание электронов. Экстраполяционный пробег. Методы моделирования прохождения электронов через вещество.
 - 2.2.2. Ионизационные потери протонов и ионов. Массовые пробег и энергетические потери. Методы моделирования. Пример SRIM/TRIM.
 - 2.2.3. Ионизационные потери нейтронов. Понятие i-кермы.
 - 2.2.4. Ионизационные потери электромагнитного излучения. Шкала электромагнитных волн. Фотоэффект. Комптон эффект. Образование пар. Условие электронного равновесия. Особенности энергосвечения на границах раздела.
 - 2.2.5. Методы оценки ионизационного заряда в типовых структурах. Первичная рекомбинация.
- 2.3. Неионизационные потери (структурные повреждения).
 - 2.3.1. Дефектообразование. Пороговая энергия. Точечные дефекты и разупорядоченные области.
 - 2.3.2. Деградация электрофизических параметров: удаление носителей, времени жизни и подвижности.
 - 2.3.3. Методы оценки неионизационных потерь в полупроводниках. Типовые зависимости для нейтронов, протонов и электронов.
- 2.4. Ядерные реакции.
 - 2.4.1. Ядерные реакции в полупроводниковых материалах. Порог ядерных реакций. Понятие барна (сечения ядерной реакции).
 - 2.4.2. Локальное энергосвечение.
 - 2.4.3. Наведенная активность. Типовые примеры. Уровни радиационной безопасности для образцов.
- 2.5. Единицы измерения.
 - 2.5.1. Единицы, характеризующие уровни интегрального нагружения. Экспозиционная доза, флюенс, спектрально-энергетический состав....
 - 2.5.2. Единицы, характеризующие интенсивность воздействия. Мощность экспозиционной дозы, плотность потока, поток и др.
 - 2.5.3. Единицы, характеризующие взаимодействие ИИ с веществом. Керма и поглощенная доза, мощность поглощенной дозы, коэффициенты ослабления и поглощения ИИ. ЛПЭ. Связь ЛПЭ и дозы.
- 2.6. НРБ.

3. Доминирующие эффекты в полупроводниковой ЭКБ при воздействии импульсных ионизирующих излучений
- 3.1. Объемные ионизационные эффекты в полупроводниковых структурах.
 - 3.1.1. Генерация заряда в полупроводниках. Модуляция проводимости.
 - 3.1.2. Формирование ионизационного тока в p-n переходе. Дрейфовая и диффузионная компоненты.
 - 3.1.3. Влияние параметров структуры на характеристики импульса ионизационного тока: конечные размеры базовой области, градиент примеси, режима. Двумерные эффекты.
 - 3.1.4. Влияние АВХ на характеристики импульса ионизационного тока: длительность и форма импульса, поглощение ИИ, интенсивность воздействия.
 - 3.1.5. Ионизационная реакция. Влияние условий нагружения.
 - 3.1.6. Особенности формирования ионизационной реакции в биполярных структурах.
 - 3.1.7. Особенности формирования ионизационной реакции в МОП структурах.
 - 3.1.8. Особенности формирования ионизационной реакции в аналоговых и цифровых ИС. «Просадка» питания.
 - 3.1.9. Тиристорный эффект в КМОП. Окна «защелкивания».
 - 3.1.10. Локальные радиационные эффекты (сбои от нейтронов).
 - 3.1.11. Влияние условий эксплуатации.
- 3.2. Поверхностные ионизационные эффекты.
 - 3.2.1. Радиационно-индуцированный заряд и его влияние на характеристики (кратко, основное в следующем разделе)
 - 3.2.2. Нестационарные эффекты: дисперсионный перенос и отжиг радиационно-индуцированного заряда.
 - 3.2.3. Влияние ионизации в изолирующих материалах и окружающей среде
 - 3.2.4. Влияние режима и условий эксплуатации.
- 3.3. Нестационарные процессы дефектообразования. Быстрый отжиг.
- 3.4. Термомеханические эффекты.
 - 3.4.1. Радиационно-индуцированный разогрев.
 - 3.4.2. Формирование термомеханических напряжений при рентгеновском импульсном облучении.
- 3.5. Методы моделирования и оценки стойкости ЭКБ при воздействии импульсного ИИ.
 - 3.5.1. Модели физического уровня.
 - 3.5.2. Ограничения схемотехнического моделирования.
 - 3.5.3. Моделирование на функционально-логическом уровне.
 - 3.5.4. Существующие средства численного моделирования.
- 3.6. Методы обеспечения стойкости элементов ИС.
 - 3.6.1. Биполярные структуры – нейтроны
 - 3.6.2. Биполярные структуры – гамма-импульс.
 - 3.6.3. МОП структуры – накопленная доза
 - 3.6.4. МОП структуры – гамма-импульс.

4. Доминирующие эффекты в полупроводниковой ЭКБ при воздействии стационарных ионизирующих излучений
- 4.1. Поверхностные ионизационные эффекты в полупроводниковых структурах.
 - 4.1.1. Генерация и рекомбинация заряда в диэлектрике.
 - 4.1.2. Дисперсионный перенос заряда в окисле.
 - 4.1.3. Захват и отжиг радиационно-индуцированного заряда.
 - 4.1.4. Встраивание поверхностных состояний.
 - 4.1.5. Особенности формирования заряда в тонких и толстых окислах.
- 4.2. Поверхностные ионизационные эффекты в элементах ИС.
 - 4.2.1. Деградация характеристик МОП структур:
 - 4.2.1.1. Сдвиг порогового напряжения
 - 4.2.1.2. Уменьшение крутизны.
 - 4.2.1.3. Подпороговые эффекты
 - 4.2.1.4. Утечки в МОП структурах
 - 4.2.1.5. Влияние статического и динамического режима
 - 4.2.1.6. Влияние интенсивности ИИ
 - 4.2.2. Деградация характеристик биполярных структур:
 - 4.2.2.1. Деградация усилительных характеристик
 - 4.2.2.2. Канальный ток.
 - 4.2.2.3. Влияние статического и динамического режима
 - 4.2.2.4. Влияние интенсивности ИИ
 - 4.2.3. Особенности дозовых элементов в элементах опикооэлектроники.
- 4.3. Структурные повреждения от воздействия протонов и электронов.
 - 4.3.1.1. Эквивалентность к нейтронам
 - 4.3.1.2. Особенности деградации солнечных элементов.
- 4.4. Локальные радиационные эффекты.
 - 4.4.1. Основные виды локальных радиационных эффектов.
 - 4.4.2. Показатели стойкости и параметры чувствительности.
 - 4.4.3. Особенности эффектов при воздействии ионов, протонов и нейтронов.
 - 4.4.4. Особенности формирования ионизационной реакции от ОЯЧ
 - 4.4.5. Одиночные сбои в цифровых ИС, в том числе, функциональные.
 - 4.4.6. Эффекты отказов в ИС (тиристорный эффект и вторичный пробой)
 - 4.4.7. «Иголки»
 - 4.4.8. Микродозовые эффекты
 - 4.4.9. Спайки в ПЗС структурах
 - 4.4.10. Отказы вертикальных МОП транзисторов. Область безопасной работы.
- 4.5. Методы обеспечения стойкости элементов ИС.
 - 4.5.1. МОП и БТ – по дозовым эффектам
 - 4.5.2. Солнечные элементы - дефектообразование.
 - 4.5.3. Эффекты сбоев и тиристорные эффекты
 - 4.5.4. МОП структуры по эффектам отказов.

5. Методы математического моделирования элементов ИС и ИС при радиационном воздействии
 - 5.1. Методы моделирования полупроводниковых структур (на примере TCAD?).
 - 5.1.1. Типовые полупроводниковые структуры. Учет двухмерных и трехмерных эффектов.
 - 5.1.2. Примеры физического моделирования МОП структур.
 - 5.1.3. Примеры физического моделирования биполярных структур.
 - 5.1.4. Моделирование ионизационной реакции при прохождении ТЗЧ.
 - 5.1.5. Проблемы идентификации параметров моделей физического уровня.
 - 5.2. Методы моделирования ИС (на примере PSPICE?).
 - 5.2.1. МОП ИС
 - 5.2.1.1. Классические модели МОП структур
 - 5.2.1.2. Учет радиационной деградации в «классических» моделях. Проблемы режима, интенсивности...
 - 5.2.1.3. Моделирование утечек
 - 5.2.1.4. Методы учета «обратного» канала в КНИ структурах.
 - 5.2.1.5. Особенности моделирования КНИ и КНС ИС.
 - 5.2.1.6. Примеры деградации характеристик простейших каскадов МОП ИС
 - 5.2.2. Биполярные ИС
 - 5.2.2.1. Классические схемотехнические модели биполярных транзисторов. (Гуммеля-Пуна, Эберса-Молла...)
 - 5.2.2.2. Учет радиационной деградации в «классических» моделях. Структурные повреждения
 - 5.2.2.3. Учет радиационной деградации в «классических» моделях. Поверхностные ионизационные эффекты. Моделирование утечек в ИС.
 - 5.2.2.4. Особенности моделирования изопланарных и КСДИ биполярных ИС.
 - 5.2.2.5. Примеры деградации характеристик простейших каскадов биполярных ИС
 - 5.2.3. Моделирование ионизационной реакции к импульсному воздействию
 - 5.2.3.1. Схемотехническая модель (ввод генераторов ионизационных токов)
 - 5.2.3.2. «Просадка» питания в ИС
 - 5.2.4. Моделирование локальных радиационных эффектов
 - 5.2.4.1. Параметры генератора тока
 - 5.2.4.2. Влияние размерных эффектов
 - 5.2.4.3. Примеры реакции ИС на воздействие ТЗЧ
 - 5.3. Функционально-логические модели.
 - 5.3.1. Системы моделирования на основе булевой алгебры
 - 5.3.2. Поведенческие модели...
 - 5.3.3. Возможности применения функционально-логических моделей для прогнозирования радиационной стойкости СБИС

6. Современные тенденции развития микроэлектроники и методы проектирования радиационно-стойких ИС
 - 6.1. Технологические структуры современных СБИС
 - 6.1.1. Проектные нормы и связь их с размерами элементов и электрическими характеристиками. Правила масштабирования.
 - 6.1.2. Классические технологические структуры элементов биполярных и КМОП ИС (микронная технология)
 - 6.1.3. Элементы современных биполярных ИС
 - 6.1.4. Элементы современных КМОП ИС
 - 6.1.5. КНИ технология
 - 6.1.6. Перспективы развития трехмерной технологии (3DIC)
 - 6.1.7. RAD-HARD DESIGN
 - 6.2. Проектирование ИС с учетом дозовых эффектов
 - 6.2.1. МОП транзисторы с повышенной стойкостью к дозовым эффектам
 - 6.2.2. Утечки в транзисторах и борьба с ними
 - 6.2.3. Межэлементные утечки и борьба с ними
 - 6.2.4. Возможности построения и применения библиотек элементов
 - 6.3. Проектирование ИС с учетом структурных повреждений
 - 6.3.1. Биполярные транзисторы с повышенной стойкостью
 - 6.3.2. Проблема прецизионных и высоковольтных ИС
 - 6.3.3. Возможности построения и применения библиотек элементов
 - 6.4. Проектирование ИС с учетом импульсных воздействий
 - 6.4.1. Схемы компенсации фототоков
 - 6.4.2. Устранение тиристорных эффектов в КМОП ИС
 - 6.4.3. КНИ/КНС ИС
 - 6.4.4. Потенциальные возможности объемной и тонкопленочной технологий
 - 6.5. Проектирование ИС с учетом локальных радиационных эффектов
 - 6.5.1. Ячейки памяти с повышенной сбоеустойчивостью
 - 6.5.2. Устранение тиристорных эффектов в КМОП ИС
 - 6.5.3. Двухфазная логика
 - 6.5.4. Эффекты отказов и массовых сбоев
 - 6.5.5. Алгоритмические методы парирования сбоев
 - 6.5.6. Схемы активного и пассивного резервирования
 - 6.5.7. Потенциальные возможности объемной и тонкопленочной технологий
 - 6.6. Возможности применения конструкционной защиты
 - 6.6.1. Технология Rad-pack на уровне корпусов ИС
 - 6.6.2. Технология 3D-plus на уровне микромодулей
 - 6.7. Корреляция степени интеграции и уровней радиационной стойкости ИС

- 7. Проектирование современной радиационно-стойкой РЭА
 - 7.1. Разработка архитектуры и алгоритмов РЭА
 - 7.1.1. Алгоритмы проектирования РЭА с учетом радиационных эффектов. Типовая трехуровневая организация РЭА – связь функциональных возможностей и уровней стойкости.
 - 7.1.2. Особенности реализации архитектуры РЭА с учетом параметрических отказов
 - 7.1.3. Особенности реализации архитектуры РЭА с учетом функциональных сбоев и отказов
 - 7.1.4. Особенности реализации архитектуры РЭА с учетом воздействия импульсных ИИ
 - 7.1.5. Особенности реализации архитектуры РЭА с учетом проявления локальных радиационных эффектов
 - 7.2. Выбор ЭКБ
 - 7.2.1. Проблема количества и качества ЭКБ для спецаппаратуры.
 - 7.2.2. Перечень МОП. Полнота и достоверность доступной информации
 - 7.2.3. ЭКБ ИП. Система качества производителей. Проблема поставок RH и Spase IC.
 - 7.2.4. ЭКБ ИП. MIL стандарт. Качество и стойкость.
 - 7.2.5. ЭКБ ИП индустриальные. Производители и их система сертификации.
 - 7.2.6. Формирование заказа на постановку ОКР
 - 7.3. Возможности конструкционной защиты
 - 7.3.1. Проблема оценки внутренней радиационной обстановки
 - 7.3.2. Радиационные факторы космического пространства
 - 7.3.3. Воздействие СЖР.
 - 7.3.4. ЭКБ ИП. MIL стандарт. Качество и стойкость.
 - 7.4. Схемотехнические методы
 - 7.4.1. Использование «облегченных» режимов и изменения допусков на параметры
 - 7.4.2. Схемы компенсации
 - 7.5. Аппаратно-алгоритмические методы
 - 7.5.1. Применение холодного и горячего резерва
 - 7.5.2. Сеансный режим работы
 - 7.5.3. Помехоустойчивое кодирование
 - 7.5.4. Датчики радиации для повышенных уровней воздействия
 - 7.5.5. Алгоритмические методы (повтор операций, контрольные точки, временные задержки...)

8. Методы испытаний и экспериментальная база
 - 8.1. Современная нормативная база
 - 8.1.1. Государственные стандарты
 - 8.1.2. Отраслевые документы МО, Росатома, Роскосмоса и Минпромторга
 - 8.2. Методы испытаний ИС на радиационную стойкость
 - 8.2.1. Методы испытаний на импульсное воздействие (методы 1000-1...1000-2).
 - 8.2.2. Методы испытаний на стойкость к дозовым эффектам (методы 1000-3...1000-5).
 - 8.2.3. Методы испытаний на стойкость к эффектам структурных повреждений (методы 1000-6...1000-8).
 - 8.2.4. Методы испытаний на стойкость к локальным радиационным эффектам (методы 1000-8...1000-12)
 - 8.3. Испытательные установки
 - 8.3.1. Имитирующие и моделирующие установки. Их дуализм.
 - 8.3.2. Испытательная база Росатома (ВНИИЭФ, ВНИИТФ, НИИП)
 - 8.3.3. Испытательная база Роскосмоса (НИИ КП)
 - 8.3.4. Испытательная база Минпромторга (РНИИЭС)
 - 8.3.5. Испытательная база Минобрнауки (МИФИ/СПЭЛС)
 - 8.4. Методическое обеспечение испытаний
 - 8.4.1. Методики дозиметрического сопровождения
 - 8.4.2. Методики контроля критериальных электрических и функциональных характеристик
 - 8.4.3. Методики проведения испытаний.
 - 8.4.4. Рациональный состав и последовательность проведения испытаний
 - 8.4.5. Основные погрешности при оценке показателей радиационной стойкости ЭКБ
 - 8.5. Информационно-справочное обеспечение
 - 8.5.1. Информационно-справочные системы Роскосмоса и Минпромторга
 - 8.5.2. Зарубежные информационные базы
 - 8.5.3. справочные данные фирм производителей, ТУ, протоколы
 - 8.5.4. Испытательные центры – информационное обеспечение