

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования «Национальный исследовательский университет
«Московский институт электронной техники».

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР



И.Г. Игнатова

05 _____ 2019

ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Моделирование в среде TCAD элементов ИС и сенсорики»

Программа повышения квалификации разработана в Центре НТИ «Сенсорика» с целью формирования у слушателей компетенций, необходимых для разработки и практического использования сквозных технологий Национальной технологической инициативы.

Москва - 2019

1. Цель реализации программы

Цель программы – повышение уровня квалификации специалистов в области проектирования элементной базы элементов интегральных схем, а также элементов интегральных сенсоров физических величин. Программа посвящена изучению методов приборно-технологического моделирования различных элементов интегральных схем (ИС) и элементной базы сенсорики с использованием современной среды проектирования Sentaurus TCAD. Программа позволяет сформировать у разработчиков новый современный уровень возможностей, позволяющий решать самые сложные задачи в области исследования и разработки перспективной элементной базы интегральных схем и сенсорики.

2. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – способен создавать модели различных элементов ИС и сенсорики и рассчитывать характеристики таких моделей средствами TCAD.

В результате освоения данной программы слушатель должен:

знать:

- основные виды технологических процессов, моделируемых в TCAD;
- основы оптимизации технологических процессов с применением TCAD
- основные математические модели технологических процессов в TCAD;
- основные виды электрических характеристик элементов ИС и сенсорики, моделируемых в TCAD;
- основные математические модели для расчета электрических характеристик элементов ИС и сенсорики в TCAD;

уметь:

- проводить подготовку исходных данных для численного моделирования технологических процессов формирования элементов ИС и сенсорики в среде TCAD;
- рассчитывать электрические и механические характеристики элементов ИС и сенсорики с применением TCAD;
- рассчитывать зависимости электрических и механических характеристик элементов ИС и сенсорики в среде TCAD и проводить обработку результатов моделирования

3. Содержание программы

Учебный план

программы повышения квалификации

«Моделирование в среде TCAD элементов ИС и сенсорики»

Категория слушателей – инженеры, профильные специалисты, имеющие высшее образование

Срок обучения – 72 часа

Форма обучения - очная

№ п/п	Наименование разделов	Всего часов	В том числе	
			Лекции	Практические и лабораторные занятия
1	Блок специальных дисциплин	72	18	54
	Всего:	72	18	54
Итоговая аттестация		Зачет		

**Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«Моделирование в среде TCAD элементов ИС и сенсорики»**

№ п/п	Наименование разделов	Всего часов	В том числе	
			Лекции	Практические и лабораторные занятия
1	Блок специальных дисциплин			
1.1.	Технологическое моделирование элементов интегральных схем (ИС)	12	4	8
1.2	Создание моделей транзисторов без технологического моделирования	8	4	4
1.3	Моделирование электрических характеристик элементов ИС	12	4	8
1.4	Сквозное приборно-технологическое моделирование элементов ИС	8	4	4
1.5	Создание моделей и приборное моделирование датчиков магнитного поля на примере элемента Холла	8	2	6
1.6	Создание моделей и приборное моделирование датчиков магнитного поля на примере двухколлекторного биполярного магнитотранзистора	6		6
1.7	Расчет усилительных свойств концентраторов магнитного поля для датчиков магнитного поля	6		6
1.8	Трехмерное моделирование распределения тепла и расчет максимальной температуры нагревателя в датчике взрывоопасных газов	6		6
1.9	Создание моделей и расчет характеристик датчиков ускорения	6		6
	Всего:	72	18	54
Итоговая аттестация		Зачет		

**Учебная программа
повышения квалификации
«Моделирование в среде TCAD элементов ИС и сенсорики»**

Раздел 1. Блок специальных дисциплин (72 часа)

Тема 1.1. Технологическое моделирование элементов интегральных схем (ИС).

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.1	Основные уравнения, используемые для моделирования диффузии примеси в кремнии	2
1.1	Уравнения, используемые для моделирования процесса окисления кремния. Методы моделирования ионной имплантации примеси	2

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.1	Одномерное технологическое моделирование элементов ИС	4
1.1	Двухмерное технологическое моделирование элементов ИС	4

Тема 1.2. Создание моделей транзисторов без технологического моделирования.

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.2	Особенности создания двухмерных моделей элементов ИС с использованием программы SDE	2
1.2	Особенности создания трехмерных моделей элементов ИС с использованием программы SDE	2

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.2	Создание 2D-структуры полупроводникового прибора в интерактивной графической оболочке без использования технологического моделирования	2
1.2	Создание 3D-структуры КНИ-транзистора без использования технологического моделирования	2

Тема 1.3. Моделирование электрических характеристик элементов ИС

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.3	Основные уравнения, используемые при приборном моделировании. Выбор моделей подвижности, генерации-рекомбинации. Основные типы граничных условий	2
1.3	Алгоритм работы программы приборного моделирования на примере решения уравнения Пуассона	2

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.3	Расчет зависимостей коэффициента усиления базового тока и частоты единичного усиления от тока эмиттера двухмерного n-p-n-биполярного транзистора. Расчет АЧХ биполярного транзистора	4
1.3	Расчет напряжения пробоя p-n-перехода с “плавающими” кольцами	4

Тема 1.4. Сквозное приборно-технологическое моделирование элементов ИС

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.4	Особенности сквозного приборно-технологического моделирования элементов ИС в среде TCAD	2
1.4	Программные средства для организации вычислений в среде TCAD	2

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.4	Сквозное технологическое и приборное моделирование n-МОП-транзистора в среде SWB	4

Тема 1.5. Создание моделей и приборное моделирование датчиков магнитного поля на примере элемента Холла

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.5	Особенности создания моделей датчиков Холла в среде TCAD	2

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.5	Расчет чувствительности элемента Холла, работающего в режиме измерения напряжения (voltage mode Hall sensor)	3
1.5	Расчет чувствительности элемента Холла, работающего в режиме измерения тока (current mode Hall sensor)	3

Тема 1.6. Создание моделей и приборное моделирование датчиков магнитного поля на примере двухколлекторного биполярного магнитотранзистора

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.6	Расчет чувствительности элемента Холла, работающего в режиме измерения напряжения (voltage mode Hall sensor)	3
1.6	Расчет чувствительности элемента Холла, работающего в режиме измерения тока (current mode Hall sensor)	3

Тема 1.7. Расчет усилительных свойств концентраторов магнитного поля для датчиков магнитного поля

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.7	Создание трехмерной модели области моделирования с концентратором магнитного поля	3
1.7	Расчет коэффициента усиления магнитного поля в промежутке между концентраторами магнитного поля	3

Тема 1.8. Трехмерное моделирование распределения тепла и расчет максимальной температуры нагревателя в датчике взрывоопасных газов

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.8	Создание трехмерной модели мембраны датчика взрывоопасных газов с нагревателем на ее поверхности	3
1.8	Расчет максимальной температуры нагревателя в зависимости от мощности, подводимой к нагревателю	3

Тема 1.9. Создание моделей и расчет характеристик датчиков ускорения

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.9	Создание трехмерной модели кремниевого датчика ускорения	3
1.9	Расчет механических напряжений и деформации датчика в зависимости от приложенного ускорения в вертикальном направлении	3

4. Материально-технические условия реализации программы

Наименование специализированных аудиторий кабинетов, лабораторий	Вид занятия	Наименование оборудования, программного обеспечения
Компьютерный класс 4201, 4236	лекции	Проектор, экран, телевизор, подключенный к компьютеру
Компьютерный класс 4201	Лабораторные работы	Рабочие станции; Операционная система RedHat Linux; система приборно-технологического моделирования ISE TCAD
Компьютерный класс 4236	Лабораторные работы	Рабочие станции; ОС RedHat Linux; Система моделирования Sentaurus TCAD

5. Учебно-методическое обеспечение программы

Раздел 1

1. Артамонова Е.А., Балашов А.Г., Ключников А.С., Красюков А.Ю., Поломошнов С.А. Под ред. Крупкиной Т.Ю. Лабораторный практикум по курсу «Моделирование в среде TCAD». Ч.1 Введение в приборно-технологическое моделирование М.: МИЭТ, 2009.
2. Артамонова Е.А., Балашов А.Г., Ключников, А.В., Козлов, Красюков А.Ю. Лабораторный практикум по курсу "Моделирование в среде TCAD". Часть 2. Приборно-технологическое моделирование элементов интегральных схем / Под редакцией Т.Ю. Крупкиной. – М.: МИЭТ, 2012. – 140 с.
3. А.Г. Балашов, А.В. Козлов, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов. Методические указания по выполнению курсового проекта по курсу “Маршруты БИС”. Под редакцией Т.Ю. Крупкиной. – М.: МИЭТ, 2010. – 48 с.
4. А.Ю. Красюков, И.Н. Титова. Учебно-методическое пособие для самостоятельной работы студентов по дисциплине “Элементы твердотельной наноэлектроники”. – М.: МИЭТ, 2011. – 124 с.
5. М.А. Королев, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов. Учебное пособие по дисциплине “Современные проблемы технологии наноэлектроники”. – М.: МИЭТ, 2011. – 100 с.
6. Е.А. Артамонова, А.Г. Балашов, А.С. Ключников, А.В. Козлов, А.Ю. Красюков, С.А. Поломошнов, А.В. Селецкий. Лабораторный практикум по курсу "Моделирование технологических процессов". Под редакцией доктора технических наук, проф. Т.Ю. Крупкиной. – М.: МИЭТ, 2018. – 108 с.

6. Оценка качества освоения программы

Итоговая аттестация проводится в форме зачета. Для получения зачета по курсу нужно выполнить и защитить все лабораторные работы и ответить на вопросы к зачету. Список вопросов приведен в приложении 1.

Критерии оценки лабораторных работ приведены далее. Работа считается сданной, если набрано не менее четырех баллов.

№ п/п	Критерии оценки лабораторной работы	Балл
1	Оформлена краткая теоретическая часть	1
2	Создана модель исследуемого прибора или сенсора в среде TCAD	1
3	Рассчитаны требуемые электрические характеристики или профили распределений примеси в среде TCAD	1
4	Получены зависимости электрических характеристик исследуемых моделей от параметров конструкции и технологии	1
5	Оформлен отчет о работе	1
6	Получены ответы на контрольные вопросы к работе	1

7. Составители программы

Красюков А.Ю., к.т.н., доцент.



Приложение 1 – Вопросы к зачету

1. Основные модели диффузии примеси, используемые в технологическом моделировании
2. Основные модели окисления кремния, используемые в технологическом моделировании
3. Типы граничных условий, используемых при моделировании диффузии примеси
4. Основные Методы создания двухмерных моделей элементов интегральных схем
5. Основные методы создания трехмерных моделей элементов интегральных схем
6. Пояснить особенности создания сетки для двухмерных моделей элементов интегральных схем на примере МОП-транзистора
7. Пояснить особенности создания сетки для двухмерных моделей элементов интегральных схем на примере биполярного транзистора
8. Основные уравнения для приборного моделирования
9. Основные модели для приборного моделирования
10. Типы граничных условий для приборного моделирования

