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
«__» _____ 2019

ПРОГРАММА ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ

«Приборно-технологическое моделирование и калибровка моделей в среде TCAD»

Москва – 2019

1. Цель реализации программы

Цель программы – повышение уровня квалификации специалистов в области приборно-технологического моделирования элементов интегральных схем. Программа посвящена изучению методов и моделей для приборно-технологического моделирования различных элементов интегральных схем, а также особенностям калибровки моделей 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, силовых и радиационно-стойких полупроводниковых приборов.

2. Требования к результатам обучения

Формируемая профессиональная компетенция – способен использовать модели для приборно-технологического моделирования элементов интегральных схем и проводить калибровку этих моделей в среде Sentaurus TCAD.

В результате освоения данной программы слушатель должен:

знать:

- основные модели для описания технологических процессов создания элементов интегральных схем с использованием TCAD;
- основные модели для расчета электрических характеристик элементов интегральных схем с использованием TCAD;
- особенности и методы калибровки моделей технологических процессов;
- особенности и методы калибровки моделей для расчета электрических характеристик;

уметь:

- проводить моделирование технологических процессов создания элементов интегральных схем с использованием различных моделей технологических процессов в среде TCAD;
- проводить расчет электрических характеристик элементов интегральных схем с использованием различных моделей в среде TCAD;
- проводить калибровку моделей технологических процессов в среде TCAD;
- проводить калибровку моделей для приборного моделирования в среде TCAD;
- создавать модели и рассчитывать характеристики силовых и радиационно-стойких полупроводниковых приборов с применением TCAD.

иметь практический опыт: использования средств приборно-технологического моделирования для разработки и исследования характеристик различных элементов интегральных схем

3. Содержание программы

Учебный план
программы повышения квалификации
«Приборно-технологическое моделирование и калибровка моделей в среде TCAD»

Категория слушателей – сотрудники предприятий, имеющие высшее профессиональное образование
Срок обучения – 32 часа
Форма обучения – очная

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			Образовательные технологии, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самостоятельная работа	
			Лекции	Практ.и лабор. занятия		
1.	Модели технологических процессов и их калибровка	9	1	8	-	-
2.	Модели для приборного моделирования и их калибровка	13	2	11	-	-
3.	Моделирование силовых и радиационно-стойких интегральных схем	10	2	8	-	-
	Всего	32	5	27	-	-
Итоговая аттестация*: зачет						

**Междисциплинарный экзамен, экзамен, зачет, защита реферата, защита итоговой аттестационной работы, защита расчетно-графической работы, защита проекта, тестирование, опрос, круглый стол, деловая игра ...*

Учебно-тематический план
программы повышения квалификации
«Приборно-технологическое моделирование и калибровка моделей в среде TCAD»

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			ОТ, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самос. работа	
			Лекции	Практ. и лаб. занятия		
1	Модели технологических процессов и их калибровка	9	1	8		
1.1.	Методология калибровки Sentaurus TCAD для решения прикладных и исследовательских задач	1	1			
1.2	Модели для технологического моделирования и их калибровка	8				
1.2.1	Аналитические профили распределения примесей после ионной имплантации; параметры распределения Пирсона			2		
1.2.2	Модель Дила-Гроува и Массуда для окисления кремния. Коэффициенты моделей их зависимость от температуры, давления, ориентации подложки. Влияние состава газовой смеси на скорость окисления;			2		
1.2.3	Модели диффузии и активации-кластеризации примесей в кремнии. Модели диффузии и кластеризации точечных дефектов в кремнии. Граничные условия для диффузии примесей и точечных дефектов. Коэффициенты моделей			2		
1.2.4	Использование оболочки CalibrationKit для калибровки примесных профилей			2		

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			ОТ, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самос. работа	
			Лекции	Практ. и лаб. занятия		
2	Модели для приборного моделирования и их калибровка	13	2	11		
2.1	Описание моделей для приборного моделирования		1			
2.2	Модели подвижности			2		
2.3	Модели генерации-рекомбинации			2		
2.3	Свойства границы раздела Si-SiO2 и её влияние на приборные характеристики			2		
2.4	Особенности приборно-технологического моделирования		1			
2.5	Использование модуля Optimizer при проведении приборно-технологического моделирования			2		
2.6	Использование модуля PCMStudio для анализа результатов приборно-технологического моделирования			3		

№ п/п	Наименование модулей	Всего, час	В том числе			ОТ, в том числе ЭО и (или) ДОТ
			Аудиторных		Самос. работа	
			Лекции	Практ. и лаб. занятия		
3	Моделирование силовых и радиационно-стойких интегральных схем	10	2	8		
3.1.	Трехмерное приборно-технологическое моделирование силовых приборов Методы ускорения расчетов			2		
3.2	Особенности моделирование воздействия радиации на элементы интегральных схем		1			
3.3	Модель диэлектрика КНИ-структуры как широкозонного полупроводника. Распределение ловушек в диэлектрике.		1			
3.4	Моделирование КНС-транзисторов. Уменьшение подвижности рабочего слоя и заряд на границах раздела в КНС-структуре			3		
3.5	Расчет токов утечки, вызванных радиацией и захватом горячих носителей в диэлектрик			3		
	Всего:	32	5	27		
Итоговая аттестация*		Зачет				

**Междисциплинарный экзамен, экзамен, зачет, защита реферата, защита итоговой аттестационной работы, защита расчетно-графической работы, защита проекта, тестирование, опрос, круглый стол, деловая игра ...*

Календарный учебный график

Календарный учебный график составляется в форме расписания занятий при наборе группы и прилагается к программе повышения квалификации.

Учебная программа
повышения квалификации
«Приборно-технологическое моделирование и калибровка моделей в среде TCAD»

Раздел 1. Модели технологических процессов и их калибровка **(9 часов)**
Тема 1.1. Технологическое моделирование элементов интегральных схем (ИС).

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
1.1	Методология калибровки Sentaurus TCAD для решения прикладных и исследовательских задач	1

Тема 1.2. Модели для технологического моделирования и их калибровка

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
1.2	Аналитические профили распределения примесей после ионной имплантации; параметры распределения Пирсона	2
1.2	Модель Дила-Гроува и Массуда для окисления кремния. Коэффициенты моделей их зависимость от температуры, давления, ориентации подложки. Влияние состава газовой смеси на скорость окисления;	2
1.2	Модели диффузии и активации-кластеризации примесей в кремнии. Модели диффузии и кластеризации точечных дефектов в кремнии. Граничные условия для диффузии примесей и точечных дефектов. Коэффициенты моделей	2
1.2	Использование оболочки CalibrationKit для калибровки примесных профилей	2

Раздел 2. Модели для приборного моделирования и их калибровка **(13 часов)**
Тема 2. Модели для приборного моделирования и их калибровка

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
2	Описание моделей для приборного моделирования	1
2	Особенности приборно-технологического моделирования	1

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
2	Модели подвижности	2
2	Модели генерации-рекомбинации	2
2	Свойства границы раздела Si-SiO2 и её влияние на приборные характеристики	2
2	Использование модуля Optimizer при проведении приборно-технологического моделирования	2
2	Использование модуля PCMStudio для анализа результатов приборно-технологического моделирования	3

Раздел 3. Моделирование силовых и радиационно-стойких интегральных схем **(10 часов)**

Тема 3. Моделирование силовых и радиационно-стойких интегральных схем

Перечень лекционных занятий

Номер темы	Наименование лекции	Кол-во часов
3	Особенности моделирование воздействия радиации на элементы интегральных схем	1
3	Модель диэлектрика КНИ-структуры как широкозонного полупроводника. Распределение ловушек в диэлектрике.	1

Перечень лабораторных работ

Номер темы	Наименование практического занятия	Кол-во часов
3	Трехмерное приборно-технологическое моделирование силовых приборов Методы ускорения расчетов	2
3	Моделирование КНС-транзисторов. Уменьшение подвижности рабочего слоя и заряд на границах раздела в КНС-структуре	3
3	Расчет токов утечки, вызванных радиацией и захватом горячих носителей в диэлектрик	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

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

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 далее:

1. Основные модели диффузии примеси, используемые в технологическом моделировании и их параметры
2. Основные модели окисления кремния, используемые в технологическом моделировании и их параметры

3. Основные модели для ионной имплантации и их параметры
4. Модели для диффузии, ускоренной окислением.
5. Граничные условия для моделирования диффузии и окисления
6. Основные уравнения для приборного моделирования
7. Модели подвижности и их параметры
8. Модели рекомбинации-генерации и их параметры
9. Модели для описания свойства границы раздела материалов и их параметры
10. Модели для накопления заряда в диэлектрике и их параметры
11. Методы калибровки моделей технологических процессов
12. Методы калибровки моделей для приборного моделирования
13. Влияние сетки на результаты моделирования
14. Методы ускорения расчетов при трехмерном моделировании
15. Особенности расчета пробивного напряжения силовых полевых и биполярных транзисторов

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	Проведено моделирование технологических процессов и использованием различных моделей	1
3	Проведено приборное моделирование с использованием различных моделей	1
4	Проведена калибровка моделей для технологического моделирования и получены распределения примесей с разными параметрами моделей технологических процессов	1
5	Проведена калибровка моделей для приборного моделирования и получены ВАХ приборов с разными параметрами моделей приборного моделирования	1
6	Оформлен отчет о работе	1
7	Получены ответы на контрольные вопросы к работе	1

7. Составители программы
к.т.н., доцент. **Красюков А.Ю.**

Согласовано: Директор ДРОП **Н.Ю. Соколова**