УДК 519.876.5, 372.862

 А.Н. Кривошеева

(г. Санкт-Петербург, СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

Использование программного пакета Sentaurus TCAD в учебном процессе

Аннотация: в работе описан опыт использования приборного и технологического моделирования в программном пакете Sentaurus TCAD в учебном процессе в СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Annotation: device & technology modeling in Sentaurus TCAD experience in ETU educational process are described.

Ключевые слова: учебный процесс, проектирование электронной компонентной базы, проектирование технологических процессов

Keywords: educational process, electronic component base design, technological process design

 В СПбГЭТУ «ЛЭТИ» в учебном процессе в рамках практических занятий по дисциплинам: «Основы проектирования электронной компонентной базы» (ОПЭКБ) и «Процессы микро- и нанотехнологии» (ПрМиНТ), начиная с 2009 года используется программный пакет Sentaurus TCAD компании Synopsys.

Дисциплина ОПЭКБ входит в базовую часть программы подготовки бакалавров по направлению «Электроника и наноэлектроника» (седьмой семестр). Относится к дисциплинам конструкторско-технологического цикла. Целью дисциплины является изучение методов проектирования и конструирования электронной компонентной базы, а также формирование навыков использования современных пакетов САПР электронных компонентов. Основная задача практических занятий - изучение влияния конструктивных и технологических параметров дискретных электронных компонентов и элементов интегральных схем на их схемотехнические параметры.

На практических занятиях и при выполнении курсовой работы используются модули Sentaurus Structure Editor и Sentaurus Device. Применение программного пакета позволяет наглядно представить процессы, происходящие в объеме полупроводника и области электронно-дырочного перехода, влияние геометрических размеров и распределения примесей на выходную характеристику прибора при различных режимах работы. Для изучения возможностей программного пакета и интерфейса студентами на практических занятиях создаётся модель выпрямительного кремниевого диода, анализируется его ВАХ и работа в составе выпрямительного моста.

В качестве задания на курсовую работу подгруппа из двух-трёх человек получает радиолюбительскую схему, содержащую 2 – 3 активных компонента: диоды различного назначения, биполярные и полевые транзисторы. Каждый член подгруппы разрабатывает конструкцию одного из активных компонентов, и совместно с другими членами подгруппы проверяет работоспособность спроектированного компонента в схеме. В процессе выполнения работы актуализируются знания о физике работы приборов, технологии их изготовления, теории цепей и схемотехнике, а также устанавливаются связи между ними. Студенты приобретают навыки приборного и схемотехнического моделирования.

В модуле Sentaurus Structure Editor создаётся геометрическая модель компонента, задаётся распределение примесей во всех областях, геометрия контактов и строится сетка конечных элементов. С помощью модуля Sentaurus Device выполняется численный расчёт выходных характеристик, распределения электрического поля, потенциала, заряда, плотности тока и подвижности носителей заряда во всех частях структуры. Визуализация результатов расчёта и их анализ выполняются с помощью модулей Inspect и Sentaurus Visual. (Рис. 1).

 

Рис. 1. Пример результатов моделирования биполярного транзистора

Описание схемы задаётся в Sentaurus Device на SPICE-подобном языке. Проводится расчёт работы схемы в квазистационарном режиме, а также в режиме анализа переходных процессов.

Дисциплина ПрМиНТ входит в базовую часть программы подготовки магистров по направлениям «Электроника и наноэлектроника» и «Нанотехнологии и микросистемная техника» (второй семестр).

В качестве индивидуального задания на практических занятиях студенты должны разработать технологический процесс формирования структуры: биполярного транзистора (по планарно-эпитаксиальной или изопланарной технологии, с полностью диэлектрической изоляцией); фрагмента ИС, включающего биполярный транзистор, диод и диффузионный резистор; КМОП- структуры; БиКМОП-структуры или ячейки памяти. В качестве исходных данных студент получает эскиз сечения фрагмента ИС, таблицу основных геометрических параметров и значений концентрации примесей в легированных областях. Студенты подготавливают сопроводительный лист соответствующего процесса, проводят предварительный расчёт для оценки или выбора технологических параметров каждой операции, оценивают размеры элементов масок.

При выполнении задания студенты изучают и используют для моделирования технологических процессов формирования фрагмента интегральной схемы (ИС) модули пакета: Ligament Layout Editor, Ligament Flow Editor, Sentaurus Process. С помощью модуля Ligament Layout Editor студенты создают эскизы фотошаблонов для всех операций фотолитографии, входящих в процесс. С помощью модуля Ligament Flow Editor создаётся программный код для моделирования технологического процесса. С помощью модуля Sentaurus Process рассчитывается распределение примесей в двумерной модели фрагмента ИС, содержащей эпитаксиальные слои, легированные области, полученные методами ионной имплантации и диффузии, слои легированного поликристаллического кремния. Изолирующие области в модели могут быть созданы с использованием расчёта результатов окисления кремния (с учётом перераспределения примесей). Создание слоёв различных материалов также возможно путём имитации изотропного или анизотропного нанесения, а удаление - изотропного или анизотропного травления.

Использование программного пакета Sentaurus TCAD в учебном процессе помогает установить и укрепить взаимосвязи между знаниями о конструкциях, физических основах работы, технологии изготовления, применении в схемах различного назначения компонентов электронной техники в дискретном и интегральном исполнении, полученные ранее при изучении дисциплин: «Методы математической физики», «Физика», «Теоретические основы электротехники», «Материалы электронной техники», «Компоненты электронной техники», «Твердотельная электроника», «Информационные технологии», «Физико-химические основы технологии изделий электроники и наноэлектроники», «Технология материалов и элементов электронной техники».

Студенты имеют возможность с помощью численного моделирования оценить и наглядно представить влияние конструктивных и технологических параметров на выходные характеристики приборов. Проектирование электронных компонентов и технологических процессов их изготовления с помощью программного пакета Sentaurus TCAD помогает повысить у студентов с разным уровнем подготовки заинтересованность в процессе и результатах обучения.

Более широко и полно возможности программного пакета используются при выполнении выпускных квалификационных работ бакалавров и магистров при разработке моделей компонентов современных устройств оптоэлектроники, СВЧ-техники, силовых приборов.