

Ломака Анастасия Олеговна

магистрант

Гостев Алексей Григорьевич

магистрант

ФГБОУ ВО «Донской государственный
технический университет»

г. Ростов-на-Дону, Ростовская область

ПОЛУАНАЛИТИЧЕСКАЯ ПРИБОРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЁТА ПЛАНАРНО-ЭПИТАКСИАЛЬНОГО МНОГОЭМИТТЕРНОГО БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

***Аннотация:** в данной статье рассматриваются положения, законы и принципы, на которых строится полуаналитическая приборно-технологическая модель расчёта электрических характеристик планарно-эпитаксиального многоэмиттерного биполярного транзистора.*

***Ключевые слова:** многоэмиттерный биполярный транзистор, микроэлектроника, математическое моделирование, электронные приборы.*

С самых первых шагов развития микроэлектроники (60-е года прошлого века) стало применяться математическое моделирование для проектирования электронных приборов в микроэлектронике. По началу использовались, как правило, аналитические модели, требующие большое количество допущений и пренебрежений и поэтому имеющие не высокую достоверность получаемых результатов. По достижению ЭВМ в 80-е годы мощностей, необходимых для решения систем линейных алгебраических уравнений, содержащих большое количество уравнений, стали появляться физико-топологические модели элементов электронных компонентов [1], основанные на разнообразных вариантах решения фундаментальной системы уравнений (ФСУ) полупроводника. В эти же годы использование ЭВМ при проектировании электронных приборов и микросхем в микроэлектронике приобрело широкое распространение. Исходной информа-

цией в таких моделях являются физические параметры полупроводникового материала, его кристаллическая структура, а также статические или динамические управляющие токи или напряжения. В начале из-за малой производительности ЭВМ для решения ФСУ приходилось использовать много физических и геометрических ограничений. Эти ограничения позволяли значительно упростить систему и таким образом решить задачу на ЭВМ за приемлемое время. Однако такие модели могли быть использованы далеко не для всех приборов или имели ограниченное применение: только для одного варианта структуры прибора или только определенного режима работы этого прибора [1]. При этом появлялась задача обеспечения физической адекватности этих упрощенных моделей.

В данное время САПР приборно-технологического моделирования (например, САПР Sentaurus TCAD) [2], установленные на мощных рабочих станциях, дают возможность решать фундаментальную систему уравнений полупроводника методом конечных элементов с числом узлов разбиения вплоть до миллиона. Системы TCAD действительно позволяют произвести прецизионное приборно-технологическое проектирование электронных приборов с очень хорошими результатами, т.е. когда разработанный маршрут создания электронного прибора в TCAD и получаемые для этого прибора электрические характеристики хорошо совпадают (погрешность не более 10%) с характеристиками реальных электронных приборов созданных согласно данному маршруту проектирования.

Однако, несмотря на столь хорошие результаты по расчётам электрических характеристик электронных приборов с помощью данных САПР, стоит проблема достижения времен моделирования, приемлемых для практического проектирования. Так, например, в статье [3], оптимизация IGBT-тиристора с использованием САПР Sentaurus TCAD проводилось на кластере из шестидесяти компьютеров в течении нескольких часов.

Так же, ещё одним недостатком TCAD является то, что выбор физической модели, точности вычислений, правила регенерации сетки, наименьшего, наибольшего и начального шага сходимости, использование Ньютоновских или Гуммелевских итераций – весь выбор предоставлен пользователю TCAD, и от

того, насколько грамотно будут назначены эти величины, и какие модели и методы будут выбраны зависит точность вычислений и временные затраты на расчет двумерной структуры.

Анализ методик применения TCAD показал, что на данный момент нет никаких четких правил, воспользовавшись которыми, можно оптимизировать процесс вычислений. В ряде случаев существующая методика расчета может привести к неприемлемо малому шагу сходимости или к нарушению сходимости вообще, что в свою очередь приводит к большим временным затратам при расчете сложной структуры и даже к принудительному завершению процесса моделирования с частичной потерей данных. Особенно это проявляется при расчете трехмерных структур, где количество узлов сетки в сотни раз превышает количество узлов двумерной структуры [3].

Современные системы автоматизации математических расчетов, типа MathCAD, позволяют легко реализовать полуаналитическую приборно-технологическую модель расчёта электронных приборов. Она содержит как эмпирические формулы широко известные при конструировании полупроводниковых приборов [5–8], так и результаты, которые могут быть получены путем численного расчёта значений [4–6,8].

Чем может быть полезна полуаналитическая модель расчёта транзистора [4]:

1. Она обладает физической наглядностью, т.е. начинающий специалист получает полный контроль над процессом конструирования прибора так как в ней сразу наглядно видна зависимость различных выходных характеристик (параметров) электронных приборов от различных входных характеристик и параметров технологического изготовления приборов. В этой модели видно полностью, что от чего зависит и каким образом. Таким образом, произведя расчеты в рамках данной модели, начинающий специалист, может уже осмысленно работать с системами TCAD, в которых задаются физические свойства полупроводникового

материала, его кристаллическая структура, а также статические или динамические управляющие токи или напряжения, а на выходе из системы получаются выходные характеристики электронных приборов.

2. Данная система позволяет произвести быстро приборно-технологическое проектирование электронных приборов, чтобы оценить приблизительно электрофизические параметры полупроводникового материала, его объемную структуру и топологию и тогда имея оценки начинать работу с системами TCAD.

3. Данная полуаналитическая модель расчёта транзистора позволяет получить адекватные результаты для приборно-технологического моделирования электронных приборов, изготавливаемых по техпроцессу в несколько десятков микрон, и не нуждается в привлечении к расчётам дорогих САПР приборно-технологического моделирования.

Поскольку параметры транзистора влияют на выбор моделей и методов расчёта [4; 6; 8], то вначале задаём электрические параметры, которыми должен обладать проектируемый транзистор. Электрические параметры:

- статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером не менее 20 при напряжении коллектор-база равном 5 В и токе коллектора – 5 А;
- граничная частота коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером не менее 3 МГц при напряжении коллектор-база равном 5 В и токе эмиттера – 0,5 А;
- напряжение насыщения коллектор-эмиттер не более 1 В при токе коллектора 5 А и токе базы – 0,5 А;
- напряжение насыщения база-эмиттер не более 2,8 В при токе коллектора 5 А и токе базы – 0,5 А;
- обратный ток коллектора не более 1 мА при напряжении коллектор-база равном 40 В и температуре от минус 40 до плюс 25°C;
- обратный ток коллектора не более 10 мА при напряжении коллектор-база равном 40 В и температуре 100°C;
- время включения не более 2,5 мкс при токе коллектора 5 А и токе базы 0,5 А;

- ёмкость коллекторного перехода не более 1000 пФ при напряжении коллектор-база равном 5 В;
- ёмкость эмиттерного перехода не более 5000 пФ при напряжении база-эмиттер равном 0,5 В;
- граничная частота равна 3,106 Гц;
- наибольшее обратное постоянное напряжение база-эмиттер 5 В;
- напряжение коллектор-база, при котором определяется граничная частота равно 5 В;
- максимальное напряжение на коллекторном переходе 100 В;
- постоянный ток коллектора 10 А;
- постоянный ток коллектора, при котором определяется граничная частота равен 0,5 А;
- постоянный ток коллектора, при котором определяется напряжение насыщения коллектор-эмиттер 5 А;
- постоянный ток базы, при котором определяется напряжение насыщения коллектора-эмиттер 0,5 А;
- постоянный ток коллектора, при котором определяется время включения транзистора 5 А;
- постоянный ток базы, при котором определяется время включения транзистора 0,5 А;
- постоянный ток базы не более 3 А.

Реализацию приборно-технологической модели расчёта транзистора на наш взгляд целесообразнее осуществить в системе компьютерной математики MathCAD по следующей основной причине – это дружелюбность интерфейса и рабочих листов среды для символьных вычислений, в отличие от множества других систем компьютерной графики. Способ записи вычислений в виде формул позволяет пользователю, даже не знакомому с MathCAD легко ориентироваться в программе расчёта профиля легирования данного транзистора. Это означает, что начинающий специалист получает полный контроль над процессом

конструирования прибора. В этой модели полностью видна зависимость различных выходных характеристик (параметров) электронных приборов от различных входных характеристик и параметров технологического изготовления приборов.

Список литературы

1. Брюхова Н.Г. Психологические особенности акмеориентированного саморазвития людей зрелого возраста. – СПб.: Изд-во Социосфера, 2011. – 5 с.
2. Деркач А.А. Деятельность как основание акмеологического развития субъекта и надситуативная активность субъекта как действенный фактор ее развития / А.А. Деркач, Э.В. Сайко // Мир психологии. – 2008. – №2. – 12 с.
3. Кавецкий И.Т. Основы психологии и педагогики / Т.Л. Рыжковская, И.А. Коверзнева, В.Г. Игнатович, Н.А. Лобан, С.В. Старовойтова. – Минск: Изд-во МИУ, 2010. – 453 с.
4. Мансурова И.С. Особенности надежды и отношения к жизни у специалистов инженерно-технического профиля / И.С. Мансурова, Е.А. Суроедова, Н.Н. Хачатурян // Инженерный Вестник Дона. – 2015. – Т. 37. – №3. – С. 65.
5. Портнова А.Г. Личностная зрелость: подходы к определению. – М., 2008. – 5 с.
6. Руднева И.А. Формирование позитивного самоотношения у подростков в условиях образовательной среды школы / Е.И. Луценко. – Томск: ВГСПУ, 2016. – 3 с.
7. Соколова Е.Т. Самосознание и самооценка при аномалиях личности. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 215 с.
8. Azuma H. Child Development and Education in GB, K. Hakuta (eds) San Francisco: Freeman. 2012. – P. 262–272.
9. Cooper C.L. International Review of Industrial and Organizational Psychology Vol 18 – Cary L. Cooper / I.T. Robertson. – Vol. 23. – 2008. – 302 p.
10. Uvarova G. Motivation Sphere Peculiarities Of Students With Different Reflexivity Levels / E.V. Krasnova, I.S. Mansurova, A.V. Korochentseva, E.V. Ezhak. – 3rd International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM 2016 Conference proceedings. – 2016. – С. 231–237.