

SPICE- МОДЕЛИ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ СО СТАТИЧЕСКОЙ ИНДУКЦИЕЙ

М.И. Бичурин, Ф.И. Букашев, В.М. Петров

Новгородский Государственный Университет им. Ярослава Мудрого,
Великий Новгород, ул. Б. С.-Петербургская
E-mail: deptptr@novsu.ac.ru,

В настоящий момент известно большое число типов биполярных транзисторов со статической индукцией (БСИТ). Современные БСИТ характеризуются рабочими напряжениями до тысячи вольт, токами коллектора порядка сотен ампер при частоте переключения до 10 кГц. Применение БСИТ экономически целесообразно в устройствах с рабочими напряжениями от 60 до 600 В.

Принцип действия и первые экспериментальные образцы приборов со статической индукцией (СИТ) были разработаны в Японии в начале 50-х годов непосредственно вслед за изобретением полевого транзистора с управляющим р-п переходом (ПТУП). По своей структуре СИТ похож на обычный ПТУП, отличаясь от него более высокой степенью легирования истока и более узким и коротким каналом. Это позволило получить прибор, который мог работать не только в режиме обеднения канала носителями, но и в режимах его обогащения, при этом в приборе достигается гораздо больший, чем в ПТУП, выходной ток. В результате в подобных режимах обогащения канала носителями СИТ становится подобен обычному биполярному транзистору. БСИТ по сравнению с СИТ имеет более сложный профиль легирования и более сложную геометрию затвора, что обеспечивает данному типу транзисторов закрытое состояние при нулевом потенциале на затворе.

С развитием и распространением основанных на языке SPICE схемотехнических систем автоматизированного проектирования (САПР) появилась потребность в разработке SPICE- модели БСИТ. Электрическая модель полупроводникового прибора должна удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать адекватность функционирования в широком диапазоне рабочих напряжений, токов, внешних воздействий, отображать с требуемой точностью разнообразные электрические характеристики в заданных произвольных режимах;
- иметь физически обоснованное соответствие между электрическими параметрами модели и электрофизическими процессами в приборе;
- состоять из набора стандартных элементов электрических цепей, связывающих токи и напряжения (резисторов, конденсаторов, индуктивностей, зависимых и независимых источников тока и напряжения);
- включать аппроксимации и упрощения для снижения вычислительных затрат при использовании моделей в САПР.

Для описания БСИТ, ввиду сходности вольтамперных характеристик рассматриваемого прибора с вольтамперными характеристиками биполярных транзисторов, может быть использована одна из моделей последних, в частности, модель Гуммеля-Пуна. Преимущества такого подхода – очевидность и простота; недостатки – погрешность моделирования может достигать 20%, что не всегда приемлемо, а значения параметров модели не всегда физически обоснованы [1].

Близость физических основ функционирования БСИТ и ПТУП предполагает использование моделей ПТУП, например, модели Шихмана-Ходжеса, модели идеального полевого диода или зарядоуправляемой модели ПТУП. Преимущество подхода – физическая осмысленность получаемой модели. Стандартная SPICE- модель позволяет также полнее использовать ее потенциал, например, для воспроизведения технологического разброса параметров прибора или температурных зависимостей.

Третий подход состоит в разработке эквивалентной схемы замещения БСИТ, состоящей из набора стандартных элементов электрических цепей. Пример построения подробной схемы замещения с учетом технологического разброса и температурных зависимостей приведен в работе [2].

Следует отметить, что выбор того или иного способа описания модели БСИТ должен определяться требуемой точностью, ограничениями на вычислительные ресурсы и возможностями алгоритмов САПР. Модель БСИТ на основе модели Гуммеля-Пуна была использована при моделировании бесконтактных коммутирующих устройств с использованием БСИТ. Рассчитанная вольтамперная характеристика устройства хорошо согласуется с вольтамперной характеристикой, полученной экспериментально.

Список литературы

1. Букашев Ф.И., Бичурин М.И., Петров В.М. Математические модели биполярных транзисторов и полевых транзисторов с управляющим р-п переходом и оценка их применимости для описания биполярных транзисторов со статической индукцией. М.: Деп. ВИНТИ, № 959-ВО2, 29.05.2002, 27 с.
2. Букашев Ф.И., Байбузов А.В., Смирнов А.Ю. Идентификация статических параметров SPICE-макромодели тиристора.// CAD/CAM/CAE Observer, №4, 2004, с 78-80.