**ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ СХЕМ ЭКСТРЕМАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ В РАСШИРЕННОМ ДИАПАЗОНЕ ТЕМПЕРАТУРЫ (-200 …+300°С)**

Руководитель НИР: доктор технических наук, ведущий научный сотрудник К.О. Петросянц

Кремний-германиевая БиКМОП технология перспективна для использования ее в качестве элементной базы СВЧ БИС для создания высокоскоростных коммуникационных систем и радиотехнических устройств космических систем.

Однако, при создании радио- и телекоммуникационной аппаратуры космического применения требуется ее повышенная стойкость к факторам воздействия низкой (до -200°С) и сверхвысокой (до +300°С) температуры космического пространства.

Проектирование схем высокой сложности в настоящее время невозможно без использования систем автоматизированного проектирования (САПР) полупроводниковых структур (TCAD). Указанные выше факторы усиливаются в связи с требованиями импортозамещения компонентной базы. К сожалению, стандартные средства САПР рассчитаны и откалиброваны для диапазона 60…..+150°С.

Поэтому остро стоит задача встроенных в TCAD моделей для кремний-германиевых ГБТ транзисторов и КМОП КНИ транзисторов на предмет их корректности для расширенного диапазона температуры и , при необходимости коррекции моделей или включения новых в пакет TCAD.

Поэтому, данная работа, направленная на создание физических моделей электронных компонентов, настройки этих моделей для компонентов кремний-германиевых БИС с учётом влияния температуры, для проектирования космических систем связи и телекоммуникаций, является актуальной и востребованной.

Соответственно, целями данной работы являются:

1. Анализ физических эффектов кремний-германиевых ГБТ-транзисторах и КМОП КНИ-транзисторах в расширенном температурном диапазоне (от -200 до +300°С) с точки зрения их учета в схемотехнических моделях.

2. Анализ стандартных встроенных в SPICE пакеты моделей этих транзисторов на предмет их корректности для расширенного диапазона температуры.

3. Доработка и коррекция моделей, включение новых моделей в пакеты SPICE моделирования.

4. Включение разработанных моделей в пакеты схемотехнического (SPICE) анализа для моделирования КМОП КНИ транзисторов с учётом влияния сверх низкой и сверх высокой температуры.

5. Определение параметров разработанных моделей кремний-германиевых ГБТ-транзисторах и КМОП КНИ-транзисторах на основании результатов экспериментальных исследований тестовых структур или приборно-технологического моделирования их структур в расширенном температурном диапазоне (от -200 до +300°С)..

В ходе выполнения НИР получены следующие результаты.

1. Анализ литературы показал, что при использовании SiGe гетеро-перходных биполярных транзисторов при пониженных и криогенных температурах наиболее существенно уменьшается коэффициент усиления по току, увеличивается нарастание тока при увеличении напряжения, максимум коэффициента усиления сдвигается в области больших напряжений. Остальные параметры: напряжение Эрли VA, значение граничной частоты единичного усиления fT, значения максимальной частоты усиления fmax незначительно увеличиваются. (Подробный анализ физических эффектов в SiGe и КНИ КМОП транзисторах приведен в отчет за 2017 г.)

При повышенных температурах значение коэффициента усиления по току β у SiGe ГБТ увеличивается, напряжение Эрли VA, значение граничной частоты единичного усиления fT, пиковые значения максимальной частоты усиления fmax снижается, причем более сильно чем у Si БТ.

2. На основании анализа литературы показано, что в структурах КМОП КНИ транзисторов при увеличении температуры до сверхвысокой (до +300˚С) уменьшается (по модулю) пороговое напряжение ( падает подвижность носителей в канале транзистора, растут (на 5-7 порядков) токи утечки стоковых переходов (при +300°С по сравнению с -200°С).

3. Проанализированы имеющиеся в SPICE –симуляторах стандартные схемотехнические модели биполярных, гетеро-биполярных и МОП транзисторов. Определены границы их применимости. Анализ результатов расчетов по стандартным SPICE моделям показал, что:

• стандартные модели МОП транзисторов обеспечивают достаточную точность в диапазоне температуры приблизительно от -130°C до +100‒150°C. Для более низкой и более высокой температуры модели не позволяют рассчитывать характеристики МОПТ, т.к. в таких условиях погрешность расчетов существенно возрастает.

• стандартные модели биполярных и гетеро-переходных транзисторов обеспечивают достаточную точность в диапазоне температуры от комнатной до сверхвысокой, однако применение описанных моделей для криогенного диапазона температуры либо встречает препятствия со стороны программы-симулятора, либо не обеспечивает точности расчёта, необходимой даже для практических применений.

Для требуемого по ТЗ температурного диапазона необходима коррекция стандартных моделей как МОПТ, так и биполярных транзисторов.

5. Для расширенного диапазона температуры (от -200°С до +300°С) разработаны схемотехнические модели биполярных, гетеро-биполярных и МОП транзисторов, изготовленных по SiGe технологии. Модели построены с использованием макромодельного подхода совместно с добавлением температурных зависимостей на базе стандартных SPICE-моделей указанных полупроводниковых приборов путём добавления дополнительных схемных элементов и введения дополнительных тепловых зависимостей параметров моделей. Модели включены в стандартные симуляторы LtSPICE, HSpice, и др.

6. Разработаны методики определения параметров моделей по результатам электрических и тепловых измерений тестовых транзисторов. Точность описания ВАХ и основных параметров SiGe ГБТ в интересующем диапазоне изменения температуры (от -200°С до +300°С) составляет 10–25%.

7. С использованием разработанных методик экстракции по экспериментальным данным тестовых транзисторов определены параметры улучшенных SPICE моделей биполярных, гетеро-биполярных и МОП транзисторов, изготовленных по SiGe технологии.

Схемотехнические SPICE модели компонентов SiGe ИС и БИС могут использоваться коллективами разработчиков БИС и пользователей САПР БИС, занимающиеся проектированием и разработкой транзисторов, микросхем и БИС , работающих в условиях действия экстремальных темпера-тур, в частности, для аэрокосмических, ядерных, измерительных, теле-коммуникационных, военных и др. специальных электронных систем.