

Сравнение параметров и возможностей моделей гетеропереходных биполярных транзисторов на основе GaAs

П. С. Кратович^{1,2}, И. Ю. Ловшенко¹

¹ Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь

² ОАО «Минский НИИ радиоматериалов», г. Минск, Беларусь

В работе рассмотрены основные требования, предъявляемые к современным компактным моделям. Представлено сравнение компактных моделей для адекватного описания работы гетеропереходных биполярных транзисторов на основе арсенида галлия. Показаны преимущества и недостатки модели Гуммеля-Пуна, на котором основаны рассматриваемые модели MEXTRAM level 504, UCSD-HBT model и FBH-HBT model.

Ключевые слова: гетеропереход, гетеропереходный биполярный транзистор, $A_{III}V_V$, моделирование.

Кремний является лидером для производства интегральных микросхем благодаря своим технологическим преимуществам и удовлетворяющим электрофизическим параметрам, которые позволяют воспроизводить такие устройства по заданным требованиям. Однако использование схем и приборных структур на его основе в СВЧ диапазоне не может обеспечить стабильности характеристик в связи с рядом причин [1-3]. Необходимые требования достигаются при формировании с использованием элементов групп $A_{III}V_V$ – GaAs, GaN, InP и их производных. Благодаря использованию этих материалов удается получать такие структуры как гетеропереходный биполярный транзистор (ГБТ), транзистор с высокой подвижностью электронов, *rip*-структуры и т.д.

Приборное и технологическое моделирование полупроводниковых приборов с высокой степенью точности является принципиально важной задачей, вследствие того, что экспериментальное производство таких структур является затратным. Поэтому к моделям, которые используют для определения эксплуатационных характеристик приборных структур, предъявляются большое количество жестких требований [4]. Таким образом, выбор модели является важным и неотъемлемым этапом в разработке полупроводниковых устройств. Наиболее распространенными моделями при разработке приборных структур ГБТ на основе GaAs являются MEXTRAM level 504, UCSD HBT model и FBH HBT model. Данные модели широко используют принципы, заложенные в модели Гуммеля-Пуна (ГП), однако не имеют с ним обратной связи. Недостатки модели ГП связанные с низкой точностью: описание эффектов Кирка и Эрли является линейным и не зависимым друг от друга; параметры, связанные с диффузионной емкостью, являются функцией суммарного времени пролета носителями заряда через все области транзистора; отсутствие описания эффектов присущих гетеропереходам; малое количество параметров. Преимущества модели ГП: сравнительно высокая скорость экстракции параметров; совместимость с другими моделями. Таким образом, точность классической модели ГП недостаточно для адекватного описания процессов, происходящих в ГБТ. В таблице 1 представлены параметры для сравнения характеристик моделей. Из данных, представленных в таблице 1, видно, что модель MEXTRAM 504 с высокой степени точности позволяет описывать работу только гомогенных транзисторов и ГБТ на основе SiGe; модель FBH-HBT достаточно достоверно описывают процессы, протекающие в транзисторе, однако отсутствие описания эффектов квазинасыщения, Кирка и других параметров, отмеченных в таблице может привести к большому расхождению с экспериментальными данными; модель UCSD-HBT по результатам

сравнения является лучшей из трех представленных. Однако при моделировании могут возникать проблемы со сходимостью при расчете задержки коллектора при смещении.

Таблица 1. Сравнение моделей для ГБТ для GaAs

Параметр	MEXTRAM	USCD	FBH	
Разделение внутреннего и внешнего диода база-коллектор	-	+	+	
Неидеальные токи базы (на переходах база-эмиттер и база-коллектор)	±	+	+	
Учет самонагрева и теплового воздействия	+	+	+	
Зависимость тока от емкости перехода Б-К и времени прохождения коллектора	-	+	+	
Зависимость емкости встроенного диода Б-К от приложенного смещения	-	+	-	
Пробой базы-эмиттера и базы-коллектора	+	±	+	
Шумы в радиочастотном и 1/f диапазоне	+	+	+	
Масштабирование геометрических параметров	±	+	+	
Однозначное извлечение аналитических параметров из измерений	+	+	+	
Эффект Эрли	+	+	+	
Эффекты высокого уровня инжекции	Только для SiGe ГБТ	+	±	
Учет квазинасыщения		+	-	
Эффекты накопления заряда		+	+	
Разделенная разрядная емкость база-коллектор и база-эмиттер		+	+	
Рекомбинация в базе		+	+	
Масштабирование температуры		+	+	-
Разделение сопротивлений базы и коллектора на внешнюю и внутреннюю части		-	+	-

Благодарность

Исследования выполнены при финансовой поддержке и в рамках решения задач задания 3.4 ГПНИ «Фотоника и электроника для инноваций», 2021–2025 гг.

Список источников

- [1] McMacken, J. HBT modeling / J. McMacken [et al.] // IEEE Microwave Magazine. — 2008. — Vol. 9. — №. 2. — P. 48-71.
- [2] Esame, O. Performance comparison of state-of-the-art heterojunction bipolar devices (HBT) based on AlGaAs/GaAs, Si/SiGe and InGaAs/InP / O. Esame [et al.] // Microelectronics Journal. — 2004. — Vol. 35. — №. 11. — P. 901-908.
- [3] Войтович, В. Si, GaAs, SiC, GaN-силовая электроника. Сравнение, новые возможности / В. Войтович, А. Гордеев, А. Думаневич // Силовая электроника. — 2010. — №. 28. — С. 4-10.
- [4] Денисенко В. В. Компактные модели МОП-транзисторов для SPICE в микро- и наноэлектронике / В. В. Денисенко — М. : ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 408 с.

Comparison of parameters and capabilities of models for GaAs based heterojunction bipolar transistors

P. S. Kratovich^{1,2}, I. Yu. Lovsenko¹

¹ Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus

² JSC «Minsk Research Institute of Radio Materials», Minsk, Republic of Belarus

Annotation

In this paper analyzed the basic requirements for modern compact models. A comparison of compact models for predicting the operation of gallium arsenide based heterojunction bipolar transistors is presented. The effects described by the models and the number of their parameters were used as a comparison. The advantages and disadvantages of the Hummel-Poon model, on which the considered models MEXTRAM level 504, UCSD-HBT model and FBH-HBT model are based, are considered.

Keywords: heterojunction, heterojunction bipolar transistor, $A_{III}B_V$, simulation.