

УДК 621.3.049.77

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В МИКРОЭЛЕКТРОНИКЕ

М. С. БАРАНОВА, В. С. ВОЛЧЕК, Д. Ч. ГВОЗДОВСКИЙ, И. Ю. ЛОВШЕНКО,  
ЧАН ВАН ЧИЕУ, П. С. РОЩЕНКО, В. Р. СТЕМПИЦКИЙБелорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
Минск, Беларусь

**Введение.** Предприятия микроэлектроники вынуждены значительную часть своей прибыли направлять на исследования и разработки. Компьютерный эксперимент позволяет снизить как материальные, так и временные издержки. В зависимости от масштаба длины выделяют три уровня компьютерного проектирования и моделирования в микроэлектронике: моделирование свойств материалов, приборно-технологическое моделирование, а также схемотехническое моделирование и топологическое проектирование.

**Основная часть.** С помощью *моделирование материалов* (представленные результаты получены с использованием квантово-механического моделирования (КММ)) можно дополнить модель недостающими фундаментальными параметрами, либо произвести учет особенностей структуры и состава.

Выполнено исследование транзистора с высокой подвижностью носителей заряда [1]. Для анализа паразитного эффекта саморазогрева необходимы были значения теплопроводности твердого раствора  $\text{Al}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{N}$ . Представленные данные в литературных источниках не могли использоваться по одной или нескольким причинам: другой состав твердого раствора, авторы не указывали кристаллографическое направление (теплопроводность в данном материале имеет анизотропный характер), результаты имели большое расхождение с другими работами (для экспериментальных работ). С использованием КММ выполнен расчет теплопроводности, данный параметр использовался далее на уровне приборно-технологического моделирования [1, 2].

*Приборно-технологическое моделирование* позволяет выполнять оптимизацию широкого диапазона полупроводниковых устройств и структур, выполнять калибровку и верификацию параметров моделей технологических процессов и моделей переноса носителей заряда, выполнять учет деструктивных влияний на характеристики полупроводниковых приборов.

Разрабатываемые модели обеспечивают адекватное описание статических и динамических характеристик полупроводниковых приборов. В [3] представлена электрическая модель кремниевого ПТУП (модель Шихмана–Ходжеса), отличающаяся учетом деградации эксплуатационных характеристик при совместном влиянии потоков электронов, протонов и нейтронов (с максимально допустимыми значениями флюенса электронов  $F_E = 6 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$  с энергией  $E_E$  от 3 до 5 МэВ, протонов  $F_P = 6,6 \cdot 10^{11} \text{ см}^{-2}$  с энергией  $E_P$  от 1 до

3 МэВ и нейтронов  $F_N = 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$  с энергией  $E_N$  от 1 до 2 МэВ) в широком интервале температур (от 70 до 400 К). В [4] разработана физико-топологическая модель кремниевого МОП-транзистора (BSIM4), отличающаяся учетом деградации эксплуатационных характеристик при изменении топологических размеров затвора (допустимое значение ширины от 1,5 до 6,0 мкм, длины – от 1 до 2 мкм), температуры окружающей среды (от 223 К до 373 К), мощности (от 0,1 до 10 рад/с), дозы (до 1,5 Мрад) и типа источника ионизирующего излучения ( $^{60}\text{Co}$  или X-ray-источник).

Разработанные модели применяются отдельно или совместно с производственными библиотеками проектирования для создания *топологических решений интегральных микросхем*. Так, с использованием библиотек проектирования, соответствующих технологии «TSMC 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS MS/RF 1.8/3.3 V», осуществлена разработка схемотехнических и топологических решений проектируемой заказной аналого-цифровой ИМС для первичной обработки сигналов время-проекционной камеры [5].

**Заключение.** В качестве потребителей созданной научно-технической продукции выступают научно-исследовательские институты и предприятия радиоэлектронной промышленности, а также отечественные и зарубежные компании, работающие в области разработки и внедрения полупроводниковых приборов и интегральных микросхем с высокими потребительскими качествами.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Baranava, M.** GaN HEMT thermal characteristics evaluation using an integrated approach based on the combined use of first-principles and device simulations / M. Baranava, D. Hvezdouski, V. Volcheck // 2020 ICATC, Nha Trang, 8–10 Oct. 2020. – Nha Trang, 2020. – P. 65–69.
2. **Hvezdouski, D. C.** First-principles study of anisotropic thermal conductivity of GaN, AlN, and  $\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$  / D. C. Hvezdouski, M. S. Baranava, V. R. Stempitsky // Materials Physics & Mechanics. – 2022. – Vol. 49, № 1.
3. **Lovshenko, I.** Physic-topological (electrical) model of a junction field effect transistor, taking into account the degradation of operational characteristics under the influence of penetrating radiation / I. Lovshenko, V. Khanko, V. Stempitsky // ITM Web of Conferences 30, 10002. – 2019. – P. 8.
4. **Ловшенко, И. Ю.** Физико-топологическая модель полевого транзистора, учитывающая деградацию эксплуатационных характеристик при влиянии ионизирующего излучения / И. Ю. Ловшенко, В. Р. Стемпицкий, В. Т. Шандарович // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 466–475
5. Design features of analog-to-digital solutions for the tracking detector readout electronics / A. Kostrov [et al.] // IEEE 12th International Symposium on Embedded Multicore/Many-core Systems-on-Chip. – 2018. – P. 52–56.