

Министерство промышленности и торговли РФ  
Межведомственный совет главных конструкторов  
по электронной компонентной базе  
Государственная корпорация «Ростех»  
ОООП «СоюзМаш России»  
Координационный совет разработчиков  
и производителей РЭА, ЭКБ и продукции машиностроения  
АО «Российская электроника»  
АО «НИИМА «Прогресс»  
НП «Глонасс»  
НИУ МИЭТ

Информационный партнер АО «ТЕХНОСФЕРА»

## Международный форум «Микроэлектроника-2016».

2-я научная конференция «Интегральные схемы  
и микроэлектронные модули»:

Республика Крым,  
г. Алушта, 26–30 сентября 2016 г.

ТЕХНОСФЕРА

Москва

2016



УДК 621.3.049.77

ББК 38.844.1

М43

**Международный форум «Микроэлектроника-2016». 2-я научная конференция «Интегральные схемы и микроэлектронные модули». Республика Крым, г. Алушта, 26–30 сентября 2016 г. Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2016. – 504 с.**

В сборник включены доклады конференции, освещающие актуальные вопросы разработки, производства и применения отечественных интегральных схем и высокоинтегрированных микроэлектронных модулей.

*Оргкомитет Форума выражает особую благодарность Шелепину Николаю Алексеевичу за активную и профессиональную помощь при подготовке программы конференции и тезисов докладов.*

© 2016, ООО «ПрофКонференции»

© 2016, АО «НИИМА «Прогресс»

© 2016, Национальный исследовательский университет «МИЭТ»

© 2016, АО «РИЦ «ТЕХНОСФЕРА», оригинал-макет, оформление

# Содержание

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ.....	18
Смарт-карты на основе отечественных микросхем. Разработка, производство, применение <i>Шелепин Н. А., д. т. н., профессор</i> .....	18
Создание высокопроизводительных доверенных систем на базе микропроцессоров с архитектурой КОМДИВ <i>Бобков С. Г., д. т. н., профессор</i> .....	22
Synopsys: САПР и IP, что нового и применение в мире и в России <i>Иванова Е. Н.</i> .....	27
Cadence. Средства разработки СнК с использованием СФ-блоков <i>Иванов А. А.</i> .....	29
Модели полупроводниковых приборов для проектирования БИС космического назначения <i>Петросянц К. О., д. т. н., профессор</i> .....	33
Новые разработки радиационно-стойкой ЭКБ холдинга «ИНТЕГРАЛ» <i>Солодуха В. А., Белоус А. И., член-корр. НАНБ, д. т. н., профессор</i> .....	37
Опыт создания конкурентоспособной отечественной аппаратуры высокоточной навигации <i>Корнеев И. Л., к. т. н., Дубинко Т. Ю., к. ф.-м. н., Егоров В. В., к. т. н.</i> .....	38
Проблемные вопросы задания требований, обеспечения и контроля радиационной стойкости электронной компонентной базы микроэлектроники <i>Никифоров А. Ю., д. т. н., профессор, Телец В. А., Бойченко Д. В., Калашников О. А., Уланова А. В., Кессаринский Л. Н.</i> .....	43
Маршрут радиационно-ориентированного проектирования высокоинтегрированной электронной компонентной базы твердотельной СВЧ электроники <i>Елесин В. В., Назарова Г. Н., Никифоров А. Ю., д. т. н., профессор, Сотсков Д. И., Телец В. А., Усачёв Н. А., к. т. н., Чуков Г. В.</i> .....	46
Спецстойкая электроника — основа космических систем <i>Груздов В. В., Колковский Ю. В., Миннебаев В. М.</i> .....	50
Об информационном обеспечении разработчиков и изготовителей аппаратуры о состоянии с созданием и перспективами развития электронной компонентной базы <i>Исаев В. М., д. т. н., профессор</i> .....	54
НАВИГАЦИОННО-СВЯЗНЫЕ СБИС И МОДУЛИ.....	59
Опыт создания прототипа малогабаритной радиостанции на отечественной ЭКБ <i>Архипкин В. Я.</i> .....	59
Требования к аппаратным платформам и ЭКБ перспективных (SDR) портативных радиостанций <i>Левченко Е. Б., к. ф.-м. н.</i> .....	59

УДК 621.382.3; 004.492

## Модели полупроводниковых приборов для проектирования БИС космического назначения

Петросянц К. О.<sup>1,2</sup>, д. т. н., профессор

<sup>1</sup> Научно-исследовательский университет «Высшая школа экономики»  
(Московский институт электроники и математики),  
123458, г. Москва, ул. Таллинская, д. 34

<sup>2</sup> Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук, 124365, г. Москва, г. Зеленоград, ул. Советская, д. 3  
+7 (495) 772-95-90, доб. 15208, kpetrosyants@hse.ru

**Ключевые слова:** БИС, биполярные и МОП-транзисторы, TCAD- и SPICE-модели, САПР, радиационные эффекты, влияние температуры.

Требования, предъявляемые к РЭА большинства космических систем гражданского и специального назначения, могут быть обеспечены на основе применения радиационно- и температуростойкой элементной базы. Приборы и схемы должны, во-первых, обладать способностью выдерживать облучение нейтронами, гамма-лучами, протонами, отдельными ядерными частицами (ОЯЧ), а в ряде случаев электромагнитными импульсами (ЭМИ). Во-вторых, они должны сохранять работоспособность при высоких и низких внешних температурах и при нагреве за счет собственной выделяемой мощности и поглощения энергии ЭМИ.

Особенностью разработки и проектирования космической ЭКБ является необходимость проведения разнообразных радиационных и температурных испытаний. К сожалению, проведение полного цикла таких испытаний связано, как правило, с большими сложностями и чрезмерными временными и финансовыми затратами.

В этой связи резко возрастает роль моделирования приборов и схем в условиях действия влияющих факторов. Грамотное использование моделирования позволяет значительно сократить объем натурных испытаний, особенно на начальных этапах приборно-технологического и схмотехнического проектирования ЭКБ.

В настоящей работе рассмотрены две группы моделей (2D/3D приборно-технологические и компактные схмотехнические) для Si, SiGe, GaAs п/п-приборов и элементов Би, КМОП, КМОП КНИ/КНС, Би-КМОП-ДМОП БИС, которые учитывают различные виды радиационных и температурных воздействий и встраиваются в известные коммерческие версии TCAD- и SPICE-подобных пакетов программ, что позволяет разработчикам схем распространить их возможности на проектирование БИС космического назначения.

Модели п/п-приборов и элементов БИС, учитывающие радиационные воздействия. В этом разделе приведен анализ отечественных и зарубежных

работ в области TCAD- и SPICE-моделирования п/п-компонентов БИС с учетом влияния различных видов радиации.

TCAD-модели, на физическом уровне учитывающие ионизационные и структурные радиационные эффекты, а также возникновение всплесков тока при воздействии ОЯЧ или импульсов ЭМИ в 2D/3D-конструкциях современных БТ и МОПТ, рассмотрены в рамках разработанной авторами подсистемы RADHARD проектирования элементов БИС (рис. 1) [1], которая включает в себя как TCAD-RAD, так и SPICE-RAD схемотехнические модели п/п-элементов. В части, касающейся SPICE-RAD-модели БТ и МОПТ, отмечено, что перспективно создание универсальных SPICE-моделей, учитывающих одновременно в рамках одной модели воздействие различных видов радиации на характеристики п/п-прибора.

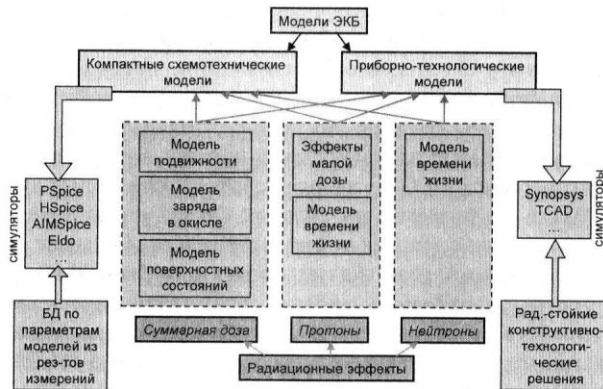


Рис. 1. Структура подсистемы радиационно-стойкого проектирования

Отмечена необходимость реализации «сквозного» маршрута TCAD-SPICE-моделирования, конечным результатом которого является набор SPICE-параметров п/п-прибора для схемотехнического проектирования.

Описаны процедуры определения параметров SPICE-моделей БТ и МОПТ, использующие результаты измерений необлученных и облученных приборов. Показано, что погрешность расчетов цифровых и аналоговых узлов Би-КМОП БИС с помощью TCAD-RAD- и SPICE-RAD-моделей элементов не превышает 10–15% для статических характеристик и 15–25% для динамических характеристик.

Модели п/п-приборов и элементов БИС, учитывающие температурные эффекты. Проанализировано современное состояние работ в области теплового моделирования п/п-компонентов и ИС.

Приведены математические модели для анализа тепловых полей в двух- и трехмерных структурах п/п-компонентов и ИС, используемые

на этапе конструкторского проектирования. Рассмотрены коррекции, которые необходимо внести в известные модели электро-тепловых эффектов в п/п-приборах для их использования в диапазонах высоких (свыше 300 °С) и низких (менее –50 °С) температур, а также ряд коррекций для моделирования приборов со сверхмалыми (менее 100 нм) размерами.

Описаны дополнительные тепловые подсистемы и  $R_T C_T$ -цепи, встраиваемые в стандартные SPICE-модели элементов ИС для учета температурных эффектов.

Отмечена перспективность перехода от полностью трехмерных (fully-3D) к квазитрехмерным (quasi-3D) численным тепловым моделям, применение которых позволяет резко сократить затраты времени счета ЭВМ (в несколько десятков раз), что делает возможным решение целого ряда новых задач, которые ранее были нереальными в силу чрезмерных временных затрат (например совместный расчет в трехмерной системе «п/п-чип — теплоотвод — корпус» и др.) [2].

Отмечена специфика учета температурных эффектов на различных уровнях: отдельных п/п-приборов, интегральных микросхем, гибридных модулей (см. рис. 2) [3].

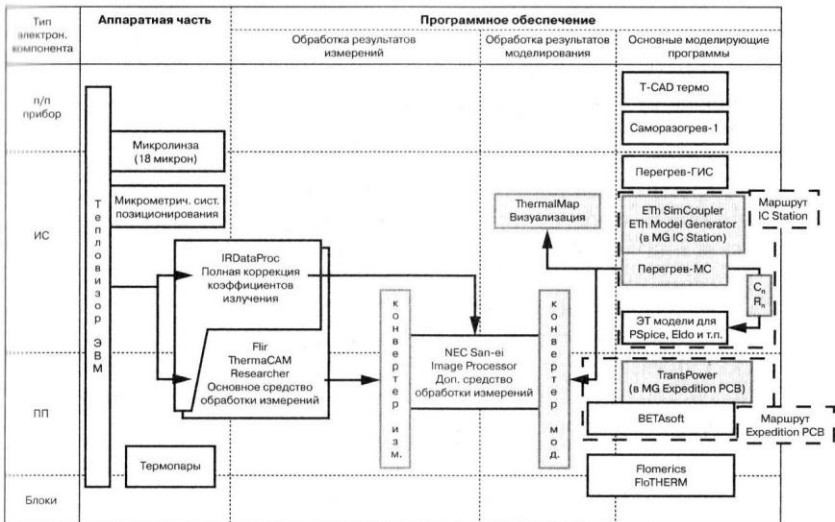


Рис. 2. Структура аппаратно-программного комплекса для расчета и измерения температурных режимов ЭКБ

Приведены результаты ИК-тепловизионных измерений тепловых полей в конструкциях электронных компонентов различного уровня,

подтверждающие достоверность расчетов по TCAD- и SPICE-тепловым моделям. Точность расчетов температуры составляет 10–20 %.

### *Выводы*

В данной работе новыми являются следующие положения и результаты:

- 1) показано, что уровень отечественных работ в области TCAD- и SPICE-моделирования п/п-приборов и элементов БИС космического назначения (с учетом радиационных и тепловых эффектов) соответствует передовому зарубежному уровню, а по целому ряду позиций превышает его;
- 2) в области численного приборно-технологического моделирования двух- и трехмерных структур БТ и МОПТ с учетом радиационных и тепловых эффектов предложены и практически реализованы квазитрехмерные модели, позволяющие в десятки раз сократить время счета ЭВМ при сохранении приемлемой точности описания характеристик прибора. Их использование в практических расчетах позволяет резко сократить трудоемкость проведения цикла моделирования и расширить круг решаемых задач;
- 3) в области разработки компактных SPICE-моделей БТ и МОПТ, учитывающих различные виды радиационного и теплового воздействия, целесообразно создание универсальных SPICE-моделей (или макромоделей), применение которых существенно упрощает процедуру проведения расчетов схем с помощью SPICE-подобных симуляторов;
- 4) отмечено, что определенные трудности и существенные потери времени наблюдаются на этапе перехода от TCAD- к SPICE-моделированию, поэтому целесообразным является автоматизация «сквозного» маршрута моделирования TCAD-SPICE, конечным результатом которого являются SPICE-параметры БТ и МОПТ для схемотехнических расчетов;
- 5) в центрах проектирования БИС ведущих предприятий и технических университетов целесообразно создание специализированных подсистем радиационно-стойкого (RADHARD) и теплового моделирования и проектирования.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ  
(грант № 14-29-09145)*

### *Литература*

1. Петросянец К. О. Программно-аппаратный комплекс для расчета и оценки радиационной и температурной стойкости электронной компонентной базы аэрокосмического назначения // Менеджмент качества и менеджмент информационных систем (MQ&ISM-2012). — Материалы международной конференции / Под общ. ред.: В. Н. Азаров. — М.: Фонд «Качество», 2012. — С. 31–35.

1. Petrosyants K. O., Rjabov N. I. Quasi — 3D Electrical and Thermal Modeling of Microelectronic Semiconductor Devices, in: International Conference on Simulation, Modeling and Mathematical Statistics (SMMS-2015). Lancaster: DEStech Publications, Inc., 2015. — P. 252—257.
2. Petrosyants K. O., Kharitonov I. A., Kozynko P. A., Rjabov N. I. Multilevel System for Thermal Design, Control and Management of Electronic Components // International Journal of Advancements in Electronics and Electrical Engineering. 2014. Vol. 3. No. 2. — P. 22—27.

УДК 621.38.049.77-046.55(043.2)(476)

## **Новые разработки радиационно-стойкой ЭКБ холдинга «ИНТЕГРАЛ»**

**Солодуха В. А.**

*Генеральный директор*

**Белоус А. И., член-корр. НАНБ, д. т. н., профессор**

*Заместитель директора филиала НТЦ «Белмикросистемы»*

*ОАО «Интеграл» — управляющая компания холдинга «Интеграл»*

*belous@bms.by*

Разработка и производство элементной базы радиоэлектронных устройств и систем специального и космического назначения являются одним из основных направлений деятельности холдинга «Интеграл». В частности, за участие в космических программах предприятие было награждено двумя орденами СССР.

За более чем 50 лет работы в данной сфере предприятием накоплен значительный опыт проектирования и организации производства электронной компонентной базы (ЭКБ) — высоконадежных интегральных микросхем и дискретных полупроводниковых приборов с повышенной устойчивостью к дестабилизирующим факторам, поэтому и сегодня значительную часть в номенклатуре продукции холдинга «Интеграл» занимает микроэлектронная элементно-компонентная база (ЭКБ) космического, специального и двойного назначения.

Одним из перспективных и быстроразвивающихся направлений работы холдинга «Интеграл» является активное участие в проектах, связанных с созданием космической техники как в Республике Беларусь, так и в Российской Федерации:

В частности, более 10 лет холдинг занимается разработкой ЭКБ для оптико-электронных систем космических аппаратов, проводится ряд ОКР по разработке и изготовлению интегральных микросборок, построенных на основе приборов с зарядовой связью (ПЗС), в том числе в рамках реализации программ Союзного государства — «Космос-СГ», «Космос-НТ», «Мониторинг-СГ», «Технология-СГ» и др.



Производство книг на заказ  
Издательство «ТЕХНОСФЕРА»  
125319, Москва, а/я 91  
тел.: (495) 234-01-10  
e-mail: [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru)

Реклама в книгах:

- модульная
- статьи

Подробная информация о книгах на сайте  
<http://www.technosphera.ru>

**Международный форум «Микроэлектроника-2016».**  
**2-я научная конференция «Интегральные схемы**  
**и микроэлектронные модули».**

**Республика Крым,**  
**г. Алушта, 26–30 сентября 2016 г.**

Компьютерная верстка – С.С. Бегунов  
Корректор – Н.А. Шипиль  
Дизайн – М.А. Костарева  
Выпускающий редактор – С.Ю. Артемова  
Ответственный за выпуск – С.А. Орлов

---

Подписано в печать 05.09.2016  
Формат 60х90/16. Печать офсетная  
Гарнитура Ньютон  
Печ.л. 31,5. Тираж 350 экз. Зак. №7483  
Бумага офсет №1, плотность 80 г/м<sup>2</sup>

---

Издательство «ТЕХНОСФЕРА»  
Москва, ул. Краснопролетарская, д.16, стр.2

---

АО «НИИМА «Прогресс»  
125183, г. Москва, проезд Черепановых, д. 54  
Тел. (499) 153-0311, 153-0131  
Факс: (499) 153-0161  
[info@mri-progress.ru](mailto:info@mri-progress.ru)  
[niima@mri-progress.ru](mailto:niima@mri-progress.ru)

---

Отпечатано в цифровой типографии ООО «Буки Веди»  
на оборудовании Konica Minolta  
г. Москва, Партийный переулок, д.1, корп. 58, стр.1  
Тел.:(495)926-63-96, [www.bukivedi.com](http://www.bukivedi.com), [info@bukivedi.com](mailto:info@bukivedi.com)