



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МИЭМ

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ
малых форм предприятий в научно-технической сфере

SuperJob

Научно-техническая
конференция студентов,
аспирантов и молодых
специалистов НИУ ВШЭ
им. Е.В. Арменского

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

2015 г.

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

**МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ
НАЦИОНАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

**ФОНД СОДЕЙСТВИЯ РАЗВИТИЮ МАЛЫХ ФОРМ ПРЕДПРИЯТИЙ
В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ**

ООО «СТУДЕНЧЕСКИЙ ИННОВАЦИОННО-НАУЧНЫЙ ЦЕНТР»

**Научно-техническая
конференция студентов, аспирантов
и молодых специалистов НИУ ВШЭ
им. Е.В. Арменского**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Москва 2015г.

УДК 658.012; 681.3.06; 621.396.6.001.66(075); 621.001.2(031)

ББК 2+3

Н 34

Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ им. Е.В. Арменского. Материалы конференции. - М. ~: МИЭМ НИУ ВШЭ, 2015. - 324.

ISBN 978-5-94768-071-3

В материалах конференции студентов, аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ представлены тезисы докладов по следующим направлениям: прикладная математика; информационно-коммуникационные технологии; автоматизация проектирования, банки данных и знаний, интеллектуальные системы; компьютерные образовательные продукты; информационная безопасность; электроника и приборостроение; производственные технологии, нанотехнологии и новые материалы; современные технологии дизайн проектирования; информационные технологии в экономике, бизнесе и инновационной деятельности.

Материалы конференции могут быть полезны для преподавателей, студентов, научных сотрудников и специалистов, специализирующихся в области прикладной математики, информационно-коммуникационных технологий и электроники.

Редакционная коллегия: Тихонов А.Н., Азаров В.Н., Аристова У.В., Карасев М.В.,
Кулагин В.П., Леохин Ю.Л., Львов Б.Г., Титкова Н.С.,
Увайсов С.У.

Издание осуществлено с авторских оригиналов.

ISBN 978-5-94768-071-3

ББК 2+3

© Московский институт электроники и математики Национального исследовательского университета «Высшая школа экономики», 2015 г.

© Авторы, 2015г.

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ЭКСТРАКЦИИ ПАРАМЕТРОВ SPICE-МОДЕЛЕЙ МОП-ТРАНЗИСТОРОВ С УЧЁТОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ СТАЦИОНАРНОГО РАДИАЦИОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

М.Р. Исмаил-Заде¹, Л.М. Самбурский^{1,2}
¹ НИУ ВШЭ,
Департамент электронной инженерии
² ИППМ РАН

Аннотация

Представлена структура и состав частей программно-аппаратного комплекса для экстракции параметров SPICE-моделей МОП-транзисторов с учётом воздействия стационарного радиационного излучения. Приведены результаты использования разработанного комплекса при формировании SPICE-модели реального МОП-транзистора. Приведена оценка погрешности моделирования статических вольт-амперных характеристик с использованием сформированной модели.

Введение

При проектировании электронной аппаратуры, работающей в условиях воздействия радиационного излучения – спутниковых систем навигации, систем исследования космоса, различных датчиковых систем, космических систем получения и обработки изображений для исследования климата, поиска ресурсов, детекторов частиц, медицинских исследовательских систем и др., – необходимо компьютерное моделирование отдельных фрагментов интегральных схем (ИС) и схем в целом с учётом воздействия различных видов излучения. Для этого необходимы достаточно точные и вычислительно эффективные компактные схмотехнические, или SPICE, модели отдельных элементов ИС.

Для экстракции параметров моделей облучённых элементов ИС требуется модифицированная процедура (по сравнению с моделями необлучённых элементов): значительно возрастает объём и состав требуемых измерений электрических характеристик. В имеющейся литературе [1–4] такая процедура описана недостаточно детально, также отсутствует подробное описание способа её автоматизации.

Общая характеристика и структура комплекса

Разрабатываемый программно-аппаратный комплекс (ПАК) предназначен для решения следующих задач: измерение электрических характеристик отдельных МОП-транзисторов до, во время и после воздействия радиационного излучения; определение параметров различных SPICE-моделей с учётом воздействия излучения; формирование библиотеки SPICE-моделей с учётом воздействия излучения в формате целевой программы моделирования.

Обобщённая структура комплекса представлена на рис. .

Используемые схмотехнические модели и общая процедура экстракции параметров

Для схмотехнического моделирования КМОП-схем с учётом стационарного радиационного воздействия в рамках коммерческих программ разработаны специализированные SPICE-модели МОП-транзисторов, например, [1, 2]. Модели [1, 2] представляют собой макромоделю, в основе которых лежат стандартные SPICE-модели МОП-транзисторов, имеющиеся в программе схмотехнического моделирования. Комплекс может быть достаточно просто настроен на использование любой имеющейся схмотехнической модели.

Процедура экстракции параметров таких моделей заключается в следующем [2]:

- 1) определяются параметры модели необлучённых транзисторов;
- 2) из набора параметров модели выбираются радиационно-зависимые (для порогового напряжения, крутизны, предпорогового наклона);
- 3) для каждой полученной дозы определяются только выбранные радиационно-зависимые параметры, а затем их зависимости аппроксимируются гладкими функциями вида $a_1 \cdot \exp(-a_2 \cdot D) - a_3$;
- 4) полученные функции вводятся в SPICE-модель.

Аппаратная часть комплекса построена на основе автоматизированного источника-измерителя статических электрических характеристик Keithley2602 с добавлением отдельных источников питания и мультиметров. Для определения электрических характеристик МОП-транзисторов с учётом радиационного облучения сами транзисторы должны помещаться в объём радиационной камеры, а контрольно-измерительная аппаратура должна размещаться в отдельном помещении. Электрические характеристики также могут быть получены по результатам приборного моделирования в программе TCAD или аналогичной. Полученные электрические характеристики исследуемых транзисторов (измеренные или смоделированные) передаются в централизованный массив данных.

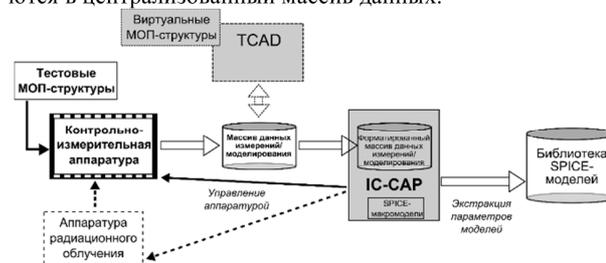


Рис. 1. Обобщённая структура программно-аппаратного комплекса

Программная часть комплекса построена на основе промышленного программного комплекса IC-CAP экстракции параметров моделей. С помощью встроенных возможностей IC-CAP реализовано управление контрольно-измерительной аппаратурой. В рамках IC-CAP реализована описанная ранее процедура экстракции параметров облучённых транзисторов. Исходными данными для процедуры экстракции являются отформатированные данные из централизованного массива данных; форматирование выполняется автоматически, что позволяет избежать многих ошибок. Результатом процедуры экстракции является библиотека SPICE-моделей, формируемая в виде файла необходимого формата.

Основная составляющая программной части разрабатываемого комплекса реализована в виде проекта в системе IC-CAP. Структурно-функциональная схема проекта приведена на рис. .

Разработанный фрагмент взаимодействует со встроенными компонентами IC-CAP при выполнении схмотехнического моделирования. При задании команды на схмотехническое моделирование встроенными средствами формируется входной файл для программы моделирования, содержащий информацию об электрической схеме моделируемого фрагмента, текущем наборе параметров моделей компонентов. Результаты моделирования передаются в массив данных моделирования (см. рис.).

Результаты использования комплекса для построения SPICE-модели МОП-транзистора

Разработанный комплекс был использован для построения SPICE-модели реального дискретного МОП-транзистора с параметрами, приведёнными в таблице.

Измеренные сток-затворные характеристики исследуемого МОП-транзистора в диапазоне дозы от 0 до 30 кГр в линейном и логарифмическом масштабе, загруженные в проект IC-CAP, отмечены символами на рисунке.

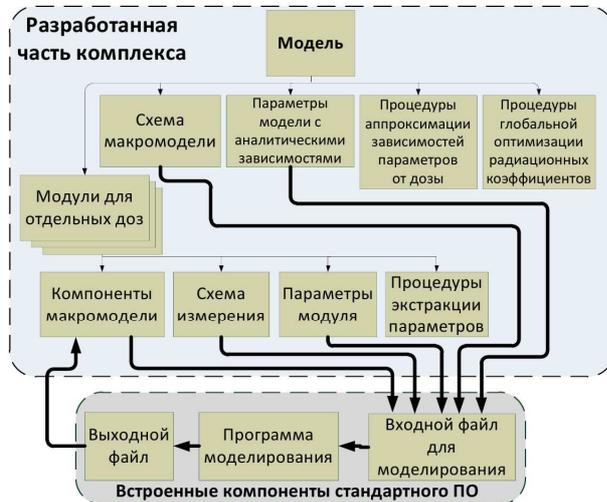


Рис.2. Структурно-функциональная схема программной части комплекса

Макромодель для данного набора экспериментальных данных была построена на основе стандартной модели BSIM3.

После экстракции параметров SPICE-модели для каждой дозы в отдельности были получены табличные функции зависимости сдвига параметров модели от дозы. Для параметров V_{TH0} , $VOFF$ и CIT модели BSIM3 рассчитывался абсолютный сдвиг, для параметров U_0 , UA , UB рассчитывался относительный сдвиг. Для аппроксимации зависимостей сдвига параметров от дозы были использованы аналитические функции вида $a_1 \cdot \exp(-a_2 \cdot D) - a_3$. Графики табличных и аппроксимирующих функций приведены на рисунке. Коэффициенты аппроксимирующих функций приведены в таблице.

Таблица 1.

Электрические параметры исследуемого МОП-транзистора

Максимальное напряжение сток-исток	25 В
Максимальное напряжение сток-затвор	30 В
Максимальный ток стока	50 мА
Максимальная рассеиваемая мощность при $T = 25^\circ\text{C}$	360 мВт
Максимальная температура корпуса	300 $^\circ\text{C}$

Таблица 2. Радиационные коэффициенты функций сдвига параметров модели от дозы

Параметр	Коэффициенты		
	a_1	a_2	a_3
V_{TH0}	1,00	$0,10 \cdot 10^{-3}$	1,05
U_0	0,80	$1,18 \cdot 10^{-3}$	-0,18
UA	0,75	$0,08 \cdot 10^{-3}$	-0,25
UB	0,47	$0,22 \cdot 10^{-3}$	-0,52
CIT	-0,02	$0,02 \cdot 10^{-3}$	-0,02
$VOFF$	1,85	$0,02 \cdot 10^{-3}$	1,82

Полученные зависимости были встроены в SPICE-модель, и с её помощью были промоделированы сток-затворные характеристики исследуемого МОП-транзистора в том же диапазоне изменения напряжений и поглощён-

ной дозы. Сравнение измеренных и смоделированных характеристик приведено на рисунке. Погрешность моделирования статических вольт-амперных характеристик составила 7,5%, что заметно меньше, чем в случае, когда используется значительно меньший уровень автоматизации (10–15% [1, 2]).

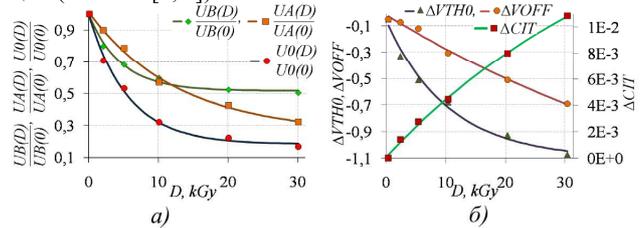


Рис.3. Графики табличных и аппроксимирующих функций зависимости сдвига параметров модели от дозы: а) $UB(D)$, $UA(D)$, $U_0(D)$; б) $V_{TH0}(D)$, $VOFF(D)$, $CIT(D)$

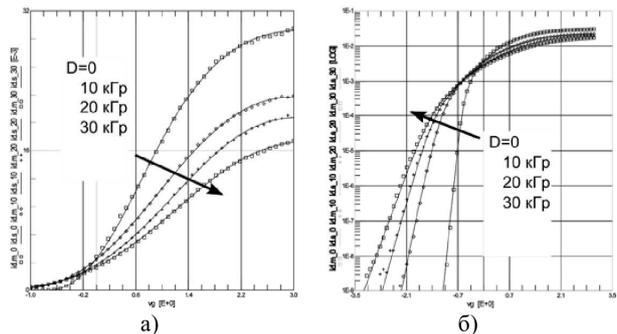


Рис.4. Измеренные и смоделированные сток-затворные характеристики исследуемого МОП-транзистора

в линейном (а) и логарифмическом (б) масштабе при величине дозы 0; 10; 20; 30 кГр

Заключение

В процессе выполнения работы получены следующие результаты:

- разработана структура программно-аппаратного комплекса для экстракции параметров SPICE-моделей МОП-транзисторов с учётом воздействия стационарного радиационного излучения;
- разработана структура программной части комплекса;
- реализована в виде программного кода автоматизированная процедура экстракции параметров SPICE-моделей МОП-транзисторов с учётом воздействия стационарного радиационного излучения на основе промышленного комплекса экстракции IC-CAP (фирмы Agilent);
- с использованием разработанного комплекса построена SPICE-модель тестового МОП-транзистора с учётом воздействия стационарного радиационного излучения;
- произведена оценка погрешности моделирования статических вольт-амперных характеристик с использованием построенной модели: 7,5%.
- использование разработанного комплекса позволило сократить затраты времени на экстракцию более чем в два раза по сравнению с ручным методом, а также снизить погрешность моделирования ВАХ более чем на 25%.

Список литературы:

- К. О. Petrosyants, et al, *Russian Microelectronics*, vol. 40, is. 7, Dec. 2011, pp. 457-462.
- К. О. Petrosyants, et al., *Advanced Materials Research*, 2013, vol. 718-720, pp. 750-755.
- Simoen E., et al., *ECS Trans.*, 2010, vol. 31, no. 1, pp. 43-50;
- Li M., et al., *IEEE Trans. Nucl. Sc.*, 2011, vol. 58, no. 6, pp. 2876-2882.

Казенов К.Б. Определение параметров облучения радионуклидных фармацевтических препаратов на основе изотопа лютеция-177 нейтронно-активационным методом	239-241
Кувшинов П.Е. Технологии прессования металлопористых вольфрам-алюминатных катодов	241-242
Турбина А.В. Техника измерения температуры катодов	242-243
Вавилова Е.А. Аммиачная молекулярно-лучевая эпитаксия	243-244
Азарова В.В. Перфилов Д.О. Тегин М.С. Моделирование и анализ интерференционных покрытий лазерных зеркал	244-245
Жарков М.Ю. Модуль дивертора токамака КТМ на основе литиевых технологий	245-246
Миньков К.Н. Использование установки плазменного травления в электролитографии	246
Аскарров Д.Р. Определение теплофизических свойств затвердевшего расплава материалов активной зоны реактора	247-248
Укубасов Н.Б. Исследование коррозионной стойкости хромоникелевой аустенитной стали, облученной в реакторе БН-350	249
Рогачев А.В. Пруцков Г.В. Постановка метода абсорбционной спектроскопии на синхротронной станции Ленгмюр	250
Костомаров П.С. Сравнительный анализ вариантов УИУФЛ по показателям с использованием порядковой шкалы оценок	251-252
Лашкова А.К. Влияние примеси хрома на доменную структуру кристалла ТГС	253
Терентьев А.В. Исследование композитных пленок ПФМС методом малоуглового рассеяния рентгеновских лучей	254
Гришин А.А. Лукин П.А. Самбурский Л.М. Аппаратно-программный комплекс измерения импульсных характеристик мощных полупроводниковых приборов	255-256
Титов П.А. Баженов Е.Д. Оптимизация параметров камер перистальтических пьезонасосов	257-258
Корпачев М.Ю. Стратегия развития ультрафиолетовой литографической технологии	259-260
Гриднева Д.Д. Влияние технологии на параметры откачки малогабаритного магнетрона с оксидным катодом	261
Исмаил-Заде М.Р. Самбурский Л.М. Программно-аппаратный комплекс для экстракции параметров SPICE моделей МОП транзисторов с учётом воздействия стационарного радиационного излучения	262-263
Ризаханов Р.Н. Полянский М.Н. Бармин А.А. Рудштейн Р.И. Конструкция трубопровода для транспортировки высокотемпературного теплоносителя в космических аппаратах	264-266
Александрова А.Б. Моделирование тепловых процессов диодов с использованием программы ISE TCAD	266-267
Валетин С.А. Экспериментальное исследование методов и средств поверки и калибровки форм и длительности сигналов аналоговых и цифровых осциллографов	267-268
Шеламов В.А. Разработка компьютерной системы моделирования пьезоактюаторов	268-270
Ерискин А.А. Распределения водорода и дейтерия в фольгах из вольфрама и тантала, облученных высокотемпературной плазмой аргона в заполненной D2O герметичной камере	270-271
Ромахин П.А. Повреждаемость оксида алюминия мощными импульсными потоками ионов, плазмы и лазерного излучения	271-272

**Научно-техническая конференция студентов,
аспирантов и молодых специалистов НИУ ВШЭ им.Е.В.Арменского.
Материалы конференции.**

ISBN 978-5-94768-071-3



Подписано в печать 03.02.2015г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная №2.
Печать ризография. Усл.печ.л. 40,5. Уч.-изд.л. 36,45. Тираж 100 экз.
Европейский центр по качеству
109028, Москва, Б.Трехсвятительский пер., д.3