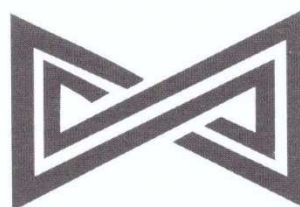


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»
МОСКОВСКОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО РАДИОТЕХНИКИ,
ЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ им. А.С.ПОПОВА



**XVI Всероссийская научно-техническая
конференция
«Электроника, микро- и наноэлектроника»:
3 -7 июля 2017 года, г. Суздаль, Россия**

Москва 2017 год

УДК 621.38+621.38.049.77+621.382.049.77

ББК 32.85+32.852

Э45

XVI Всероссийская научно-техническая конференция «Электроника, микро- и наноэлектроника»: 3-7 июля 2017 года, г. Суздаль, Россия

М.: Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук, 2017. - 72 с.

Сборник содержит программу и тезисы докладов 16-ой Всероссийской научно-технической конференции «Электроника, микро- и наноэлектроника», проводимой в г. Суздаль с 3 по 7 июля 2017 года Федеральным государственным учреждением «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской Академии наук», Московским научно-техническим обществом радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (Грант РФФИ № 17-07-20297 г).

Представленные тезисы отражают широкую панораму деятельности сотрудников российских вузов и научно-производственных организаций в областях электроники, микроэлектроники и наноэлектроники, а также специализирующейся в этих областях учащейся молодёжи.

Сборник предназначен для специалистов, аспирантов и студентов, интересующихся работами в области современной электроники.

© Федеральное государственное учреждение «Федеральный научный центр Научно-исследовательский институт системных исследований Российской академии наук», 2017 г.

ISBN 978-5-93838-062-2

Научная программа
XVI Всероссийской научно-технической конференции
«Электроника, микро- и наноэлектроника»

Понедельник, 3 июля

15.00 - 20.00. Регистрация и заселение

Вторник, 4 июля

09.30 – 10.30. Выступление сопредседателей Программно-организационного комитета конференции научного руководителя ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН академика РАН В.Б.Бетелина и директора ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН д.т.н., профессора С.Г.Бобкова .

Секция 1. Проектирование СБИС. Наноэлектроника

Вопросы маршрута проектирования сложнофункциональных блоков СБИС, в том числе на базе технологий с проектными нормами менее 100 нм

10.30-11.00. В.Я.Стенин «Эффекты зарядовой связи элементов КМОП микросхем при воздействии одиночных ядерных частиц» (НИЯУ МИФИ, Москва, Россия).

11.00-11.20. М.С.Горбунов «Транзисторная гонка в космосе» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН и НИЯУ МИФИ, Москва, Россия).

11.20-11.40. А.М.Антонова, М.Е.Барских, П.С.Зубковский «Способы фильтрации SNOOP-запросов в многоядерных микропроцессорах» (НИЯУ МИФИ и ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

11.40-12.00. Coffee break

Секция 1. Проектирование СБИС. Наноэлектроника (продолжение)

12.00-12.20. С.И.Бабкин, С.И.Волков, А.С.Новосёлов «Исследование возможности использования технологии 05КНИ с вольфрамовой металлизацией для создания высокотемпературных интегральных схем» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

12.20-12.40. В.В.Мастеров, Ю.Б.Рогаткин «Цифровая ФАПЧ для технологического процесса с нормами 65 нм» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

12.40-13.00. К.О.Петросянц, Е.И.Батаруева, Н.И.Рябов «Расчёт задержек в межсоединениях цифровых СБИС с учётом электро-тепловых эффектов» (НИУ «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова, Москва, Россия)

13.00-14.00. Обеденный перерыв

Секция 1. Проектирование СБИС. Наноэлектроника (продолжение)

14.10-14.30. Л.М.Самбурский, М.Р.Исмаил-Заде, Е.Ю.Кузин, И.А.Четвериков, В.С.Даныкин «Исследование характеристик и определение параметров SPICE-моделей субмикронных КНИ МОПТ в диапазоне температуры до 300° С» (НИУ «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова, Москва, Россия)

14.30-14.50. И.А.Харитонов, И.А.Четвериков, Е.Ю.Кузин, М.Р.Исмаил-Заде «Определение параметров SPICE-моделей МОПТ при низких температурах /до минус 200° С/» (НИУ «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова, Москва, Россия)

14.50-15.10. Д.И.Слинкин «Анализ практического использования современных методов тестирования СБИС» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

15.10-15.30. А.Ю.Богданов «Опыт применения платформы прототипирования на ПЛИС «PROTIUM» для верификации микропроцессоров (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

Стендовый доклад. С.А.Кизиев, К.К.Смирнов «Конструктивные и технологические решения для увеличения надежности современных СБИС» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

15.30-15.50. Coffee break

Секция 2. Электронные системы

Проектирование электронных систем на основе современных СБИС

15.50-16.10. М.С.Ладнушкин «Метод итерационного проектирования встроенных средств тестирования с компрессией» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

16.10-16.30. В.Р.Джафаров «UNIVERSAL MEMORY BUS (UMBus) –универсальный программируемый контроллер доступа во флеш-память NOR-типа (NOR flash) и статическую память (SRAM)» (ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН, Москва, Россия).

16.30-16.50. О.В.Момотова «Разработка программно-аппаратного комплекса приема-передачи тестовых изображений и видеоданных на FPGA SPARTAN-6» (НИУ «МИЭТ», НТЦ «ЭЛИНС», Москва (Зеленоград), Россия).

Среда, 5 июля

Секция 2. Электронные системы (продолжение)

09.30-09.50. В.А.Харин, П.Ю.Демьянов, Н.Ю.Миронов, Е.С.Стенькин «Модуль универсального устройства интерфейса и параметрического тестера МКПД по ГОСТ Р 52070-2003» (ЗАО НТЦ «Модуль», Москва, Россия).

09.50-10.10. Д.В.Бородин, Ю.В.Осипов, В.В.Васильев «Отечественные матричные КМОП фотоприёмники формата 1,3 мегапикселей» (ООО «РТК Инпекс», Московская область, г. Мытищи и АО «НПП Пульсар», Москва, Россия).

Секция 3. Радиационная стойкость электронных устройств и систем

Вопросы обеспечения радиационной стойкости электронных устройств и систем

10.10-10.30. К.О.Петросянц, Л.М.Самбурский, И.А.Харитонов «Моделирование сбоев в КНИ/КНС КМОП-схемах с использованием универсальной SPICE-модели» (НИУ «Высшая школа экономики», Московский институт электроники и математики им. А.Н.Тихонова и ФГБУН «Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН», Москва, Россия).

Моделирование сбоев в КНИ/КНС КМОП-схемах с использованием универсальной SPICE-модели

К. О. Петросянц¹, Л. М. Самбурский², И. А. Харитонов³

^{1,2,3} Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики» (Московский институт электроники и математики им. А. Н. Тихонова), Москва, Россия,

^{1,2} ФГБУН «Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН», Москва, Россия,

E-mail's : ¹ kpetrosyants@hse.ru, ² lsambursky@hse.ru, ³ ikharitonov@hse.ru

Ключевые слова: КНИ/КНС КМОП-схемы, моделирование сбоев, радиационная стойкость, компактные SPICE-модели, экстракция параметров моделей.

Радиационно-индуцированные сбои в КНИ/КНС КМОП-схемах во многом вызваны изменением параметров транзисторов: сдвигом порогового напряжения, деградацией крутизны и увеличением тока утечки под действием поглощённой дозы; возникновением импульсного тока под действием импульсного излучения или одиночных частиц. SPICE-моделирование является эффективным средством анализа и предсказания сбоев в КМОП-схемах [1]; его важнейшим элементом являются компактные SPICE-модели КНИ/КНС МОПТ, учитывающие радиационные эффекты. В предыдущие годы разработаны различные модели (см. напр. [1, 2–14]); однако, большинство из них учитывают только какой-либо один радиационный эффект, в них слабо описаны процедуры экстракции параметров, что создаёт проблемы при проектировании радиационно-стойких схем. В данной работе представлена методика схемотехнического моделирования радиационно-индуцированных сбоев в КНИ/КНС КМОП ИС, реализованная на трёх уровнях: приборы— типовые схемные фрагменты—полные схемы. В рамках этой методики используется разработанная авторами универсальная компактная SPICE-модель КНИ/КНС МОПТ с учётом эффектов стационарного (TID), импульсного (dose rate) излучения, одиночных эффектов (single events) [15]. Подробно описана процедура экстракции параметров модели для различных видов радиационного воздействия и используемых радиационно-стойких транзисторных структур. Приведены примеры моделирования радиационно-индуцированных сбоев в аналоговых и цифровых КНИ/КНС КМОП БИС при воздействии различных видов излучения: поглощённой дозы, импульсного излучения, одиночных частиц. Результаты моделирования показывают расхождение с экспериментальными данными не более 10–20% для всех видов излучения.

На рис. 1 показаны результаты измерения и моделирования переходного процесса в блоке записи схемы 0,5 мкм КНИ КМОП 512-кбит ОЗУ в условиях гамма-облучения. Для настройки модели использовались результаты измерения характеристик транзисторов (рис. 2). Этот блок был определён как наиболее слабый, его стойкость была повышена со 160 до 300 крад. На рис. 3 представлены результаты измерения и моделирования АЧХ 1 мкм КНИ КМОП ОУ (35 МОПТ). Видно, что при $D = 250$ крад собственный коэффициент усиления падает в ~ 2 раза.



Рис. 1 Характеристики блока записи 0,5 мкм КНИ КМОП 512 кбит ОЗУ в диапазоне дозы до 150 крад: нет сбоя (а), сбой (б)

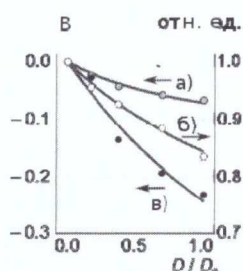


Рис. 2 Зависимости параметров МОПТ от дозы: ΔV_{OFF} (а), $U_0(D)/U_0(0)$ (б), ΔV_{TN0} (в)



Рис. 3 АЧХ КНИ КМОП ОУ: расчёт (линии), эксперимент (значки) в диапазоне дозы до 250 крад

Для настройки модели для переходных эффектов (SET) в данном примере использовались результаты смешанного TCAD-SPICE-моделирования I_C и V_C в р-МОПТ при попадании ОЯЧ на границу его затвора и стока в 0,5 мкм 6Т ячейке ОЗУ (рис. 4). Видно, что модель корректно учитывает усиление тока паразитным БТ. С использованием модели просчитан переходной процесс в полной ячейке при различных значениях ЛПЭ (рис. 5), гранично-ЛПЭ равно $20 \text{ МэВ}\cdot\text{см}^2/\text{мг}$.

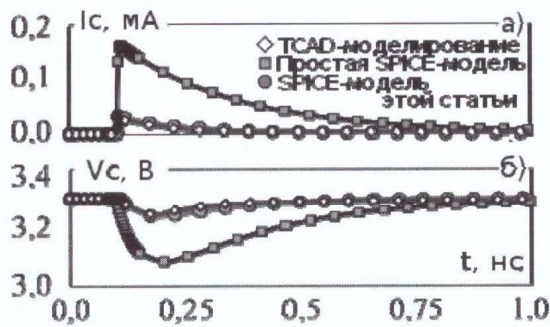


Рис. 4 Смешанное SPICE-TCAD-моделирование (значки), SPICE-моделирование (линии) переходного процесса (SET) в 6Т ячейке памяти при попадании ОЯЧ



Рис. 5 Моделирование сбоя при попадании ОЯЧ в 6Т ячейке памяти: нет сбоя (а), сбой (б)

Моделирование эффектов импульсного излучения иллюстрируется двумя примерами: массива 0,15 мкм КНИ МОПТ (80000 МОПТ, рис. 6) и ИС 2 мкм КНС КМОП 4-разрядного счётчика (250 МОПТ, рис. 7, $P_{\gamma, \text{крит}} = 5 \cdot 10^8 \text{ рад/с}$ (Si)). Результаты моделирования подтверждаются результатами измерений тока питания (рис. 8).

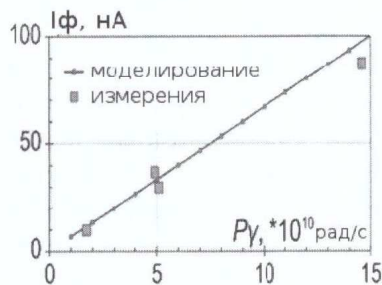


Рис. 6 Фототок массива КНИ МОПТ при импульсном радиационном облучении: моделирование (линии), эксперимент [13] (значки)

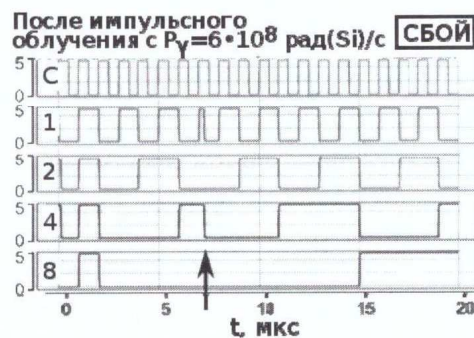


Рис. 7 Моделирование сбоя в 4-разрядном КНС КМОП-счётчике при импульсном облучении с мощностью дозы $6 \cdot 10^8 \text{ рад/с}$ (стрелкой отмечен момент воздействия)

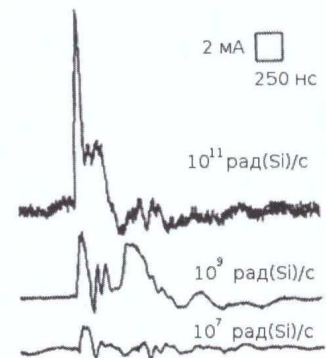


Рис. 8 Измерения тока питания 4-разрядного КНС КМОП-счётчика при импульсном облучении

Литература

1. X.Huang и др. (2004) *Aerosp. Conf. Proc.* 4: 2597-2607.
2. G.I.Zebrev, M.S.Gorbunov. (2009) *IEEE T Nucl. Sci.* 56 (4): 2230-2236.
3. J.Alvarado и др. (2010) *Microelectron. Reliab.* 50: 1852-1856.
4. J.BuJ др. (2011) *J.Semi.* 32(1): 014002-1 – 014002-3.
5. G.I.Wirth и др. (2007) *IET Circ Device Syst.* 1(2): 137-142.
6. L.Sterpone. (2013) *Microelectron. Reliab.* 53(9): 1311-1314.
7. I.E.Sanchez и др. (2015) *IEEE T Nucl. Sci.* 62(4):1501-1515.
8. Kaupila JS, и др. (2009) *IEEE T Nucl Sci* 56(6):3152-3157.
9. K.O.Petrosjanc и др. (1994) *Proc. IEEE ICMTS* 7:126-129.
10. K.O.Petrosjanc, I.A.Kharitonov. (1993) *Proc. IEEE ICMTS*: 9-14.
11. K.O.Petrosyants и др. (2011) *Russian Microelectronics*, 40(7): 457-462.
12. K.O.Petrosyants KO и др. (2012) *Proc. 10th IEEE EWDTS*: 60-65.
13. Liu HY и др. (2015) *IEEE Int. SOI Conf.*: 112-113.
14. V.Ferlet-Cavrois и др. (2002) *IEEE T Nucl. Sci.* 49(3): 1456-1461.
15. K.O.Petrosyants и др. (2015) *Proc. EUROSIOI-ULIS*: 305-308

СПИСОК АВТОРОВ ДОКЛАДОВ

1. А.В.Амирханов- стр. 8, 22
2. А.В.Андрианов- стр. 8, 9
3. А.А.Антонов- стр. 8, 11
4. А.М.Антонова- стр. 5, 13
5. А.В.Антонюк- стр. 8, 15
6. С.И.Бабкин- стр. 5, 16
7. А.С.Бакеренков- стр.7, 47
8. М.Е.Барских- стр. 5, 13
9. Е.И.Батаруева- стр. 5, 51
10. В.В.Беляков- стр. 7, 47
11. В.Б.Бетелин- стр. 5, 8
12. С.Г.Бобков- стр. 5, 8.
13. А.Ю.Богданов- стр. 6, 18
14. Д.В.Бородин- стр. 6, 19
15. Ю.И.Бочаров- стр. 7, 68
16. А.С.Будяков- стр. 8, 37
17. Ю.Д.Бурсиан- стр. 7, 47
18. В.А.Бутузов- стр. 7, 68
19. А.В.Ванюшкин- стр. 8, 21
20. В.В.Васильев- стр. 6, 19
21. А.С.Ватуев- стр. 7, 31
22. А.О.Власов- стр. 8, 11
23. С.И.Волков- стр. 5, 16
24. Е.А.Гагарин- стр. 8, 11
25. А.М.Галимов- стр. 7, 24
26. Р.М.Галимова- стр. 7, 24
27. Н.С.Глухов- стр. 7, 47
28. А.А.Глушко- стр. 8, 22
29. М.С.Горбунов- стр. 5, 26
30. В.С.Даныкин- стр. 5, 55
31. П.Ю.Демьянов- стр. 6, 63
32. В.Р.Джафаров- стр. 6, 28
33. М.Г.Дроздецкий- стр. 7, 29
34. И.В.Елушов- стр. 7, 24
35. В.В.Емельянов- стр. 7, 31
36. Г.И.Зебрев- стр. 7, 24, 29
37. П.С.Зубковский- стр. 5, 13
38. М.Р.Исмаил-Заде- стр. 5, 6, 55, 66
39. С.А.Кизиев- стр. 6, 33
40. Н.М.Клоков- стр. 8, 37
41. Е.Ю.Кузин- стр. 5, 6, 55, 66
42. О.Н.Кузь- стр. 7, 68
43. А.А.Краснюк- стр. 8, 21
44. М.С.Ладнушкин- стр. 6, 35
45. А.А.Лебедев- стр. 8, 37
46. В.В.Макарчук- стр. 8, 22
47. Н.В.Масальский- стр. 8, 39
48. В.В.Мастеров- стр. 5, 41
49. Н.Ю.Миронов- стр. 6, 63
50. А.Г.Мирошниченко- стр. 7, 47
51. О.В.Момотова- стр. 6, 43
52. Е.В.Мрозовская- стр. 7, 24
53. А.Е.Назаренко- стр. 7, 68
54. А.С.Новосёлов- стр. 5, 8, 16, 22
55. В.В.Орлов- стр. 7, 29
56. Ю.В.Осипов- стр. 6, 19
57. В.С.Першенков- стр. 7, 45, 47
58. К.О.Петросянц- стр. 5, 6, 7, 49, 51, 53
59. В.Ю.Прокопьев- стр. 7, 68
60. Ю.Б.Рогаткин- стр. 5, 41
61. А.С.Родин- стр. 7, 47
62. Н.И.Рябов- стр. 5, 51
63. Е.М.Савченко- стр. 8, 37
64. Л.М.Самбурский- стр. 5, 6, 53, 55
65. А.П.Скоробогатов- стр. 7, 57
66. Д.И.Слинкин- стр. 6, 59
67. К.К.Смирнов- стр. 6, 33
68. В.Я.Стенин- стр. 5
69. Е.С.Стенькин- стр. 6, 63
70. Д.В.Трощенко- стр. 8, 21
71. Д.А.Трубицын- стр. 8, 61
72. Р.Г.Усейнов- стр. 7, 31
73. В.А.Фелицын- стр. 7, 47
74. В.А.Харин- стр. 6, 63
75. И.А.Харитонов- стр. 6, 7, 53, 64, 66
76. И.А.Четвериков- стр. 5, 6, 55, 66
77. П.А.Чибисов- стр. 8, 61
78. В.Е.Шунков- стр. 7, 68
79. Л.А.Щигорев- стр. 7, 70
80. Г.А.Яшин- стр. 8, 22

Подписано в печать 22.05.2017 г.
Формат 60x90/8
Печать цифровая. Печатных листов 9,0.
Тираж 120 экз. Заказ № 630.

Отпечатано в ППП «Типография «Наука»
121099, Москва, Шубинский пер, 6