



УДК 621.382

DOI: 10.22184/NanoRus.2019.12.89.391.392

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К СБОЯМ DICE-ТРИГГЕРА В ИНСТРУМЕНТЕ CRÈME-MC

EXPLORING THE SUSCEPTIBILITY TO DICE FLIP-FLOP UPSETS IN CRÈME-MC

ГАЛИМОВ АРТУР МАРАТОВИЧ

*Ведущий инженер
galimov@mri-progress.ru*

GALIMOV ARTUR M.

*Lead engineer
galimov@mri-progress.ru*

ШАЛАШОВА ЕЛЕНА СЕРГЕЕВНА

SHALASHOVA ELENA S.

ФАТЕЕВ ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ

FATEEV IVAN A.

АЛЕКСАНДРОВ АЛЕКСЕЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ

ALEXANDROV ALEXEY V.

*АО «НИИМА «Прогресс»
125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54**Microelectronics Research Institute PROGRESS JSC
("PROGRESS MRI" JSC)
54 Cherepanovykh Lane, Moscow, 125183, Russia*

В докладе рассмотрен дозиметрический подход к расчету сечения и частоты сбоев DICE-триггера от частиц космоса на этапе проектирования. Подход основан на подсчете одновременно выделенного заряда в чувствительных областях триггера с помощью моделирования Монте-Карло в инструменте CRÈME-MC.

Ключевые слова: одиночные сбои; частота сбоев; сечение сбоев; DICE-триггер; дозиметрия.

The dosimetric approach to cross section and error rate calculation of the DICE flip-flop is considered. The approach is based on the simultaneous deposited charge calculation in the sensitive volumes of the flip-flop by means of the CRÈME-MC Monte Carlo simulation tool.

Keywords: single event upsets; soft error rate; upset cross section; DICE flip-flop; dosimetry.

Использование DICE-схемотехники является классическим подходом к повышению сбоеустойчивости ячеек памяти. Пространственное разнесение чувствительных областей (ЧО) DICE-ячейки позволяет существенно снизить сечение сбоев. В то же время значительно увеличивается площадь ячеек памяти и снижается их быстродействие. В связи с этим на этапе проектирования памяти разработчик сталкивается с проблемой оптимизации пространственного разнесения чувствительных областей. Для решения данной задачи требуются инструменты моделирования сечения сбоев ячеек памяти заданной топологии.

В принципиальном плане процесс возникновения сбоя памяти можно разделить на два основных механизма: 1) выделение заряда в ЧО и 2) последующие процессы его переноса и сбора внутри ячейки, приводящие к сбою. Первый механизм полностью определяется геометрией ЧО, химическим составом микросхемы и характеристикой налетающих частиц. Моделирование данного механизма является дозиметрической задачей, которая не зависит от электрических параметров микросхемы. Данная задача решается упрощенными аналитическими методами, например RPP для прямой ионизации частиц, или методами моделирования Монте-Карло для учета сложной геометрии ЧО и ядерных реакций налетающих частиц с веществом.

В отличие от первого, второй механизм определяется только параметрами электрической схемы ячейки памяти. Моделирование данного механизма является схемотехнической задачей, которая решается с помощью TCAD- и SPICE-инструментов. В данной работе рассматривается инструмент расчета сечения

и частоты сбоев CRÈME-MC [1], основанный только на моделировании механизмов выделения заряда в ЧО (механизм 1). В работе [2] показано, что остальные механизмы переноса и сбора заряда возможно учесть с помощью модели вложенных ЧО с разными эффективностями генерации заряда.

Инструмент CRÈME-MC применен в целях оценки сечения и частоты сбоев разрабатываемого DICE-триггера на технологической базе 65 нм. Для определения параметров вложенных ЧО проведена калибровка по известным экспериментальным данным микросхемы памяти с аналогичным технологическим процессом изготовления [3]. Условием сбоя DICE-триггера является одновременное превышение критического заряда в разнесенных ЧО, поэтому моделирование проводилось одновременно для пары пространственно-разнесенных ЧО. Значения критического заряда этих ЧО оценены с помощью двухэкспоненциального источника тока при SPICE-моделировании. На рис. 1 представлена полученная зависимость от величины разнесения чувствительных областей L : а) сечения сбоев для мононаправленного потока ионов Хе 435 МэВ и б) частоты сбоев для изотропного потока частиц на геостационарной орбите. На рисунках стрелками обозначены величина разнесения ЧО, соответствующее ему сечение и частота сбоев. Моделирование проводилось с учетом ядерных реакций в материале микросхемы.

Как видно из рисунков, дозиметрическое моделирование позволяет качественно описать зависимость показателей стойкости от L . При величине разнесения менее 3 мкм сечение и частота быстро растут с уменьшением L . При величине

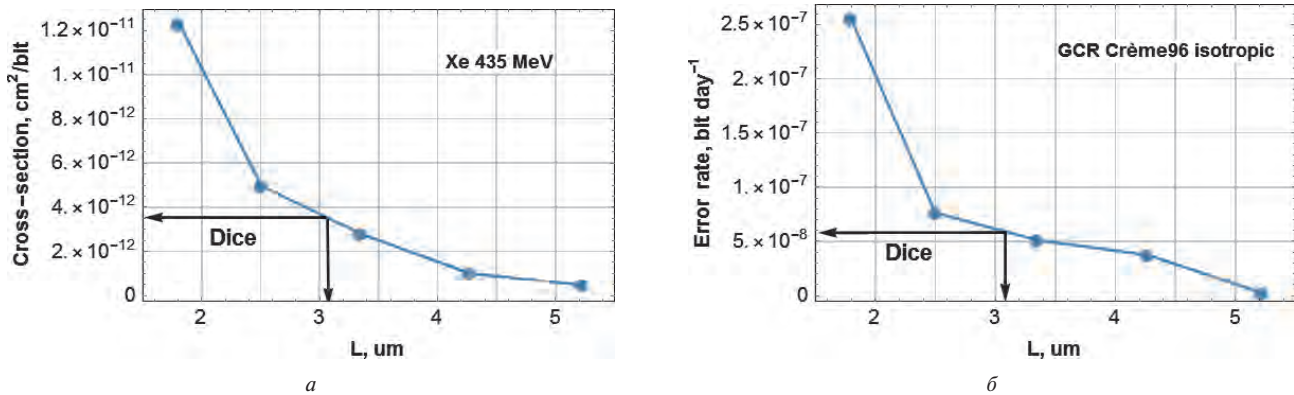


Рис. 1. Зависимость а) сечения сбоев для мононаправленного потока ионов Xe 435 МэВ и б) частоты сбоев для изотропного потока частиц на геостационарной орбите от величины разнесения чувствительных областей L

разнесения более 3 мкм уменьшение сечения и частоты с увеличением L становится незначительным. Данное качественное поведение сечения и частоты сбоев позволяет сделать выбор необходимой величины разнесения ЧО в зависимости от требуемых показателей стойкости.

К достоинству рассмотренного метода расчета сечения и частоты сбоев перед TCAD- и SPICE-моделированием можно отнести возможность учета влияния вторичных частиц ядерного взаимодействия и угловых попаданий в изотропном потоке частиц. Недостатком метода является отсутствие прямой методики калибровки модели вложенных ЧО, что на практике затрудняет прогнозирование неоднозначностью выбора параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adams J. H., Barghouty A. F., Mendenhall M. H., Reed R. A. *et al.* CRÈME: The 2011 Revision of the Cosmic Ray Effects on Micro-Electronics Code, IEEE Trans. Nucl. Sci. Vol. 59. №6, Dec. 2012. P. 3141–3147.
2. Garcia R. *et al.* Calibration of the weighed sensitive volume model to heavy ion experimental data, Proc. RADECS, Sept. 2011. P. 60–66.
3. Gorbunov M. S., Boruzdina A. B., Dolotov P. S. *Semi-empirical method for estimation of single-event upset cross section for SRAM dice cells* // IEEE Transactions on Nuclear Science, 2016. Vol. 63. №4. P. 2250–2256.



ИЗДАТЕЛЬСТВО «ТЕХНОСФЕРА» ПРЕДСТАВЛЯЕТ КНИГУ:



ВНЕДРЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНДУСТРИИ 4.0. Основы, моделирование и примеры из практики

Под ред. Армина Рота
Пер. с нем. под общей ред. А.В. Кострова

М.: ТЕХНОСФЕРА, 2017. – 294 с. ISBN 978-5-94836-482-7

Издание осуществлено при финансовой поддержке ПАО «Ростелеком»

Цена 1090 руб.

В книге представлены концепция, основные парадигмы развития, структура технологии Индустрии 4.0. В отличие от широко распространенного технократического прикладного метода изучения, издание позволяет выделить и целостно описать уровни стратегического, тактического и оперативного управления. Ключевым элементом при этом является процессная модель, описывающая действия на стратегическом и оперативном уровнях, а примеры практического применения Индустрии 4.0 в различных отраслях промышленности наряду с мнениями известных экспертов в области науки и производства вызовут интерес не только у новичков отрасли, но и у научных сотрудников, инженерно-технических работников и руководителей высшего и среднего звена. Благодаря обширному глоссарию издание станет ценным справочным пособием по использованию основных положений и лучших практик Индустрии 4.0.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?
e-mail: knigi@technosphere.ru;
sales@technosphere.ru

125319, Москва, а/я 91;

тел.: +7 495 234-0110;
факс: +7 495 956-3346;