

# МОДЕЛИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В МИКРОСХЕМАХ ВЫСОКОЙ СТЕПЕНИ ИНТЕГРАЦИИ

## MODELING OF RADIATION EFFECTS IN MICROELECTRONIC CIRCUITS OF LARGE SCALE INTEGRATION

*О. С. Кротова, С. А. Лазарев, Д. В. Ткачук*  
*O. S. Krotova, S. A. Lazarev, D. V. Tkachuk*

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»,  
пр. Мира, 37, Саров, Нижегородская область, 607188, Россия  
Russian Federal Nuclear Center – All-Russian Research Institute of Experimental Physics

Задача моделирования взаимодействия излучения (тяжелые заряженные частицы, протоны, нейтроны, электроны, гамма-кванты) с веществом в настоящее время весьма актуальна. Подобное моделирование требуется для сопровождения радиационных испытаний электронно-компонентной базы (ЭКБ), которые проводятся на источниках проникающего излучения различного типа, с применением численных расчетов.

Расчеты проводятся путем моделирования прохождения различных типов излучения в слоях интегральной микросхемы (ИМС). В качестве инструмента для численного моделирования методом Монте-Карло выбрана расчетная методика, позволяющая решить систему связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов.

В докладе представлена модель ИМС высокой степени интеграции с детальным описанием форм и размеров элементов структуры ячейки памяти.

Nowadays the task of modeling the interaction between radiation (heavy charged particles, protons, neutrons, electrons, gamma-quants) and matter is actual. Similar modeling is required for accompanying the radiation tests of an electron-component base (ECB), which are performed on different types of radiation sources, with application of numerical calculations.

As a tool for numerical modeling by Monte-Carlo method there has been selected a technique, allowing solution of coupled linear equations of transporting neutrons, gamma-quants, electrons and positrons.

The paper presents a model of a microelectronic circuit of large scale integration with a detailed description forms and sizes of memory cell structure elements.

В настоящее время основным методом планирования и анализа результатов экспериментальных исследований в различных областях физики является математическое моделирование. Для моделирования процессов формирования полей излучений, поглощенной дозы и объемного электрического заряда в детекторах и исследуемых объектах в радиационной физике применяется метод Монте-Карло. В качестве инструмента для численного моделирования по методу Монте-Карло выбрана расчетная методика С-007 [1], позволяющая решить систему связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов.

Методика предоставляет широкие возможности детального описания систем сложной трехмерной геометрии. Она позволяет использовать различные базы данных о сечениях реакций взаи-

модействия излучения с веществом. Для описания постановки задачи и выбора конкретной схемы моделирования траекторий частиц используется язык задания, разработанный для методики С-95 [1].

На рис. 1 представлена одна из характерных схем ячейки памяти размером  $4 \times 4$  мкм.

Цель настоящей работы - выяснить, какое влияние оказывает структура ИМС на значение поглощенной дозы при воздействии проникающего излучения.

С использованием программы С-007 задавалась геометрия ячейки памяти с детальным описанием формы и размеров элементов её структуры.

Расчеты проводились путем моделирования прохождения гамма-квантов с энергиями 10 и 100 кэВ в слоях микросхемы. Поглощенная доза рассчитывалась в поверхностном слое подложки,

содержащем активные элементы ячейки памяти (далее – подложка).

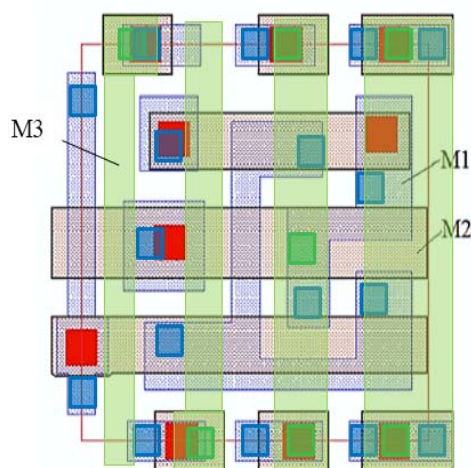


Рис. 1 – Схема ячейки памяти (М1, М2, М3 – слои металлизации)

На рис. 2 (а, б) приведены результаты тестового расчета распределения поглощенной дозы в подложке изолированной ячейки памяти (ячейка не окружена кристаллом микросхемы) при воздействии на неё квантов с энергией 10 кэВ. Как следует из рисунка 2 (б), значения поглощённой дозы в местах расположения вольфрамовых контактных ножек ячейки памяти выше, чем в остальных областях (увеличение значения поглощенной дозы составило около 30 %).

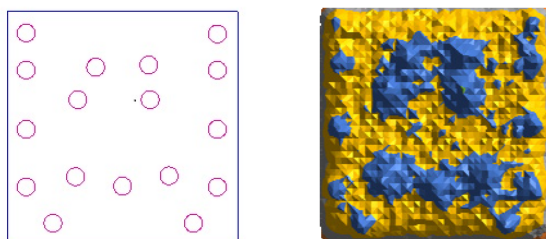


Рис. 2. Зависимость поглощенной дозы от структуры микросхемы (энергия квантов 10 кэВ, ячейка памяти не окружена кристаллом микросхемы): а – расположение контактных ножек в слое, ближайшем к подложке, б – распределение поглощенной дозы в подложке микросхемы

На рис. 3 приведены результаты расчета для геометрии ячейки в следующей редакции: все слои принимались однородными по толщине с сохранением весового массового состава. Разница между максимальным и средним значениями поглощенной дозы не более 5 %. Значения погло-

щенных доз на участках «плато» с учетом структуры ячейки памяти и без учета структуры совпадают. Таким образом, задавая слои ячейки памяти с усредненным весовым составом, теряется информация об «уязвимых» местах, связанных с её структурой.

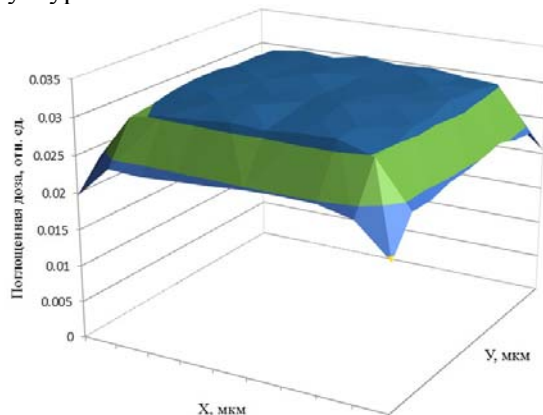


Рис. 3. Распределение поглощенной дозы в подложке ячейки памяти (энергия квантов 10 кэВ, без окружения)

На рис. 4 приведены результаты расчета для геометрии, в которой ячейка памяти находится внутри кристалла микросхемы.

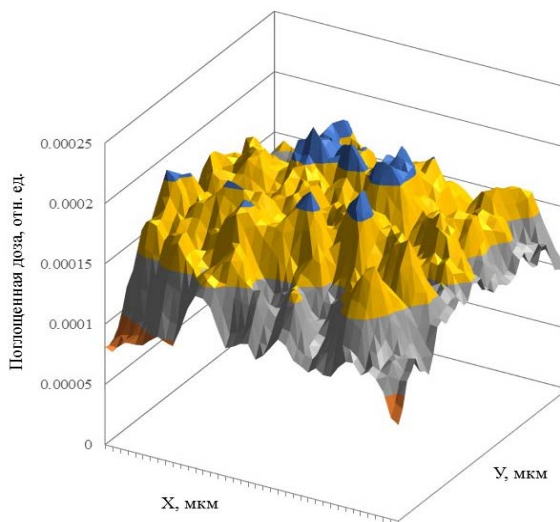


Рис. 4. Распределение поглощенной дозы в подложке ИМС (энергия квантов 100 кэВ, ячейка памяти внутри кристалла микросхемы)

Так как основа материала ячейки памяти и кристалла микросхемы одинаковая – кремний, то и поглощенная доза в ней, без учета структуры, должна совпадать со средним значением по кристаллу. Однако, как следует из проведенных расчетов, значение поглощенной дозы в подложке может увеличиваться на 200–300 % из-за наличия в слоях металлизации элементов с высоким Z.

## Заключение

Проведены расчеты поглощённой дозы в подложке ИМС в трех тестовых конфигурациях. Показано, что особенности структуры ИМС оказывают заметное влияние на значение поглощенной дозы при воздействии проникающего излучения.

Выполненные расчеты позволяют на стадии проектирования выявить места ИМС, наиболее чувствительные к воздействию проникающего излучения, что в свою очередь должно учитываться при производстве радиационно-стойких ИМС.

## Список литературы

1. Житник А. К., Донской Е. Н., Огнев С. П., Горбунов А. В. и др. Методика С-007 решения методом Монте-Карло связанных линейных уравнений переноса нейтронов, гамма-квантов, электронов и позитронов. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Математическое моделирование физических процессов, 2011, Вып. 1, С. 17–24.