

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 4×4 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).

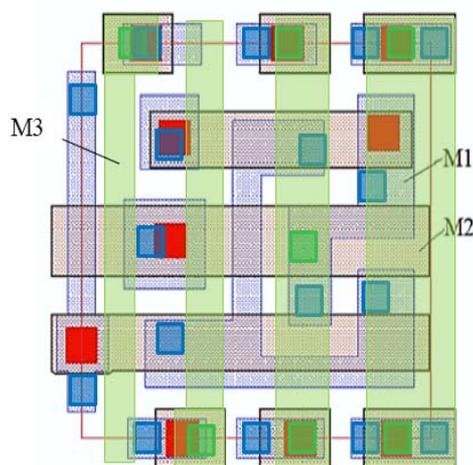


Рис. 1 – Схема ячейки памяти (М1, М2, М3 – слои металлизации)

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 %).

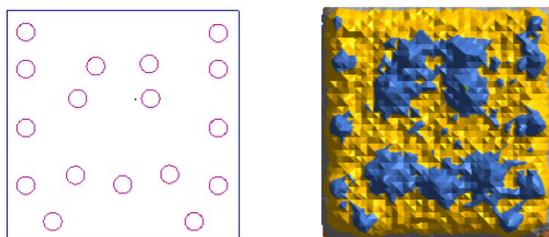


Рис. 2. Зависимость поглощенной дозы от структуры микросхемы (энергия квантов 10 кэВ, ячейка памяти не окружена кристаллом микросхемы): а – расположение контактных ножек в слое, ближайшем к подложке, б – распределение поглощенной дозы в подложке микросхемы

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.

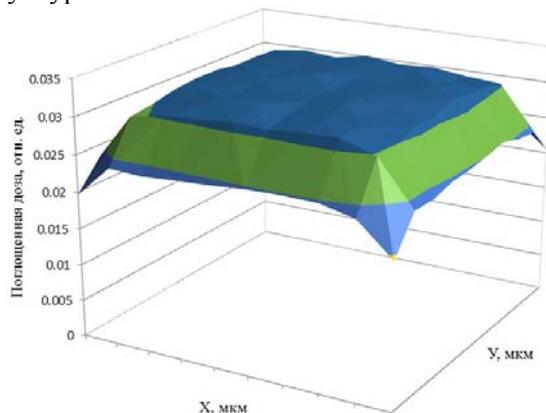


Рис. 3. Распределение поглощенной дозы в подложке ячейки памяти (энергия квантов 10 кэВ, без окружения)

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

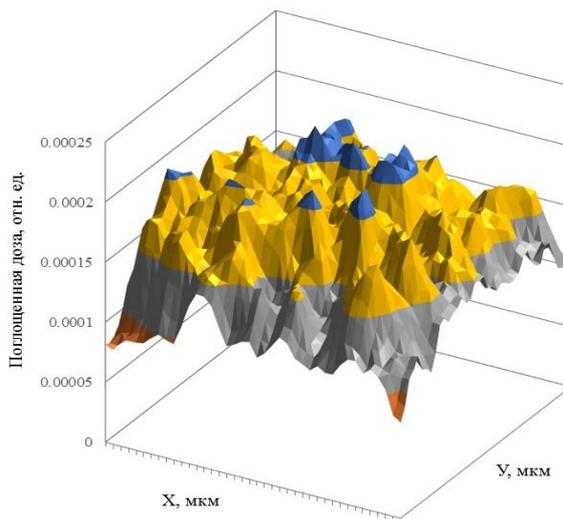


Рис. 4. Распределение поглощенной дозы в подложке ИМС (энергия квантов 100 кэВ, ячейка памяти внутри кристалла микросхемы)

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.