



МЕТОД ОЦЕНКИ ЧАСТОТ СБОЕВ КОММЕРЧЕСКИХ МИКРОСХЕМ ПАМЯТИ ОТ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ ИСПЫТАНИЙ НА ПРОТОНАХ

COMPACT MODELING OF SOFT ERROR RATES: FROM PROTON TESTING DATA TO HEAVY IONS INDUCED RATES AND VICE VERSA

УДК 621.396.721, ББК 32.95

ГАЛИМОВ АРТУР МАРАТОВИЧ

Ведущий инженер

АО «НИИМА «Прогресс»

125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54

galimov@mri-progress.ru

GALIMOV ARTHUR M.

Lead Engineer

JSC "PROGRESS MRI"

54 Cherepanovikh Lane, Moscow 125183, Russia

galimov@mri-progress.ru

Представлен метод пересчета частот сбоев от ионов к протонам и обратно с использованием компактной модели расчета. Приведены результаты сравнения расчетных значений с экспериментальными данными.

Ключевые слова: частоты сбоев; коммерческие интегральные микросхемы (ИМС) памяти; тяжелые заряженные частицы; протоны.

The article presents a soft error rates calculation technique based on compact model. The method allows converting the proton cross-section data to the heavy ion induced error rates and vice versa, as well as the verification of proposed technique.

Keywords: soft error rates; COTS memory devices; heavy ions; protons.

В связи с развитием микроэлектронных технологий появляются новые требования к производительности бортовой аппаратуры космических аппаратов (КА). Отечественная радиационно-стойкая компонентная база имеет высокие показатели надежности, однако зачастую не соответствует требованиям по быстродействию. В связи с этим в последнее время появилась тенденция использования в составе процессорных систем КА зарубежных компонентов коммерческого назначения (commercial

off-the-shelf, COTS). Данные компоненты имеют достаточно высокие показатели по быстродействию, однако, как показывает практика, имеют высокую чувствительность к одиночным сбоям как от тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ), так и от высокоэнергетичных протонов (ВЭП). В связи с усложнением доступа к кристаллу микросхемы актуальной задачей является разработка метода пересчета от сечения сбоев, полученных на протонных испытаниях, к сечениям сбоев от ТЗЧ.

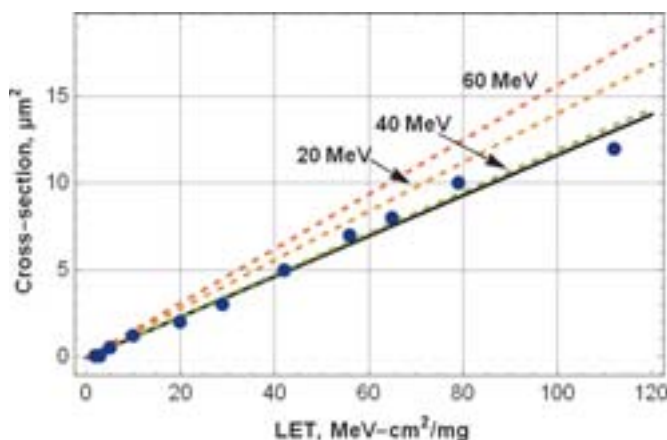


Рис. 1а. Микросхема АТ60142F: экспериментальный параметр $K_d = 1,16 \cdot 10^{-9}$ мг/МэВ. Расчетные значения K_d для энергии протонов:

$$20 \text{ МэВ } K_d = 1,4 \cdot 10^{-9} \text{ мг/МэВ,}$$

$$40 \text{ МэВ } K_d = 1,2 \cdot 10^{-9} \text{ мг/МэВ,}$$

$$60 \text{ МэВ } K_d = 1,5 \cdot 10^{-9} \text{ мг/МэВ}$$

Fig. 1a. Microcircuit AT60142F: Experimental parameter $K_d = 1.16 \cdot 10^{-9}$ mg/MeV. Calculated K_d values for proton energy:

$$20 \text{ MeV } K_d = 1.4 \cdot 10^{-9} \text{ mg/MeV,}$$

$$40 \text{ MeV } K_d = 1.2 \cdot 10^{-9} \text{ mg/MeV,}$$

$$60 \text{ MeV } K_d = 1.5 \cdot 10^{-9} \text{ mg/MeV}$$

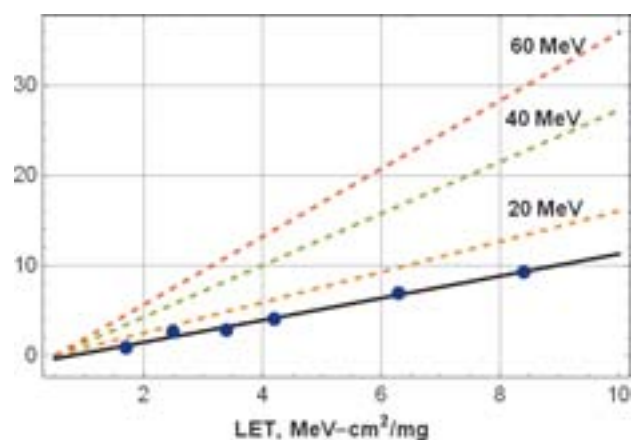


Рис. 1б. Микросхема КМ6840003р3V: экспериментальный параметр $K_d = 1,22 \cdot 10^{-8}$ мг/МэВ. Расчетные значения K_d для энергии протонов:

$$20 \text{ МэВ } K_d = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ мг/МэВ,}$$

$$40 \text{ МэВ } K_d = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ мг/МэВ,}$$

$$60 \text{ МэВ } K_d = 3,7 \cdot 10^{-8} \text{ мг/МэВ}$$

Fig. 1b. Microcircuit KM6840003p3V: Experimental parameter $K_d = 1.22 \cdot 10^{-8}$ mg/MeV. Calculated K_d values for proton energy values:

$$20 \text{ MeV } K_d = 1.7 \cdot 10^{-8} \text{ mg/MeV,}$$

$$40 \text{ MeV } K_d = 2.8 \cdot 10^{-8} \text{ mg/MeV,}$$

$$60 \text{ MeV } K_d = 3.7 \cdot 10^{-8} \text{ mg/MeV}$$

Для решения данной задачи разработан специализированный Geant4-симулятор вторичных частиц, полученных в результате столкновения протонов с веществом микросхемы. Данный инструмент с помощью метода Монте-Карло рассчитывает дифференциальный ЛПЭ-спектр вторичных частиц для заданной энергии падающих ВЭП $\phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p)$. Используя феноменологический подход к описанию одиночных событий, экспериментально полученное количество сбоев при энергии ВЭП ϵ_p можно представить в следующем виде:

$$N(\epsilon_p) = \int \sigma_{HI}^{(sec)}(\Lambda) \phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p) d\Lambda, \quad (1)$$

где $\sigma_{HI}^{(sec)}(\Lambda)$ — сечение сбоев от вторичных частиц.

В COTS-микросхемах памяти экспериментальная ситуация такова, что зависимость сечения сбоев от ЛПЭ-ионов оказывается линейной в надпороговом участке:

$$\sigma_{HI} \cong K_d(\Lambda - \Lambda_c), \quad (2)$$

где K_d и Λ_c — линейные параметры аппроксимации экспериментальных данных. Причем параметр Λ_c обычно составляет $0,5 \sim 1$ МэВсм²/мг. Исходя из данной формы сечения для прямой ионизации становится возможным определить параметр K_d следующим образом:

$$K_d = \frac{N(\epsilon_p)}{(\langle \Lambda \rangle_{\epsilon_p} - \Lambda_c) \int \phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p) d\Lambda}, \quad (3)$$

где $\langle \Lambda \rangle_{\epsilon_p}$ — среднее ЛПЭ

$$\langle \Lambda \rangle_{\epsilon_p} \equiv \int \Lambda \phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p) d\Lambda. \quad (4)$$

Результаты сравнения расчетных и экспериментальных значений K_d представлены на рис. 1.

Как видно из рис. 1, представленный подход достаточно хорошо согласуется с экспериментальными данными.

Along with microelectronics technologies development, new requirements for performance of the space-borne equipment appear. The radiation-hardened components provide high reliability marks, but often do not comply with the requirements for performance. That is why there is a tendency to use the commercial off-the-shelf (COTS) components as a part of space-born processor systems. These components provide rather high performance, but, in practice, they are very sensitive to single event upset caused by heavy ions (HI) and high energy protons (HEP). Due to the complications in access to the chip die there is the topical issue of developing the method of converting the cross-section of upsets from HEP to cross-section from HI.

In order to model the secondary particles spectra the physical simulator Geant-4 has been developed. This tool uses the

Monte-Carlo technique to score the differential LET-spectrum of secondary particles from the HEP projectiles $\phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p)$. Using the phenomenological approach to describe a single event upset, the amount of experimentally obtained upsets at HEP energy ϵ_p may be represented in the following form:

$$N(\epsilon_p) = \int \sigma_{HI}^{(sec)}(\Lambda) \phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p) d\Lambda, \quad (1)$$

where $\sigma_{HI}^{(sec)}(\Lambda)$ is cross-section of upsets caused by secondary particles.

In case of COTS memory microcircuits the results of performed experiments have revealed that dependence of upsets cross-section on HI's LET is linear in the above-threshold span:

$$\sigma_{HI} \cong K_d(\Lambda - \Lambda_c), \quad (2)$$

where K_d and Λ_c are linear parameters of the experimental data approximation. Besides, parameter Λ_c usually constitutes $0.5 \sim 1$ MeV-cm²/mg. Based on the given cross-section form for direct ionization, it is possible to determine parameter K_d in the following form:

$$K_d = \frac{N(\epsilon_p)}{(\langle \Lambda \rangle_{\epsilon_p} - \Lambda_c) \int \phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p) d\Lambda}, \quad (3)$$

where average LET is $\langle \Lambda \rangle_{\epsilon_p}$:

$$\langle \Lambda \rangle_{\epsilon_p} \equiv \int \Lambda \phi_{HI}^{(sec)}(\Lambda|\epsilon_p) d\Lambda. \quad (4)$$

Fig. 1 shows the results of comparison between calculated and experimental values of K_d .

Fig. 1 shows that the proposed approach agrees rather satisfactorily with the experimental data.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

ЭЛЕКТРОНИКА
НАУКА ТЕХНОЛОГИЯ БИЗНЕС

НАНОИНДУСТРИЯ
НАУКА ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОРЯДОК

ФОТОНИКА

ПЕРВАЯ
МИЛЯ

АНАЛИТИКА
НАУКА ТЕХНИЧЕСКИЙ ПОРЯДОК

СТАНКОИНСТРУМЕНТ
НАУКА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВО