

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРИСТОРНОГО ЭФФЕКТА В БИС ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ОДИНОЧНЫХ ЧАСТИЦ С ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Л. Л. Акатов¹, А. Н. Аверин¹, В. Г. Малинин¹, В. В. Маркелов¹, Г. В. Милошевский²,
Г. К. Платонов¹

¹РНИИ «Электронстандарт», Санкт-Петербург; ²ИТМО им. А.В.Лыкова АНБ, Минск

Представлены результаты испытаний БИС на лазерной и изотопной установках и данные математического моделирования для оценки вероятности возникновения тиристорного эффекта в БИС в условиях космического пространства. Разработана схема защиты БИС от катастрофического отказа при тиристорном эффекте.

Моделирование воздействия высокоэнергетичного ионизирующего излучения космического пространства (КП) на БИС по тиристорному эффекту (ТЭ) проводят с помощью излучения изотопа Cf²⁵² и импульсного лазерного излучения.

Величины линейной потери энергии (ЛПЭ) падающих частиц на поверхности кристалла и на любой заданной глубине рассчитываются с помощью разработанного физико-математического программного комплекса «MONSOL» для трехмерного моделирования взаимодействия проникающих излучений со сложными слоистыми структурами.

Радиоизотопная вакуумная установка с изотопом Cf²⁵², имеющим активность порядка 50 кБк, обеспечивает проведение испытаний БИС в диапазоне давлений от атмосферного до 10⁻³ мм рт. ст. Расстояние от источника излучения до БИС меняется от 5 до 250 мм, углы падения осколков Cf²⁵² на БИС меняются от 0° до 80°. С помощью изотопного источника получают экспериментальные значения сечений тиристорных эффектов в БИС, если их пороговая ЛПЭ не превышает 40 МэВ·см²/мг. Для тестирования тиристорных структур с глубинами залегания больше 10 мкм или требующих пороговую ЛПЭ больше, чем 40 МэВ·см²/мг, применяется лазерная установка [1].

Лазерная установка позволяет фокусировать излучение YAG:Nd лазера на длине волны 1.06 мкм, длительностью 7 нс, в область диаметром 5 мкм на поверхности кристалла БИС. Испытания БИС на лазерной установке проводят для определения пороговых ЛПЭ высокоэнергетичной частицы, места и площади возникновения ТЭ. Связь между пороговой энергией W_{ЛПЭ}[пДж] для лазерного пучка и пороговой энергией E_{ЛПЭ}[МэВ/см] для высокоэнергетичной частицы находят по формуле E_{ЛПЭ} = 100 W_{ЛПЭ}, которая учитывает коэффициент поглощения (для кремния k=10cm⁻¹ при 300 К на длине волны 1.06 мкм), коэффициент пропускания пассивирующих слоев SiO₂ ~ 0.6 , отношение энергии, идущей на

образование одной электронно - дырочной пары при воздействии ионов, к энергии, идущей на ее образование при воздействии оптического фотона (для кремния $3.6\text{эВ}/1.17\text{эВ}=3.08$) [2].

Возможность использования импульса лазерного излучения длительностью 7 нс сфокусированного в 5 мкм для моделирования воздействия частицы с высокой энергией на кремниевую БИС по ТЭ обосновывается теоретически тем, что задержка импульса тиристорного тока превышает 35 нс [1] и за это время длина диффузии превышает 10 мкм, и экспериментально - совпадением результатов определения пороговой ЛПЭ по изотопным и лазерным экспериментам.

Оснастка для исследования возникновения ТЭ в БИС состоит из схемы задания статических режимов работы БИС по ТУ, контрольно-измерительных приборов, обеспечивающих измерение действующих излучений и параметров БИС до, во время и после ТЭ, и схемы защиты БИС от катастрофического отказа из-за ТЭ. Эта схема может быть использована для защиты БИС от ТЭ в РЭА на борту космических аппаратов.

Исследование ТЭ в БИС ОЗУ показало, что наиболее чувствительные элементы находятся в области дешифраторов, порог возникновения ТЭ в области ячеек памяти на порядок больше. Кроме того обнаружено, что под воздействием излучения Cf²⁵² в БИС могут возникать импульсы ионизационного тока длительностью ~ 10 мкс с большой амплитудой, сравнимой с амплитудой импульсов тиристорного тока, но ТЭ при этом не возникает. Поэтому при экспериментальной оценке вероятности возникновения ТЭ в ИС необходимо контролировать не только амплитудные значения токовых импульсов, но и их форму.

Для примера представляем экспериментальные и расчетные данные для БИС ОЗУ 537РУ6. На лазерной установке измерена пороговая ЛПЭ ТЭ = 12 МэВ·см²/мг. На изотопной установке получено сечение ТЭ $\sigma=5.8 \cdot 10^{-6}$ см². При этом величина ЛПЭ осколков Cf²⁵² на глубине 6 мкм мкм от поверхности кристалла БИС рассчитана по программе «MONSOL» и равна 33.1 МэВ·см²/мг. С использованием этих данных были проведены оценки предельного сечения ТЭ $\sigma_{\max} = 1.5 \cdot 10^{-4}$ см² и числа ТЭ (на орбите 500 км и наклоном 51.6° за защитой 0.3 г/см²), которое равно $5 \cdot 10^{-8}$ 1/сутки при отсутствии солнечных вспышек, а во время солнечной вспышки ожидаемое число ТЭ повышается до $4 \cdot 10^{-3}$ 1/сутки.

Литература

1. H. Johnston et al. IEEE NS-37,(1990), N 6, p. 1886-1893; NS-43,(1996), N 2, p.505- 521.
2. Н. В. Кузнецов и др. «Методика оценки интенсивности одиночных сбоев интегральных микросхем при воздействии тяжелых ионов КП», НИЯФ МГУ, 1996 г.