

РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМАХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

И.В. Журавлева¹

¹Филиал Ростовского государственного университета путей сообщения
в г. Воронеж

В бортовой аппаратуре широко применяются комплектующие изделия электронной техники, обладающие повышенной чувствительностью к воздействию ионизирующего излучения. Особую опасность представляют переходные процессы в изделиях электронной техники, связанные с поглощенной дозой излучения, приводящими к функциональным или необратимым отказам в работе бортовых систем.

Ключевые слова: ионизирующее излучение, параметрические отказы, поглощенная доза, воздействие, энергетическая зависимость потерь, смещение атомов, деградация, эквивалентные изменения.

RADIATION EFFECTS IN INTEGRATED CHIPS WHEN EXPOSED TO IONIZING RADIATION

I.V. Zhuravleva¹

¹Branch of the Rostov State University of Railways in the city of Voronezh

In the onboard equipment, components of electronics, which have increased sensitivity to the effects of ionizing radiation are widely used. The transient processes in electronic products are particularly dangerous, associated with an absorbed dose of radiation, leading to functional or irreversible failures in the operation of onboard systems.

Keywords: ionizing radiation, parametric failures, absorbed dose, impact, energy dependence of losses, offset of atoms, degradation, equivalent changes.

Радиационные эффекты в интегральных микросхемах (ИМС) естественно связаны с радиационными эффектами в активных элементах, входящих в состав ИМС [1-6]. В результате, как и в случае с полупроводниковыми устройствами,

в интегральных схемах должны наблюдаться остаточные изменения их параметров, радиационные переходы и катастрофические сбои, связанные с нарушением конструкции ИМС.

Возникновение радиационных эффектов происходит в две стадии. На 1-ой быстро протекающей стадии происходит передача кинетической энергии от налетающих частиц электронам и ядрам вещества. На 2-ой стадии возбужденная система из электронов и атомов приходит в новое равновесное состояние.

Отдельные показатели, как космическая плазма и солнечное ультрафиолетовое (УФ) излучение, влияют только на поверхностные слои материалов. Высокоэнергетические заряженные частицы, вместе со вторичными частицами и квантами, которые они образуют в конструктивных элементах КА, могут проникать глубоко в толщину материала и внутренние камеры.

В таком случае влияние ФКП приводит к методическому искажению как характеристик субстанций, как и параметров бортовых систем, в результате чего после определенного периода эксплуатации может возникнуть неисправность КА и внезапная неисправность бортового оборудования, сопровождающаяся непосредственным воздействием.

Как классический образец, показывающий такое положение дел, показывающее поэтапное убывание продуктивности солнечных панелей, вызванное накоплением поглощенной дозы космического излучения, а для также могут быть показаны сбои в работе микросхем с высокой интеграцией под воздействием одиночных протонов или тяжелых ионов высокой энергии. Основные эффекты воздействия ИИ на электронные устройства обусловлены ионизацией и потерями ядерной энергии первичных и вторичных частиц в чувствительных объемах элементов ИМС и полупроводниковых приборов – транзисторов и диодов.

Вследствие чего проявляются в таких случаях:

- параметрические отказы РЭА вследствие деградации характеристик ИМС и ПП по мере накопления дозы ИИ;
- кратковременные нарушения работы (сбои) ИМС от действия отдельных высокоэнергетических частиц.

Любые несовершенства, проявляющиеся в кристаллической решетке твердого тела в результате манипуляции со стороны ионизирующего излучения, делятся на простые и комплексные и представляют собой простые. Остаточные радиационные эффекты в ИМС проявляются в ухудшении генеральных электрических параметров схем по прошествии облучения, а в больших и очень

больших ИС-в потере их функций, которые не улучшаются в дальнейшем. Данные показатели непосредственно взаимодействуют с остаточными радиационными преобразованиями размеров энергичных форм, из которых создаются данные схемы, то есть кремниевые биполярные транзисторы и МОП-транзисторы.

Поэтому остаточные радиационные эффекты в ИМС полагается предчувствовать большей частью от электронов и протонов космического пространства. Во всяком случае у отдельных категорий ИМС определяются равнозначные категории, радиационной устойчивости, и определить их количественную или хотя бы качественную связь с параметрами критериев радиационной устойчивости активных элементов ИМС. Интегрированные эффекты ионизации определяются ионизирующим компонентом поглощенной дозы, поэтому такие эффекты часто называют дозирующими эффектами. И их также можно разделить на ионизацию и структурные эффекты.

При ионизационных эффектах осуществляется накопление заряда в диэлектрических слоях и увеличение интенсивности поверхностных состояний на полупроводниково-диэлектрических интерфейсах. В результате изменяется пороговое напряжение МОП-транзистора, в замкнутом состоянии увеличиваются токи утечки транзистора.

При структурных эффектах происходит при воздействии высокоэнергетических частиц космического пространства (КП) атомы вытесняются из узлов кристаллических строительных материалов активных полей электронной техники (ИЭТ). Смещение атомов вызывает структурные дефекты в кристаллической решетке, называемые радиационными дефектами. Они изменяют электро-механические параметры облученных полупроводниковых материалов. Это осуществляет изменение характеристик, облучаемых ИЭТ.

Соотношение ионизации и структурных компонентов поглощенной дозы определяется функцией линейной потери энергии (ЛПЭ) высокоэнергетических частиц в процессах ионизации. При воздействии высокоэнергетических заряженных частиц на твердое тело потери энергии ионизации значительно превышают потери энергии при структурных повреждениях. В качестве примера на рисунке 1 показана энергетическая зависимость LPE от структурных повреждений электронов и протонов в кремнии.

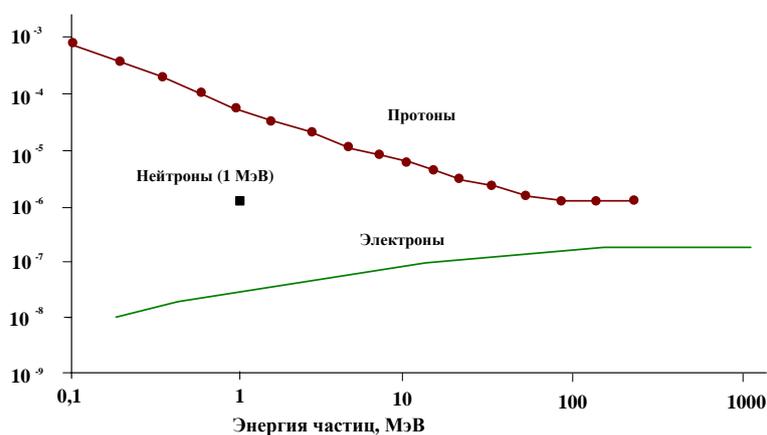


Рисунок 1 – Энергетическая зависимость потерь энергии на структурные повреждения для различных высокоэнергетических частиц в кремнии

Существенной движущей силой появления интегрированных эффектов ионизации в КМОП-СБИС считается преобразование характеристик индивидуальных деталей схемы (транзисторов) в связи с аккумулярованием заряда в композициях Si/SiO₂, указывающих на процедуры ионизации в объеме полупроводников, которые в свой черед обуславливаются накопленной дозой облучения. Утверждение о том, что влияние действующих факторов космического излучения (протонов, электронов, гамма-квантов) на КМОП-структуры ПП и ПС приводит к эквивалентным изменениям параметров ионизирующей составляющей поглощенной дозы излучения при одинаковых значениях, верно.

Имея это в виду, а именно, как главный признак радиационного воздействия необходимо подобрать ионизирующий компонент поглощенной дозы излучения. Затем во время моделирования схемы учет типа ионизирующего излучения будет сведен к определению выхода заряда, то есть к фракции дыр, выходящих из первого процесса рекомбинации.

Список литературы

1. Зольников, В.К. Задачи автоматизации проектирования современной радиационно-стойкой элементной базы / В.К. Зольников, А.В. Ачкасов // Труды всероссийской конференции «Интеллектуальные информационные системы». – Воронеж, 2005. - С. 61-62.
2. Немудров, В. / Системы на кристалле. Проектирование и развитие / В. Немудров, Г. Мартин. – Москва: ЗАО РИЦ «Техносфера», 2004. – 216 с. – ISBN 5-94836-029-6.
3. Поверхностные радиационные эффекты в интегральных схемах / А.В. Согоян, Г.И. Зебрев, А.Ю. Никифоров, В.С. Першенков, А.И. Чумаков // Модель космоса: в 2 т. Т. 1: Воздействие космической среды на материалы и

оборудование космических аппаратов / под ред. Л.И. Панасюка и Л.С. Новикова. – М.: КДУ, 2007. – С. 466-493.

4. Методология обеспечения стойкости бортовой аппаратуры космических аппаратов к воздействию ионизирующего излучения космического пространства : монография / Н.В. Кузнецов [и др.]. – М.: НИЯУ МИФИ, 2017. – 380 с. – ISBN 978-5-7262-2379-7

5. Особенности технологического процесса изготовления микросхем космического назначения по технологии КМОП КНС / В.К. Зольников, С.А. Евдокимова, И.В. Журавлева, Е.А. Маклакова, А.А. Илунина // Моделирование систем и процессов. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 53-58.

6. Журавлева, И.В. Основные факторы ионизирующих излучений космического пространства, действующие на микросхемы / И.В. Журавлева // Моделирование систем и процессов. – 2019. – Т. 12, № 3. – С. 11-16.