

УДК 621.38:539.16

**ВЛИЯНИЕ РАДИАЦИИ НА ЭЛЕКТРОНИКУ  
EFFECT OF RADIATION ON ELECTRONICS**

Н.О. Соловьёв, К.О. Клименков

Научный руководитель – О.А. Пекарчик, старший преподаватель

Белорусский национальный технический университет,

г. Минск, Республика Беларусь

piakarchyk@bntu.by

N. Salauyou, K. Klimenkou

Supervisor – O. Piakarchyk, Senior Lecturer

Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** в статье затрагивается воздействие радиационных факторов на полупроводниковые компоненты электроники, их механизмы повреждения и способы предотвращения пагубных влияний.*

***Abstract:** the article touches upon the impact of radiation factors on semiconductor components of electronics, their damage mechanisms and ways to prevent harmful effects.*

***Ключевые слова:** полупроводниковые устройства, электронная схема, ионизация.*

***Keywords:** semiconductor devices, electronic circuit, ionization.*

**Введение**

С исторической точки зрения, изучение радиационных эффектов в электронных схемах началось в начале 60-х годов прошлого века в основном как ответ на две проблемы:

1. Растущий спрос на защищенную электронику, которая могла бы выдержать воздействие ядерного взрыва (гонка ядерных вооружений в то время была в самом разгаре).

2. Открытие радиационных поясов Ван Алленом и Верновым и возникшая потребность в защите от них (после начала освоения космоса).

Первые шаги электроники можно отнести примерно к тому же периоду: первый спутник (Спутник 1, 1957) появился в то же время, как и первая интегральная схема в германии (1958); транзистор металл-оксид-полупроводник (МОП) появился в 1960 году. Прогресс в области микроэлектроники, темпы развития которой никогда не снижались с момента ее появления, сделал использование электронных устройств, все более привлекательным, даже для применения в неблагоприятных условиях среды. Электронные схемы используются в нескольких областях, где требуется более или менее высокая степень радиационной стойкости: космические и авиационные приложения, высокоэнергетические физические эксперименты, ядерные и (все еще экспериментальные) термоядерные электростанции, медицинская диагностика и терапия, промышленная визуализация и обработка материалов. При работе в этих средах полупроводниковые устройства и интегральные схемы могут подвергаться прямому воздействию фотонов,

электронов, протонов, нейтронов или более тяжелых частиц; изменение их электрических свойств может привести к отказу электронной подсистемы. В зависимости от типа и характеристик падающего излучения могут возникать различные эффекты, как необратимые, так и (частично или полностью) обратимые. Знание механизмов, лежащих в основе радиационной реакции электронных устройств имеет первостепенное значение для:

1. Разработки методик обеспечения твердости, гарантирующие, что тестируемые устройства могут надежно работать в целевой среде.
2. Разработки радиационно-стойких схем и методов проектирования для повышения устойчивости электронных схем к специфическим воздействиям радиации в некоторых конкретных средах.

### **Основная часть**

Полупроводниковые устройства и интегральные схемы в настоящее время работают в ряде враждебных сред:

1. Космическое пространство.
2. Земная среда.
3. Военная обстановка.
4. Атомная промышленность и электростанции.
5. Исследовательская среда физики высоких энергий.
6. Среда для научных исследований в области фотонов.
7. Медицинское и промышленное применение.

Воздействие излучения может меняться в зависимости от конкретного принципа работы рассматриваемого электронного устройства.

Существует множество видов повреждения в полупроводниковых устройствах. Несмотря на сложность процессов взаимодействия и их зависимость от свойств падающей частицы и материала-мишени, два из них являются основными механизмами радиационного повреждения, влияющими на полупроводниковые устройства:

1. Ионизационное повреждение: происходит, когда энергия, оседающая в полупроводнике или в изолирующих слоях, главным образом  $\text{SiO}_2$ , освобождает носители заряда (пары с электронными отверстиями), которые диффундируют или дрейфуют в другие места, где они могут попасть в ловушку, в результате непреднамеренных концентраций зарядов и паразитарных полей. Такой ущерб является основным следствием воздействия рентгеновского и  $\gamma$ -излучения и заряженных частиц, он затрагивает главным образом устройства, основанные на поверхностной проводимости (например: MOSFETs).

2. Повреждение в результате смещения: падающее излучение вытесняет атомы из их решетки, в результате чего возникают дефекты, изменяющие электронные свойства кристалла, это основной механизм деградации устройства для высокоэнергетического нейтронного излучения. Такое повреждение в основном влияет на устройства, основанные на объемной проводимости (например, ВЛТ, диоды, JFETs).

Воздействие излучения в полупроводниковых устройствах может быть включено в один из двух широких классов:

- Эффекты суммарной дозы: обусловлены постепенным накоплением удерживаемого заряда в изолирующих слоях или на интерфейсе Si/SiO<sub>2</sub> (вследствие ионизационных явлений) или дефектами в основной массе устройств (возникающими в результате накопления смещения).

- Эффекты одиночных событий: вызваны осаждением заряда одной частицей, которая пересекает чувствительную область устройства. Они могут привести к разрушительному или неразрушающему повреждению устройства.

На основе реакции устройства на излучение и механизмов радиационного повреждения могут быть приняты некоторые контрмеры для повышения радиационной устойчивости устройств и схем:

#### 1. Технология радиационной закалки

Если устройство недостаточно радиационно-стойкое для предполагаемого применения, можно принять некоторые меры, чтобы сделать его более стойким; это может быть достигнуто путем:

- изменения геометрической схемы устройства (упрочнение путем компоновки)

- изменения одного или нескольких этапов процесса изготовления (упрочнение по технологии)

- соответствующим образом спроектировать общую схему или систему (упрочнение путем проектирования)

#### 2. Современные технологии защиты

- Коммерческие глубоко субмикронные КМОП-технологии уже могут обеспечить уровни общей стойкости к ионизирующей дозе в диапазоне от нескольких единиц до нескольких десятков МРад. Использование ультратонких (несколько нм) оксидов ограничивает влияние захваченного оксидом заряда. Использование тонких эпитаксиальных слоев, ретроградных лунок и неглубокой изоляции траншей улучшает стойкость к защелкиванию.

- Технология SOI представляет значительный коммерческий интерес из-за преимуществ, которые она дает в плане скорости, мощности и плотности интеграции. Тот факт, что она также обеспечивает полную изоляцию устройства, является преимуществом с точки зрения радиационных эффектов, из-за изолирующего слоя технология не подвержена разрушительному защелкиванию.

#### 3. Упрочнение в процессе и при проектировании

- Изготовление типичной МОП интегральной схемы включает большое количество этапов, и многие из них могут влиять на радиационную стойкость устройства. Наиболее важными являются факторы, влияющие на характеристики захвата заряда оксидов (оксид затвора, полевой оксид, интерметаллический оксид).

- Глубокие субмикронные технологии, как правило, более чувствительны к единичным сбоям, чем более старые технологии; однако устойчивость к однократным аварийным ситуациям может быть улучшена с помощью методов проектирования. В случае цифровых схем типичное решение включает использование логической избыточности, которая может заключаться, например, в утроении цепи цифровой обработки, в этом случае радиационно-

индуцированная ошибка в одном бите может быть переиграна двумя другими, не затронутыми радиацией компонентами.

### **Заключение**

Усовершенствование способов повышения радиационной стойкости компонентов электроники значительно влияет на развитие космической и атомной промышленности, а так же медицинской техники, использующей ионизирующее излучение.

### **Литература**

1. Ionizing Radiation Effects in Electronic Devices and Circuits [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://agenda.infn.it/event/5622/contributions/59843/attachments/43107/51149/Ratti\\_radiation\\_effects\\_on\\_electronics.pdf](https://agenda.infn.it/event/5622/contributions/59843/attachments/43107/51149/Ratti_radiation_effects_on_electronics.pdf) – Дата доступа: 16.04.2022.

2. Радиационная стойкость электронных приборов [Электронный ресурс] / Режим доступа: [https://studme.org/83201/tovarovedenie/radiatsionnaya\\_stoykost\\_elektronnyh\\_priborov](https://studme.org/83201/tovarovedenie/radiatsionnaya_stoykost_elektronnyh_priborov) – Дата доступа: 16.04.2022.