

Влияние ионизирующего излучения на надежность изделий полупроводниковой СВЧ-электроники

Полевич С. А.

АО «НПП «Исток» им. Шокина»

ул. Вокзальная, 2а, г. Фрязино, Московская область, 141190, Российская Федерация
sapolevich@istokmw.ru

Аннотация: Рассматриваются вопросы, связанные с физическими процессами, происходящими при функционировании СВЧ-изделий на основе арсенидгаллиевых гетероструктур в условиях воздействия ионизирующего излучения. Определены основные факторы влияющие на надёжность данных изделий.

1. Введение

Основой современной элементной базы полупроводниковой СВЧ-электроники являются монолитные интегральные схемы (МИС), изготовленные на гетероструктурных транзисторах типа рНЕМТ. Использование таких МИС в составе радиоэлектронной аппаратуры, предназначенной для работы в объектах военной и космической техники, предполагает повышенные требования к показателям их надёжности и радиационной стойкости.

Общепринятые подходы к оценке этих показателей как правило не учитывают взаимного влияния процессов деградации, обусловленных с одной стороны естественным старением изделия при эксплуатации [1, 2] и с другой – действием проникающей радиации [3,4]. В представленной работе проведен анализ физических процессов, происходящих в структуре МИС во время эксплуатации и определены доминирующие радиационные факторы, оказывающие на них влияние.

2. Объекты исследования

Номенклатура МИС СВЧ на гетероструктурных элементах включает в себя следующие основные типы:

- усилители (малошумящие и мощные);
- преобразователи (переключатели, фазовращатели, аттенюаторы и т.п.);

Современные усилительные устройства изготавливаются на основе номально-открытых транзисторов (D-рНЕМТ). В технологии производства преобразователей используются также структуры типа E-рНЕМТ. Длина затвора определяется диапазоном рабочих частот и составляет 0,1-0,2 мкм.

С точки зрения надёжности, как правило, наиболее критичными являются усилители мощности, работающие в условиях повышенных токовых и температурных нагрузок.

3. Основные механизмы эксплуатационных отказов

Надежность МИС СВЧ определяется отказами, связанными со следующими процессами:

- взаимная диффузия на границах раздела металл-полупроводник (проникновение металла затвора в канал) с образованием интерметаллических соединений;
- деградация омических контактов;
- электромиграция, проявляющаяся при повышенных плотностях тока;
- постепенная деградация параметров за счёт объёмных и поверхностных эффектов в полупроводнике. Отказы, вызванные объёмными эффектами, обусловлены дефектами кристаллической структуры, образовавшимися как в процессе изготовления, так и при эксплуатации изделий. Поверхностные отказы связаны с состоянием границ раздела пассивирующий слой-полупроводник.

В зависимости от условий эксплуатации МИС СВЧ могут подвергаться воздействию радиационных факторов, также вызывающих объёмные (структурные) и поверхностные эффекты. Наибольшее влияние на надежность данных изделий оказывают следующие виды воздействия:

- нейтронное излучение приводит к нарушению кристаллической структуры полупроводникового материала;
- гамма-излучение (стационарное) вызывает изменение поверхностных свойств полупроводниковых и диэлектрических материалов МИС;
- гамма-излучение (импульсное) в результате генерации неравновесных носителей в активных областях транзисторных структур приводит к возникновению импульсных токов большой амплитуды;
- воздействие тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) вызывает генерацию носителей в области трека;

- воздействие импульса сверхжесткого рентгеновского излучения (СЖР) вызывает как ионизацию полупроводниковой структуры, так и тепловые эффекты, связанные с поглощением энергии излучения в металлизации МИС.

Таким образом, анализируя влияние рассмотренных радиационных факторов на надежность МИС СВЧ, можно сделать вывод, что импульсное гамма-излучение, СЖР и ТЗЧ приводят к возникновению внезапных отказов. Результаты испытаний и эксплуатации данного класса изделий показывают, что внезапные отказы катастрофического характера при уровнях радиационного воздействия, предусмотренных нормативной документацией, не вносят существенного вклада в надежность аппаратуры.

Вместе с тем, нейтронное и гамма-излучение (стационарное) сказываются на постепенной деградации параметров за счёт изменения объёмных и поверхностных эффектов в элементах схем и это может оказывать влияние на показатели надёжности.

4. Заключение

Определены доминирующие радиационные факторы, оказывающие влияние на надежность МИС СВЧ. Для РЭА специального назначения показана необходимость учета в моделях надёжности вклад радиационных эффектов в изделиях данного класса.

Список литературы

1. M. Dammann et al. Reliability of InAlAs/InGaAs HEMTs grown on GaAs substrate with metamorphic buffer.// *Microelectronics Reliability* 40, 1709 (2000).
2. И.А.Баранов, К.В.Дудинов, А.А. Епифанцев и др. Характеристики деградации монолитно-интегральных схем на GaAs-гетероструктурах при высоких температурах канала PHEMT // *Электронная техника. Сер.1.* 2010. №1. С. 44-53.
3. S. Kayali, G. Ponchak, and R. Shaw. GaAs MMIC Reliability Assurance Guidelines for Space Applications // JPL Publication, vol. 96-25, December 15, 1996.
4. Попов В.Д., Чжо Ко Вин. Радиационно-стимулированное старение интегральных микросхем.//*Вопросы атомной науки и техники. Сер.Физика радиационного воздействия на радиоэлектронную аппаратуру.* 2012. Вып.3. С.17-19