

приводящий к обрыву контакта. Указанный процесс усилен дефектом обработки пластин перед металлизацией Al. Обрыв контакта на ступеньке окисла объясняется процессом электрохимической коррозии на дефекте контакта (скорее всего повышенное содержание фосфора). Четкий механизм этого отказа отсутствует.

Опыт анализа отказов ИМС из кристалльного производства показывает, что наибольшее влияние имеют механизмы диффузии по поверхности. Таким образом, для современных СБИС можно выделить модель диффузии  $d = \alpha \cdot \sqrt{Dt}$ , где  $d$  – длина диффузии,  $\alpha$  – постоянная,  $D$  – коэффициент диффузии материала в условиях эксперимента. Время до возникновения отказа тогда можно представить как  $t = \frac{d^2}{\alpha D}$ , здесь величины  $d$  и  $D$  можно определить из модели отказа физической структуры ИМС. Так, например, при образовании короткого замыкания в результате диффузии материала обкладок пленочного конденсатора (физическая структура МДМ или МДП), величина  $d$  равна толщине диэлектрической пленки,  $D$  – коэффициент поверхностной диффузии Al по окислу, т.е. величины измеряемые или известные из справочной литературы. Дополнительные условия накладывает принятый критерий отказа. Так, в заданной модели за отказ принималось снижение  $U_{np}$  структуры менее испытательного, равного  $3 \cdot U_{раб}$ , где  $U_{раб}$  – рабочее напряжение конденсатора. Поэтому вместо пути диффузии  $d$  фиксируется снижение  $U_{np}$  до величины, равной тройному рабочему напряжению. В целом, модель отказа позволяет приблизительно определить время до его возникновения. Степень приближенности зависит от того, насколько взятые из литературы и определенные практикой данные адекватны для принятой модели отказа. Подтверждение на практике предложенного механизма требует длительного времени. Однако приведенные здесь основания с применением статистического закона и физической модели позволяют надеяться на принятое определение изменений участка приработки.

УДК 621.382

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ НИЗКОЙ НАДЕЖНОСТИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ**

Я.Ю. Тулаев

Самарский университет, г. Самара

Как известно, отказы классифицируются по степени влияния на работоспособность изделия как полные и неполные; по физическому характеру непосредственного проявления – на катастрофические (внезапные) и параметрические (постепенные); по связи с другими

отказами – на независимые и зависимые; по времени существования – на устойчивые (необратимые), временные (обратимые, устранимые) и перемежающиеся (мерцающие).

Основным является разделение отказов на внезапные и постепенные. Внезапные отказы являются следствием проявляющихся в эксплуатации скрытых дефектов материала и конструкции, возникающих в результате скачкообразного изменения параметров и носят окончательный характер. Постепенные отказы являются следствием деградации физико-химических свойств материала под влиянием эксплуатационных факторов и естественного старения, возникают в результате дрейфа рабочих параметров и выхода их за пределы установленных допусков и имеют, как правило, также необратимый характер. Разделение отказов на внезапные и постепенные, возникшее на заре развития теории надежности, относительно, так как на практике не всегда возможно достаточно четко определить тип наблюдаемого отказа. При более сложной классификации учитывается динамика развития отказов, являющихся следствием постепенного накопления изменений в состоянии устройства и возникающих в результате скачкообразного перехода в неработоспособное состояние.

Различие природы внезапных и постепенных отказов находит отражение в методах их математического описания. Для постепенных отказов можно осуществить физическое (причинное) прогнозирование, основанное на определении и изучении физических закономерностей изменения параметров в процессе эксплуатации. Оценка вероятности возникновения внезапных отказов производится статистическим методом на основе регистрации непосредственных моментов отказа. Методы физического прогнозирования применимы и к релаксационным отказам.

Переход в состояние отказа может произойти под влиянием конструктивных, производственно-технологических и эксплуатационных факторов. К конструктивным факторам ненадежности РЭС следует отнести: неправильный выбор комплектующих элементов, исходных материалов, недостаточно учитывающий их физические возможности; неоптимальность функциональной и принципиальной электрической схемы с точки зрения выполнения заданных функций; выбор неблагоприятных электрических и тепловых режимов работы элементов, блоков; недостаточность мер по стабилизации параметров; неверное определение допусков на параметры элементов, а также на промежуточные и выходные параметры электрических характеристик; нерациональное размещение элементов, узлов, блоков; неэффективность выбора защитных устройств и способов резервирования; различные просчеты в конструктивном решении и др. В большинстве случаев эти недостатки могут привести в дальнейшем к перенапряжениям и перегревам.

К производственно-технологическим факторам ненадежности РЭС следует отнести использование неудовлетворительных по качеству

материалов и комплектующих элементов; нарушение санитарно-гигиенических норм производственно-технологических помещений; неотработанность и нарушение режимов сложных технологических процессов; несоблюдение правил технологической сборки и электрического монтажа; недостаточную организацию и неэффективность контроля качества по операциям и при выпуске готовой продукции; несовершенство оборудования, инструмента, приспособлений; неуправляемые колебания в процессе производства, обусловленные наличием ручного труда.

Эксплуатационным фактором ненадежности РЭА является использование аппаратуры в несоответствующих электрических режимах и условиях эксплуатации; в условиях воздействия высоких и низких температур окружающей среды, суточных и сезонных колебаний температуры, влажности, давления, атмосферных осадков; при наличии агрессивных примесей в воздухе (в металлургических цехах, химическом производстве); под действием механических, акустических колебаний, вибраций, ускорения (размещение РЭА около крупных агрегатов, силовых установок, на кораблях, в поездах, самолетах, автомобилях, ракетах); при возникновении внешних непредвиденных экстремальных нагрузок. К эксплуатационным факторам следует также отнести физико-химическую деградацию материалов в процессе работы, естественное старение при хранении и износ РЭА.

В докладе рассмотрен метод диагностического прогнозирующего контроля цифровых микросхем, позволяющий повысить надёжность бортовых РЭС.

УДК 621.382

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИЧИН ОТКАЗОВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ**

Я.Ю. Тулаев

Самарский университет, г. Самара

Корпусированные ИМС – один из основных видов продукции предприятий микроэлектроники. Отказы в ИМС определяют затраты изготовителя (обнаруженные при сборке, контроле и испытаниях) и потребителя (возникающие при эксплуатации). Отметим, что традиционная «ванна отказов» только частично указывает на характер и причины возникающих отказов.

Первый участок «ванны» однозначно указывает на отказы из-за грубых дефектов, а третий участок – на износ материалов и элементов конструкции. Третий участок «ванны отказов» интерпретируется отказами, обусловленными старением. Это, в первую очередь, физический износ материалов, а также естественное изменение их физических характеристик