

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАДИАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ОПТРОНОВ

Ю. А. Анисимов, Е. В. Буренкова, В. А. Левцова, М. К. Смирнов

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», г. Саров Нижегородской обл.

Развитие атомной промышленности и все большее распространение различных техногенных источников ионизирующих излучений (ИИ) требует особого внимания к проблемам влияния ИИ на компоненты и узлы радиоэлектронной аппаратуры (РЭА).

Доклад посвящен исследованию влияния ИИ на оптроны типов 249КП18Т и 249КП19Т. Актуальность данной работы обусловлена тем, что данные оптроны широко используются в РЭА особого назначения и являются сложными устройствами, которые изготавливаются по гибридным технологиям. Они содержат различного рода полупроводниковые материалы, диэлектрические материалы, а из металлов выполняются корпусные конструкции и контакты. Поэтому реакция оптронов на воздействие ИИ носит более сложный характер, чем реакция отдельных, содержащихся в них материалов и конструктивных элементов.

249КП18Т – интегральные микросборки полупроводниковых твердотельных нормально разомкнутых двухканальных полупроводниковых коммутаторов сигналов с гальванической оптоэлектронной развязкой. Они предназначены для использования в устройствах коммутации и системах передачи данных аппаратуры специального назначения,

249КП19Т – микросборки, предназначенные для использования в качестве четырехканального полупроводникового коммутатора с гальванической оптоэлектронной развязкой. Они выпускаются по гибридной технологии, состоят из четырех идентичных каналов, включающих в каждом канале кристалл входного излучающего ИК-диода.

ИК-диод гальванически изолирован иммерсионной средой от кристалла фотоприемной диодной матрицы, подключенной к затворам выходных ключевых МДП-транзисторов, совмещенных в едином кристалле с фотоприемной диодной матрицей на структуре типа КСДИ.

В соответствии с ТУ на данные микросборки, стойкость к воздействию ИИ по характеристике  $7И_1$  составляет  $2У_с$ . Радиационно-критическим параметром является ток утечки выходного транзистора  $I_{ут}$ .

Рассмотрим основные физические эффекты, возникающие при взаимодействии ИИ с веществом, которые требуется учитывать в процессе разработки радиационно-стойкой РЭА. К ним относятся смещение атомов из узлов кристаллической решетки (дефекты смещения) и генерация электронно-дырочных пар (ионизация). В общем случае частицы, проходя через вещество, отдают свою энергию на ионизацию

и на смещение атомов. Если частица передала веществу довольно значительную энергию, то возможно образование целой области разупорядочения, или кластера дефектов. Этот процесс наиболее вероятен при воздействии тяжелых частиц (протонов, нейтронов) с достаточно высокой энергией (согласно стандарту, например, количество дефектов, возникающих от частиц с энергией менее 100 кэВ, считается незначительным). В процессе накопления подобных дефектов сначала происходит деградация параметров и характеристик как отдельных ЭРИ, так и РЭА в целом. Потом возникают катастрофические отказы отдельных, наиболее чувствительных ЭРИ. На этих этапах еще возможно общее сохранение работоспособности РЭА, если вышеперечисленные моменты были учтены при ее конструировании, что будет рассмотрено ниже. Дальнейшее облучение приводит к лавинному нарастанию количества отказов ЭРИ, полной потери функционирования РЭА, а, начиная с некоторых уровней, и к разрушению конструктивных материалов.

При взаимодействии легких частиц (электронов и квантов электро-магнитного излучения) с веществом обычно происходит процесс ионизации. Особенность данного процесса заключается в том, что в полупроводниках, например, ионизация возможна уже при энергиях порядка 0,1 эВ, что соответствует ближнему ИК-диапазону, который используется в оптронах для передачи сигналов. А основное отличие высокоэнергетических частиц заключается в их повышенной проникающей способности.

Процесс ионизации приводит к накоплению объемного заряда. Это, при незначительных уровнях облученности, может вызвать временную потерю работоспособности (ВПП) включенной РЭА. При этом, через некоторое время после воздействия работоспособность РЭА восстанавливается. Необходимо учитывать, что ВПП РЭА, как правило, существенно превышает ВПП отдельных ЭРИ.

При значительных уровнях облученности деградация параметров и характеристик, приводящая к катастрофическим отказам, объясняется в основном нарушением изолирующих свойств материалов. Основным эффектом, приводящим к деградации характеристики МДП транзисторов, является накопление объемного заряда в подзатворном диэлектрике и изменение зарядового состояния его поверхности.

При необходимости оценки граничных значений радиационно-критических параметров полевых транзисторов, процедура испытаний должна содержать:

– измерение зависимостей радиационно-критических параметров от режима до и после облучения,

– регистрацию временных зависимостей отжига параметров после облучения (если эти зависимости существенны),

– поиск корреляционных связей между деградацией параметров и исходными гарантируемыми ТУ значениями параметров,

– оценку граничного значения радиационно-критического параметра с учетом электрического режима, времени и худших по ТУ исходных значений параметров.

В связи с тем, что разрабатываемая нашим подразделением аппаратура должна быть прочной к воздействию спецфакторов, испытания оптроны проводили именно на прочность, т. е. облучались в пассивном режиме.

Испытания микросборок на прочность к воздействию гамма-нейтронного излучения проводились на моделирующей установке (МУ) при уровне воздействия  $2 \cdot 2 \text{Ус}$  по характеристике  $7\text{И}_1$ , что лишь вдвое превышает указанное в ТУ значение.

Измерения тока утечки до и после испытаний проводились в соответствии со схемой, представленной на рис. 1. Основные сведения представлены в табл. 1.

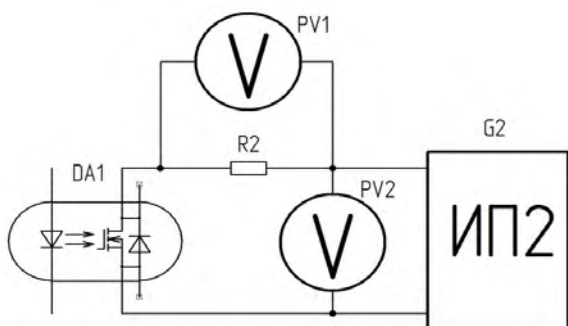


Рис. 1. Структурная схема измерения тока утечки  $I_{\text{ут}}$  оптрона

Таблица 1

Основные сведения для структурной схема измерения тока утечки  $I_{\text{ут}}$  оптрона

Позиционное обозначение	Наименование	Количество
DA1	Исследуемое ЭРИ	1
PV2, PV2	Вольтметр	2
G2	Источник питания	1
R2	Ограничительный резистор	1

На выходе источника питания выставляется величина напряжения коммутации согласно ТУ, контролируется по показаниям прибора PV2. Относительно показаний прибора PV1 рассчитывается величина тока утечки по закону Ома.

Проведем анализ полученных результатов.

Испытаниям подвергались выборки из 4 штук каждого типа микросборок. Согласно ТУ  $I_{\text{ут}}$  до воздействия ИИ не должен превышать значение 1 мкА, после воздействия 10 мкА у 249КП18Т и 20 мкА у 249КП19Т. Результаты измерений представлены в табл. 2 и табл. 3.

Таблица 2

Результаты измерений  $I_{\text{ут}}$  249КП18Т

№ образца	№ канала	$I_{\text{ут}}$ , нА до воздействия	$I_{\text{ут}}$ , мкА после воздействия
1	I	39,24	68,9
	II	21,62	737
2	I	325,43	333,3
	II	385,49	1871
3	I	16,19	688,6
	II	23,09	3356
4	I	635,50	858,3
	II	628,12	3688

Таблица 3

Результаты измерений  $I_{\text{ут}}$  оптронов 249КП19Т

№ образца	№ канала	$I_{\text{ут}}$ , нА до воздействия	$I_{\text{ут}}$ , мкА после воздействия
1	I	0,36	241
	II	0,21	246
	III	0,36	229
	IV	0,26	240
2	I	0,23	204
	II	0,21	190
	III	0,21	192
	IV	0,21	204
3	I	0,33	199
	II	0,16	183
	III	0,8	201
	IV	0,56	175
4	I	0,23	205
	II	0,44	200
	III	0,15	190
	IV	0,4	209

Обработка экспериментальных данных осуществлялась методами математической статистики. Подобная обработка проводится в несколько этапов. На первом этапе необходимо избавиться от различных ошибок, возникающих в процессе измерений. Для этого проводится анализ причин возникновения систематических ошибок, и определяются способы их устранения. Затем методом исключения устраняются грубые и случайные ошибки. На втором этапе выдвигаются статистические гипотезы (предположения, касающиеся распределения случайных величин, в данном случае, параметров оптронов) и осуществляется их проверка с помощью статистических критериев (решающих правил, обеспечивающих принятие или непринятие гипотезы). Обычно в процессе проверки используются несколько критериев: Стьюдента, Фишера и другие параметрические критерии,

т. к. они считаются несколько более мощными, чем непараметрические. В процессе обработки результатов эксперимента была подтверждена гипотеза о нормальности распределения параметров оптронов. Учитывая закон распределения, были рассчитаны следующие параметры, представленные в табл. 4.

Таблица 4

Параметры оптронов до и после воздействия ИИ

	До воздействия ИИ		После воздействия ИИ	
	$I_{ут.ср.}, A$	$\sigma$	$I_{ут.ср.}, A$	$\sigma$
249КП18Т	$25,9 \cdot 10^{-8}$	$23,4 \cdot 10^{-8}$	$14,5 \cdot 10^{-4}$	$11,41 \cdot 10^{-4}$
249КП19Т	$3,2 \cdot 10^{-10}$	$1,26 \cdot 10^{-10}$	0,207	0,0164

Действительно, величины тока утечки до воздействия ИИ не превышают указанных в ТУ значений, но после воздействия излучения  $I_{ут.}$  оптронов превысили указанные в ТУ значения в среднем в 150 раз у 249КП18Т и, более чем в  $10^4$  раз у 249КП19Т. Согласно рекомендациям стандартов, запас по стойкости у ЭРИ должен как минимум на порядок выше уровня, указанного в ТУ. Однако проведенные испытания показали, что наблюдается катастрофический отказ уже при уровне, всего лишь вдвое превышающий указанный в ТУ.

Основным эффектом, приводящим к деградации выходного МДП транзистора данных оптронов, яв-

ляется накопление объемного заряда в подзатворном диэлектрике и изменение зарядового состояния его поверхности. В связи с этим, основным радиационно-критическим параметром является пороговое напряжение  $U_{пор}$ . Эффект носит ярко выраженный дозовый характер. Если есть возможность измерить величину  $U_{пор}$ , можно рассчитать коэффициент деградации по формуле:

$$K_n = (U_{пор} - U_{пор\ 0}) * D^{-1/2}$$

В нашем случае это не представлялось возможным, так как у исследуемых оптронов нет доступа к электроду затвора. Вне специализированных лабораторий вскрыть корпус и определить необходимые параметры затруднительно. Величина  $K_n$  может существенно зависеть от величины напряжения на затворе во время облучения. После импульсного облучения обычно наблюдается отжиг порогового напряжения, величина и скорость которого зависят от электрического режима и температуры. В наших условиях отжига параметров после нескольких измерений не наблюдалось.

В результате проведенных испытаний и измерений деградации параметров было определено, что к теоретически полученным значениям РС ЭРИ следует относиться критически и по возможности определять уровень стойкости в необходимых режимах работы соответствующими видами испытаний.