

ОТБОР ЭЛЕКТРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ АППАРАТУРЫ, РАБОТАЮЩЕЙ В КОСМОСЕ



В настоящее время при исследовании космического пространства научная аппаратура все чаще выносится на внешнюю поверхность искусственного спутника Земли или межпланетного космического аппарата. Чтобы аппаратура на орбите работала без сбоев в течение длительного времени, необходим специальный отбор элементной базы, на которой она будет построена. Применение методов радиационной отбраковки полупроводниковых приборов (ПП) и ИС позволяет отобрать однородную по радиационной стойкости партию изделий и обеспечить их долговременную стабильность работы в условиях космического пространства.

Исследования надежности электрорадиоизделий (ЭРИ), изменяемых при конструировании космической аппаратуры (блоков ПК82), проводились в условиях космического пространства на ИСЗ "Метеор-3". Для испытаний ЭРИ тщательно отбирались по следующим критериям:

- перспективности использования ЭРИ в штатной аппаратуре;
- чувствительности к воздействиям факторов космического пространства (ФКП);
- возможности распространения полученных результатов испытаний на широкую номенклатуру изделий данного класса;
- наличию данных по реакциям ЭРИ на раздельное воздействие ФКП;
- возможности измерения основных параметров исследуемых ЭРИ и их преобразования в телеметрическую информацию.

Для исследования были выбраны следующие изделия:

- интегральные схемы I64ЛПИ, выполненные на КМДП-структурах, изготовленных по планарно-эпитаксиальной технологии;
- кремниевые планарные полевые транзисторы 2П30I с изолированным затвором и индуцированным каналом р-типа;
- кремниевые диффузионно-планарные полевые транзисторы 2П305 с изолированным затвором и каналом п-типа;
- оптопары ЗОДЮI, состоящие из излучающего диода на основе твердого раствора галлий-мышьяк-алюминий и кремниевое фотодиода;

А.Галеев, к.т.н., С.Малкин, В.Семенов

- интегральные стабилизаторы напряжения 142ЕНI, выполненные по планарно-эпитаксиальной технологии с изоляцией диэлектриком.

Для чистоты эксперимента, с целью обеспечения однородной по электрическим характеристикам выборки и оценки ее радиационной стойкости, перед испытаниями все электронные приборы проходили радиационную отбраковку. Она заключалась в обработке всех испытуемых изделий небольшой дозой гамма-, электронного или рентгеновского излучения (тестовое облучение), отбраковке приборов с аномальными изменениями информативных параметров и последующей выдержки приборов при повышенной температуре (отжиг), которая восстанавливает первоначальные значения их параметров.

При воздействии ионизирующих излучений в ИС и ПП, изготовленных по планарной технологии, происходят следующие процессы: генерация и накопление заряда в защитном диэлектрике; изменение заряда поверхностных состояний на границе полупроводник-диэлектрик; радиационно стимулированная адсорбция и диффузия ионов примеси на поверхности кристалла и в слоях защитного диэлектрика.

Чувствительность ИС и ПП к воздействию излучения определяется как электрическим и тепловым режимом работы приборов, так и качеством их изготовления (наличие дефектов, как правило, увеличивает его радиационную чувствительность).

Установлено, что при дозах тестового облучения 10^4 – 10^5 рад (Si) у ИС и ПП с физико-технологическими дефектами обнаруживаются аномальные изменения электрических параметров, а у приборов с небольшим количеством дефектов или бездефектных таких изменений значительно меньше. Так, количество накопленного при облучении в диэлектрике объемного заряда определяется дефектами роста пленки и количеством примесей в диэлектрике. Наличие указанных дефектов в МДП-транзисторах при одной и той же дозе излучения приводит к значительному сдвигу порогового напряжения по сравнению с транзисторами, не имеющими таких дефектов.

Тестовое облучение целесообразно также и для проверки временной стабильности параметров ИС и ПП, применяемых в бортовой научно-исследовательской РЭА с



длительными сроками эксплуатации. Дефекты поверхности полупроводниковой структуры, обуславливающие повышенную радиационную чувствительность ИС и ПП, могут стать и основной причиной их долговременной нестабильности при электрической и тепловой нагрузках.

На полупроводниковые изделия в составе блоков и узлов бортовой научно-исследовательской РЭА с длительными сроками эксплуатации действует ионизирующее излучение небольшой мощности – 10^4 – 10^5 рад, (Si), но доза накапливается в течение нескольких лет. Мощность дозы тестового гамма- или рентгеновского облучения была выбрана на два-три порядка выше реальной, так как повышение мощности позволяет сократить время, затрачиваемое на испытания.

При отбраковочных испытаниях микросхемы 164ЛП1 (она представляет собой три комплементарных ключа на КМОП-структурах) исследовалось напряжение включения комплементарного ключа. В полевых транзисторах с р-каналом 2П301 контролировалось пороговое напряжение, а в транзисторах с n-каналом 2П305 – напряжение отсечки. Критерий отбраковки для транзисторов 2П301: $I_{пор} < 0,5$ мА и $U_{пор} < -6$ В, а для 2П305 $U_{зи.отс} < -2,7$. В оптопарах 30ДЮ1 контролировали коэффициент передачи тока, критерий отбраковки $K_f \geq 1,5\%$ при $I_{пр} = 10$ мА/, а в ИС ВИП 142ЕН1 – ми-

нимальное выходное напряжение (фактически – напряжение опорного источника).

Одновременно с параметрами исследуемых ЭРИ контролировались все напряжения питания, радиационная обстановка, давление и температура блока с исследуемыми элементами.

ИСПЫТАНИЯ В КОСМОСЕ

Исследуемые приборы размещались на платах внутри измерительного блока вертикально к его основанию. Всего было три блока: блок с контролируемыми ЭРИ, спектрометрический блок с датчиками радиации и температуры и блок электропитания, который находился внутри аппарата с массовой толщиной защиты 1 г/см², что обеспечивает надежность экранирования от электромагнитных наводок и электромагнитную совместимость аппаратуры (рис.1). Габаритные размеры платы $160 \times 164 \times 102$ мм. Кроме плат с исследуемыми элементами в блоке находилась измерительная аппаратура, предназначенная для измерения температуры в диапазоне от -50 до 50°C , давления газа от 10^{-1} до 10^{-5} мм рт.ст., параметров исследуемых интегральных микросхем, транзисторов и оптронов.

Структурные схемы измерения температуры приведены на рис.2а, параметров микросхем 164ЛП1 – на рис.2б, напряжения отсечки полевого транзистора 2П305 – на рис.2в.

Структурные схемы измерения параметров интегральных стабилизаторов 142ЕН1 и оптронов ЗОД101 аналогичны показанным на рис.2.

Экспериментальная зависимость температуры в блоке от времени функционирования и реализации по выборке абсолютных величин параметров исследуемых изделий показана на рис.3. Анализ данных, представленных на рис.4, показывает, что выходное напряжение микросхем 164ЛП1 в измерительной схеме изменилось от 3,2 до 2,6 В, после чего его величина оставалась постоянной. То же самое можно сказать о выходном напряжении интегральных стабилизаторов напряжения 142ЕН1, пороговом напряжении транзисторов 2П301, напряжении отсечки транзисторов 2П305, коэффициенте передачи тока оптрона ЗОД101 (рис.4–5). Некоторое изменение параметров в течение 18–23 суток полета связано с изменением напряжения питания аппаратуры.

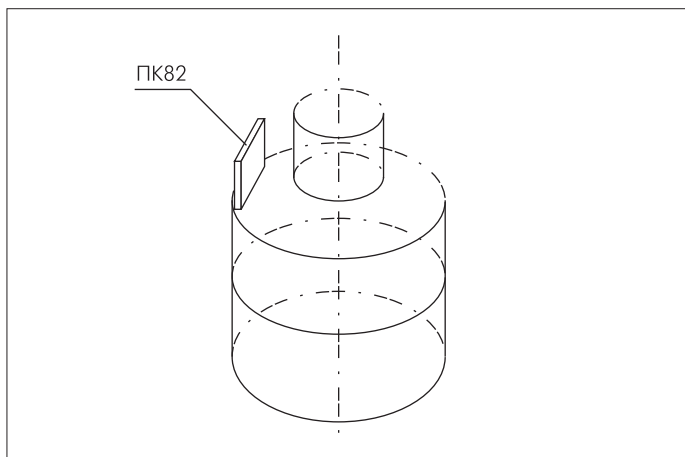


Рис.1. Расположение изделий при испытаниях

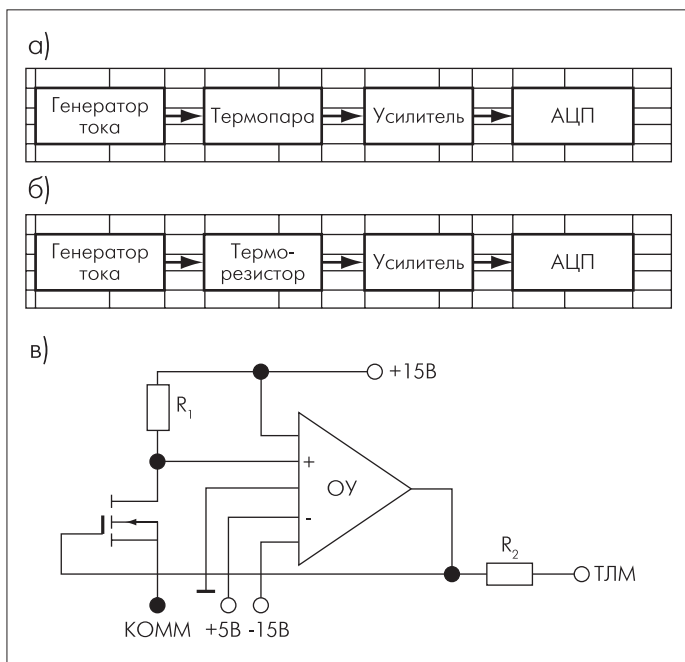


Рис.2. Структурные схемы измерения температуры (а), давления (б) и принципиальная схема измерения напряжения отсечки транзистора КП305 (в)

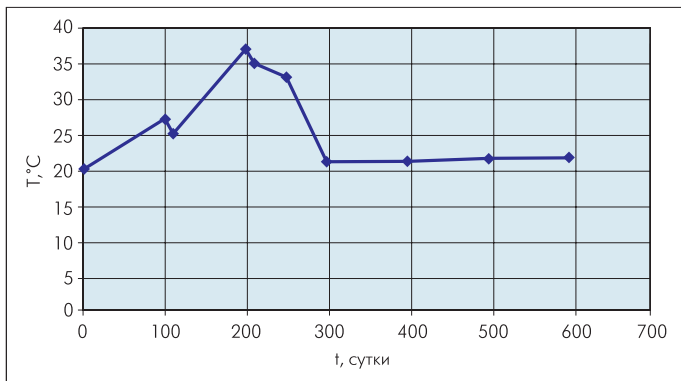


Рис.3. Зависимость температуры блока от времени

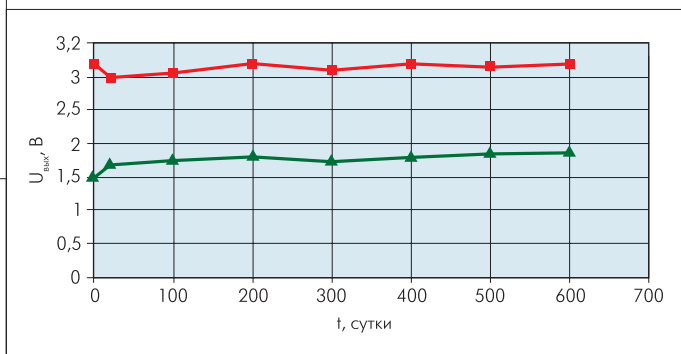


Рис.4. Зависимость напряжения средней точки микросхем 164ЛП1 (1) и выходного напряжения интегральных стабилизаторов 142ЕН1 (2) от времени полета

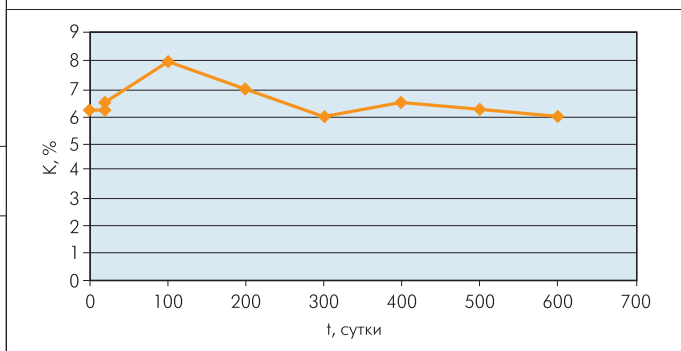


Рис.5. Зависимость коэффициента передачи тока оптронов ЗОД101 от времени

Результаты эксперимента позволяют сделать следующие выводы:

- работа на полярной орбите научно-исследовательской аппаратуры ПК82, изготовленной на электронных приборах, прошедших радиационную отбраковку, возможна в течение длительного времени, так как при небольших изменениях температуры в блоке воздействие проникающих излучений не приводит к существенному изменению параметров элементной базы;
- применение метода радиационной отбраковки для ИС и ПП, комплектующих бортовую научно-исследовательскую РЭА, позволяет повысить срок ее эксплуатации в радиационных поясах Земли путем исключения "слабых" изделий с нестабильными параметрами.