



ТРЕБОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ — ЭКЗОТИКА ДЛЯ ГУРМАНОВ ИЛИ ГАРАНТИЯ НАЛИЧИЯ И ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ РЕЗУЛЬТАТА РАЗРАБОТКИ ДЛЯ ВСЕХ КАТЕГОРИЙ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ЭКБ?

RADIATION HARDNESS REQUIREMENTS — THE EXOTICA FOR GOURMETS OR A GUARANTEE OF THE DESIGN RESULT SUCCESS AND HIGH TECHNICAL LEVEL FOR ALL CATEGORIES OF CONSUMERS?

УДК 621.382.002

НИКИФОРОВ А. Ю.¹

*Д. т. н., профессор
aynik@spels.ru*

ТЕЛЕЦ В. А.¹

БОЙЧЕНКО Д. В.^{1,2}

¹ *Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
115409, Россия, г. Москва, Каширское ш., 31
Тел.: +7 (495) 788-56-99*

² *АО «ЭНПО Специализированные электронные системы»
115409, Россия, г. Москва, Каширское ш., 31
Тел.: +7 (495) 984-67-44, +7 (499) 324-04-20*

NIKIFOROV A. Y.¹

*Sc.D, professor
aynik@spels.ru*

TELETS V. A.¹

BOYCHENKO D. V.^{1,2}

¹ *National Research Nuclear University MEPhI,
31 Kashirskoe Highway, Moscow, 115409, Russia
Tel.: +7 (495) 788-56-99*

² *JSC “SPECIALIZED ELECTRONIC SYSTEMS” (SPELS)
31 Kashirskoe shosse, Moscow, 115409, Russia
Tel.: +7 (495) 984-67-44, +7 (499) 324-04-20*

Представлена классификация изделий ЭКБ по категории радиационной стойкости, обоснована технико-экономическая целесообразность задания требований по радиационной стойкости для всех изделий ЭКБ ОП. Установлено, что радиационный отклик информативно характеризует индивидуальную реакцию функциональных и паразитных структур в составе изделия и может быть использован для идентификации изделий, а корректно проведенные радиационные испытания доказывают «теорему существования» разработанного изделия и технический уровень результата разработки для всех категорий потребителей.

Ключевые слова: электронная компонентная база; радиационная стойкость; радиационные испытания; радиационное воздействие; технические требования.

The paper deals with electronic parts ranking based on their radiation hardness category and highlights technical and economical reasons of radiation hardness requirements for all kinds of device types. It has been stated that radiation response characterizes the individual sensitivity of the device functional and parasitic structures set that can be used for device identification. At the same time radiation test data prove the design result existence theorem together with the device technical level for all categories of consumers.

Keywords: electronic parts; radiation hardness; radiation tests; radiation response; technical requirements

Требования радиационной стойкости (РС) к изделиям электронной компонентной базы (ЭКБ), разрабатываемым в ОКР по заказам Департамента радиоэлектронной промышленности (ДРЭП) Минпромторга России, по форме записи и значениям характеристик радиационных воздействий по ГОСТ РВ 20 39.414.2 задаются в зависимости от особенностей и условий их эксплуатации в соответствии с предлагаемой условной классификацией изделий по четырем категориям РС, как это показано в табл. 1.

Если в отношении изделий ЭКБ категорий 2 и особенно 3 вопрос о необходимости задания требований по РС является риторическим и не вызывает сомнений, то задача задавать полноценные требования, а потом тратить ресурсы на радиационные испытания изделий ЭКБ категории 1 не столь очевидна. В отношении изделий ЭКБ категории 0 вызывает недоумение отечественный парадокс, который заключается в том, что в стране

имеется легальная возможность, регламентирована процедура применения в оборонной технике ЭКБ ИП и полностью отсутствует легальная возможность использования в той же аппаратуре гражданской ЭКБ ОП, не включенной в ограничительный перечень! И это все при том, что абсолютное большинство отечественных гражданских изделий изготовлены на тех же технологических линейках, на которых изготавливаются и изделия оборонного назначения — просто ввиду отсутствия в стране других технологических линеек! Единственным отличием гражданских изделий ЭКБ от оборонных является отсутствие квалификации по РС и отсутствие при разработке ряда формальных (часто лишь бумажных) процедур — «правильного» согласования ТЗ, полного комплекса испытаний, отсутствия приемки комиссией заказчика.

Но ведь все перечисленные особенности заведомо присущи и всем ЭКБ ИП, тем не менее, их применение в аппаратуре



Таблица 1. Условная классификация изделий ЭКБ по категориям РС

| Категория по РС | Классификационные признаки отнесения изделия ЭКБ к категории по РС |
|------------------|---|
| 3 (максимальная) | Изделия с предельным уровнем стойкости — требования РС соответствуют группам исполнения 5Ус–6Ус и являются определяющими для потребителей, даже в ущерб функциональности. Катастрофические отказы, а во многих случаях и кратковременные сбои изделий в процессе и после радиационного воздействия не допускаются. Изделия, как правило, предназначены для применения в «стойком ядре» аппаратуры систем и комплексов стратегических ядерных сил. При создании изделий ЭКБ необходимо использовать весь арсенал методов и средств обеспечения РС, включая специальные технологические процессы и полупроводниковые структуры (кремний на сапфире, кремний на изоляторе, карбид кремния и др.), а также специальные конструкторско-топологические и схмотехнические решения по обеспечению РС. Потребность в таких изделиях — единичная как по номенклатуре, так и по числу поставляемых изделий. |
| 2 | Изделия с повышенным уровнем стойкости — требования РС соответствуют группам 3Ус–4Ус и являются важными для потребителя, но не в ущерб функциональности. Катастрофические отказы изделий в процессе и после радиационного воздействия не допускаются, но возможно наличие у них кратковременных сбоев. Изделия, как правило, предназначены для применения в бортовой аппаратуре ракетно-космической техники и ядерных комплексов. При создании изделий используются базовые технологические процессы с применением специальных библиотек элементов и средств автоматизированного проектирования, в том числе топологических, схмотехнических и алгоритмических решений по обеспечению РС. Потребность в таких изделиях — десятки-сотни штук на один комплекс аппаратуры, номенклатура разнообразная, но ограниченная. |
| 1 | Изделия общего оборонного назначения — требования РС соответствуют унифицированным группам 1Ус–2Ус и не являются приоритетными для потребителей. При создании изделий используются базовые технологические процессы без применения специальных конструкторско-топологических и схмотехнических решений по обеспечению РС. Потребность в таких изделиях — десятки-тысячи штук на один комплекс аппаратуры, номенклатура широкая. |
| 0 (минимальная) | Изделия общего технического назначения («гражданские») — требования РС предъявляются в виде необходимости определения уровней РС изделий по фактическим результатам испытаний и расчетно-экспериментальных оценок в объеме, эквивалентном сертификационным испытаниям и оценкам, принятым для ЭКБ иностранного производства (ИП). Данная категория изделий является кандидатом на замещение большинства типов ЭКБ ИП для комплектования большинства классов наземной, морской и воздушной оборонной техники, имеет максимально широкую номенклатуру и объем потребности. |

допускается, а объемы этого применения пока значимо превышают соответствующие объемы легально применяемых отечественных изделий. Такая дискриминация имеющихся (ранее разработанных и новых) гражданских изделий ЭКБ ОП выглядит еще более нелепо в условиях решения стратегической задачи импортозамещения.

Рассмотрим теперь, какой технико-экономический эффект («прок») в задании требований РС и проведении радиационных испытаний для всех изделий, в том числе относящихся к «нестойким» категориям ЭКБ.

Во-первых, это расширяет круг потребителей ЭКБ ОП за счет потенциальной возможности применения изделий в большинстве классов оборонной техники с умеренными требованиями по РС. При этом, согласно КГВС «Мороз-6», требования по РС предъявлены ко всем классам оборонной техники без исключения; соответственно данные требования должны быть трансформированы (с учетом особенностей защиты) в требования к комплектующей ЭКБ. В случае если гражданское изделие удовлетворяет заданным требованиям по РС, это в значительной степени положительно характеризует его общий уровень качества, надежности и стабильности, в целом возможность его использования в имеющемся виде или после минимальной доработки является вполне обоснованной и приоритетной относительно эквивалентной ЭКБ ИП — регламент такого использования, без сомнения, должен быть введен в ближайшее время. Вызывает недоумение тот факт, что в моделях эксплуатации половины заявленных для применения ЭКБ ИП комплексов оборонной аппаратуры требования по РС вообще не предъявлены.

Во-вторых, радиационный отклик изделия формируется совокупной реакцией всех входящих в изделие функциональных и паразитных структур. Этот отклик для заданных режимов и условий работ изделия является индивидуальным (уникальным) и может использоваться для «радиационной идентификации» подлинности изделия, в частности, для анализа на наличие

признаков контрафакта или фальсификата. Полностью эквивалентные изделия одного типа, изготовленные, например, на разных предприятиях, почти наверняка будут иметь разный радиационный отклик. Во многих случаях контрафакт был выявлен уже на этапе подготовки к радиационным испытаниям в виде, например, выявления в составе отечественного изделия ЭКБ недеklarированного кристалла ИП, который отсутствовал при разработке и сдаче ОКР.

В-третьих, по нашей практике именно в ходе подготовки радиационных испытаний на этапе запуска изделия и его входного контроля выявляются возможные и порой многочисленные ошибки в технической документации и программном обеспечении изделия. Таким образом, радиационные инженеры и испытатели, по сути, первыми внимательно изучают техническую документацию на изделие, запускают изделие по описанию и другой техдокументации, проводят независимое полноценное тестирование работоспособности изделия до его испытаний, направленное на выбор критических параметров, режимов и условий его работы. По нашему опыту, именно в ходе радиационных испытаний изделий ЭКБ ОП выявляются многие ошибки и опечатки в техническом описании и особенно схеме включения и назначении выводов изделия.

И в-четвертых, для проведения радиационных испытаний необходимо как минимум наличие образцов изделий, причем полностью работоспособных, в том числе в диапазоне температур. Сегодня радиационные испытания являются единственным видом испытаний, для проведения которых предприятие-разработчик передает (как правило) образцы и документацию в независимую организацию, в «чужие руки» — специалистам радиационно-испытательного центра, которые (на примере практики ИЦ АО «ЭНПО СПЭЛС») проводят идентификацию образцов (методами визуально-оптического и рентгеновского анализа), сами разрабатывают оснастку и программное обеспечение, эмулирующие работу изделия в типовых и критических режимах,



запускают изделие и проводят его полноценный входной контроль в нормальных условиях и крайних значениях температур среды, и только при положительных результатах допускают изделие до радиационных испытаний. В ходе радиационных испытаний проводится комплексная диагностика работоспособности изделия, выявляются его доминирующие механизмы отказов, критические параметры — критерии годности, критические режимы и условия работы. При выявлении, например, тиристорного эффекта или пробоя проводятся испытания на живучесть — сохранение работоспособности в этом состоянии в течение заданного времени (например 5 минут), разрабатываются методы и средства парирования этих эффектов. Таким образом, для заказчика ОКР проведенные радиационные испытания доказывают «теорему существования» результата разработки, а потенциальному потребителю предоставляется вся полнота информации о характере поведения изделия для принятия решения о возможности его эффективного применения в аппаратуре.

Таким образом, помимо оценки способности изделия обеспечить функционирование в условиях радиационных воздействий, задание требований РС и радиационные испытания всех категорий изделий решают множество важнейших задач в рамках гарантирования качества и технического уровня изделия в интересах всех категорий потребителей.

Вот уже третий год институт экстремальной прикладной электроники (ИЭПЭ) Национального исследовательского ядерного университета (НИЯУ) МИФИ в качестве уполномоченной научно-исследовательской организации ДРЭП Минпромторга России по РС ЭКБ проводит экспертизы технических требований (технических заданий) на ОКР по созданию ЭКБ (в том числе по госзаказу, импортозамещению и межзаводской кооперации — «инициативных») в части записи требований по РС, причем две трети документов требуют коррекции. Также на регулярной основе проводится экспертиза программ — методик радиационных

испытаний ЭКБ, методик и обоснований по расчетно-экспериментальной оценке РС без проведения испытаний, протоколов испытаний и оценки РС. Эксперты по РС приняли участие во многих комиссиях по приемке ОКР и обеспечили объективное изложение информации о реальном техническом уровне созданных изделий в актах и других комиссионных документах. В ходе своей работы эксперты по РС тесно взаимодействуют со специалистами предприятий, разъясняя свою техническую позицию и консультируя по рациональным путям устранения замечаний. Около половины документов, требующих доработки, согласовываются на первой итерации экспертизы, но нередко проводится две-три итерации правок и повторных экспертиз, а были случаи и пяти итераций, когда предприятию и экспертам по РС долго не удавалось достичь консенсуса. Также нередки были случаи оформления «особых мнений» со стороны экспертов по РС в составе приемочных комиссий — в тех случаях, когда их мнение не находило должного отражения в формулировках акта. Следует отметить, что в абсолютном большинстве случаев специалисты предприятия принимали результаты экспертизы, признавая объективность и квалификацию экспертов, хотя, конечно, были случаи разногласий и апелляций к руководству экспертной организации, к главному институту заказчика — ФГУП «МНИИРИП», а в единичных случаях и к самому заказчику ОКР, которые, вникнув в суть вопроса, в абсолютном большинстве случаев вставали на сторону экспертной организации. Главным итогом этой деятельности стало системное осознание предприятиями — исполнителями ОКР того факта, что заказчик будет иметь объективную информацию по достигнутым результатам всех ОКР, прежде всего по реальному наличию заказанных изделий и их характеристикам. При этом корректно заданные технические требования не допускают их двойного или искаженного толкования в ходе как выполнения, так и приемки ОКР, позволяют сделать независимую и объективную оценку реального результата разработки.

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 1210 руб.

РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ШИРОКОЗОННЫХ НЕСТЕХИОМЕТРИЧЕСКИХ ОКСИДНЫХ ДИЭЛЕКТРИКАХ

С. В. Никифоров, В. С. Кортюв

М: ТЕХНОСФЕРА, 2017. — 272 с.
ISBN 978-5-94836-490-2

В книге рассмотрены радиационно-индуцированные процессы, возникающие при взаимодействии ионизирующих излучений с веществом, положенные в основу дозиметрических измерений. Особое внимание уделено методам твердотельной дозиметрии на основе термостимулированной люминесценции. Описаны механизмы образования анионных дефектов в объемных и наноструктурных широкозонных оксидных диэлектриках, проведено сравнение их люминесцентных и дозиметрических свойств.

Приведены обзор и анализ различных типов кинетических моделей термостимулированной люминесценции, в том числе основанных на конкурирующем влиянии глубоких ловушек. Описаны эффекты сенситизации люминесценции в широкозонных оксидах, обусловленные изменением заселенности глубоких центров. Представлены результаты, доказывающие решающую роль процессов температурно-зависимого захвата носителей заряда глубокими ловушками в формировании люминесцентных и дозиметрических свойств данного класса материалов. Приводятся сведения о дозиметрических характеристиках и применении термолюминесцентных детекторов ионизирующих излучений ТЛД-500К на основе анион-дефектного оксида алюминия.

Книга адресована широкому кругу читателей — специалистам по физике конденсированного состояния, радиационной физике диэлектрических материалов, инженерам, работающим в области индивидуальной, медицинской и технологической дозиметрии и радиационного мониторинга. Она может быть также полезна аспирантам и студентам старших курсов.

КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 (495) 234-0110; 📠 +7 (495) 956-3346; ✉ knigi@technosfera.ru, sales@technosfera.ru