

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

УДК 621.382.2/3

*На правах рукописи*

ДЕГАЛЕВИЧ  
Дмитрий Александрович

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ  
НА УСТОЙЧИВОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИХ  
РАЗРЯДОВ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание степени  
магистра техники и технологий

по специальности 1-39 81 01 – Компьютерные технологии  
проектирования электронных систем

Минск 2017

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель: **ПИСКУН Геннадий Адамович**,  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Рецензент: **КАЗЕКА Александр Анатольевич**,  
кандидат технических наук, доцент, начальник отдела студенческой науки и магистратуры учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «26» января 2017 г. года в 11<sup>00</sup> часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, Минск, ул. П.Бровки, 6, корп. 1, ауд. 415, тел. 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

СОГЛАСОВАНО:  
научный руководитель  
канд.техн.наук, доцент

Г.А. Пискун

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время одной из основных проблем работоспособности полупроводниковых приборов (ППП) являются внешние воздействия. В особенности огромное влияние оказывают электростатические разряды (ЭСР). Восприимчивые к разрядам статического электричества ППП подвергаются опасности, как в процессе производства, так и в процессе их применения. Стоит отметить, что недостаточно грамотное обращение с полупроводниковыми элементами электронной техники на входном контроле, в процессе их монтажа, при изготовлении электронных блоков и при эксплуатации аппаратуры, могут быть причиной выхода ППП и интегральных схем (ИС) из строя под действием ЭСР.

На сегодняшний день существует достаточно большое число работ в области определения влияния разрядов на функционально сложные изделия твердотельной электроники. Наиболее значимые результаты были получены российскими и белорусскими учеными, которые проводили исследования в таких областях, как воздействие ЭСР на полупроводниковые изделия (М.И. Горлов, В.А. Емельянов, Л.П. Ануфриев, В.Ф. Алексеев, Г.А. Пискун); методы защиты устройств от электромагнитных помех (Л.Н. Кечиев, Е.Д. Пожидаев); средства защиты интегральных схем от воздействия деструктивных импульсов разрядного тока (В.А. Каверзнев, Г.Д. Грошева). Среди зарубежных авторов особый интерес вызывают работы Ч. Джоввета, Кая Есмарка, А. Шваба, Э. Хабигера, S. Voldman, в которых представлено описание некоторых механизмов влияния и упрощенные аналитические подходы для решения задач, связанных с воздействием электростатических разрядов на электроприборы.

Однако проблема оценки надежности функционирования ППП после воздействия ЭСР решена не в полной мере. В частности, научный и практический интерес представляет разработка методики отбраковки полупроводниковых приборов после воздействия разрядов статического электричества, а также методы разделения партий транзисторов по стойкости к воздействию ЭСР.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### **Актуальность темы исследования**

Надежность любого изделия, заложенная при конструировании, обеспечивается технологическим процессом изготовления. Технологические отбраковочные испытания ППП (диодов, транзисторов, ИС и др.), объем которых устанавливается изготовителем в зависимости от вида приемки изделий, их конструктивно-технологических особенностей, технических и экономических возможностей изготовителя, служат для повышения надежности партий изделий путем отделения потенциально ненадежных. В связи с тем, что в настоящее время большое распространение получили альтернативные диагностические методы отбраковки потенциально ненадежных ППП, рассмотрение вопроса их технической диагностики на устойчивость к воздействию ЭСР становится наиболее актуальным.

## **Степень разработанности проблемы**

Исследование влияния ЭСР на ППП осуществлялось на основе построения теоретических моделей, используя работы белорусских и зарубежных ученых: М.И. Горлова, В.А. Емельянова, Л.П. Ануфриева, Л.Н. Кечиева, Е.Д. Пожидаева, В.А. Каверзнева, Г.Д. Грошева, В.Ф. Алексеева, а так же зарубежных авторов: Ч. Джоввета, Кая Есмарка, А. Шваба, Э. Хабигера, S. Voldman.

Предложенное исследование сравнительной оценки надежности партии транзисторов позволяет оценить на выборке транзисторов от партии, какая партия более надежная путем последовательной подачи на транзисторы ЭСР возрастающей величины.

## **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является исследование диагностических методов отбраковки потенциально ненадежных ППП при воздействии ЭСР и разработка методики, позволяющей выделить из партии полупроводниковых приборов группу высоконадежных изделий.

Поставленная цель работы определяет **следующие основные задачи:**

1. Анализ моделей воздействия электростатического разряда на полупроводниковые приборы и методов технологической отбраковки.
2. Разработка методики разделения партий транзисторов по стойкости к воздействию ЭСР и проведение их сравнительной оценки.
3. Исследование влияния разряда статического электричества на кремниевые транзисторы по разработанной методике.

## **Область исследования**

Содержание диссертации соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) ОСВО 1-39 81 01-2012 специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

## **Теоретическая и методологическая основа исследования**

В основу диссертации легли работы российских, белорусских и зарубежных ученых в области воздействия разрядов статического электричества на ППП, а так же анализ технических нормативных правовых актов по рассматриваемой тематике.

*Информационная база* исследования сформирована на основе литературы, открытой информации, технических нормативно-правовых актов, сведений из электронных ресурсов, а также материалов научных конференций и семинаров.

## **Научная новизна**

*Научная новизна* диссертации заключается в исследовании диагностических методов отбраковки потенциально ненадежных ППП при воздействии ЭСР и разработке методики, позволяющей выделить из партии ППП группу высоконадежных изделий.

*Теоретическая значимость* работы заключается в том, что в ней предложен подход к анализу стойкости кремниевых полевых МОП-транзисторов к воздействию разрядов статического электричества.

*Практическая значимость* диссертации состоит в том, что на основе предложенной методики разработан алгоритм разделения партий транзисторов по стойкости к воздействию ЭСР.

### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Исследование моделей воздействия разрядов статического электричества на полупроводниковые приборы, основанные на анализе методов отбраковки потенциально ненадежных ППП, позволяющие классифицировать наиболее вероятные дефекты.

2. Методика разделения партий транзисторов по стойкости к воздействию разрядов статического электричества, основанная на пошаговом повышении напряжения воздействующего разряда, позволяющая более точно выявить возникновение катастрофического отказа.

3. Экспериментально установленное пороговое значение напряжения разряда статического электричества, основанное на использовании разработанной методики разделения партий транзисторов по стойкости к воздействию ЭСР, позволяющее оптимизировать процесс отбраковки потенциально ненадежных транзисторов.

### **Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов**

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на следующих республиканских и международных конференциях и семинарах: международная научно-практическая конференция «Молодежный форум: технические и математические науки», г.Воронеж, Россия, 2015 г.; 52-я научно-техническая конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУ-ИР, Минск, Беларусь, 2016 г.; XXIV Международная научно-практическая конференция «Молодой ученый: вызовы и перспективы», г.Москва, Россия, 2016 г.

### **Публикации**

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 8 печатных работах. В их числе 4 статьи в сборниках материалов научных конференций, 4 тезиса докладов на научных конференциях.

Общий объем публикаций по теме диссертации составляет 1,9 авторских листа.

### **Структура и объем работы**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, трех глав с краткими выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка и приложений.

**В первой главе** проведен анализ общих требований к методам диагностического контроля полупроводниковых приборов.

**Во второй главе** представлены исследования стойкости кремниевых полевых транзисторов к воздействию ЭСР и разработка методики разделения партий транзисторов по стойкости к ЭСР.

**В третьей главе** исследовано влияние электростатического разряда на транзисторы *FQP3N60C*, а также разработана методика сравнительной оценки надежности партий транзисторов по воздействию ЭСР, которая может быть применена на входном контроле заводов-изготовителей радиоэлектронной аппаратуры и для сравнительной оценки партий любых ППП.

**В приложении** представлены публикации автора, акт внедрения и графическая часть.

Общий объем диссертационной работы составляет 95 страниц. Из них 74 страницы основного текста, 31 иллюстрация на 6 страницах, 26 таблиц на 9 страницах, библиографический список из 56 наименований на 5 страницах, список собственных публикаций соискателя из 8 наименований на 1 странице.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы влияния электростатических разрядов на полупроводниковые приборы, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** показана актуальность проводимых исследований, степень разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи диссертации, обозначена область исследований, научная (теоретическая и практическая) значимость исследований, а также апробация работы.

В **первой главе** проведен анализ общих требований к методам диагностического контроля полупроводниковых приборов и критериев для прогнозирования потенциальной надежности по внезапным и параметрическим отказам. Показано, что с открытием явления отжига электростатических дефектов появилась возможность использовать это явление при разработке диагностических методов оценки изделий по качеству и надежности.

Проанализировав явление отжига на примере кремниевых биполярных транзисторов *BFP719* (подавали ЭСР на выводы эмиттер-база и измеряли коэффициент усиления по току) получили, что восстановление электрических параметров приборов при выдержке при температуре 125 °С зависит от степени повреждения прибора при воздействии разряда: чем она больше, тем больше время отжига электрических параметров, а при очень больших изменениях параметров отжиг может не наблюдаться (рисунок 1).

Исследованные данные могут быть интерпретированы следующим образом. У полупроводниковых приборов, которые были подвергнуты воздействию ЭСР значением ниже критического, небольшая деградация электрических параметров может быть связана, например, с изменением плотности ловушек на поверхности раздела кремний-оксид кремния, созданием новых ловушек в активной области, что влияет на число свободных носителей, участвующих в

проводимости. Отжиг уменьшает механические напряжения в структуре полупроводникового изделия. Чем меньше нарушений структуре, тем больше вероятность полного восстановления электрических параметров в процессе отжига.

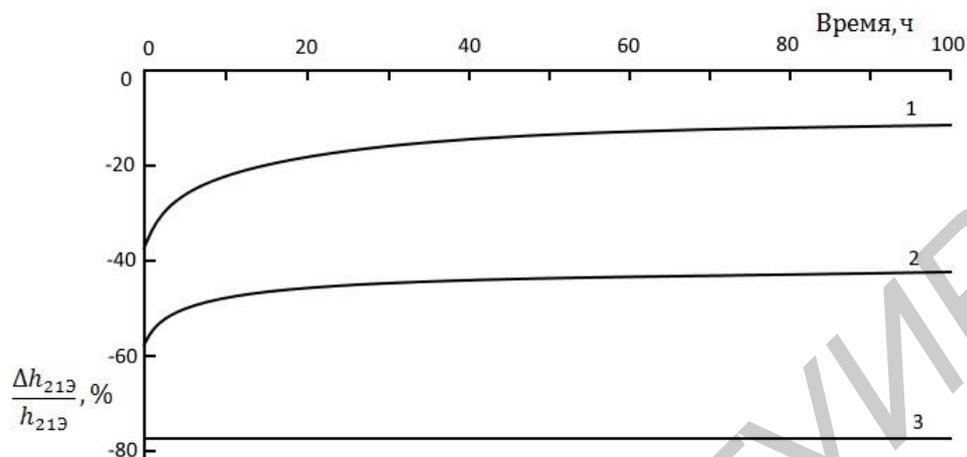


Рисунок 1 – Динамика отжига параметра  $h_{21Э}$  биполярных транзисторов

Особое внимание уделено катастрофическим и параметрическим отказам ППП. Из которых следует, что после катастрофических дефектов, полупроводниковые приборы не выполняют своих функций, тем самым обнаруживаются наиболее легко; а параметрические или скрытые дефекты вызывают некоторые изменения электрических параметров приборов, которые, тем не менее, не выходят за допустимые по техническим условиям нормы. Такие повреждения обнаружить труднее, так как зачастую они проявляются лишь в результате повторяющихся разрядов или уже в процессе эксплуатации.

Скрытые дефекты ППП, возникающие от воздействия ЭСР и проявляющиеся в период эксплуатации, можно разбить на три категории:

1. Нанесенный ущерб настолько мал, что изделие полностью соответствует требованиям технических условий. Вероятность безотказной работы изделия в течение всего срока службы достаточно велика;

2. Изделие работоспособно, но не соответствует по одному или нескольким электрическим параметрам требованиям технических условий. Надежность изделия существенно ослаблена;

3. Поврежденное изделие соответствует техническим условиям либо слегка выходит за установленные пределы и вполне способно выполнять свои функции в радиоэлектронной аппаратуре. Однако имеется достаточная вероятность его преждевременного отказа.

**Во второй главе** разработана методика разделения партий транзисторов по стойкости к воздействию ЭСР путем снятия зависимости коэффициента усиления по току до, после воздействия ЭСР и после термического отжига и сравнения площадей под кривыми зависимостей может применяться потребителями транзисторов на входном контроле.

Предложена методика разделения партии транзисторов на две группы, различающихся стойкостью к ЭСР. Эксперименты проводились на кремниевых биполярных транзисторах  $n-p-n$  типа и  $p-n-p$  типа, *BFP719* и *2SA555* соответ-

ственно. В таблицах 1 и 2 представлены основные электрические параметры исследуемых транзисторов.

Таблица 1 – Основные электрические параметры транзисторов типа *BFP719* при температуре  $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$

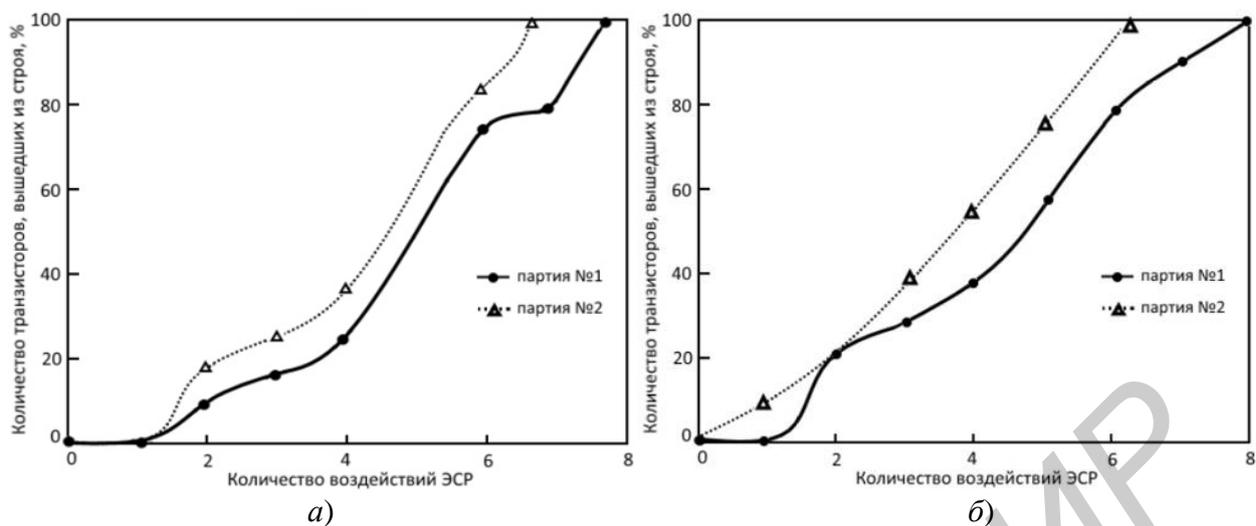
Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Норма	
	не менее	не более
Обратный ток коллектор-эмиттер, мкА (при сопротивлении в цепи эмиттер-база) $R_{БЭ}=10\text{кОм}$ ; $U_{КЭ}=35\text{В}$	-	5,0
Обратный ток эмиттера, мкА, ( $U_{ЭБ}=5\text{В}$ )	-	3,0
Обратный ток коллектора, мкА, ( $U_{КБ}=10\text{В}$ )	-	0,5
Статический коэффициент передачи тока ( $U_{КБ}=10\text{В}$ ; $I_{Э}=1\text{мА}$ )	150	350
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте ( $U_{КБ}=10\text{В}$ ; $I_{Э}=5\text{мА}$ ; $f=20\text{МГц}$ )	12,5	-
Напряжение насыщения коллектор-эмиттер, В ( $I_{К}=20\text{мА}$ ; $I_{Б}=2\text{мА}$ )	-	0,4
Напряжение насыщения база-эмиттер, В ( $I_{К}=20\text{мА}$ ; $I_{Б}=2\text{мА}$ )	-	1,0
Граничное напряжение, В, ( $I_{Э}=5\text{мА}$ )	25	-

Таблица 2 – Основные электрические параметры транзисторов типа *2SA555* при температуре  $(25 \pm 10)^\circ\text{C}$

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Норма	
	не менее	не более
Обратный ток коллектора, мкА, ( $U_{КБ}=10\text{В}$ )	-	0,1
Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером ( $U_{КБ}=10\text{В}$ ; $I_{Э}=1\text{мА}$ )	100	350
Обратный ток коллектор-эмиттер, мкА $R_{БЭ}=10\text{кОм}$ ; $U_{КЭ}=35\text{В}$	-	1,0
Модуль коэффициента передачи тока на высокой частоте ( $U_{КБ}=10\text{В}$ ; $I_{Э}=5\text{мА}$ ; $f=100\text{МГц}$ )	2,5	-
Постоянная времени обратной связи на высокой частоте ( $U_{КБ}=10\text{В}$ ; $I_{Э}=5\text{мА}$ ; $f=5\text{МГц}$ )	-	500
Емкость коллекторного перехода, пФ ( $U_{КБ}=10\text{В}$ ; $f=10\text{МГц}$ )	-	7

Достоверность разбраковки подтверждалась путем стандартных испытаний на воздействие электростатических разрядов.

На вывода коллектор-база подавались по пять положительных и отрицательных воздействий разрядов статического электричества с напряжением, равным опасному для данного типа транзисторов, причем такое воздействие считалось за единичное. Испытания проводились, пока не были выявлены отказы всех транзисторов. Полученные распределения отказавших транзисторов от количества воздействий ЭСР приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2 – Кривые распределения транзисторов типа *BFP719* (а) и транзисторов типа *2SA555* (б), вышедших из строя при воздействии электростатического разряда**

Из рисунка 2 следует, что кривые, соответствующие первой группе (более стойкой к ЭСР) на всем протяжении испытаний лежат ниже кривой, соответствующей второй группе (менее стойкой к ЭСР) как для транзисторов типа *BFP719*, так и для транзисторов типа *2SA555*.

**В третьей главе** разработана методика сравнительной оценки надежности партий транзисторов к воздействию электростатических разрядов с последовательным повышением напряжения импульса может быть применен на входном контроле заводов-изготовителей радиоэлектронной аппаратуры и для сравнительной оценки партий любых ППП.

Воздействие ЭСР на ППП приводит к появлению параметрических или катастрофических отказов. При ступенчатом воздействии ЭСР различного напряжения от допустимого до опасного на ППП, в том числе и полевые транзисторы, сначала должны появляться параметрические отказы, а затем катастрофические. Это для партий ППП, не имеющих потенциально ненадежных изделий.

При испытании партии кремниевых полевых МОП транзисторов типа *FQP3N60C* на воздействие ЭСР на вывода "затвор-сток" напряжением выше допустимого оказалось, что наблюдаются сначала катастрофические отказы (при напряжениях 380-680 В), а затем параметрические отказы при больших напряжениях ЭСР (560-800 В), что говорит о засоренности партии полевых транзисторов потенциально-ненадежными приборами.

Сущность разработанной методики (на примере транзисторов *FQP3N60C*) заключается в том, что на выводы полевых транзисторов "затвор-сток" осуществляют воздействие разряда статического электричества. Воздействие ЭСР начинают потенциалом вдвое выше допустимого, повышая затем ступенчато потенциал ЭСР на 20-30 В до появления отказов. При одинаковой выборке от оцениваемых партий полевых транзисторов (не менее 10 штук) делают вывод о более надежной и менее надежной сравниваемых партий: партия, у которой до появления параметрических отказов меньшее число катастрофических отказов

обладает большей надежностью, а при отсутствии катастрофических отказов, партия, у которой параметрические отказы появляются при большей величине потенциала ЭСР, также обладает большей надежностью.

В таблице 3 представлены основные электрические параметры транзистора *FQP3N60C*.

Таблица 3 – Основные электрические параметры транзистора *FQP3N60C*

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма			Режим измерения		
		не менее	не более	$U_{зипор}$ , В	$U_{си}$ , В	$I_c$ , А	$T_{корп}$ , °С
Остаточный ток стока, мкА	$I_{C.ост}$	-	250	0	600	-	25±10
Остаточный ток стока, мкА	$I_{C.ост}$	-	1000	0	480	-	125±10
Ток утечки затвора, нА	$I_{3,ут}$	-	250	0	480	-	-60±3
Пороговое напряжение, В	$U_{зи.пор}$	2,0	4,0	-	-	250 мкА	25±10
Сопротивление сток-исток в открытом состоянии, Ом	$R_{СИ.отк}$	-	3,0	10	-	2,0	25±10
Крутизна характеристики, А/В (при $t_u < 300$ мкс, $Q > 50$ )	$S$	1,5	-	-	25	2,5	25±10
Постоянное прямое напряжение диода, В	$U_{пр}$	-	1,4	0	-	3,3	25±10
Ток стока, А	$I_c$	3,3	-	10	20	-	25±10

Воздействие ЭСР, величиной 300 В не вывели транзистор из строя при испытаниях на безотказность, т.к. электрические параметры после воздействия ЭСР по сравнению с начальными практически не изменились.

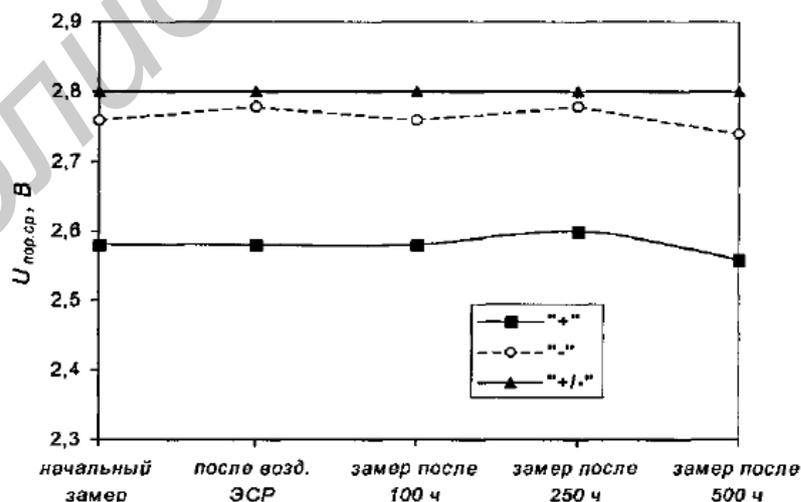


Рисунок 3 – Распределение среднего значения порогового напряжения транзисторов *FQP3N60C* по этапам испытаний

Методика сравнительной оценки по надежности партий полевых транзисторов была опробована на четырех партиях транзисторов типа *FQP3N60C*. От

каждой партии методом случайной выборки было отобрано по 10 транзисторов. Так как допустимый потенциал ЭСР для этих транзисторов по техническим условиям составляет 200 В, то воздействие ЭСР начиналось с 400 В, затем увеличивалось на 20 В. Для ускорения процесса подавались по 10 импульсов разрядного напряжения. В таблице 3 представлены результаты испытаний.

Таблица 3 – Результаты испытаний транзисторов

№ партии	Напряжение ЭСР, В, приводящее к катастрофическим отказам, № отказа						Напряжение ЭСР, В, приводящее к параметрическим отказам, № отказа						
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	7
1	400	400	400	400	440	480	680	700	720	720	-	-	-
2	400	420	460	480	480	680	700	700	740	760	-	-	800
3	-	-	-	-	-	-	580	760	760	760	800	800	-
4	-	-	-	-	-	-	740	740	740	760	780	800	800

Если сравнить партии № 1 и № 2, то более надежной будет партия № 2. При сравнении партий № 3 и № 4 более надежной будет партия № 4. При сравнении всех четырех партий партии по надежности распределятся следующим образом: партия № 4 самая надежная, затем партия № 3, № 2, и менее надежная партия № 1.

Предложенная методика сравнительной оценки по надежности партий транзисторов может быть использована по критериям: стойкость к ЭСР, количественной сравнительной оценки партий приборов из полупроводников по засоренности потенциально-ненадежными изделиями, а также для повышения достоверности других методик сравнительной оценки партий ППП как в процессе производства, так и на входном контроле на предприятиях-изготовителях радиоэлектронной аппаратуры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Проведен анализ общих требований к методам диагностического контроля полупроводниковых приборов.

2. Представлены исследования стойкости кремниевых полевых транзисторов к воздействию ЭСР и разработка методики разделения партий транзисторов по стойкости к разрядам статического электричества.

3. Исследовано влияние электростатического разряда на транзисторы *FQP3N60C*, а также разработана методика сравнительной оценки надежности партий транзисторов по воздействию разрядов статического электричества, которая может быть применена на входном контроле заводов-изготовителей радиоэлектронной аппаратуры и для сравнительной оценки партий любых полупроводниковых приборов.

## Рекомендации по практическому использованию результатов

Полученные результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» в учебные курсы «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств», «Конструирование радиоэлектронных устройств».

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

1. Специфика использования методов неразрушающего диагностического контроля полупроводниковых изделий после воздействия электростатических разрядов / Д.А. Дегалевич, Э.М. Врабий, Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев // Междунар. науч.-практич. конф. «Молодежный форум: технические и математические науки», сб. науч. трудов по материалам., Воронеж, Российская Федерация / ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж. 2015. – С. 342-346.

2. Причины повреждения металлизации интегральных схем в условиях воздействия токов повышенной плотности / Э.М. Врабий, Д.А. Дегалевич, Г.А. Пискун, В.Ф. Алексеев // // Междунар. науч.-практич. конф. «Молодежный форум: технические и математические науки», сб. науч. трудов по материалам., Воронеж, Российская Федерация / ФГБОУ ВО «ВГЛТУ». – Воронеж. 2015. – С. 228-232.

3. Дегалевич, Д.А. Эффективность защиты электронной аппаратуры с помощью внешних схем защиты от воздействия электростатических разрядов / Д.А. Дегалевич, Г.А. Пискун, Э.М. Врабий // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «ПИКС», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 44-47.

4. Дегалевич, Д.А. Механизмы воздействия электростатических зарядов на радиоэлектронную аппаратуру / Д.А. Дегалевич, Г.А. Пискун, Э.М. Врабий // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «ПИКС», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 47-49.

5. Специфика повреждений, возникающих в кремниевых полупроводниковых изделиях под воздействием электростатических разрядов / Д.А. Дегалевич, Э.М. Врабий, Г.А. Пискун, Д.М. Климович // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «ПИКС», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 49-51.

6. Принципы нейтрализации электростатических зарядов в радиоэлектронной аппаратуре / Д.А. Дегалевич, Г.А. Пискун, Д.М. Климович, А.Л. Зайцев // материалы 52-ой науч. конф. аспирантов, магистрантов и студентов «ПИКС», Минск, Респ. Беларусь, 25–30 апреля 2016 г. / УО «БГУИР». – Минск, 2016. – С. 51-54.

7. Дегалевич, Д.А. Установочные элементы станочных приспособлений и базирования заготовок / Д.А. Дегалевич, А.Л. Зайцев, Д.В. Юрченко // XXIV Междунар. науч.-практич. конф. «Молодой ученый: вызовы и перспективы»,

сб. науч. трудов по материалам., Москва, Российская Федерация / Интернаука. – Москва. 2016. – С. 332-336.

8. Дегалевич, Д.А. Автоматизация технологических процессов при передаче радиосигналов / Д.А. Дегалевич, А.Л. Зайцев, Д.В. Юрченко // XXIV Междунар. науч.-практич. конф. «Молодой ученый: вызовы и перспективы», сб. науч. трудов по материалам., Москва, Российская Федерация / Интернаука. – Москва. 2016. – С. 321-325.

Библиотека БГУИР

## РЭЗІЮМЭ

Дзегалевіч Дзмітрый Аляксандравіч

### Тэхнічная дыягностыка паўправадніковых прыбораў на ўстойлівасць да ўздзеяння электрастатычных разрадаў

**Ключавыя словы:** электрастатычны разрад, транзістары, надзейнасць, адмовы.

**Мэта работы:** даследаванне дыягнастычных метадаў адбракоўкі патэнцыйна ненадзейных ППП пры ўздзеянні ЭСР і распрацоўка метадыкі, якая дазваляе вылучыць з партыі ППП групу высоканадзейных вырабаў.

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** праведзены аналіз агульных патрабаванняў да метадаў неразбуральнага дыягнастычнага кантролю ППП і крытэрыяў для прагназавання патэнцыйнай надзейнасці па раптоўным і параметрычным адмовах. Паказана, што з адкрыццём з'явы адпалу электрастатычных дэфектаў з'явілася магчымасць выкарыстоўваць гэта з'ява пры распрацоўцы дыягнастычных метадаў ацэнкі вырабаў па якасці і надзейнасці. Праведзены даследаванні па ўплыву электрастатычнага ўздзеяння на крамянёвыя палявыя МОП-транзістары тыпу *FQP3N60C*, якія дазволілі: усталяваць дапушчальны патэнцыял электрастатычнага разраду на транзістары; вызначыць, што павелічэнне колькасці термоциклов прыводзіць да катастрафічных адмовах пры меншых высілках ЭСР; паказаць, што механічныя ўздзеянні (шматразовыя ўдары з паскарэннем 150 g і адзінкавыя ўдары з паскарэннем 1500 g) і выпрабаванні на надзейнасць зніжаюць канструктыўна-тэхналагічныя запасы транзістараў па стойкасці да ЭСР; распрацаваць спосаб параўнальнай ацэнкі надзейнасці партый транзістараў. На аснове аналізу эксперыментаў на крамянёвых біпалярных транзістарах распрацаваны спосаб разбраковки транзістараў па стойкасці да ўздзеяння ЭСР шляхам зняцця залежнасці каэфіцыента ўзмацнення па току да, пасля ўздзеяння ЭСР і пасля тэрмічнага адпалу, які можа прымяняцца спажывацямі транзістараў на ўваходным кантролі. Эксперыменты праводзіліся на крамянёвых біпалярных транзістарах BFP719 (n-p-n-тыпу) і 2SA555 (p-n-p-тыпу). Дакладнасць разбраковки пацвярджалася шляхам стандартных выпрабаванняў на ўздзеянне ЭСР. На вываду калектар-база падаваліся па пяць станоўчых і адмоўных уздзеянняў ЭСР з напругай, роўным небяспечнага для дадзенага тыпу транзістараў, прычым такое ўздзеянне лічылася за адзінкавае. Выпрабаванні праводзіліся, пакуль не мелі месца адмовы усіх транзістараў.

**Ступень выкарыстання:** вынікі ўкаранёны ў навучальны працэс на кафедры праектавання інфармацыйна- камп'ютэрных сістэм установы адукацыі «Беларускі дзяржаўны ўніверсітэт інфарматыкі і радыёэлектронікі ў навучальны курс «Фізічныя асновы праектавання радыёэлектронных сродкаў».

**Вобласць ужывання:** паўправадніковая прамысловасць.

## РЕЗЮМЕ

Дегалевич Дмитрий Александрович

### Техническая диагностика полупроводниковых приборов на устойчивость к воздействию электростатических разрядов

**Ключевые слова:** электростатический разряд, транзисторы, надежность, отказы.

**Цель работы:** исследование диагностических методов отбраковки потенциально ненадежных ППП при воздействии ЭСР и разработка методики, позволяющей выделить из партии ППП группу высоконадежных изделий.

**Полученные результаты и их новизна:** проведен анализ общих требований к методам неразрушающего диагностического контроля ППП и критериев для прогнозирования потенциальной надежности по внезапным и параметрическим отказам. Показано, что с открытием явления отжига электростатических дефектов появилась возможность использовать это явление при разработке диагностических методов оценки изделий по качеству и надежности.

Проведены исследования по влиянию электростатического воздействия на кремниевые полевые МОП-транзисторы типа *FQP3N60C*, которые позволили: установить допустимый потенциал электростатического разряда на транзисторы; определить, что увеличение количества термоциклов приводит к катастрофическим отказам при меньших напряжениях ЭСР; показать, что механические воздействия (многократные удары с ускорением 150 g и одиночные удары с ускорением 1500 g) и испытания на надежность снижают конструктивно-технологические запасы транзисторов по стойкости к ЭСР; разработать методику сравнительной оценки надежности партий транзисторов.

На основе анализа экспериментов на кремниевых биполярных транзисторах разработана методика разбраковки транзисторов по стойкости к воздействию ЭСР путем снятия зависимости коэффициента усиления по току до, после воздействия ЭСР и после термического отжига, который может применяться потребителями транзисторов на входном контроле. Эксперименты проводились на кремниевых биполярных транзисторах *VFP719* (*n-p-n*-типа) и *2SA555* (*p-n-p*-типа). Достоверность разбраковки подтверждалась путем стандартных испытаний на воздействие ЭСР. На вывода коллектор-база подавались по пять положительных и отрицательных воздействий ЭСР с напряжением, равным опасному для данного типа транзисторов, причем такое воздействие считалось за единичное. Испытания проводились, пока не имели место отказы всех транзисторов.

**Степень использования:** результаты внедрены в учебный процесс на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в учебный курс «Физические основы проектирования радиоэлектронных средств».

**Область применения:** полупроводниковая промышленность.

## SUMMARY

**Degalevich Dmitry Aleksandrovich**

### **Technical diagnostics of semiconductor items on resistance to influence of electrostatic discharges**

**Keywords:** electrostatic discharge, transistors, reliability, failures

**The object of study:** a research of diagnostic methods of rejection potentially unreliable PPP in case of influence of ESR and development of the technique allowing to select group of high-reliable products from PPP batch.

**The results and novelty:** the analysis of the general requirements to methods of non-destructive diagnostic check of PPP and criteria for prediction of potential reliability on random and parametric failures is carried out. It is shown that with opening of the phenomenon of annealing of electrostatic defects there was an opportunity to use this phenomenon by development of diagnostic valuation methods of products on quality and reliability.

Researches on influence of electrostatic impact on silicon field *FQP3N60C* MOS devices which allowed are conducted: to set the admissible potential of an electrostatic discharge on transistors; to define that increase in quantity of thermocycles leads to catastrophic failures at a smaller tension of ESR; to show that mechanical influences (repeated shocks with an acceleration of 150 g and single shocks with an acceleration of 1500 g) and reliability tests reduce constructive and technological inventories of transistors on resistance to ESR; to develop a method of comparative reliability assessment of batches of transistors.

On the basis of the analysis of experiments on silicon bipolar transistors the method of grading of transistors on resistance to influence of ESR by removal of dependence of a current amplification factor to, after influence of ESR and after thermal annealing which can be applied by customers of transistors on incoming inspection is developed. Experiments were made on the silicon bipolar transistors BFP719 (n-p-n-type) and 2SA555 (p-n-p-type). Reliability of grading was confirmed by standard tests for influence of ESR. On an output of the collector basis moved on five positive and negative impacts of ESR with tension, equal dangerous to this type of transistors, and such influence was read for single. Tests were carried out, failures of all transistors didn't take place yet.

**Degree of use:** results are implemented in educational process at department of design of information and computer systems of establishment of education "Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics" in a training course "Physical bases of design of radio-electronic means".

**Sphere of application:** semiconductor industry.