

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

На правах рукописи

УДК 621.3.049.77

ПАНСЕВИЧ
Сергей Александрович

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ ОТКАЗОВ МИКРОСХЕМ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ
ФАКТОРОВ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание степени
магистра техники и технологии

по специальности 1–38 80 04 «Технология приборостроения»

Минск 2018

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

Научный руководитель: **ПЕТЛИЦКАЯ Татьяна Владимировна**,
начальник сектора Государственного центра
«Белмикроанализ» НТЦ «Белмикросис-
темы» ОАО «ИНТЕГРАЛ», кандидат техни-
ческих наук, доцент

Рецензент: **КАЗЕКА Александр Анатольевич**,
кандидат технических наук, доцент, старший
научный сотрудник КБ «Радар»

Защита диссертации состоится «26» января 2018 г. года в 9⁰⁰ часов на заседа-
нии Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учре-
ждении образования «Белорусский государственный университет информа-
тики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6, 1 уч.
корп., ауд. 415, тел.: 293-20-80, e-mail: kafpiks@bsuir.by.

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

ВВЕДЕНИЕ

За последние 30 лет существенно повысились как уровень контроля технологий, так и качество производства интегральных микросхем, а топологические нормы достигают субмикро- и наноразмеров. С развитием программных технических средств обеспечения качества производства современной электронной компонентной базы, повышением стабильности воспроизведения параметров полупроводниковых структур выросли и значения энергий, необходимых для активации как уже ранее известных, так и новых механизмов отказов в структурах ЭКБ, а соответственно, повысились и показатели надежности производимой ЭКБ.

Расширение диапазона применения полупроводниковых приборов и ИС в аппаратуре специального назначения обуславливает более жесткие требования по механическим, вибрационным и ударным воздействиям, широкому температурному диапазону их работы, радиационной стойкости приводящим к отказам оборудования.

К основным особенностям электронной компонентной базы (ЭКБ), применяемой в условиях космического пространства, относятся:

- необходимость обеспечения длительных сроков безотказной работы (15 лет и более);
- расширенный температурный диапазон (от минус 60 до плюс 125 °С);
- стойкость к воздействию ионизирующих излучений космического пространства, других специфических дестабилизирующих факторов космического пространства.

Параллельно исследованиям образцов интегральных схем в испытательных центрах проводятся исследования встроенных тестовых структур аналогично испытаниям интегральных схем. По результатам исследования тестовых структур также могут определяться энергии активации отдельных механизмов отказов для современных технологий изготовления интегральных микросхем.

Проведение ускоренных (экстремальных) испытаний на безотказность и устойчивость ИМС является эффективным способом оперативного получения информации о надежности планируемых к применению ИМС в тех случаях, когда требуется в сжатые сроки оценить надежность параметры поставленной изготовителем партии приборов, а также в случае использования субмикронных технологий изготовления этих ИМС, поскольку для технологий глубокого субмикрона не всегда имеется обширная база данных о надежности характеристиках.

Требования по радиационной стойкости элементной базы, т.е. способности выполнять свои функции и сохранять параметры в пределах

установленных норм вовремя и после воздействия ионизированного излучения, как на уровне конструктивного исполнения изделий, так и на уровне логики их работы в составе радиоэлектронной аппаратуры, являются актуальными, так перед разработчиками возникает задача свести к минимуму нежелательные последствия, обусловленные действием внешнего ионизирующего излучения, путем рационального выбора существующей и разрабатываемой элементной базы, идущей на комплектацию аппаратуры, применение специальных схемотехнических, технологических и конструктивных решений. При этом эффективность принимаемых мер тем выше, чем на более ранних этапах разработки РЭА они реализуются.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Кроме космических применений современные интегральные микросхемы находят все более широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре различного рода технических объектов, также работающих в условиях воздействия проникающей радиации. Эти условия могут возникать как при попадании технического объекта в зону действия источников ионизирующего излучения техногенного происхождения, так и при расположении РЭА вблизи ядерных силовых и энергетических установок. Высокая стоимость подобных объектов обуславливает особо жесткие требования к надежности и безотказности элементной базы РЭА и, в первую очередь, к ИМС различного функционального назначения. Отказ одной ИМС в условиях воздействия дестабилизирующих факторов может повлечь за собой выход всего сложного и дорогостоящего объекта, причем последствия подобного отказа не всегда предсказуемы. Поэтому задача гарантированного обеспечения радиационной стойкости ИМС и аппаратуры на их основе является исключительно актуальной.

Каждое электронное устройство может подвергаться воздействию дестабилизирующих факторов, будь то климатическое воздействие, механические повреждения и т.д., вследствие чего возможно или нарушение работы, или же его полный выход из строя. Наравне с вышеприведенными факторами можно также назвать воздействие ионизирующего излучения на интегральные микросхемы, которое в свою очередь достаточно сложно диагностировать, в отличии, например, от механического повреждения.

Надежная работоспособность интегральных микросхем зависит от отсутствия дефектов как в отдельных конструктивных элементах микросхемы (транзисторы, диоды, резисторы и др.), так и в токопроводящих

дорожках, соединяющих эти элементы. Воздействие ионизирующего излучения способно нарушить целостность структуры ИМС, выведя из строя хотя бы один элемент или же связь между ними. Возникает задача свести к минимуму нежелательные последствия воздействия внешнего ионизирующего излучения путем рационального выбора существующей и разрабатываемой элементной базы, идущей на комплектацию аппаратуры, применение специальных схемотехнических, технологических и конструктивных решений. При этом эффективность принимаемых мер тем выше, чем на более ранних этапах разработки РЭА они реализуются.

К СБИС, предназначенным для применения в космических аппаратах, предъявляется ряд специфических требований: малое энергопотребление, малые габаритные размеры, широкий диапазон рабочих температур, высокая радиационная стойкость. Одним из важнейших параметров, определяющих радиационную стойкость КМОП СБИС, является устойчивость работы схемы в условиях стационарного ионизирующего излучения. В связи с переходом к субмикронным технологиям доминирующим механизмом деградации КМОП элементов становятся радиационно-индуцированные токи утечки, их устранение является основой задачей современных методик разработки радиационно-стойких СБИС.

Таким образом, актуальность настоящей работы определяется:

- необходимостью создания и совершенствования ИС и их элементов, соответствующих современным требованиям по устойчивости функционирования в условиях воздействия дестабилизирующих факторов;

- недостаточной изученностью показателей надежности элементной базы КМОП ИС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм при воздействии СВВФ и энергопотреблении 3, 5 и 10 В;

- отсутствием экспериментальных данных позволяющих установить функциональные зависимости, при которых обеспечивается работоспособность ИМС и РЭА в целом.

Степень разработанности проблемы

Проникающие излучения все в большей степени используются в различных областях науки и техники. Источниками проникающего ионизирующего излучения могут быть радиационные пояса Земли, космическое излучение, атомные энергетические установки, ускорители, гамма-установки, рентгеновские и другие аппараты, создающие потоки электронов, гамма-квантов, нейтронов, тяжелых заряженных частиц. Под действием проникающей радиации изменяют свойства в основном все материалы: менее прочными становятся металлы, теряют прозрачность стекла, ухудшаются электрические характеристики полупроводников. Радиационные эффекты в полупроводниках (смещения атомов,

ионизация, ядерные реакции, поверхностные явления) приводят к деградации характеристик и сокращению срока работы полупроводниковых приборов и интегральных микросхем (ИМС) в полях проникающей радиации, а в конечном счете к сбоям в работе и выходу из строя радиоэлектронной аппаратуры.

На сегодняшний день существует достаточно большое количество работ в области определения влияния ионизирующего излучения на функционально сложные изделия.

Наиболее значимые результаты были получены российскими и белорусскими учеными, которые проводили исследования в таких областях, как радиационные эффекты в технологии полупроводниковых материалов и приборов (Ф.П. Коршунов, Ю.В. Богатырев, С.Б. Ластовский, И.Г. Марченко, Н.Е. Жданович); воздействие радиации на интегральные микросхемы (Ф.П. Коршунов, Ю.В. Богатырев, В.А. Вавилов); физика отказов полупроводниковых приборов и интегральных схем (В.М. Борздов, В.М. Молофеев, А.Н. Сетун), радиационные эффекты в интегральных микросхемах и методы испытаний изделий полупроводниковой электроники на радиационную стойкость (Э.Н. Вологдин, А.П. Лысенко). Среди зарубежных авторов особый интерес вызывают работы М.А. Хапсос, Г.П. Саммерс и Е.М. Джексон, в которых представлено описание некоторых механизмов влияния ионизирующего излучения для устройств с ультранизким энергопотреблением.

Одним из недостатков в представленной литературе является недостаточно полная информация в области радиационной стойкости субмикронных ИМС при питании их активных элементов напряжением 3, 5 и 10 В, а также влияние ионизированного излучения на работоспособность приборов в космических аппаратах. Предложенное исследование направлено на устранение данного недостатка.

Цель и задачи исследования

Целью диссертации является исследование физических механизмов повреждения ИМС и изучение дестабилизирующих факторов, приводящих к нарушению работоспособности ИМС в широкой области параметров.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы **следующие задачи**:

1. Анализ воздействия дестабилизирующих факторов на полупроводниковые приборы.

2. Методы анализа радиационной стойкости полупроводниковых компонентов при изготовления субмикронных интегральных микросхем и влияние радиационного воздействия на работоспособность микросхем.

3. Исследовать отказы интегральных микросхем в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, провести комплекс измерений

контрольных параметров таких, как напряжение пробоя и ток утечки МОП-транзисторов в исследуемых образцах, а также конструктивные и функциональные характеристики микросхем.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1–38 80 04 «Технология приборостроения».

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты известных исследований российских и белорусских ученых в области радиационной стойкости и воздействия ионизированного излучения на субмикронные ИМС.

Для получения теоретических результатов исследования применялась моделирование радиационного воздействия на испытываемые тестовые структуры.

Информационная база исследования изменения контрольных параметров таких, как напряжение пробоя и ток утечки МОП-транзисторов исследуемых образцов, при воздействии радиационного излучения сформирована на основе ранее проведенных исследований в данной области с последующим применением в диссертационной работе.

Научная новизна получены результаты, показывающие характер изменения параметров и оценку соответствия образцов тестовых модулей по стойкости к воздействию спецфакторов при различном энергопотреблении ИМС, по которым ранее исследования не проводились.

Определены образцы МОП-транзисторов, которые показывают наименьшие изменения параметров при воздействии спецфакторов.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Определение возможности применения тестовых структур в диапазоне температур от минус 60 до плюс 125 °С. Исследование поведения показателей надежности элементной базы КМОП ИМС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм. Измерения тестовых структур в диапазоне температур, определении значений при которых исследуемые образцы теряют работоспособность при повышенной температуре 150 °С и пробивном напряжении $U_{пр}$ более 10 В

2. Определение надежности образцов, обеспечивающих работоспособность до 200000 часов, для применения в конструкции тестовых элементов при разработке изделий категории качества «ВП» и «ОС».

3. Исследование отказов тестовых модулей в условиях воздействия дестабилизирующих факторов. Проведение комплекса измерений контрольных параметров таких, как напряжение пробоя и ток

утечки МОП-транзисторов исследуемых образцов, а также конструктивные и функциональные характеристики микросхем. На основе выполняемых исследований определить уровни радиационной стойкости исследуемых образцов и исследовать отказы интегральных микросхем при воздействии интенсивного ионизирующего излучения.

Теоретическая значимость диссертации заключается в разработке тестовой модели повреждения ИМС ионизированным излучением. Определены возможности применения тестовых структур в диапазоне температур. Исследовано поведение показателей надежности элементной базы КМОП ИМС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм. Определена фактическая стойкость к СВВФ.

Практическая значимость диссертации состоит в исследовании экспериментальной оценки устойчивости функционирования ИМС, расположенных на платах РЭА, позволяющая определять уровень стойкости электронных систем в целом, устанавливать их соответствие требованиям устойчивости функционирования в условиях воздействий дестабилизирующих факторов, проводить оценки радиационной стойкости современных микросхем и элементной базы изделий радиоэлектроники к воздействию интенсивного ионизированного излучения и принимать соответствующие этим оценкам меры защиты.

КМОП ИМС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм будут использованы при выполнении работ по разработке ИМС специального назначения.

Апробация и внедрение результатов исследования

Результаты исследований, вошедшие в диссертацию, докладывались и обсуждались на следующих республиканских и международных конференциях и семинарах: 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, Беларусь, 2017 г; IX Международная научно-практическая конференция «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации» г. Пенза, Россия, 2018 г., XVI Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований» Омск, Россия, 2018 г.; XI Студенческая международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия», Новосибирск, Россия 2018г. VII Международная научно-практическая конференция, г. Пенза, Россия, 2018 г.

Опубликование результатов диссертации

Изложенные в диссертации основные положения и выводы опубликованы в 6 печатных работах. В их числе 6 статей в сборниках материалов научных конференций.

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации – 146 страниц. Работа содержит 12 таблиц, 42 рисунка. Библиографический список включает 56 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблемы выхода из строя устройств после воздействия дестабилизирующих факторов, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, апробации результатов диссертации и их опубликованность, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** представлен анализ этапов развития теории и практики надежности, приводится описание влияний радиационных эффектов в полупроводниках, которые приводят к деградации характеристик и сокращению срока работы полупроводниковых приборов и интегральных схем (ИС) в полях проникающей радиации, а в конечном счете к сбоям в работе и выходу из строя радиоэлектронной аппаратуры. На рисунке 1 показана общая зависимость интенсивности отказов от времени.

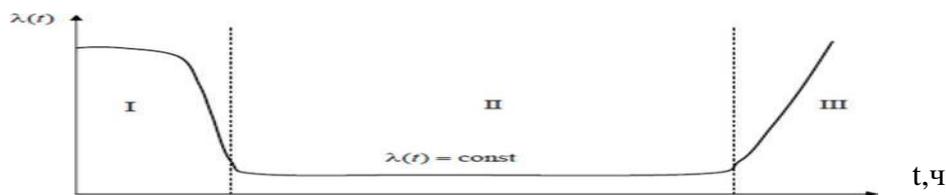


Рисунок 1 – Зависимость интенсивности отказов $\lambda(t)$ от времени

Форма функции практически не зависит от критериев годности, условий эксплуатации и размера партии испытуемых изделий.

Дается определение гамма-процентной наработки на отказ и приводится формула для её расчета. На основе анализа экспериментальных и теоретических исследований, сформулированы задачи для достижения поставленной в диссертационной работе цели.

Вторая глава посвящена изучению влияния радиационных воздействий на полупроводниковые приборы и ИМС. Изучению воздействий излучения на параметры резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, полупроводниковых приборов и ИМС.

Показано, что удельное сопротивление (удельная проводимость) полупроводника зависит от начальных характеристик материала:

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = e(n\mu_n + p\mu_p), \quad (1.2)$$

где σ, ρ – соответственно удельная проводимость и сопротивление;
 n, p – концентрация электронов и дырок;
 μ_n, μ_p – подвижности электронов и дырок;
 e – заряд электрона.

Изменение удельного сопротивления полупроводниковых материалов

n - и p -типов от интегрального потока излучения имеет экспоненциальную зависимость:

$$\rho_\phi = \rho_0 \exp(K_p \Phi), \quad (1.3)$$

где ρ_0, ρ_ϕ – удельное сопротивление полупроводникового материала соответственно до и после облучения;

K_p – радиационная постоянная удельного сопротивления полупроводника.

В данной главе также изучаются виды радиационных испытаний изделий полупроводниковой электроники и определяются зависимости основных радиационно-чувствительных параметров изделий от характеристик воздействующих радиационных факторов.

Приведены применяемые технологии изготовления КМОП БИС с целью повышения стойкости к ионизирующему облучению.

На рисунке 2 показана технология для повышения пороговых напряжений паразитных p -канальных транзисторов КМОП схем с сформированным охранным кольцом p -типа под слоем локального окисла. Данная структура КМОП схем обеспечивает работоспособность КМОП схем при дозах облучения до 10^3 рад.

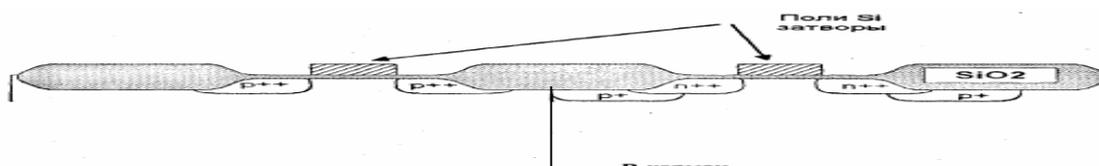


Рисунок 2 – Охранное кольцо p – типа

Топология p -канального транзистора и области инверсии типа проводимости показана на рисунке 3.

Приведенная топология возникает под действием ионизирующего излучения при облучении дозами 10^4 рад и выше.

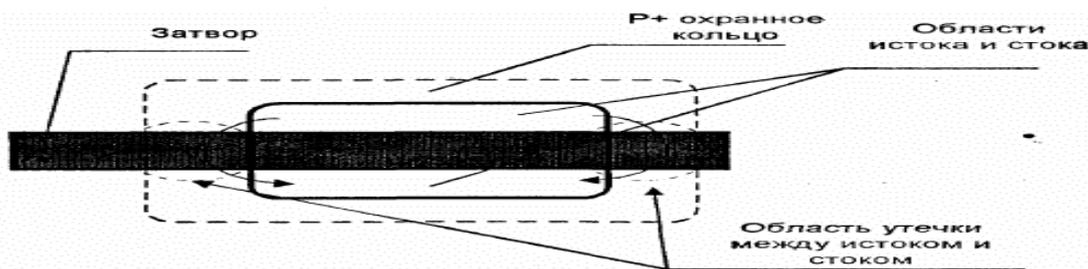


Рисунок 3 – Топология *p*-канального транзистора и области инверсии типа проводимости

На рисунке 4 технология с топологией *p*-канального транзистора с охраной, поперек затвора.

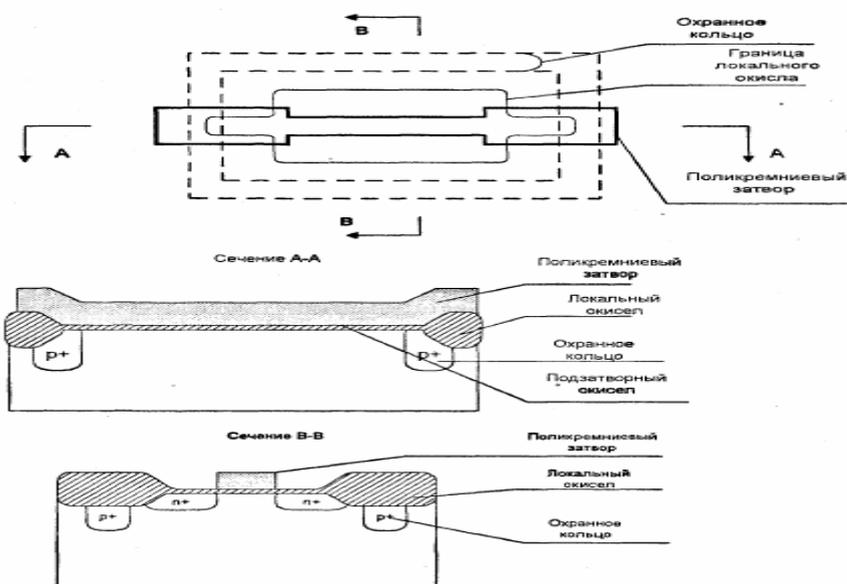


Рисунок 4 Топология *p*-канального транзистора и сечения транзистора вдоль и поперек затвора. Охрannое кольцо *p*-типа сформировано под локальным окислом

Приведенная топология обеспечивает устойчивость к воздействию ионизирующего излучения с дозами $>10^6$ рад.

В третьей главе проведены исследования и определены показатели надежности тестовых матриц трех вариантов интегральных микросхем с энергопотреблением 3, 5, 10 В.

Проведены испытания на гамма-процентную наработку ($\gamma = 97,5\%$) не менее 200000 часов при температуре $(65 \pm 5)^\circ\text{C}$ тестовых модулей ТЗ-Т7, собранных в корпус 422.02.64., которые проводились методом ускоренных испытаний в соответствии с РД 11 0755-90 ($T=125^\circ\text{C}$; 145°C).

В данной главе проводилась проверка электрических параметров в диапазоне рабочих температур (от минус 60 до плюс 125 °С) с энергопотреблением 3, 5, 10 В.

Исследование на устойчивость к СВВФ с характеристиками 7И₇ (7И₁₀) в диапазоне 3У_с – 5У_с. Работы выполнялись на трех вариантах тестовых матриц с энергопотреблением 3, 5, 10 В.

Установлены показатели надежности элементной базы КМОП ИМС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой главе рассматривается анализ изучаемого вопроса и нарушения работоспособности полупроводниковых приборов, в том числе ИМС, под действием дестабилизирующих факторов. В данной главе был представлен анализ этапов развития теории и практики надежности, перечислены факторы, которые замедляли темпы развития разработки и производства новых ИМС.

В первой главе приводится описание влияний радиационных эффектов в полупроводниках, которые приводят к деградации характеристик и сокращению срока работы полупроводниковых приборов и интегральных микросхем в полях проникающей радиации, а в конечном счете к сбоям в работе и выходу из строя радиоэлектронной аппаратуры.

Дается определение гамма-процентной наработки на отказ и приводится формула для её расчета, в рамках данной диссертации, были проведены исследования и определение показателей надежности тестовых матриц. Проведены испытания на гамма – процентную наработку ($\gamma = 97,5\%$) не менее 200000 часов при различных температурах, исследование на устойчивость к СВВФ с характеристиками 7И₇ (7И₁₀) в диапазоне 3У_с – 5У_с трех вариантов интегральных микросхем с энергопотреблением 3, 5, 10 В.

Вторая глава посвящена изучению влияния радиационных воздействий на полупроводниковые приборы и ИМС. Изучению воздействий излучения на параметры резисторов, конденсаторов, катушек индуктивности, полупроводниковых приборов и ИМС. Экспериментально показано, что концентрация основных носителей заряда в широком диапазоне доз облучения имеет экспоненциальную зависимость от интегрального потока облучения: Во второй главе также изучаются виды радиационных испытаний изделий полупроводниковой электроники и определяются зависимости основных радиационно чувствительных параметров изделий от характеристик воздействующих радиационных

факторов. Приведены применяемые технологии изготовления КМОП БИС с целью повышения стойкости к ионизирующему излучению.

В заключительной главе приведены результаты испытаний на гамма-процентную наработку ($\gamma = 97,5 \%$) не менее 200000 часов при температуре $(65 \pm 5)^\circ\text{C}$ тестовых модулей ТМ3, ТМ5, ТМ6, ТМ7, собранных в корпус 422.02.64., которые проводились методом ускоренных испытаний в соответствии с РД 11 0755-90 ($T=125^\circ\text{C}$; 145°C).

В третьей главе также были проведены проверки электрических параметров в диапазоне рабочих температур (от минус 60 до плюс 125°C) с энергопотреблением 3, 5, 10 В и исследована устойчивость к СВВФ с характеристиками $7И_7$ ($7И_{10}$) в диапазоне $3У_c - 5У_c$ элементной базы КМОП ИМС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм на трех вариантах тестовых матриц с энергопотреблением 3, 5, 10 В.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1] Пансевич, С.А. Перспективные методы контроля дефектов подзатворного диэлектрика МДП структур / С.А. Пансевич, С.С. Мурашко // 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – 2017. – № 53. – С. 76.

[2] Пансевич, С.А. Воздействие радиоактивного излучения на параметры полупроводниковых приборов / С.А. Пансевич, С.С. Мурашко // 53-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – 2017. – № 53. – С. 56.

[3] Пансевич, С.А. Технология изготовления КМОП БИС с целью повышения стойкости к ионизирующему облучению / С.А. Пансевич, С.С. Мурашко // IX Международная научно-практическая конференция. – Пенза, 2018. – С. 11–14.

[4] Пансевич, С.А. Проведение испытаний на наработку до отказа методом ускоренных испытаний / С.А. Пансевич, С.С. Мурашко, Петровский Е.В. // XVI Международная научно-практическая конференция «Вопросы современных научных исследований». – Омск, 2018 г. – С. 123–124.

[5] Петровский Е.В. Применение растровой электронной микроскопии для диагностики интегральных микросхем / Е.В. Петровский, С.С. Мурашко, С.А. Пансевич, Е.В. Шкляр. // XI Студенческая международной научно-практической конференции «Научное сообщество студентов XXI столетия». – Новосибирск, 2018 г. – С. 254–258.

[6] Мурашко, С.С. Анализ методики оценки надёжности подзатворного и тунельного диэлектрика микросхем в диапазоне температур / С.С. Мурашко, С.А. Пансевич, Е.В. Петровский // Сборник научных статей «Актуальные вопросы развития территорий: теоретические и прикладные аспекты». – Пермь, 2018 г. – С. 167-168.

РЕЗЮМЕ

Пансевич Сергей Александрович

Исследование механизмов отказов микросхем в условиях воздействия дестабилизирующих факторов

Ключевые слова: радиационная стойкость, интегральная микросхема, ионизирующее излучение.

Цель работы: целью диссертации является исследование физических механизмов повреждения ИМС и изучение дестабилизирующих факторов, приводящих к нарушению работоспособности ИМС в широкой области параметров.

Полученные результаты и их новизна: проведены исследования и определены показатели надежности тестовых матриц трех вариантов интегральных микросхем с различным энергопотреблением 3, 5, 10 В.

Проведены испытания на гамма-процентную наработку ($\gamma = 97,5\%$) не менее 200000 часов при температуре $(65 \pm 5)^\circ\text{C}$, которые проводились методом ускоренных испытаний при температурах $T=125^\circ\text{C}$ и $T=145^\circ\text{C}$.

Проводилась проверка электрических параметров в диапазоне рабочих температур (от минус 60 до плюс 125°C) при энергопотреблении 3, 5, 10 В.

Исследование на устойчивость к СВВФ с характеристиками 7И_7 (7И_{10}) в диапазоне $3\text{У}_c - 5\text{У}_c$. Работы выполнялись на трех вариантах тестовых матриц с энергопотреблением 3, 5, 10 В.

Установленные показатели надежности элементной базы КМОП ИМС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм

Определены образцы МОПТ, которые показывают наименьшие изменения параметров при воздействии спецфакторов.

Степень использования: результаты внедрены в производственный процесс и использованы при проведении научно-исследовательской работы НИОКР «Исследование надежности элементной базы КМОП ИМС с проектными нормами 0,5 – 0,35 мкм и разработка методик оперативного контроля надежности ИМС специального назначения в процессе производства с помощью тестовых структур», основные результаты вошли в научно-технические отчеты.

Область применения: интегральные микросхемы.

РЭЗІЮМЭ
Пансевіч Сяргей Аляксандравіч

Даследаванні механізму адмовы мікрасхем у ўмовах ўплыву дэстабілізуючых фактараў

Ключавыя словы: радыяцыйная ўстойлівасць, інтэгральная мікрасхема, іянізавальнае выпраменьванне.

Мэта працы: мэтай дысертацыі з'яўляецца даследаванне фізічных механізмаў поврежджэня ІМС і вывучэнне дэстабілізуючых фактараў, якія прыводзяць да парушэння працаздольнасці ІМС у шырокай вобласці параметраў.

Атрыманыя вынікі і іх навізна: праведзены даследаванні і вызначаны паказчыкі надзейнасці тэставых матрыц трох варыянтаў інтэгральных мікрасхем з розным энергаспажываннем 3, 5, 10 В. Праведзены выпрабаванні на гама-працэнтную напрацоўку ($\gamma = 97,5\%$) не менш 200000 гадзін пры тэмпературы $(65 \pm 5)^\circ\text{C}$, якія праводзіліся метадам паскораных выпрабаванняў пры тэмпературах $T = 125^\circ\text{C}$ і $T = 145^\circ\text{C}$. Праводзілася праверка электрычных параметраў у дыяпазоне рабочых тэмператур (ад мінус 60 да плюс 125°C) пры энергаспажыванні 3, 5, 10 В.

Даследаванне на ўстойлівасць да СВВФ з характарыстыкамі $7И_7$ ($7И_{10}$) у дыяпазоне $3U_c - 5U_c$. Работы выконваліся на трох варыянтах тэставых матрыц з энергаспажываннем 3, 5, 10 В.

Устаноўленыя паказчыкі надзейнасці элементнай базы КМОП ІМС з праектнымі нормамаі 0,5–0,35 мкм

Вызначаны ўзоры МОПТ, якія паказваюць найменшыя змены параметраў пры ўздзеянні спецфактараў.

Ступень выкарыстання: вынікі ўкаранёны ў вытворчы працэс і выкарыстаны пры правядзенні навукова-даследчай работы НДВКП «Даследаванне надзейнасці элементнай базы КМОП ІМС з праектнымі нормамаі 0,5–0,35 мкм і распрацоўка метадык аператыўнага кантролю надзейнасці ІМС спецыяльнага прызначэння ў працэсе вытворчасці з дапамогай цеста-вых структур», асноўныя вынікі ўвайшлі ў навукова-тэхнічныя справаздачы.

Вобласць ужывання: інтэгральныя мікрасхемы.

SUMMARY

Pansevich Sergey Aleksandravich

Investigation of mechanisms of failure of microcircuits in the conditions of influence of destabilizing factors

Keywords: radiation resistance, integrated microcircuit, ionizing radiation..

Objective: the aim of the thesis is to study the physical mechanisms of damage to the IC and to study the destabilizing factors that lead to a disruption of the IMS performance in a wide range of parameters.

The results and their novelty: the researches and reliability indicators of test matrices of three variants of integrated microcircuits with different energy consumption of 3, 5, 10 V. Tests for gamma-percentage production ($\gamma = 97.5\%$) for at least 200,000 hours at a temperature of $(65 \pm 5) ^\circ\text{C}$, which were carried out by accelerated testing at temperatures $T = 125 ^\circ\text{C}$ and $T = 145 ^\circ\text{C}$. The electrical parameters were checked in the range of operating temperatures (from minus 60 to plus 125 $^\circ\text{C}$) with an energy consumption of 3, 5, 10 V. Investigation of the resistance to VCLF with the characteristics of $7I_7$ ($7I_{10}$) in the range $3U_s - 5U_s$.

The work was performed on three variants of test matrices with power consumption 3, 5, 10 V. The established reliability indices of the CMOS IMS element base with design standards 0,5 – 0,35 μm The samples of MOSFETs are shown, which show the smallest changes in the parameters under the influence of special factors.

Use degree: the results are implemented in the production process and used for R & D research «Investigation of the reliability of the CMOS IMS element base with design standards 0,5 – 0,35 μm and the development of techniques for operational control of reliability of special purpose IMS for manufacturing with the help of test structures», main results entered the scientific and technical reports.

Field of application: integrateds microcircuits.