

МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Для служебного пользования

Экз. N \_\_\_\_

УРБАНОВИЧ  
ПАВЕЛ ПАВЛОВИЧ

СТРУКТУРНО-ИЗЫТОЧНЫЕ МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ  
ОТКАЗОУСТОЙЧИВОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МИКРОСХЕМ  
ПАМЯТИ С ГРУППИРУЮЩИМИСЯ ОТКАЗАМИ

Специальность: 05.13.05  
Элементы и устройства  
вычислительной техники  
и систем управления

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Москва-1993



Работа выполнена в Минском радиотехническом институте

Научный консультант -

академик АН Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор ЛАБУНОВ В.А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор

БАРИНОВ В. В.

доктор технических наук, профессор

МОРОЗЕВИЧ А.Н.

доктор технических наук, профессор

ОГНЕВ И. В.

Ведущая организация -

Киевский научно-исследовательский институт микроприборов

Защита состоится 23 мая 1993 г. в 12 часов на заседании специализированного совета Д. 063.16.09 при

Московском энергетическом институте по адресу:

105855, ГСП, Москва, Е-250, Красноказарменная ул., 14,

Ученый Совет МЭИ

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МЭИ

Автореферат разослан

1993г.

Ученый секретарь

специализированного совета

к. т. н., доцент

ЛАДЫГИН И. И.

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Увеличение сложности решаемых радиоэлектронными устройствами (прежде всего, это относится к бортовым средствам) задач требует поступательного увеличения надежности и быстродействия интегральных схем (ИС) запоминающих устройств (ЗУ), составляющих основу современных устройств вычислительной техники и систем управления. Повышение быстродействия и информационной емкости ИС ЗУ (с учетом степени интеграции называемых большими - БИС или сверхбольшим - СБИС) достигается, прежде всего, уменьшением геометрических размеров элементов, что сказывается на заметном усилении электрических полей и увеличении плотности токов в кристалле, ужесточении требований по теплоотводу, повышенной восприимчивости кристалла к различным дестабилизирующим факторам.

К основным из таких факторов относятся собственные дефекты кристалла, вызванные несовершенством технологии и условиями производства, которые определяют, в основном, выходы годных (ВГ) изделий и приводят к ранним отказам при эксплуатации приборов, а также электрические шумы и некоторые виды ионизирующих излучений. Отмеченные факторы характеризуются одной общей чертой - они порождают неприемлемые изменения параметров изготовленной ИС. Эти отклонения ведут к снижению ВГ и надежности микросхем, а, следовательно, и к ухудшению технологичности изделий. Таким образом, важнейшей из общих проблем техники полупроводниковых ЗУ является проблема обеспечения требуемых ВГ и надежности кристаллов памяти.

В концептуальном плане отмеченная двуединая проблема (ВГ и надежность) должна решаться комплексно и, прежде всего, на этапе проектирования и создания ИС. С другой стороны, проблема надежности микросхем памяти (равно - и других микроэлектронных устройств) может быть разбита на две составные части: первая включает определение показателей достоверности функционирования ИС и оценку этих показателей (задача анализа), вторая часть - рассмотрение методов построения ЗУ, обеспечивающих требуемые показатели надежности (задача синтеза). Ясно, что только учет взаимосвязи задач анализа и синтеза позволяет создать устройства памяти, обеспечивающие оптимальные или наивысшие показатели - надежности, быстродействия, ВГ СБИС и др. (каждого наперед заданного параметра или нескольких вместе взятых).

Основным направлением решения второй из отмеченных составных

частей рассматриваемой проблемы, связанной практически с разработкой структуры ИС и принципов (алгоритмов) взаимодействия отдельных ее блоков, является реализация методов структурной и временной избыточности в ИС, связанных с размещением на кристалле дополнительных запоминающих и логических элементов и подучивших в литературе общее название методов структурной избыточности.

Разработка структурно-избыточных методов, адекватных характеру возникающих на кристалле дефектов (производства) и отказов (эксплуатации ИС), невозможна без успешного решения первой из вышеуказанных частей проблемы надежности: определение и оценка показателей надежности ИС памяти. К началу проведения исследований автора (конец семидесятых годов) и в значительном большинстве более поздних известных специалистам публикаций (в стране и за рубежом) по анализируемой проблеме основой теоретических и практических результатов моделирования и расчета ВГ и надежности ИС ЗУ были биномиальный и пуассоновский законы распределения, что нередко приводило к излишне оптимистичным, не подтверждавшимся практикой выводам. Одна из основных причин такого положения состояла в отсутствии статистически достоверных экспериментальных данных о характере, эволюции (при переходе на новую ступень интеграции) и видах возникающих в ИС ЗУ неисправностей.

Вместе с тем рост степени интеграции ИС ЗУ и возрастающие требования к надежности и технологичности этих устройств, широкое внедрение САПР ИС ЗУ потребовали переосмысления или пересмотра (по отдельным позициям) теоретических основ моделирования распределения неисправностей с учетом и подтверждением тенденции к группированию отказов, разработки адекватных кодовых конструкций для помехоустойчивого кодирования информации не только в кристаллах памяти, но и в системах памяти с интеграцией на полупроводниковой пластине (СИП) .создания методов построения отказоустойчивых ИС ЗУ высокой и сверхвысокой степени интеграции.

В соответствии и с учетом изложенного тема диссертационной работы является важной и актуальной и определяет цель исследований.

**Целью работы** является комплексное исследование, разработка и внедрение методов построения отказоустойчивых микросхем полупроводниковой памяти высокой и сверхвысокой степени интеграции.

Для достижения поставленной цели требовалось решить следующие основные **задачи**:

1. Разработать аналитические модели распределения отказов на кристаллах микросхем памяти, позволяющие с требуемой точностью прогнозировать выход функционально годных изделий и их надежность, а также плотность и степень группирования отказов, возникающих на кристалле при его изготовлении и использовании в составе РЗА.

2. Провести комплексные исследования по сбору и обработке статистически достоверных результатов распределения отказов (дефектов) на кристаллах СВИС ЗУ различной архитектуры, информационной емкости, назначения и технологии изготовления.

3. Разработать и практически реализовать структуры отказоустойчивых СВИС ЗУ на основе помехоустойчивого кодирования хранимой информации и резервирования элементов при группирующихся и статистически независимых дефектах и отказах на кристалле.

Решение перечисленных задач осуществлялось в рамках хоздоговорных, госбюджетных и госбюджетных целевых НИОКР за время научно- практической и педагогической деятельности автора на кафедрах радиопередающих устройств и радиотехнических систем, микроэлектроники, радиоприемных устройств Минского радиотехнического института в период с 1973 по 1992гг. в рамках Всесоюзных (СССР) и республиканских научно-технических программ: межотраслевой Программы "Память", общесоюзной Программы 0.26.06 (утв. ГКНТ СССР от 30.10.86, N666), республиканской Программы 18.01р, утв. АН, Минвузом БССР от 11.06.36, N233/440, межотраслевой республиканской Программы по информатике на 1983-1996 г. (Пост. СМ БССР п327 от 16.11.33), Программы Госкомитета по вычислительной технике и информатике (Пост. ГКВТИ СССР N6 от 24. 01.1990).

**Методы** проведенных исследований базируются на теории построения отказоустойчивых вычислительных структур и логических автоматов, теории помехоустойчивого кодирования, теории вероятностей и математической статистике, теории графов, методах организации и автоматизации научных исследований.

**Научная новизна** работы состоит в следующем:

1. На основе сформулированных и обоснованных базовых положений разработаны аналитические модели распределения дефектов на кристаллах микросхем памяти, позволяющие с достаточной для практического применения точностью учесть группирование производственных дефектов на кристалле или в отдельных строках накопителя ИС.

2. Разработаны теоретически обоснованные аналитические модели распределения отказов на кристаллах памяти, позволяющие произво-

дить оценку надежности отказоустойчивых кристаллов ЗУ при коррекции ошибок (в словах данных, хранимых в этих устройствах) различной кратности еще на этапе проектирования изделий.

Исследованы и разработаны структурно-топологические модели кристаллов статических ЗУ (СЗУ) и ДЗУ, позволяющие оценить величину аппаратной избыточности, вносимой на кристалл схемами обнаружения и коррекции ошибок, отличающиеся малым числом оперируемых параметров.

Разработаны конструкции кодов для нейтрализации одиночных, двойных смежных и парных (группирующихся) ошибок, отличающиеся от известных (при одинаковой корректирующей способности) меньшим числом проверочных символов на кодовое слово.

5. Предложены новые методы построения и алгоритмы функционирования отказоустойчивых СВИС (ВИС) ЗУ, расположенных как на отдельных кристаллах, так и интегрированных на целых полупроводниковых пластинах; методы позволят, в сравнении с известными, повысить информационную емкость, надежность и быстрдействие ЗУ.

**Практическая ценность** работы заключается в следующем:

1. Получены статистически достоверные экспериментальные результаты распределения производственных (возникающих при производстве кристаллов) и эксплуатационных отказов в ИС ЗУ различной информационной емкости, архитектуры, назначения и технологии изготовления, охватывающие весь цикл (освоение производства, доводка схемы, конструкции и технологии изготовления прибора, отлаженный техпроцесс) производства ИС и позволяющие оценить точность существующих и вновь создаваемых аналитических моделей распределений отказов для инженерных вычислений.

2. Разработан комплекс методик для оценки аппаратных затрат на реализацию схем кодирования и декодирования информации (кодера и декодера) в ИС ЗУ и для определения плотности и степени группирования дефектов в этих устройствах; методики позволяют упростить процедуру расчета площади кристалла под избыточные схемы, а соответственно - сократить время проектирования микросхем памяти.

Разработаны практические рекомендации по использованию отказоустойчивых СВИС энергонезависимых ЗУ в составе РЭА, позволяющие, например, повысить эффективность отладки программного обеспечения при использовании перепрограммируемой памяти с избыточностью.

Разработаны программы прогнозирующего расчета на ЭВМ

(ПЭВМ) выхода годных и надежности отказоустойчивых СВИС ЗУ, переданные в Госфонд алгоритмов и программ и на промышленные предприятия, где используются в составе программного обеспечения САПР РЭА (акты использования - в приложении к диссертации), позволяющие повысить эффективность труда разработчиков микросхем памяти путем сокращения времени аналитических расчетов и сопоставительного анализа существующих методов повышения отказоустойчивости проектируемых изделий.

Б. Разработаны и доведены до практического воплощения при непосредственном участии автора в НПО "Интеграл" (Минск) и НПО "Микропроцессор" (Киев) структуры отказоустойчивых ИС ЗУ на основе помехоустойчивого кодирования информации и резервирования элементов накопителя (серии К541, К565, К1500, К573), что подтверждено отзывами организаций, внедривших соответствующие результаты.

Результаты по использованию методов повышения отказоустойчивости ЗУ и микропроцессоров переданы и используются в НИИТТ (Москва), НПО "Муссон" (Севастополь), ВНИИРПА им. Попова ( Ленинград), ВНИИТР (Москва) и в другие заинтересованные организации (акты внедрения и использования - в приложении).

6. Результаты выполненных исследований использованы автором в курсах "Микропроцессорные устройства обработки информации" и "Аналоговые электронные устройства", в курсовом и дипломном проектировании при обучении студентов по специальности 0701 (2301) в Минском радиотехническом институте (см. приложение).

Суммарный годовой экономический эффект от внедрения и использования результатов диссертационной работы составляет более полумиллиона рублей.

Работа автора по теме диссертации, представленная в 1986 г. на республиканский конкурс на лучшую НИР, выполненную молодыми учеными и специалистами по совершенствованию РЭА, признана лучшей по итогам конкурса.

**Квалификационная характеристика.** Совокупность научных и практических результатов, полученных в работе на основе сформулированных и обоснованных положений, представляет собой решение важной народнохозяйственной проблемы по повышению отказоустойчивости (выхода годных и надежности) полупроводниковых микросхем памяти высокой и сверхвысокой степени интеграции.

**Автор защищает:**

- статистические результаты исследований и моделирования на ЭВМ производственных и эксплуатационных отказов в кристаллах памя-

ти;

аналитические модели распределений отказов на кристаллах полупроводниковых микросхем памяти высокой и сверхвысокой степени интеграции;

структурно-топологические модели кристаллов СЗУ и ДЗУ;

конструкции кодов для исправления одиночных и многократных группирующихся ошибок в словах данных;

методы построения и алгоритмы функционирования отказоустойчивых ИС ЗУ, расположенных как на отдельном кристалле, так и интегрированных на целой пластине;

методики оценки быстродействия и аппаратных затрат на реализацию кодера и декодера в ИС ЗУ, определения плотности и степени группирования дефектов в кристаллах памяти;

методику использования отказоустойчивых ИС энергонезависимых ЗУ в отладочном процессе (программного обеспечения) в составе РЭА.

**Апробация работы и публикации.** По материалам диссертационного исследования автором сделаны доклады на 19 международных (МНТ), Всесоюзных (ВНТ) и республиканских (РНТ) конференциях (К), симпозиумах (С) и семинарах (См), в том числе на: ВНТК "Методы функциональной электроники в реализации радиотехнических устройств" ( Киев, 1982), ВНТСм "Проблемы ЭМС в радиопередающих устройствах" (Москва, 1983), РНТК "Перспективы развития и применения автоматизированной радиоизмерительной аппаратуры в народном хозяйстве" (Минск, 1985), ВНТК "Состояние и перспективы развития микроэлектронной техники" (Минск, 1985), ВНТСм "Прогрессивная технология изготовления гибридных интегральных микросхем" (Москва, 1985), XII ВНТК по микроэлектронике (Тбилиси, 1987), 1-й Всес. школе-семинаре "Разработка и внедрение в народное хозяйство персональных ЭВМ" (Минск, 1988), МНТС "INF0-89" (Минск, 1989), VII МНТК по микроэлектронике (Минск, 1990), ВНТК "Опыт разработки, производства и применения БИС РПЗУ, ПЗУ и ПЛИС" (Киев, 1988, 1990), ВНТК "Проблемы и перспективы развития цифровой звуковой техники" (Ленинград, 1990), 5-ой чехословацкой международной конференции по микроэлектронике (Братислава, 1989), международном научном коллоквиуме в Ильенау (ГДР, 1990), ВНТК "Современные методы обеспечения качества и надежности электронных приборов, устройств и систем" (Москва, 1990), ВНТК "Методы и системы технической диагностики" (Саратов, 1990), Всесоюзной научной сессии, посвященной Дню радио (Москва, 1991),

III ВНТК "Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов" (Кишинев, 1991). Кроме того, результаты докладывались и обсуждались на научных и научно-практических конференциях и семинарах профессорско-преподавательского состава и сотрудников МРТИ с 1978 по 1991гг., кафедр РПДУ и РТС, микроэлектроники, РПУ Минского радиотехнического института, ученых и специалистов СКТВ НПО "Интеграл" (Минск), НПЮ "Микропроцессор" (Киев), ВНИИРПА им. Попова (Ленинград), НПО "Муссон" (Севастополь).

Всего по теме исследований опубликовано 84 научных работы (39 - без соавторов), в том числе 66 - печатных; получено 24 авторских свидетельства СССР на изобретение; в издательстве "Навука і тэхніка" готовится к изданию монография "Избыточность в полупроводниковых интегральных микросхемах памяти".

Структура и объем диссертации. Основной текст работы включает введение, шесть глав, заключение и списки использованной литературы (реферируемой и авторской – (А1) и содержит 280 страниц машинописного текста, 20 таблиц, 83 рисунка и иллюстрации.

## II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во впадении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования, определена его цель; сформулированы научные и практические результаты работы и защищаемые автором положения.

**В первой главе** проведен анализ методов повышения ВГ и надежности ИС ЗУ, критически проанализировано общее состояние проблемы технологичности полупроводниковой памяти с точки зрения и создателей, и потребителей этих изделий.

Установленные определенная связь, существующая между уровнями ВГ ИС и эксплуатационной надежностью этих приборов, общность решения двуединой проблемы технологичности (прежде всего, ВГ) ИС предопределяют единый подход к рассмотрению причинно-следственных связей или таксономии понятий из области дефекто- и отказоустойчивости микросхем памяти (или СВИС вообще).

Отклонение параметров изготовленной и эксплуатируемой ИС от спроектированной может быть вызвано причинами, обусловленными кристаллом либо условиями и временем эксплуатации. Первая причина определяют ВГ изделий, на надежность же оказывают влияние обе. Причинно-следственные отношения проявляются при этом таким образом, что дефект (неисправность) является причиной отказа ИС, вызывающего, в свою очередь, информационную ошибку хранения двоичной информации в данном устройстве.

Небольшой объем опубликованной информации о дефектности кристаллов ЗУ можно объяснить тем, что эти сведения стараются не разглашать. Однако, судя по всему, разработчикам СБИС ЗУ придется сталкиваться с плотностями дефектов от 0,01 до 0,15 дефектов/мм<sup>2</sup>, а по некоторым данным - не менее 200 дефектов/мм<sup>2</sup>. Не все кристаллы, успешно прошедшие испытания на ВГ, являются бездефектными. Скрытые дефекты и необнаруженные проектные ошибки, оставшиеся не выявленными из-за недостаточно совершенной методики испытаний, - ведь исчерпывающие испытания на все возможные виды отказов (особенно с учетом увеличения чувствительности ИС к дефектам с уменьшением проектных норм) провести просто невозможно - влияют, прежде всего, на эксплуатационную надежность памяти.

Важным выводом, который сделан на основе изучения вопроса о производственных и эксплуатационных отказах в кристаллах памяти, является то, что нередко использовавшееся предположение о преимущественном отказе всего кристалла является ошибочным ("пессимистическим").

Рассмотрены особенности построения избыточных ЗУ с резервированием элементов накопителя и на основе помехоустойчивого кодирования хранимой информации. Проведен сопоставительный анализ различных подходов (резервирование отдельных элементов памяти - ЭП. строк или столбцов накопителя) в создании резервированных устройств. Проведенный анализ показал, что относительная площадь кристалла под резерв колеблется от единиц до десятка процентов; быстродействие резервных ЗУ также зависит от используемого метода.- при резервировании строк снижение быстродействия может составлять единицы процентов, а при резервировании столбцов - оно может не изменяться вообще; в вопросе использования избыточности один факт стал неоспоримым: использование резервирования в СБИС ЗУ экономически выгодно, целесообразно и используется практически везде. Однако рост степени интеграции ИС ЗУ и информационной емкости кристаллов привели к тому, что резервирование целых строк или столбцов (особенно в многоразрядных устройствах) не может считаться эффективным с точки зрения и быстродействия, и обеспечиваемого при этом увеличения ВГ ИС.

При анализе кодовых методов повышения надежности отдельных кристаллов памяти (в отличие от сравнительно более распространенного применения методов в отношении систем памяти на базе множества ИС) установлено, что основными типами используемых кодов стали

коды Хэмминга и итеративный, обеспечивающие минимальную "плату" за достигаемое при этом увеличение ВГ и надежности ИС. Однако синтез новых кодов, по классу аналогичных названным, проводится преимущественно в направлении их применения для контроля и коррекции ошибок в словах данных больших систем памяти на базе многих корпусов.

Для выработки адекватных средств нейтрализации неисправностей на кристалле ИС ЗУ пользуются статистическими исследованиями распределения дефектов и отказов на кристалле, информация о которых крайне ограничена, либо аналитическими моделями, которые в основе своей принимают распределение производственных (как правило) и эксплуатационных (всегда) отказов статистически независимыми. При установленной тенденции к группированию (clustering) отказов не только на пластине, но и на отдельно взятом кристалле возникает потребность в разработке практически новой методологии проектирования отказоустойчивых СВИС ЗУ (анализ и моделирование неисправностей, новые эффективные кодовые структуры, структурные и схемотехнические решения). Кроме того, при пользовании любой из моделей следует учитывать одну важную особенность: что понимается под числом дефектов. Это может быть число физических дефектов либо количество появившихся (в результате влияния дефектов) отказов ЭП. Первый подход предусматривает либо установление числа дефектов (разных типов) с помощью визуального контроля и специальных тестов, либо контроль функционирования только ЭП накопителя с последующим пересчетом отказов ЯП к дефектам (например, один дефект может вызвать отказ одного ЭП, одной или нескольких линеек ЭП, привести к отказу всего кристалла и др.). Во втором случае - весь набор не функционирующих ЭП накопителя не идентифицируется с какими-то одиночными дефектами кристалла, а может рассматриваться как некоторое абстрактное множество дефектных ЯП без установления причинно-следственной связи их появления. Ясно, что при втором подходе параметры распределения - среднее число дефектов  $q$ , и параметр  $\alpha$  группирования дефектов - существенно меняются по сравнению с их величинами в первом случае. Преимущества второго подхода связаны со сравнительной простотой определения и подсчета дефектных (отказавших) ЭП, а также возможностью определения степени группирования неисправностей не только по площади кристалла, но и в отдельных строках или столбцах накопителя, что очень важно при определении объема аппаратной избыточности кодовых методов повешения ВГ и надежности ИС.



существовать как во времени работы устройства, так и в площади кристалла. Определены предполагаемые границы увеличения надежности избыточных устройств с зависимыми отказами. Влияние этих связей становится заметным при относительной площади накопителя более 60... 65 %. Данные модели распределения зависимых отказов не могут быть отнесены к числу универсальных; их следует рассматривать и оценивать как одну из немногочисленных попыток математически описать процесс появления отказов в кристаллах памяти и влияние этих отказов на надежность ЗУ.

Конечные математические выражения разработанных моделей приведены к формам, удобным для проведения инженерных вычислений. Оценена аппроксимационная погрешность этих инженерных соотношений (не хуже 5...15%). На основе моделей разработано программное обеспечение, переданное в промышленность и включенное в реестр Госфонда алгоритмов и программ.

В пятой главе описаны алгоритмы функционирования, структуры, конструктивные и схемотехнические особенности построения ИС ЗУ с резервированием элементов накопителя.

Состав вводимого на базовый кристалл резерва ЭП и связанные с этим структура и алгоритмы зондовых испытаний и функционирования ИС выбраны с учетом статистики дефектов (отказов) на кристалле. В частности, на кристалле ИС ОЗУ К541РУЗ размещены 4 резервные строки и 2 резервных столбца (состав и объем резерва выбраны на основе статистических исследований, описанных в третьей главе реферируемой работы). Подключение резервных элементов вместо дефектных выполнено по способу ассоциативной выборки. Резервный дешифратор (РД), осуществляющий блокировку неисправных ЭП и подключение резервных, построен на основе программируемой логической матрицы (ПЛМ). Проведенные исследования динамических характеристик показали, что дополнительная задержка, возникающая при подключении резервных элементов вместо дефектных, составляет 2-4 нс, что увеличивает время выборки адреса ОЗУ не более, чем на 5%.

В другом из серийно выпускаемых изделий - К1500РУ490 (на основе ЭСЛ) размещены 6 резервных столбцов ЭП накопителя. Особенностью устройства является совмещение одним схемным блоком функций блокировки неисправных ЭП основного накопителя (ОН) и разрешения обращения к резервным столбцам. Последнее позволило достичь предельного быстродействия устройства. Использование только резервных столбцов позволяет снизить дополнительную задержку адресного сиг-

нала до величины примерно 1 нс, что является важнейшей отличительной особенностью разработанного устройства по сравнению с известными. Оптимальное (по критерию максимального ВГ ИС) количество резервных столбцов равно 6-8 (в соответствии с проведенными расчетами) для установившегося технологического процесса и отработанной конструкции устройства. Площадь кристалла возросла на 5 %, мощность потребления - на 4 %.

Обычно в ИС ЗУ дешифратор строк помещается в середине накопителя, разделяя каждую строку на две половины. При такой конструкции накопителя эффективным средством для увеличения ВГ может оказаться резервирование полустрок, что позволяет уменьшить общее количество резервных элементов. Так, если вероятность отказов ЭП значительно превосходит вероятность отказов строк (а именно этот факт установлен нами в ходе статистических исследований), то количество вводимых резервных строк можно снизить практически в 2 раза. Такая конструкция разработана применительно к ППЗУ.

Отличительным положительным эффектом использования предложенной конструкции от ранее известных аналогичного типа является снижение примерно на 25-30 % избыточной площади кристалла, а соответственно - и повышение ВГ изделий.

Соответствующие расчеты, проведенные по отраслевым методикам, показали, что использование резервных элементов позволило увеличить съем годных кристаллов (полной информационной емкости) с пластины в 2.6 ... 3.0 раза (расчеты и документальные подтверждения приведены в приложении к диссертационной работе).

Структуры описанных ИС ЗУ защищены авторскими свидетельствами на изобретение.

При создании систем памяти или СБИС с интеграцией на пластине (СИП) описанные методы соединения резервных схем и основного ЗУ не дают требуемого эффекта. Использование новых схмотехнических решений во взаимосвязи с известным общим подходом (мажоритарный метод объединения частично годных кристаллов) позволило в несколько раз повысить эффективную емкость ЗУ, размещаемого на пластине, упростить разводку шин и межсоединений.

Разработан метод построения СИП с внешним программируемым ЗУ. Сущность метода заключается в том, что накопитель каждого кристалла памяти условно разбивается на поднакопителя, число которых кратно степени двойки (размер такого поднакопителя определяется дефектностью кристалла: при малом (относительно) числе дефектов целесообразно

уменьшать размер поднакопителя), и дефектные поднакопители, адрес которых запоминается, из обращения исключается. Общая емкость ЗУ набирается из числа годных поднакопителей вне зависимости от того, в каком кристалле данной группы блоков памяти этот поднакопитель расположен.

Положим, что общая емкость памяти СИП формируется на базе матрицы стандартных кристаллов ИС ЗУ с  $N_{cr}$  рядами (линиями или строками) по  $N_c$  колонок (столбцов) в каждом. Блоки памяти, включающие стандартную ИС с цепями программирования адресов дефектных ЭП (подобно резервированным кристаллам памяти) с соответствующими информационными адресными и управляющими шинами, формируются одновременно в едином технологическом цикле. Накопители построены по одноразрядному принципу обращения, т. е. вся СИП является  $N_{cr}$  - разрядной (слова имеет длину  $N_{cr}$  бит).

Блок внешней памяти, предназначенный для размещения информации о порядке расположения дефектных поднакопителей в накопителях отдельных кристаллов, может представлять собой программируемое или оперативное ЗУ.

Разработана схематехника блоков подключения резервных ЭП вместо дефектных и блокировки схем выборки дефектных элементов основного накопителя ИС ЗУ для СЗУ и ДЗУ. Указанные схематехнические решения использованы при создании серийных и опытных СБИС ЗУ информационной емкостью 16, 64 Кбит (СЗУ) и 256 Кбит, 1 Мбит (ДЗУ).

Предложенные методы и поясняющие их структуры ЗУ с интеграцией на пластине отличаются от всех ныне известных устройств подобного типа увеличением эффективной емкости за счет использования частично годных кристаллов и практически адаптированы к отечественному уровню развития технологии. Развитие и внедрение полученных результатов в промышленности позволит в перспективе, например, заменить накопитель на магнитном диске (типа "Винчестер") полупроводниковым накопителем, что позволит на несколько порядков повысить время доступа к информации. Последнее особенно важно для пользователей банками данных, конторских и бухгалтерских работ.

**Шестая глава** посвящена исследованию и разработке структуры алгоритмов функционирования ЗУ с использованием корректирующих кодов (Хэмминга и итеративного).

На основе исследования свойств используемых для защиты ЗУ кодов выявлены и доказаны их новые свойства; а) итеративный код с кодовым расстоянием  $d=4$  позволяет корректировать не только одиночные,

но и многократные ошибки, принадлежащие различным кодовым словам (строки и столбцы матрицы общего кодового слова); при этом максимальная эффективность исправления двойных ошибок достигается при построении проверочной матрицы кода (соответствующей информационным разрядам) в виде квадрата ; б) модифицированный код Хэмминга позволяет корректировать не только одиночные, но и двойные парные ошибки; использование кода адреса разряда (без его дополнительной модификации) для формирования проверочных соотношений позволяет на 2 символа снизить количество проверочных символов по сравнению с использованием кодов БЧХ.

Разработаны методы и на их основе - структуры и алгоритмы функционирования ИС ЗУ с коррекцией одиночных ошибок в кодовом слове:

а) применение итеративного кода в кристалле ЧУ с одноразрядными словами (при величине быстродействия не хуже, чем у известных аналогов) позволяет снизить аппаратную избыточность в несколько раз;

б) реализация того же кода совместно с кодом Хэмминга позволяет повысить общую надежность ЗУ (в размере, примерно эквивалентном отношению  $n/k$ ) за счет исправления ошибок в проверочных символах итеративного кода;

в) за счет использования кода адреса опрашиваемого разряда ЭП накопителя ИС в качестве исходной информации для формирования проверочных символов кодового слова удалось снизить площадь избыточного кристалла на 6... 8 %, а реализация метода контрольного считывания записываемого слова позволяет снизить мощность потребления избыточных ЗУ и довести ее примерно до уровня безыбыточных кристаллов памяти.

Известное требование по унификации (с точки зрения потребителя) избыточных и безыбыточных ИС памяти приобретает особую строгость в отношении ДЗУ с кодами, т. к. в этих устройствах требуется запись некоторой информации в избыточные ЭП после включения питания. Одним из очевидных и достаточно простых решений является запись однотипной информации (фона) во все ЭП накопителя. Этот фон может быть либо физическим, либо логическим. В первом случае в ЭП записывается информация, соответствующая одному уровню напряжения, во втором - одна и та же логическая информация. Разработан и изложен алгоритм формирования фона.

При реализации избыточного кодирования в ДОЗУ применено оригинальное схемное решение, основанное на совмещении функций селектора и разрядного формирователя и позволившее снизить до 3 нс дополнительную задержку сигнала обращения (выборка данных) при

увеличении площади избыточного кристалла не более, чем на 15 % (против 20-25 % - у известных ЗУ) и повышении времени наработки устройства до отказа - примерно в 3 раза; метод практически ориентирован на ДОЗУ емкостью 4 Мбит, разработана схемотехника избыточных блоков, результаты переданы и используются в промышленности.

Разработаны методы и на их основе - структурные схемы и алгоритмы функционирования ЗУ о коррекцией многократных (в т. ч. и группирующихся) ошибок: а) исправление двух рядом расположенных в кодовом слове ошибок позволяет повысить надежность ЗУ примерно в 4 раза при величине быстродействия, характерной для устройств памяти с исправлением одиночных ошибок; сущность метода заключается в том, что часть разрядов вектор-столбцов проверочной матрицы используемого кода представляют собой двоичное представление последовательности чисел, начиная с нуля; б) использование в ЗУ кода Хэмминга с  $d=4$  обеспечивает снижение аппаратных затрат на реализацию метода при быстродействии, характерном для лучших аналогов; устройства для исправления стираний, ориентированные на их применение в системах приема и обработки цифровой информации, переданы и используются в промышленности .

В ЗУ, ориентированном на применение в бортовых устройствах, где к надежности предъявляются повышенные требования, реализован известный метод коррекции ошибок на основе анализа (хранения) инверсных кодовых слов; применение нового блока управления устройством, синтезированного машинным методом и реализованного в виде ПЛМ, позволяет повысить быстродействие избыточного ЗУ примерно на 30% по сравнению с известными.

Все разработанные и описанные устройства защищены авторскими свидетельствами на изобретение.

Изложена разработанная и переданная промышленности методика использования избыточных ИС ЗУ потребителями, в частности, при перепрограммировании энергонезависимой памяти.

**В приложении** помещены материалы расчетов эффективности использования результатов диссертационного исследования, акты внедрения и использования этих результатов в промышленности и в учебном процессе.

### III. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Комплекс исследований по теоретическому обобщению и расшире-

нию знаний в области проектирования и производства высоконадежных ИС ЗУ позволил, на основе сформулированных и обоснованных положений, получить совокупность научных и практических результатов, конечным итогом которых явились разработка и внедрение в промышленности методов повышения отказоустойчивости полупроводниковых микросхем памяти, отличающихся оригинальными схемотехническими решениями и новыми, аффективными алгоритмами функционирования, что дало возможность повысить в несколько раз надежность и выход функционально годных изделий. Это рассматривается как решение важной народнохозяйственной проблемы по повышению выхода годных и надежности полупроводниковых микросхем памяти высокой и сверхвысокой степени интеграции.

На основе проведенных исследований получены следующие результаты:

I. Впервые теоретически и экспериментально доказано, что характер распределения дефектов на кристаллах полупроводниковых микросхем памяти по мере уменьшения общей плотности дефектов меняется от ярко выраженного группирования к равномерному распределению; на основе обширных экспериментов сделан вывод о подпадающей математическому описанию зависимости отказов разных типов от величины относительной площади на кристалле, занятой соответствующим функциональным блоком.

II. Созданы и реализованы в виде программного продукта теоретически обоснованные аналитические модели распределения отказов на кристаллах полупроводниковых ЗУ, позволяющие повысить эффективность инженерного труда и тем самым сократить время проектирования отказоустойчивых ЗУ.

2.1. Исследованы и разработаны структурно-топологические модели кристаллов статических и динамических ЗУ, отличающиеся малым числом оперируемых параметров и позволяющие оценить величину аппаратных затрат и дополнительную площадь кристалла под избыточные схемы.

2.2. На основе сформулированных и обоснованных базовых положений разработаны и исследованы аналитические модели распределения дефектов на кристаллах памяти, позволяющие учитывать группирующийся характер этих отказов как по кристаллу памяти в целом, так и в отдельных строках накопителя ИС.

2.3. Предложены и теоретически обоснованы модели распределения отказов, возникающих при эксплуатации микросхем, позволяющие

производить с достаточной точностью прогнозирующие вычисления надежности проектируемых ИС ЗУ и сравнительную оценку используемых методов аппаратного и функционального построения избыточной части этих устройств по критерию времени наработки на отказ.

III. На основе созданных моделей распределения отказов и дефектов в ИС ЗУ и расчета основных параметров установленных законов указанных распределений разработаны и реализованы в промышленности методы построения и соответствующие структуры отказоустойчивых микросхем памяти высокой и сверхвысокой степени интеграции.

3.1. Разработаны и исследованы конструкции корректирующих кодов (на основе модифицированного кода Хэмминга) для исправления одиночных и двойных группирующихся ошибок, отличающиеся меньшим числом проверочных символов по сравнению с кодами аналогичной корректирующей способности (БЧХ).

3.2. Разработана, теоретически обоснована и внедрена методика определения среднего числа дефектов (отказов ЭП) на кристалл памяти и степени группирования этих неисправностей, позволяющая упростить процедуру численной оценки параметров распределений.

3.3. Предложены и исследованы новые, усовершенствованы известные методы построения и алгоритмы функционирования отказоустойчивых микросхем ЗУ на основе корректирующих кодов, позволяющие повысить надежность, быстроедействие и информационную емкость устройств памяти.

3.4. При непосредственном участии автора разработаны и внедрены в серийно выпускаемых изделиях (К541РУ3, К565РУ8, К150СРУ490 и др.) структуры резервированных микросхем памяти, объем резервных элементов в которых рассчитан на основе созданных аналитических моделей распределения дефектов, позволяющие повысить выход годных изделий в 3 раза.

Результаты исследований по созданию отказоустойчивых ЗУ и микропроцессорных систем переданы промышленности и используются рядом предприятий.

IV. Практическая ценность полученных результатов и технико-экономический эффект от их использования в 10 организациях подтверждены актами о внедрении, приведенными в приложении к диссертации. Реализация результатов в народном хозяйстве производилась взаимосвязанно, начиная с 1979 г., по линии госбюджетных, договоров о творческом содружестве и договоров на передачу научно-технических достижений.

V. Основные результаты работы наложены в 84 публикациях, 66 из которых - печатные, в том числе - 39 опубликованы без соавторов, структуры разработанных отказоустойчивых микросхем памяти защищены 24 авторскими свидетельствами на изобретение.

Основные результаты работы изложены в следующих **публикациях**:

1. Урбанович П. П. Эффективность применения корректирующих кодов в больших интегральных схемах запоминающих устройств/ Изв. вузов. Радиоэлектроника. -1982. -№5. -С. 85-87.

2. Лосев В. В. , Конопелько В. К. , Урбанович П. П. Системы памяти на базе запоминающих устройств с дефектными элементами/ Зарубежная электронная техника.- 1982. -N9.- С. 3-33.

3. Лосев В. В. , Конопелько В. К. , Урбанович П. П. Увеличение эффективной емкости полупроводниковых микросхем памяти// Методы функциональной электроники в реализации радиотехнических устройств. -Киев. -1983. - Дп. ВИНТИ, N20616. - С. 84-91.

4. Статистические характеристики распределения отказов в кристаллах полупроводниковых запоминающих устройств /П. П. Урбанович, В. В. Лосев, В. К. Конопелько, А. И. Сухопаров/ Изв. вузов. Приборостроение. -1983. -N1. -С. 93-95.

5. Конопелько В. К. , Урбанович П. П. Коррекция многократных ошибок в системах памяти на БИС// Автоматика и вычислительная техника. - Минск: Вышэйшая школа. -1983. -Вып. 13. -С. 103-105.

6. Урбанович П. П. Модель распределения дефектных запоминающих элементов на кристаллах БИС ЗУ /Изв. вузов. Радиоэлектроника. -1985. - Т. 29.-N9.-С. 92-95.

7. Урбанович Н. И. , Урбанович П. П. Метод построения кодера избыточного ЗУ / Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника.-1988. -Выл. 2. - С. 46-48. ДСП.

8. Верниковский Е. А. , Урбанович П. П. Статистические характеристики отказов запоминающих элементов в микросхемах памяти// Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. -1989. - Вып. 1. -С. 61- 63.

9. Урбанович П. П. Надежность кристаллов динамических ОЗУ при коррекции сбоев в процессе регенерации информации// Электронная техника. Сер. 10. Микроэлектронные устройства. -1990. -Вып. 3. - С. 5-7.

10. Урбанович П. П. Прогнозирующий расчет надежности избыточных БИС ЗУ // Микроэлектроника. - 1990.-Т. 19.- N6. - С. 542-548.

11. Урбанович П. П. , Лойка С. Л. Надежность отказоустойчивых микросхем памяти, в которых информация согласовывается с состояни-

ем отказавших элементов памяти// Микроэлектроника.-1991. - Т. 20. - С. 492-497.

12.Урбанович П.П. Расчет показателей надежности избыточных БИС запоминающих устройств // Микроэлектроника.-1992.-Т. 21.- Вып. 1.- С. 26-30.

13.Майоров С. А., Урбанович П.П. Определение характеристик распределения дефектов в микросхемах полупроводниковых ОЗУ// Электронная техника. Сер. 3. Микроэлектроника. -1992. - Вып. 1. -С. 25.

14.Майоров С. А. , Урбанович П.П. Я Оценка аппаратурных и временных затрат при кодировании и декодировании информации в ЗУ// Радиотехника и электроника, - Минск: Вышэйшая школа.- 1992.- Вып. 20.- С. 19-21.

15.Лосев В. В., Конопелько В. К. , Урбанович П.П. Создание БИС ЗУ, устойчивых к воздействию внешних помех//Проблемы ЭМС в радиопередающих устройствах. Материалы Всесоюзной школы-семинара. -М. ; ВДН СССР. -1983. - С. 7.

16.16. Урбанович П.П. Контроль состояния БИС ЗУ с целью выявления неработоспособных элементов памяти// Перспективы развития и применения автоматизированной радиоизмерительной аппаратуры в народном хозяйстве. Материалы научно-технической конференции. Минск, октябрь 1985. - Минск-1985. - С. 83.

17.Урбанович П.П. Оценка надежности избыточных запоминающих устройств// Состояние и перспективы развития микроэлектронной техники. Материалы Всесоюзной НТК. Ч. 3.-Минск. -1985. -С. 57

18.Урбанович П. П., Ткаченко Д. Е. Повышение надежности интегральных микросхем за счет элементной избыточности// Прогрессивная технология изготовления гибридных интегральных микросхем. Материалы семинара. -М.: ЦНИИТЭИ. -1995. -С. 112.- ДСП

19.Урбанович П.П. Схемотехнические методы снижения влияния альфа-излучения на динамические запоминающие устройства/ / 12 Всесоюзная научная конференция по микроэлектронике. Тезисы докладов. Ч.5. Тбилиси, 26-28 октября 1987,- Тбилиси.- С. 183-184.

20.Урбанович П.П. Исправление двойных смежных ошибок в информационных словах// Разработка и внедрение в народное хозяйство персональных ЭВМ. Тезисы докл. 1-ой Всес. школы-семинара. Ч. 4.- Минск. -1988. -С. 28-30.

21.Майоров С. А. , Урбанович П.П. Метод снижения энергопотребления устройств избыточной полупроводниковой памяти//Актуальные проблемы авиастроения. Тезисы докладов 3-х межреспубликанских ту-

полевских чтений студентов. - Казань: КАИ. -1988. - С. 90.

22. Урбанович П. П. Оценка надежности полупроводниковых ЗУ с коррекцией одиночных ошибок// Проблемы качества и надежности изделий электронной техники, радиоэлектронной аппаратуры и средств управления. Тезисы докладов НТК. Минск, 1-2 декабря 1988.- Минск. -1988. - С. 90.

23. Урбанович П. П. Коррекции одиночных и двойных парных ошибок в запоминающих устройствах// Труды Международного симпозиума "INFO-89", Минск, 10-16 октября 1989. Т. 1. - Минск.-1989. - С. 285-287.

24. Урбанович П. П., Урбанович Н. И. Интенсивность сбоев в динамических запоминающих устройствах с избыточностью// Труды Международного симпозиума "INFO-89", Минск, 10-16 октября 1989. Т. 1. - Минск.-1989- С. 331-333.

25. Урбанович П. П. Надежность БИС ЗУ с нейтрализацией отказов и сбоев схемотехническими методами// VII Международная конференция по микроэлектронике. Минск, 16-18 октября 1990. Т.1.- Минск.- 1990. - С. 150-162.

26. Урбанович П. П. Определение показателей надежности кристаллов избыточных запоминающих устройств// VII Международная конференция по микроэлектронике. Минск, 16-18 октября 1990. Т. 1,- Минск. -1990. -С. 261.

27. Урбанович П. П. Надежность избыточных микросхем памяти, устойчивых к двойным ошибкам// VII Международная конференция по микроэлектронике. Минск, 16-18 октября 1990. Т. 4,- Минск.-1990. - С.30-32.

28. Урбанович П. П. Эффективность использования линейных аддитивных кодов для коррекции многократных ошибок в ЗУ//Опыт разработки, производства и применения БИС РПЗУ, ПЗУ и ПЛИС. Тезисы докл. 3-ей отраслевой НТК. Киев, 10-12 окт. 1990. - Киев. - 1990. - С. 54-55.

29. Урбанович П. П. Надежность программируемых ЗУ с избыточностью //ГХТНТ разработки, производства и применения БИС РПЗУ, ПЗУ и ПЛИС . Тезисы докл. 3-ей отраслевой НТК. Киев, 10-12 окт. 1990. - Киев. -1990. - С. 49.

30. Урбанович П. П. Повышение отказоустойчивости устройств приема и обработки цифровой информации//Проблемы и перспективы развития цифровой звуковой техники. Тезисы докл. 2-ой Всесоюзной НТК. - Л. : ВНИИРПА. -1990. - С. 68.

31. Урбанович П. П. Исправление ошибок типа "отирание" в циф-

ровых устройствах обработки информации// Проблемы и перспективы развития цифровой звуковой техники. Тезисы докл. 2-ой Всесоюзной НТК. - Л. : ВНИИРПА. -1990. -С. 67.

32. Лойка С. Л., Урбанович П.П. Надежность отказоустойчивых ЗУ // Актуальные проблемы авиационного строения. Тезисы докл. 4-х межресп. Туполевских чтений студентов. - Казань: КАИ. -1990. - С. 82.

33. Urbanovic P. P. Nadiojnost jedno- i mnogokristalnih poluprovodnikovych ZU// 5 konf. Mikroel. - Bratislava, CSSR.-1989.

34. Урбанович П.П. Моделирование характеристик отказов в кристаллах полупроводниковых ЗУ// 35. Intern. Wissenschaftl colloquium, Ilmenau, DDR, 22-26.10 1990. Heft 4., V. AB1 /AB2.-1990.- S. 33-36.

35. Урбанович П.П. Разработка отказоустойчивых ВИС ЗУ//35. Intern. Wissenschaftl., 22-26.10 1990. Heft 4., V. AB1 /AB2.-1990. -S. 37-39.

36. Урбанович П.П. Определение показателей надежности кристаллов избыточных ЗУ// Межвуз. научн. сб.: Методы и системы технической диагностики. Математические методы кибернетики и их приложения. - Саратов: СГУ. - 1990. -Вып. 14. -Ч. 2. - С. 43-61.

37. Майоров С. А. , Урбанович П.П. Повышение качества микросхем памяти на основе моделирования характеристик распределения дефектов кристалла// Всесоюзная научная сессия, посвященная Дню радио. Тезисы докладов. - М.: Радио и связь. -1991. - С. 62.

38. Урбанович П.П. , Майоров С. А. Оценка качества отказоустойчивых микросхем памяти с группирующимися дефектами кристалла// Третья ВНТК: Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов. Тезисы докл. , Ч. 2. ,Кишинев, 27-29 мая 1991,- Кишинев: КПИ. -1991. - С. 86.

39. Майоров С. А. , Урбанович П.П. , Щукевич Т. В. Методика расчета выхода годных резервированных микросхем памяти с группирующимися дефектами// Третья ВНТК: Физические основы надежности и деградации полупроводниковых приборов. Тезисы докл. , Ч. 2. ,Кишинев, 27-29 мая 1991,- Кишинев: КПИ. -1991. -С. 87.

40. Урбанович П. П. , Кашанский О. А. Программа: Расчет вероятности отказов накопителя/№ регистрации ГосФАП 50910000419.-1991.

41. Запоминающее устройство с автономным контролем. Авт. свид. СССР N926727, кл. G11C29/00 /В. К. Конопелько, П.П. Урбанович. - 1982.- БИ 17.

42. Запоминающее устройство с самоконтролем. Авт. свид. СССР N

950209, кл. G11C29/00 /В. В. Лосев, В К. Конопелько, П. П. Урбанович. - 1982. - БИ 32.

43. Запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N1010654, кл. G11C29/00 / В. В. Лосев, В К. Конопелько, П. П. Урбанович, Е. А. Верниковский. -1983. - БИ 13.

44. Запоминающее устройство с автономным контролем. Авт. свид СССР N 1026165, кл. G11C29/00 /В. В. Лосев, П.П. Урбанович. - 1983. - БИ 24.

45. Запоминающее устройство с автономным контролем. Авт. свид. СССР N 1043743, кл. C11C7/00 /В. В. Лосев, П.П. Урбанович. -1983. - БИ 30.

46. Устройство для коррекции отказов в полупроводниковой памяти. Авт. свид. СССР N1049981, кл. G06F7/00 / В. В. Лосев, П. П. Урбанович. - 1983. -БИ 39.

47. Запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N 1107176, кл. G11C 29/00 / Е. А. Верниковский, П. П. Урбанович, В К. Конопелько. -1984. - БИ 29.

48. Запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N 1112412, кл. G11C 29/00 /Е. А. Верниковский, А. К. Панфиленко, П. П. Урбанович и др - 1984 - БИ 33.

49. Запоминающее устройство. Авт.свид. СССР N1159445, кл. G11C 29/00 /П.П. Урбанович, Е. А. Верниковский, А. И. Сухопаров. -1984. ДСП.

50. Запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N 1195393, кл. G11C29/ 00 /В. А. Лабунов, П.П. Урбанович, В. В. Леоненко, Н И. Овсянникова. - 1980.- БИ 44.

51. Запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N 1252816, кл. G11C29/00 /П.П. Урбанович. -1986. - БИ 31.

52. Запоминающее устройство с коррекцией ошибок. Авт. свид. СССР N1283860, кл. G11C29/00 /О. А. Гордынец, П.П. Урбанович. -1987.-БИ 2.

53. Запоминающее устройство с коррекцией ошибок. Авт. свид. СССР N1297120, кл. G11C29/00 /П.П. Урбанович.-1987.-БИ 10.

54. Запоминающее устройство с самоконтролем. Авт. свид. СССР N 1322379, кл. G1107/00 /Я И. Урбанович, П.П. Урбанович. -1987. -БИ 20.

55. Динамическое запоминающее устройство с коррекцией ошибок. Авт. свид. СССР N 1325569, кл. G11C29/00 /П. П. Урбанович. -1987. -БИ 27.

56. Запоминающее устройство с коррекцией ошибок. Авт. свид. СССР N 1336122, кл G11C29/00 /В А. Лабунов, А. М. Суходольский, Н. И. Урбанович, П.П. Урбанович. -1987. -БИ 33.

57. Устройство для исправления стираний. Авт. свид. СССР N1399893, кл. НОЗМ13/00 /П.П. Урбанович. -1988. -БИ 20.

58. Резервированное запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N 1424601, кл. G11C29/00 /Е. А. Верниковский, А. К. Панфиленко, П. П. Урбанович, А. В. Усталов. - 1988. ДСП

59. Запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N1363306, кл. G11C29 /00 /В. П. Сидоренко. П. П. Урбанович, Ю. А. Юхименко.-1988.- БИ 10.

60. Устройство для декодирования двоичных кодов Хэмминга. Авт. свид. СССР N1485416, кл. G06F6/00, G11C29/00 /П. П. Урбанович, И.Н. Шидловский. - 1989. -БИ 21.

61. Запоминающее устройство. Авт. свид. СССР N 1547035, кл. G11C 29/00 /П. П. Урбанович, С. А. Майоров. -1990. - БИ 8.

62. Устройство для исправления стираний. Авт. свид. СССР N 1547077, кл. H03M13/00 /П. П. Урбанович, А. В. Варвашеня.-1990.- БИ 8.

63. Запоминающее устройство с исправлением ошибок. Авт. свид. СССР N 1585835, кл. G11C29/00 /П. П. Урбанович.- 1990.- БИ 30.

64. Запоминающее устройство с автономным контролем. Пол. реш. по заявке N 4798119/24, кл. G11C29/00 от 20. 02.91/С. Л. Лойка, П.П. Урбанович.

65. Запоминающее устройство с автономным контролем. Пол. реш. по заявке N 4934082/24, кл. G11029/00 от 4. 01.92/П. П. Урбанович, Н. И. Урбанович, Т. В. Щукевич.