

# Базовые матричные кристаллы

1

Базовые матричные кристаллы ..... 1

Нормативно-техническая документация на полузаказные  
микросхемы..... 2

Группы и состав испытаний полузаказных микросхем..... 3

Порядок разработки и освоения производства  
полузаказной микросхемы ..... 4

Рекомендации по разработке аппаратуры с применением БМК ..... 5

Пример проектирования полузаказной микросхемы  
средствами САПР «Ковчег 3.04» ..... 6

## Раздел 1.

### Базовые матричные кристаллы

Особенности полузаказных БИС на основе БМК.....	1-2
Отечественные БМК и ПЛИС: краткая историческая справка.....	1-4
Конструкции БМК.....	1-6
Порядок разработки БМК.....	1-7
Порядок разработки полузаказных БИС на основе БМК.....	1-8
Основные характеристики серий БМК 5503 и 5507.....	1-9
Основные характеристики.....	1-10
Электрические параметры.....	1-11
Предельные режимы эксплуатации.....	1-12
Технологический маршрут изготовления.....	1-13
Конструкция БМК серий 5503 и 5507.....	1-16
Базовая ячейка.....	1-19
Периферийная ячейка.....	1-22
Каналы трассировки.....	1-24
Корпусное исполнение.....	1-25
Стойкость к воздействию внешних факторов.....	1-26
Механические факторы.....	1-26
Климатические факторы.....	1-27
Факторы космического пространства.....	1-27
Библиотека функциональных ячеек.....	1-27
САПР «Ковчег 3.04».....	1-28

## **Особенности полузаказных БИС на основе БМК**

Микроэлектроника является одной из отраслей промышленности, определяющих научно-технический прогресс человеческого общества. Большинство процессов, связанных с развитием микроэлектроники, носит явно выраженный экспоненциальный характер, а темпы развития таковы, что подобных им еще не знало человечество. В отличие от обычных отраслей промышленности, где разработка более быстрого и лучшего устройства с удвоенными функциональными возможностями обычно удваивает стоимость разработки и производства изделия, в микроэлектронике справедливо обратное: переход на новые (меньшие) технологические нормы приводит к удешевлению с одновременным увеличением функциональных возможностей интегральных микросхем.

В этих условиях актуальной становится задача ускорения темпов разработки ЭКБ для современной РЭА, особенно БИС, которые можно разделить на два основных класса: универсальные и специализированные микросхемы. К первому классу относятся микропроцессоры, микроконтроллеры, периферийные устройства, устройства памяти (ПЗУ, ОЗУ и т.д.), серии стандартных микросхем и др., т.е. микросхемы, объем производства которых составляет сотни тысяч и миллионы штук в год. Большие объемы выпуска универсальных микросхем минимизируют вклад в их стоимость относительно больших затрат на проектирование и освоение в производстве.

Микросхемы, принадлежащие ко второму классу, при объеме производства до нескольких десятков тысяч в год, выпускаются для удовлетворения нужд отдельных отраслей промышленности и конкретных типов РЭА. Значительная часть стоимости таких микросхем определяется затратами на их проектирование.

Особую группу среди специализированных микросхем занимают БИС, применяемые в аппаратуре космического назначения и эксплуатируемые в условиях действия жестких ВВФ. Как правило, номенклатура таких микросхем велика, сроки разработки аппаратуры ограничены, а серийность в силу специфики аппаратуры не превышает нескольких тысяч, а иногда сотен микросхем. Производство специализированных микросхем обычно имеет прерывистый характер, а основной вклад в их стоимость вносят затраты на освоение производства и проведение квалификационных и периодических испытаний для подтверждения уровня качества микросхем.

Вследствие этого возникла необходимость в разработке новых подходов к проектированию БИС, направленных на уменьшение сроков и снижение стоимости проектирования и производства. В результате появились так называемые полузаказные интегральные микросхемы, в основе которых лежит унифицированная конструкция кристалла-заготовки. Первые схемы, созданные по этому принципу, были разработаны в 1960-х гг. Они изготавливались на унифицированном кристалле с фиксированным расположением функциональных элементов (транзисторов, резисторов, конденсаторов и др.). При этом проектирование заключалось в создании схемы из имеющегося на кристалле и доступного к применению ограниченного состава функциональных элементов, задании соответствия элементов схемы их расположению на кристалле и проведении межсоединений между ними. Кристалл получил название «базовый», поскольку все фотошаблоны для его изготовления, кроме слоев коммутации, являлись постоянными и не зависели от реализуемой схемы.

Этот подход, однако, не получил широкого распространения из-за неэффективного использования площади кристалла, вызванного фиксированным расположением функциональных элементов и длинными связями коммутации.

Другой подход, основанный на частичной унификации топологии интегральных микросхем, состоял в проектировании схем на основе набора типовых ячеек. В данном случае унификация состояла в разработке библиотеки функциональных элементов в виде топологии типовых ячеек, имеющих стандартизованные ограничения на размеры, например фиксированную ширину ячеек. Благодаря этому процесс проектирования сводился к размещению в виде линеек типовых ячеек, соответствующих функциональным элементам схемы, к размещению этих линеек на кристалле и к соединению элементов в промежутках между линейками. Ширина таких промежутков, называемых каналами, определялась в процессе трассировки. Хотя при данном подходе за счет унификации топологии ячеек упростился процесс проектирования, кристалл уже не являлся базовым, поскольку комплект фотошаблонов для каждой микросхемы был уникальным.

Современные полукаказные схемы обычно реализуются на БМК. Базовый матричный кристалл представляет собой регулярное поле не соединенных между собой простейших базовых элементов (отдельных транзисторов или групп транзисторов), окруженное областью периферийных контактов. Указанные простейшие элементы расположены на кристалле матричным способом, т.е. в узлах регулярной прямоугольной сетки. Как и в схемах на типовых ячейках, имеется библиотека функциональных ячеек, топологии которых фиксированы и реализуют достаточный для построения схем набор логических функций. Однако в данном случае любая ячейка за счет регулярного расположения простейших элементов может быть размещена в любом месте поля БМК, а для освоения конкретной БИС в производстве требуется спроектировать и изготовить фотошаблоны слоев коммутации и отладить программы контроля на контрольно-измерительном оборудовании.

Таким образом, БМК пришли на смену микросхемам малой и средней степени интеграции и имеют в сравнении с ними неоспоримые преимущества:

- уменьшение габаритов аппаратуры за счет снижения количества используемых микросхем и уменьшения размеров печатных плат;
- повышение технических характеристик за счет увеличения системного быстроедействия и сокращения потребляемой мощности;
- повышение надежности изделия за счет более высокой надежности БИС;
- возможность объединения в полукаказной микросхеме на основе БМК цифровой и аналоговой обработки информации;
- обеспечение защиты разработки за счет применения полукаказных микросхем, электрическую схему которых сложно повторить;
- возможность мелкосерийного выпуска БИС и др.

Область применения конкретного БМК определяется многими факторами — размером поля БМК, количеством внешних выводов, параметрами надежности и устойчивостью к ВВФ, параметрами технологии и технологическими нормами, конструкцией ячеек поля БМК и периферийных ячеек, составом библиотеки функциональных ячеек, эффективностью и доступностью средств проектирования, сроками и стоимостью разработки, изготовления и поставки микросхем и др.

Основные достоинства БМК заключаются в снижении стоимости и сроков проектирования в сочетании с высокими эксплуатационными параметрами. Появление на рынке ПЛИС значительно расширило возможности разработчиков аппаратуры и составило конкуренцию БМК при создании изделий, на которые не распространяются ограничения по применению импортной элементной базы. Однако для аппаратуры космического назначения полузаказные микросхемы на основе БМК на данный момент не имеют альтернативы. При этом следует иметь в виду, что эксплуатационные параметры БМК значительно превосходят аналогичные параметры ПЛИС промышленного исполнения, импортные ПЛИС военного и космического исполнения в нашу страну не поставляются, а номенклатура отечественных ПЛИС весьма ограничена (краткая характеристика отечественных ПЛИС приведена ниже).

### ***Отечественные БМК и ПЛИС: краткая историческая справка***

Наиболее активное развитие в нашей стране БМК получили в 1980-е гг. Практически на всех предприятиях, производящих микросхемы, были разработаны свои БМК, однако многие из них по разным причинам так и не были освоены в производстве.

Кризис 1990-х гг. привел к снижению номенклатуры выпускаемой элементной базы, в том числе БМК. Тем не менее направление БМК сохранилось и продолжало развиваться. Отечественные БМК, разработанные до 2000 г., вошедшие в МОП 44 001.02 Перечень изделий, разрешенных к применению в аппаратуре космического назначения, и выпускаемые до настоящего времени, приведены в табл. 1.1.

**Таблица 1.1.** БМК, разработанные до 2000 г.

Тип БМК	Размер поля, ячеек	Рабочая частота, МГц	Предприятие-изготовитель
1806ВП1, 1806ХМ1	1500	6	АО «Ангстрем»
1515ХМ1	3200	8	
1537ХМ1	3200	до 40	
1537ХМ2	17 800		
1592ХМ1	105 772	50	
1592ХМ2	63 468		
1592ХМ3	34390		
1592ХМ4	11275		
1593ХМ1	3364	40	
1593ХМ2	6400		
1582ВЖ2	1700	20	НПО «Физика»
1582ВЖ3	3213		
1582БЦ1Т	5084		

Новый век принес новые возможности. В настоящее время на отечественном рынке существует высокая потребность в полузаказных микросхемах нового поколения для различной аппаратуры аэрокосмического, научного, военного назна-

чения, систем связи и промышленной автоматики. Учитывая высокую сложность данной аппаратуры, для реализации современных специализированных микросхем необходимы БМК с объемом более 1 000 000 эквивалентных вентиляей.

За последние годы было разработано большое количество новых, современных БМК (табл. 1.2), созданы новые производства, расширена номенклатура применяемых типов корпусов, созданы эффективные средства проектирования. В таблице серым цветом обозначены серии БМК, выпускаемые нашим предприятием НПК «Технологический центр». Более подробную информацию по ним можно найти на сайте [www.asic.ru](http://www.asic.ru).

**Таблица 1.2.** БМК, разработанные в период 2000–2017 гг.

Серия БМК	Количество типов кристаллов в серии	Размер поля, ячеек	Предприятие-изготовитель
5503	4	576–5478	НПК «Технологический центр»
5507	4	576–5478	
5510БЦ	2	500 000, 1 000 000	ПАО «Микрон»
5511	3	3072, 400 000, 1 000 000	ФНПЦ НИИС
5514	2	224	АО «Ангстрем»
5515	1	230	
5516	2	60 000, 100 000	
5517	1	6000	
5522	2	23 004, 123 000	
5524	1	150 000	
5529	5	100 000–2 270 000	НПК «Технологический центр»
5554	1	511	АО «Ангстрем»
5585	1	500	ОАО «Интеграл»

В настоящее время рядом ведущих отечественных предприятий (АО «КТЦ «Электроника», ПАО «Микрон», АО «Ангстрем», АО «ПКК «Миландр») активно развивается разработка отечественных ПЛИС. По состоянию на 2017 г. были освоены в производстве 11 типов ПЛИС, основные характеристики которых приведены в табл. 1.3.

**Таблица 1.3.** Основные характеристики отечественных ПЛИС

Тип	Количество системных вентиляей	Напряжение питания / ток потребления	Предприятие-изготовитель
5576XC1	50 000	3,3 В / 15 мА	АО «ВЗПП-С»
5576XC4	200 000	1,8 В, 3,3 В / 20 мА	
5576XC6	50 000	1,8 В, 3,3 В / 15 мА	
5576XC7	30 000	1,8 В, 3,3 В / 10 мА	
5576XC2	2500	3,3 В / 15 мА	АО «КТЦ «Электроника»
5576XC3	100 000	1,8 В, 3,3 В / 20 мА	
5576XC8	50 000	1,8 В, 3,3 В / 20 мА	
5577XC1	1200	5,0 В / 20 мА	ОАО «Интеграл»
5578TC01	300 000	1,8 В, 3,3 В / 100 мА	АО «ВЗПП-С»
5578TC02	500 000	1,8 В, 3,3 В / 100 мА	
5578TC03	100 000	1,8 В, 3,3 В / 100 мА	

## Конструкции БМК

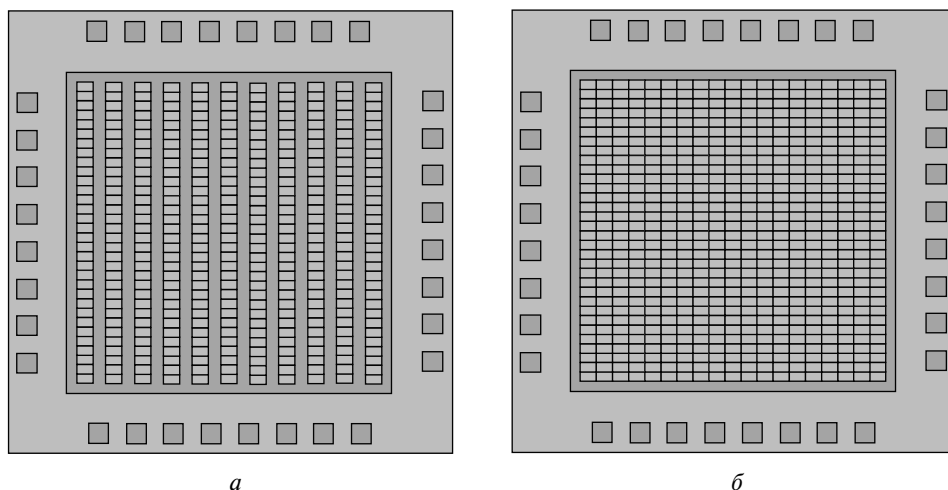
Наибольшее распространение в настоящее время имеют БМК на КМОП структурах, реализованные либо на объемном кремнии, либо на структурах «кремний на изоляторе» (КНИ).

В конструкции БМК можно выделить регулярное поле, окруженное областью периферийных контактов. Для определения размера поля БМК используется понятие «эквивалентный вентиль». Один эквивалентный вентиль соответствует четырем КМОП транзисторам, на которых можно реализовать логическую функцию 2И-НЕ или 2ИЛИ-НЕ. При этом необходимо различать фактический размер поля и количество эквивалентных вентилях, которые могут быть использованы при реализации конкретной микросхемы. Отношение использованных эквивалентных вентилях к размеру поля БМК называется коэффициентом заполнения.

Сложность реализуемых на БМК микросхем определяется различными факторами: наличием многовыводных корпусов, возможностями охлаждения микросхем в аппаратуре, эффективностью средств проектирования и т.д. Реально не удастся использовать все 100% поля БМК. При заполнении БМК не более чем на 70%, как правило, удается спроектировать топологию автоматически средствами САПР без вмешательства разработчика. При большем заполнении топология разрабатывается в интерактивном режиме с участием разработчика. Увеличение плотности заполнения усложняет процесс проектирования, но в результате может быть использован меньший кристалл, производство которого будет дешевле. Поэтому обычно БМК разрабатывают сериями. Серию составляют несколько конструктивно подобных кристаллов с различным размером поля БМК, количеством внешних выводов и имеющих общую библиотеку функциональных ячеек. Размер поля БМК увеличивается примерно вдвое для каждого большего по размеру типа БМК в серии. Серии БМК также могут состоять из нескольких конструктивных исполнений одного типоразмера кристалла, изготовленных в различных типах корпусов.

Конструкция БМК, как правило, строится на топологических ячейках, включающих четыре КМОП транзистора – две комплементарные пары (два транзистора n-типа и два транзистора p-типа). Подобные ячейки позволяют эффективно использовать ресурсы БМК и реализовывать любые схемотехнические решения. Однако встречаются БМК с разногабаритными ячейками или с регулярно повторяющимися транзисторными структурами.

По конструкции поля наибольшее распространение получили БМК, имеющие канальную организацию, и БМК типа «море вентилях». При канальной организации поле БМК представляет собой последовательность столбцов или строк ячеек и каналов для трассировки (рис. 1.1а). При организации по типу «море вентилях» поле БМК представляет собой сплошную регулярную структуру однотипных ячеек (рис. 1.1б). Иногда в БМК используют в качестве дополнительного слоя коммутации отрезки поликремния, которые располагают в промежутках между ячейками. Подобное использование поликремния улучшает разводимость БМК, увеличивает максимальный коэффициент заполнения, но усложняет проектирование, так как использование поликремния может существенно увеличить задержки распространения сигналов в топологии.



а

б

**Рис. 1.1.** Варианты конструкций БМК:  
а – канальная; б – «море вентилялей»

### ***Порядок разработки БМК***

Разработке полузаказных микросхем предшествует этап разработки и освоения в производстве БМК, который выполняется в форме опытно-конструкторской работы (ОКР) в соответствии с ГОСТ РВ 15.215. При этом решается целый комплекс проектных, технологических, технических и производственных задач, выпускается комплект конструкторской и технологической документации, а результаты разработки подтверждаются квалификационными испытаниями.

При разработке БМК можно выделить следующие основные виды работ:

- определение области применения (народно-хозяйственное или специальное назначение) и основных технических требований на БМК (напряжение питания, требования по устойчивости к статическому электричеству, климатическим, механическим, космическим факторам, надежности и др.);
- разработка технического задания (ТЗ) на ОКР либо в соответствии с требованиями ГОСТ 18725 для микросхем народно-хозяйственного назначения, либо в соответствии с требованиями ОСТ В 11 0998 и ГОСТ РВ 15.201 для микросхем космического применения;
- выбор или разработка технологии изготовления БИС на основе БМК, обеспечивающей выполнение требований ТЗ на БМК;
- разработка конструкции и топологии БМК, включая разработку топологии ячейки поля БМК и периферийной ячейки «ввода/вывода», контактов «ЗЕМЛЯ», «ПИТАНИЕ»;
- выбор или разработка корпуса, в котором будет выполняться поставка микросхем;
- разработка библиотеки функциональных ячеек, которая включает базовые функциональные ячейки и составные ячейки, реализованные на основе базовых;
- разработка и настройка на конструкцию и библиотеку БМК средств проектирования БИС;



- разработка рабочей конструкторской и технологической документации, необходимой и достаточной для изготовления опытной партии микросхем;
- разработка аттестационной БИС, которая должна включать все базовые функциональные ячейки и иметь максимально достижимый коэффициент заполнения поля БМК;
- подготовка производства БИС, включая разработку необходимой технологической оснастки для изготовления и проведения испытаний микросхем;
- изготовление опытной партии аттестационной БИС;
- проведение квалификационных испытаний опытной партии аттестационной БИС с целью подтверждения параметров, указанных в технической документации на БМК;
- утверждение после коррекции по результатам проведения квалификационных испытаний комплектов конструкторской и технологической документации;
- включение БМК в перечень изделий, разрешенных к применению в аппаратуре космического назначения.

ОКР по разработке БМК по срокам и стоимости сопоставима с ОКР на разработку заказной БИС. Однако указанные в технических условиях на БМК параметры, подтвержденные при проведении квалификационных испытаний, распространяются без проведения дополнительных испытаний на все БИС, в последующем разработанные на основе данного БМК. Именно за счет этого удешевляется и ускоряется процесс проектирования и освоения БИС в производстве, так как все наиболее дорогостоящие и длительные процедуры проектирования, подготовки производства и испытаний уже выполнены при проведении ОКР по разработке БМК.

Как правило, в рамках ОКР разрабатывается не один, а несколько типов БМК, различающихся размером поля, количеством внешних выводов и типом корпуса. БМК, составляющие одну серию, являются конструктивно-подобными изделиями, что позволяет распространять многие результаты квалификационных и периодических испытаний старших типов БМК на всю серию.

### ***Порядок разработки полузаказных БИС на основе БМК***

Порядок разработки полузаказных микросхем регламентируется ГОСТ 27394 «Микросхемы интегральные полузаказные и заказные. Порядок разработки и деления работ между Исполнителем и Заказчиком».

Для проектирования полузаказной БИС выбирается тип БМК, имеющий достаточный для реализации схемы размер поля и количество внешних выводов, а также тип корпуса и параметры устойчивости к внешним воздействующим факторам, соответствующие области применения БИС.

Процесс проектирования микросхемы включает следующие этапы:

- разработка ТЗ на полузаказную БИС;
- разработка логической схемы БИС в базе библиотеки функциональных ячеек выбранной серии БМК;
- разработка функциональных тестов для проверки логической схемы БИС на соответствие требованиям ТЗ;

- разработка контрольно-диагностических тестов для разбраковки БИС в процессе производства;
- размещение ячеек «ввода-вывода» и ячеек логической схемы БИС на поле БМК;
- синтез топологии БИС;
- аттестация проекта БИС на устойчивость к разбросу параметров технологии изготовления БИС и влиянию ВВФ;
- прототипирование проекта микросхемы средствами имитатора, исследование функционирования имитатора БИС в аппаратуре заказчика;
- коррекция проекта микросхемы и изготовление макетных образцов БИС;
- исследование функционирования макетных образцов БИС в аппаратуре заказчика, коррекция по результатам исследования проекта микросхемы;
- разработка проекта карты заказа и программы контроля для организации измерений БИС в процессе производства;
- изготовление опытной партии БИС;
- испытание микросхем опытной партии БИС в аппаратуре заказчика, оформление заключения о возможности применения полузаказной микросхемы в аппаратуре и готовности БИС к серийной поставке;
- утверждение карты заказа на полузаказную БИС и внесение обозначения микросхемы в таблицу серийно поставляемых микросхем в технические условия (ТУ) на БМК.

Из представленного выше перечня работ видно, что процесс проектирования БИС нацелен на оперативное решение задач по разработке конкретной аппаратуры и минимизации рисков заказчика.

### ***Основные характеристики серий БМК 5503 и 5507***

Серии БМК 5503 и 5507 нашли наибольшее распространение в аппаратуре космического назначения. На БМК этих серий разработано более 600 типов БИС, в том числе для космических аппаратов и кораблей: «Прогресс-М», «Союз-ТМА», «Меридиан», «Лабиринт», «Пион», «Аркон-2», «Электра», «Луч», «ГЛОНАСС-М», «ГЛОНАСС-К», «Кондор», «Экспресс», «Электро-Л», «Спектр-Р», «КазСат-2», системы управления разгонным блоком «Бриз-М» и др. (рис. 1.2).

Серии БМК 5503 и 5507 являются полными конструктивными и функциональными аналогами, изготавливаются по КМОП технологии, состоят из девяти типов БМК каждая и отличаются только напряжением питания. Серия БМК 5503 имеет напряжение питания  $5 \text{ В} \pm 10\%$ , среднее время задержки на вентиль не более 2,0 нс. Напряжение питания микросхем серии 5507 составляет  $3 \text{ В} \pm 10\%$ , среднее время задержки на вентиль не более 3,5 нс. Обе серии БМК введены в МОП 44 001.02 Перечень изделий, разрешенных к применению в аппаратуре космического назначения.

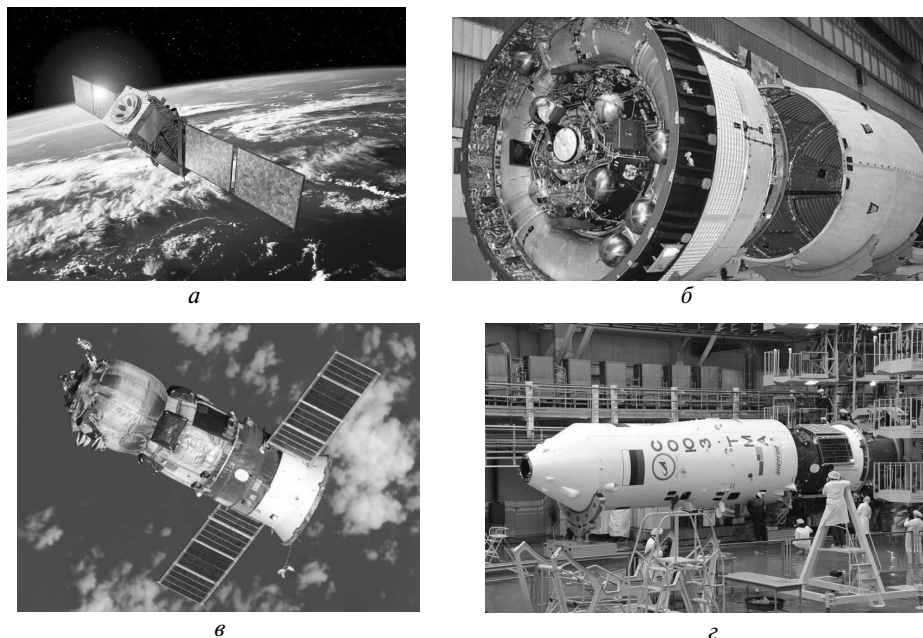


Рис. 1.2.

*а* – Серии космических аппаратов «Экспресс», «Глонасс», «Электро-Л», «Спектр-Р» и др.;  
*б* – разгонный блок «Бриз-М» (более 100 пусков); *в* – космический корабль «Прогресс-М»  
(более 40 пусков); *г* – космический корабль «Союз-ТМА» (более 30 пусков)

### Основные характеристики

Состав серий БМК 5503 и 5507 приведен в табл. 1.4.

Различают номинальные значения электрических параметров микросхем, предельно допустимые и предельные режимы эксплуатации микросхем. Номинальные значения электрических параметров контролируются при изготовлении и поставке микросхем, гарантируются в процессе их эксплуатации в режимах и условиях, допускаемых ТУ.

Таблица 1.4. Состав серий БМК 5503 и 5507

Тип БМК	Размер поля БМК, эквивалентных вентиляей	Количество информационных контактов	Рабочая частота, не более, МГц	Обозначение технических условий
H5503XM1	576	26	30	АЕЯР.431260.159 ТУ
5503XM1У				
H5503XM2	1296	40	30	АЕЯР.431260.165 ТУ
5503XM2Т				
H5503XM5	3072	62	30	АЕЯР.431260.146 ТУ
5503XM5Т				
5503БЦ7У	5478	60	25	АЕЯР.431260.272 ТУ
5503БЦ7Т		64		
5503БЦ7Т1		80		

Тип БМК	Размер поля БМК, эквивалентных вентиляей	Количество информационных контактов	Рабочая частота, не более, МГц	Обозначение технических условий
5507БЦ1У	576	26	25	АЕЯР.431260.227 ТУ
5507БЦ1У1				
5507БЦ2У	1296	40	25	АЕЯР.431260.228 ТУ
5507БЦ2Т				
5507БЦ5У	3072	62	25	АЕЯР.431260.230 ТУ
5507БЦ5Т				
5507БЦ7У	5478	60	25	АЕЯР.431260.231 ТУ
5507БЦ7Т		64		
5507БЦ7Т1		80		

### Электрические параметры

Номинальные значения электрических параметров микросхем, изготовленных на основе БМК серии 5503, представлены в табл. 1.5. Номинальное значение напряжения питания  $U_{CC} = \pm 5$  В.

Таблица 1.5. Номинальные значения электрических параметров серии 5503

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение	Норма		Температура, °С
		не менее	не более	
Выходное напряжение низкого уровня, В, при $I_{OL} = 4,0$ мА	$U_{OL}$		0,4	-60 +85
Выходное напряжение высокого уровня, В, при $I_{OH} = 2,0$ мА	$U_{OH}$	4,0		-60 +85
Ток потребления, мА	$I_{CC}$		0,15	+25
			0,4	-60 +85
Токи утечки низкого и высокого уровней на входе, мкА	$I_{LIL},$ $I_{LIH}$		0,3	+25
			3,0	-60 +85
Выходной ток низкого и высокого уровней в состоянии «Выключено», мкА	$I_{OZL},$ $I_{OZH}$		0,3	+25
			3,0	-60 +85
Ток доопределения внешнего вывода до высокого уровня, мА	$I_{HIR}$	0,03	1	-60 +85
Ток доопределения внешнего вывода до низкого уровня, мА	$I_{LIR}$	0,07	2	-60 +85
Время задержки на клапан, нс	$t_D$		2,0	+25
			3,0	-60 +85
Входная емкость, пФ	$C_I$		7	+25
Емкость входа/выхода, пФ	$C_{I/O}$		7	+25

Номинальные значения электрических параметров микросхем, изготовленных на основе БМК серии 5507, представлены в табл. 1.6. Номинальное значение напряжения питания  $U_{CC} = \pm 3$  В.

**Таблица 1.6.** Номинальные значения электрических параметров серии 5507

Наименование параметра, единица измерения, режим измерения	Буквенное обозначение	Норма		Темпера- тура, °
		не менее	не более	
Выходное напряжение низкого уровня, В, при $I_{OL} = 3,0$ мА	$U_{OL}$		0,3	-60 +85
Выходное напряжение высокого уровня, В, при $I_{OH} = 1,5$ мА	$U_{OH}$	2,4		-60 +85
Ток потребления, мА	$I_{CC}$		0,15	+25
			0,4	-60 +85
			3,0	-60 +85
Токи утечки низкого и высокого уровней на входе, мкА	$I_{LIL}$ , $I_{LIH}$		0,3	+25
			3,0	-60 +85
Выходной ток низкого и высокого уровней в состоянии «Выключено», мкА	$I_{OZL}$ , $I_{ozh}$		0,3	+25
Ток доопределения внешнего вывода до вы- сокого уровня, мА	$I_{HIR}$	0,03	1	-60 +85
Ток доопределения внешнего вывода до низ- кого уровня, мА	$I_{LIR}$	0,07	2	-60 +85
Время задержки на клапан, нс	$t_D$		3,0	+25
			5,0	-60 +85
Входная емкость, пФ	$C_I$		7	+25
Емкость входа/выхода, пФ	$C_{I/O}$		7	+25

Устойчивость микросхем серий 5503 и 5507 к воздействию электростатического потенциала составляет не менее 1000 В.

### *Предельные режимы эксплуатации*

Предельно допустимые режимы эксплуатации – это внешние по отношению к микросхеме электрические параметры, в пределах значений которых допускается эксплуатация микросхемы. Превышение предельных режимов может привести к отказу микросхемы (табл. 1.7 и 1.8).

**Таблица 1.7.** Предельно допустимые и предельные режимы эксплуатации микросхем серии 5503

Наименование параметра, обозначение параметра, единица измерения	Норма			
	предельно допустимый режим		предельный режим	
	не менее	не более	не менее	не более
Напряжение питания, $U_{CC}$ , В	4,5	5,5	-0,2	7,0
Напряжение, прикладываемое к выходу за- крытой микросхемы, В	0	$U_{CC}$	-0,4	$U_{CC} + 0,4$
Входное напряжение низкого уровня, $U_{IL}$ , В		0,8	-0,4	

Наименование параметра, обозначение параметра, единица измерения	Норма			
	предельно допустимый режим		предельный режим	
	не менее	не более	не менее	не более
Входное напряжение высокого уровня, $U_{IH}$ , В	$U_{CC} - 1,0$	$U_{CC}$		$U_{CC} + 0,4$
Выходной ток низкого уровня, $I_{OL}$ , мА		4,0		8,0
Выходной ток высокого уровня, $I_{OH}$ , мА		2,0		8,0

**Таблица 1.8.** Предельно допустимые и предельные режимы эксплуатации микросхем серии 5507

Наименование параметра, обозначение параметра, единица измерения	Норма			
	предельно допустимый режим		предельный режим	
	не менее	не более	не менее	не более
Напряжение питания, $U_{CC}$ , В	2,7	3,3	-0,2	5,0
Напряжение, прикладываемое к выходу закрытой микросхемы, В	0	$U_{CC}$	-0,4	$U_{CC} + 0,4$
Входное напряжение низкого уровня, $U_{IL}$ , В		0,4	-0,4	
Входное напряжение высокого уровня, $U_{IH}$ , В	$U_{CC} - 0,4$	$U_{CC}$		$U_{CC} + 0,4$
Выходной ток низкого уровня, $I_{OL}$ , мА		3,0		6,0
Выходной ток высокого уровня, $I_{OH}$ , мА		1,5		3,0

### **Технологический маршрут изготовления**

Серии БМК 5503 и 5507 изготавливаются по радиационно-стойкой КМОП технологии с одним уровнем поликремния и одним уровнем металла. Минимальные проектные нормы – 1,6 мкм. В качестве исходных подложек используются кремниевые пластины, легированные фосфором, с удельным сопротивлением  $4,5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , ориентацией (100), диаметром 100 мм.

Технологический маршрут изготовления специализированных КМОП БИС на основе БМК включает 12 фотолитографических циклов. Фотолитографический рисунок формируется посредством проекционной фотолитографии. Первые 10 фотолитографических циклов формируют постоянную часть БМК, последние два специализируют БМК, позволяя реализовать функцию конкретной БИС. Основные технологические этапы изготовления БМК приведены на примере серии 5503 и представлены на рис. 1.3–1.6.

На первом этапе технологического маршрута формируются слаболегированные области р- и n-карманов. Для формирования изолированных областей р-кармана формируется фотолитографический рисунок областей травления в слое нитрида ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ). Во вскрытые методом плазмохимического травления от нитрида области проводится ионная имплантация бора, с последующей разгонкой примеси на операциях отжиг и окисление. Далее пленка  $\text{Si}_3\text{N}_4$  удаляется методом жидкостного химического травления и во вскрытые области проводится ионная имплантация фосфора. При этом области р-кармана маскированы окислом, выращенным в процессе окисления. Формирование областей карманов заканчивает

операция финального окисления и отжига. Разрез структуры, полученной после формирования карманов, представлен на рис. 1.3.

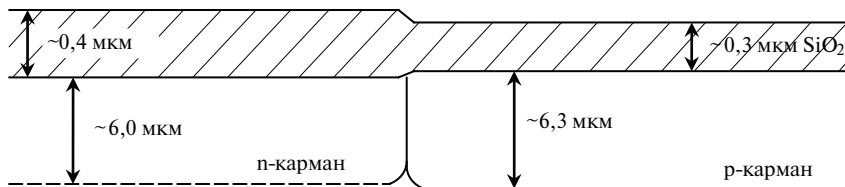


Рис. 1.3. Разрез структуры, полученной после формирования карманов

Второй этап технологического маршрута включает операции формирования активных областей транзисторов и диодов в кремниевой подложке и изолирующих областей на основе изопланарного окисла. Блоком фотолитографических операций, включающих формирование фоторезистивной маски и анизотропного плазмохимического травления, определяются границы активных областей. В качестве маски при формировании изопланарного окисла используется слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  с подслоем термического  $\text{SiO}_2$ . На этом этапе также проводится ионная имплантация бора и фосфора с целью формирования высоколегированных охранных областей, которые подавляют образование инверсных каналов под окислом, отсекают каналы утечки сток-исток паразитных транзисторных структур, образующихся под воздействием ионизирующего излучения. Одновременно при формировании изопланарного окисла термическим окислением в водяных парах под давлением происходит разгонка примеси в охранных областях. Разрез структуры, полученной на втором этапе, представлен на рис. 1.4.

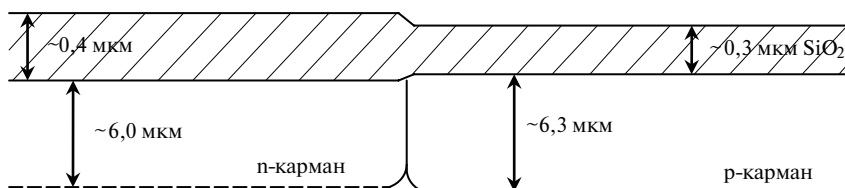


Рис. 1.4. Разрез структуры, полученной на втором этапе

На третьем этапе формируются активные и пассивные элементы БИС 5503. Маскирующий  $\text{Si}_3\text{N}_4$  с подслоем термического  $\text{SiO}_2$  удаляется методом жидкостного химического травления. В активных областях термическим окислением формируется оксид кремния, через который проводится ионная имплантация ионами бора, для регулировки величины порогового напряжения n-МОП и p-МОП транзисторов. Затем в активных областях формируется подзатворный окисел термическим окислением в атмосфере сухого кислорода с предварительной зачисткой поверхности подложки в парах соляной кислоты. На него осаждается слой поликремния, сопротивление которого задается диффузией фосфора в пределах  $15 \div 30$  Ом/квадрат. Блоком технологических операций, включающим формирование фоторезистивной маски и изотропного плазмохимического травления слоя

поликремния, определяется геометрия затворов n-МОП и p-МОП транзисторов, поликремниевой разводки и резисторов. Стоки и истоки обоих типов транзисторов формируются одновременно с высоколегированными областями диодов посредством двух фотолитографических циклов, включающих в себя формирование фоторезистивной маски и операции ионной имплантации фосфора и бора. Формирование  $n^+$ -,  $p^+$ -областей стоков-истоков и диодов заканчивается термическим отжигом. В качестве межслойного диэлектрика используется слой осажденного пиролитического оксида кремния. Разрез структуры, полученной на третьем этапе, представлена на рис. 1.5.

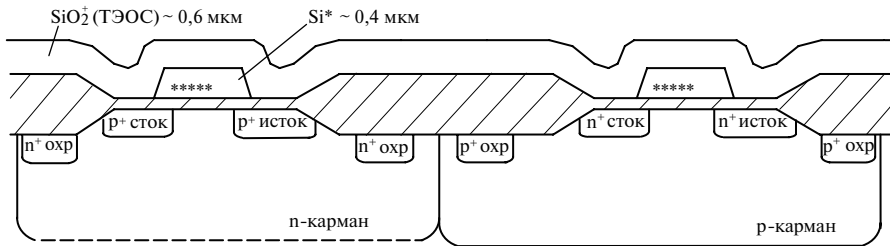


Рис. 1.5. Разрез структуры, полученной на третьем этапе

На четвертом этапе технологического маршрута блоком операций, включающим формирование фоторезистивной маски, комбинированное плазмохимическое и жидкостное травление пиролитического оксида и напыление пленки  $AlSi$  (97% Al и 1% Si) на всю поверхность пластины, осуществляется контакт ко всем активным и пассивным элементам в поле БМК. На этом формирование постоянной части БМК 5503 заканчивается. В таком виде базовые пластины БМК могут храниться в течение одного года и использоваться по мере поступления заказов на изготовление БИС.

На пятом этапе формируется переменная часть БМК, определяющая функцию конкретной микросхемы. Металлические межсоединения формируются с помощью блока технологических операций, включающих формирование фоторезистивной маски и плазмохимическое травление пленки  $AlSi$ . Для защиты БИС от внешней среды проводится осаждение пленки фосфорсилкатного стекла (ФСС). Далее блоком технологических операций проводится вскрытие контактных площадок на периферии кристалла для разварки БИС в корпус. Конечный разрез структуры полузаказной микросхемы серии 5503 представлен на рис. 1.6.

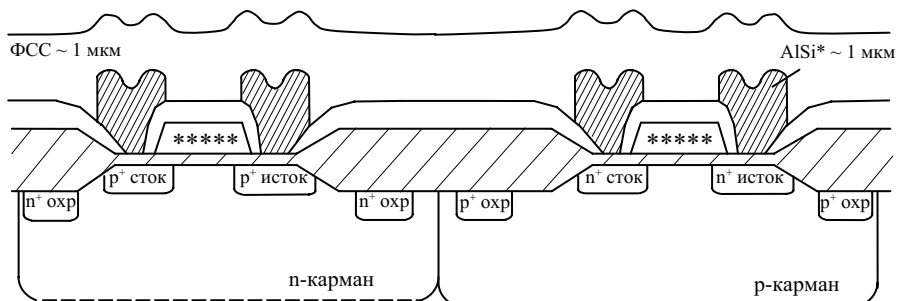


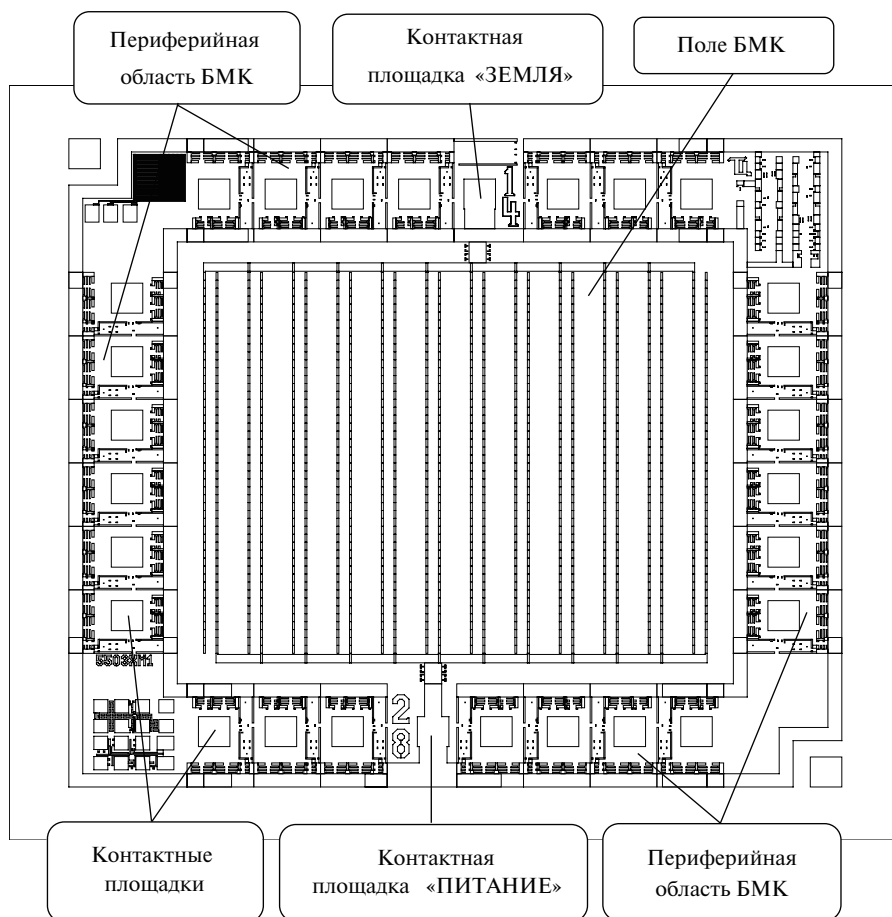
Рис. 1.6. Конечный разрез структуры БИС серии 5503



## Конструкция БМК серий 5503 и 5507

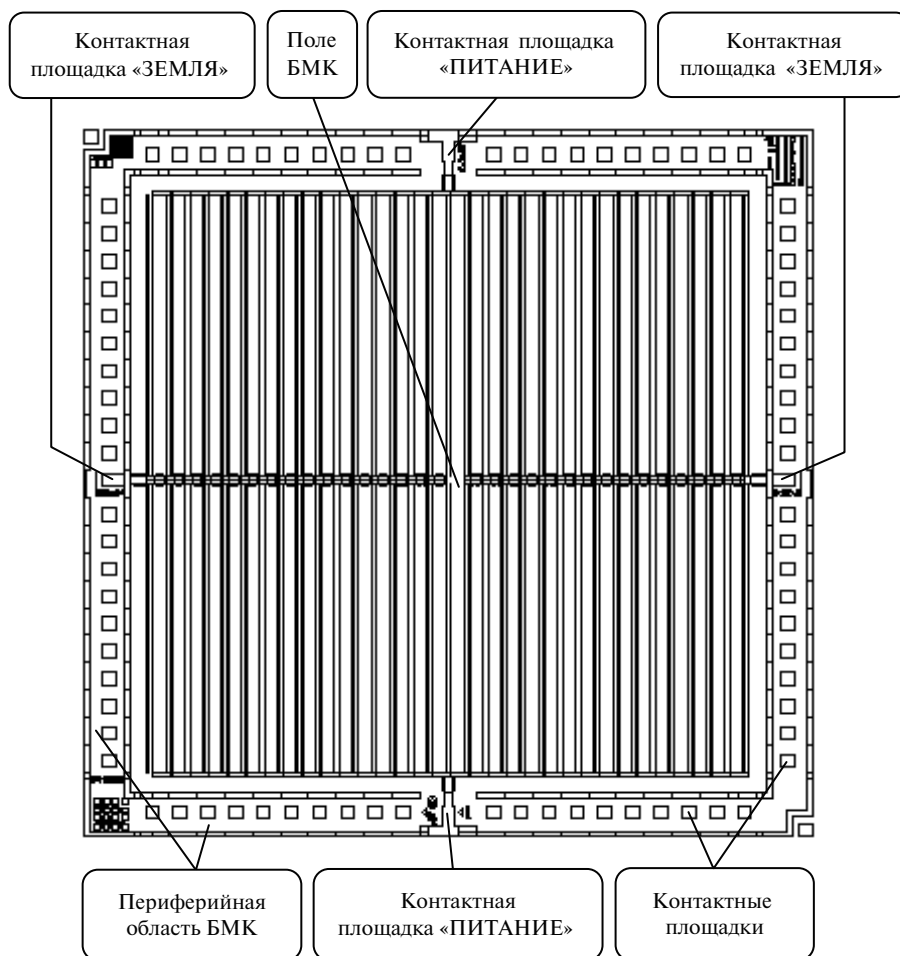
Конструкция БМК включает периферийную область и внутреннее поле. Поле БМК обеспечивает реализацию требуемой функции полузаказной БИС, а периферийная область – связь поля БМК с внешней по отношению к микросхеме аппаратурой.

Конструктивно серии БМК 5503 и 5507 можно разделить на младшие БМК (5503ХМ1, 5503ХМ2 и 5503ХМ5, 5507БЦ1, 5507БЦ2 и 5507БЦ5) и старшие БМК (5503БЦ7, 5507БЦ7). Конструкция младших БМК отличается от конструкции старших разводкой силовых шин «ЗЕМЛЯ», «ПИТАНИЕ» и пропускной способностью периферийных трассировочных каналов. Младшие БМК имеют по одному контакту «ЗЕМЛЯ» и «ПИТАНИЕ» сверху и снизу соответственно (рис. 1.7), в периферийных каналах трассировки может быть проведено до 10 трасс.



**Рис. 1.7.** Топология шин «ЗЕМЛЯ», «ПИТАНИЕ» и расположение внешних контактов БМК 5503ХМ1 и 5507БЦ1

Поле старших БМК имеют два контакта «ЗЕМЛЯ» справа и слева и два контакта «ПИТАНИЕ» сверху и снизу. Таким образом, поле разделено на две части силовыми шинами «ЗЕМЛЯ», отходящими от соответствующих внешних контактов (рис. 1.8). Пропускная способность вдоль периферийных каналов составляет 18 трасс разводки. На кристалле расположено 84 внешних контакта. В бескорпусном исполнении могут быть задействованы все внешние контакты кристалла, в корпусном исполнении количество используемых контактов определяется количеством контактов корпуса микросхемы.



**Рис. 1.8.** Топология шин «ЗЕМЛЯ», «ПИТАНИЕ» и расположение внешних контактов БМК 5503ХМ7 и 5507БЦ7

Поле БМК состоит из столбцов базовых топологических ячеек и каналов трассировки, расположенных как между столбцами ячеек, так и по периметру поля БМК. Столбец имеет регулярную структуру, которая формируется путем мультиплицирования базовой топологической ячейки. Число ячеек в столбце и число столбцов различно для каждого типа БМК в серии. Соседние тополо-

гические ячейки в столбце разделены поликремниевыми проходными шинами. Между столбцами находятся каналы трассировки, которые являются совокупностью горизонтальных отрезков поликремниевых шин со вскрытыми контактными окнами, между которыми в канале может быть проведено в слое металла до 10 вертикальных трасс разводки. Со всех четырех сторон поля БМК имеются периферийные каналы трассировки аналогичной конструкции (рис. 1.9).

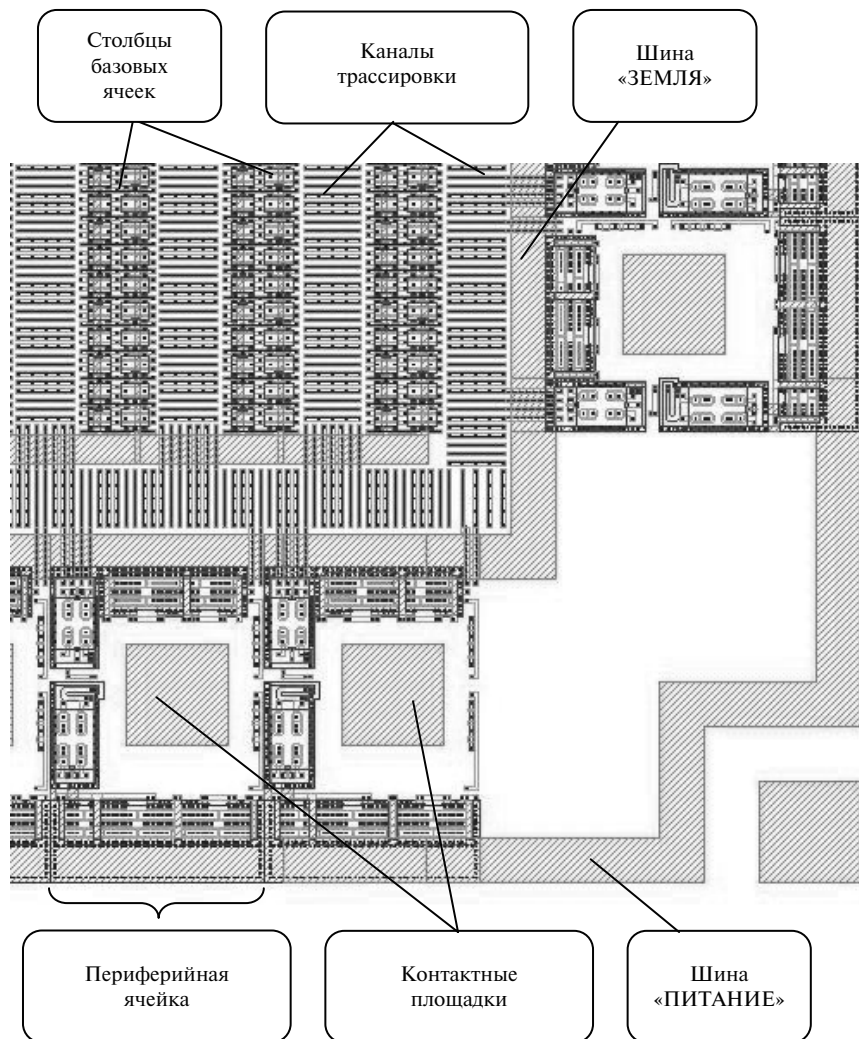


Рис. 1.9. Фрагмент топологии БМК

Таким образом формируются цепи межсоединений, в которых вертикальная разводка выполняется в слое металла, а для горизонтальных трасс используются поликремниевые шины. Количество горизонтальных трасс межсоединений может быть увеличено за счет использования проходных ячеек, в которых транзисторы отключены, а поликремниевые затворы используются в качестве дополнительных проходных шин. Следует отметить, что сопротивление затворов существенно

выше сопротивления проходных шин из-за их меньшей ширины (рис. 1.10). Это может значительно увеличить время распространения сигнала в цепях с использованием затворов проходных ячеек.

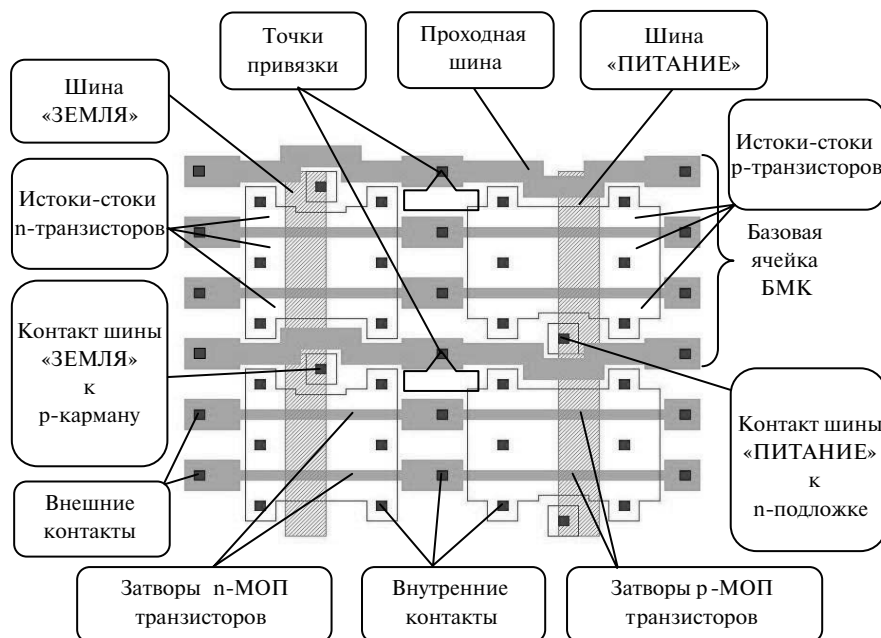


Рис. 1.10. Топология базовой ячейки БМК

### Базовая ячейка

Базовая топологическая ячейка БМК является основой для реализации в поле БМК всех групп функциональных ячеек, кроме ячеек «вход», «выход» и «вход/выход» цифровых и аналоговых сигналов, которые формируются в периферийной области БМК. Основные электрические и топологические параметры базовой ячейки приведены в таблице 1.9.

Таблица 1.9. Основные параметры базовой ячейки

Наименование	Типовое значение	
<b>Базовая ячейка</b>		
Длина, мкм	86,4	
Ширина, мкм	28,8	
<b>МОП транзистор</b>		
	<b>n-типа</b>	<b>p-типа</b>
Длина канала, мкм	2	2
Ширина канала, мкм	24	30,4
Пороговое напряжение, В	0,9	-1,2
Удельная крутизна, мкА/В	70	22
<b>Комплементарная пара МОП транзисторов</b>		
Емкость входа, пФ	0,12	
Проходное сопротивление затвора, Ом	950	

Наименование	Типовое значение
<b>Проходная шина</b>	
Сопротивление, Ом	350
Емкость, пФ	0,015
Сопротивление контакта алюминий – поликремний, Ом	не более 10
<b>Шины «ЗЕМЛЯ», «ПИТАНИЕ»</b>	
Ширина, мкм	6,4
Удельная емкость, пФ/мм <sup>2</sup>	50
Удельное поверхностное сопротивление AlSi, Ом/квadrat	0,05

Базовая ячейка состоит из двух n-канальных транзисторов, расположенных вдоль шины «ЗЕМЛЯ», и двух p-канальных транзисторов, расположенных вдоль шины «ПИТАНИЕ» (см. рис. 1.10). Транзисторы расположены попарно напротив друг друга и имеют общие затворы. Шины «ЗЕМЛЯ» и «ПИТАНИЕ» формируются в слое металла и проходят параллельно друг другу сквозь весь столбец базовых ячеек. При этом все n-МОП транзисторы столбца базовых ячеек находятся в одном p-кармане.

Электрические связи между транзисторами базовых ячеек отсутствуют, а транзисторы внутри ячеек соединены следующим образом (рис. 1.11):

- n- и p-МОП транзисторы образуют комплементарные пары с электрически связанными затворами;
- транзисторы одного типа последовательно соединены друг с другом областями стоков-истоков.

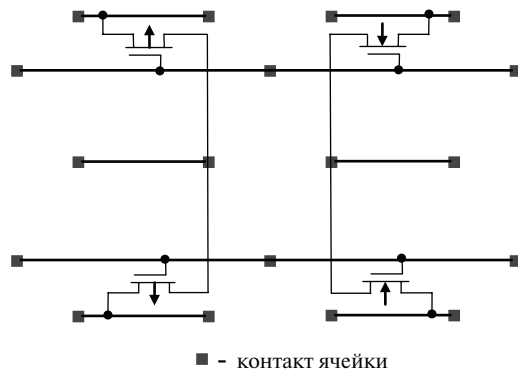


Рис. 1.11. Электрическая схема ячейки поля БМК

Для реализации конкретной библиотечной функциональной ячейки (ФЯ) из библиотеки БМК контакты транзисторов базовых ячеек коммутируются друг с другом и с шинами «ЗЕМЛЯ» и «ПИТАНИЕ» с помощью соединений, формируемых в слое металла (AlSi). Основные правила формирования соединений транзисторов библиотечных ячеек заключаются в следующем:

- соединения формируются в пределах так называемой области коммутации транзисторов ФЯ. При этом наивысший приоритет имеют варианты реализации соединений в области между шинами «ЗЕМЛЯ» и «ПИТАНИЕ» с использованием внутренних контактов базовой ячейки;

- внешние контакты базовой ячейки к сток-истоковым областям МОП транзисторов используются для подключения этих областей к соответствующим шинам «ЗЕМЛЯ» и «ПИТАНИЕ».

Пример соединения транзисторов базовой ячейки для реализации ФЯ и коммутация ФЯ друг с другом приведен на рис. 1.12.

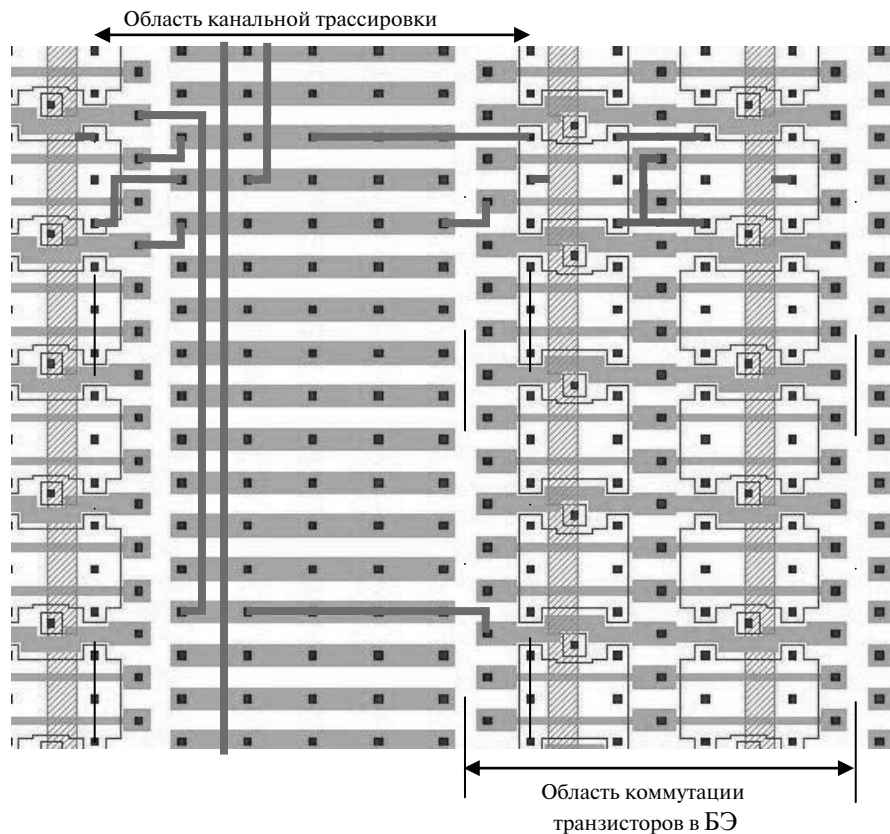


Рис. 1.12. Фрагмент топологии поля БМК

Для корректной привязки ФЯ к конкретным базовым ячейкам кристалла в топологию базовой ячейки введены реперные фигуры, определяющие возможную точку привязки и разрешенную ориентацию ФЯ (см. рис. 1.10).

В топологических подсистемах САПР «Ковчег 3.04» топологии ФЯ представлены в виде трафаретов, на которых показаны соединения контактов базовых ячеек для реализации ФЯ. В топологическом редакторе дополнительно отображается имя ячейки и имена контактов, соответствующие электрической схеме ФЯ (рис. 1.13).

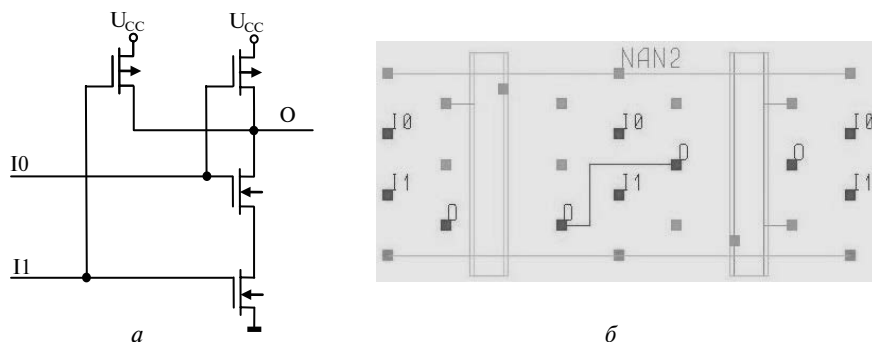


Рис. 1.13. Функциональная ячейка NAN2:  
а – схема электрическая; б – трафарет

### Периферийная ячейка

Периферийная ячейка является основой для реализации в периферийной области кристалла функциональных ячеек типа «вход», «выход» и «вход/выход».

Обобщенная электрическая схема и топология периферийной ячейки приведены соответственно на рис. 1.14 и 1.15.

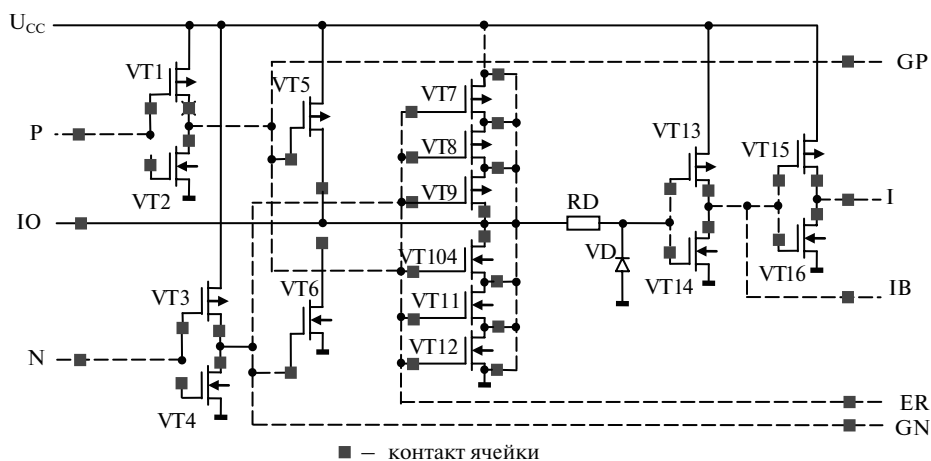


Рис. 1.14. Электрическая схема периферийной ячейки

Пунктирными линиями на электрической схеме представлены возможные соединения элементов. В состав периферийной ячейки входят:

- транзисторы VT1–VT4 – предназначены для реализации инверторов усиления сигналов, подаваемых на затворы мощных выходных транзисторов VT5 и VT6;
- мощные транзисторы VT5 и VT6 – обеспечивают функцию «выход»;
- транзисторы VT7–VT12 – предназначены для реализации функции доопределения выходного контакта периферийной ячейки, если он находится в высокоимпедансном состоянии, до высокого или низкого уровня;

- диодно-резисторная сборка VD, RD – совместно со стоками транзисторов VT5 и VT6 обеспечивает электростатическую защиту внешнего контакта, причем диффузионный резистор RD одновременно является и диодом, образуемым за счет обратно смещенного р-n-перехода между подложкой и диффузионной областью резистора, имеющей U-образную форму;

- транзисторы VT13–VT16 – предназначены для создания входных инверторов при реализации функции «вход».

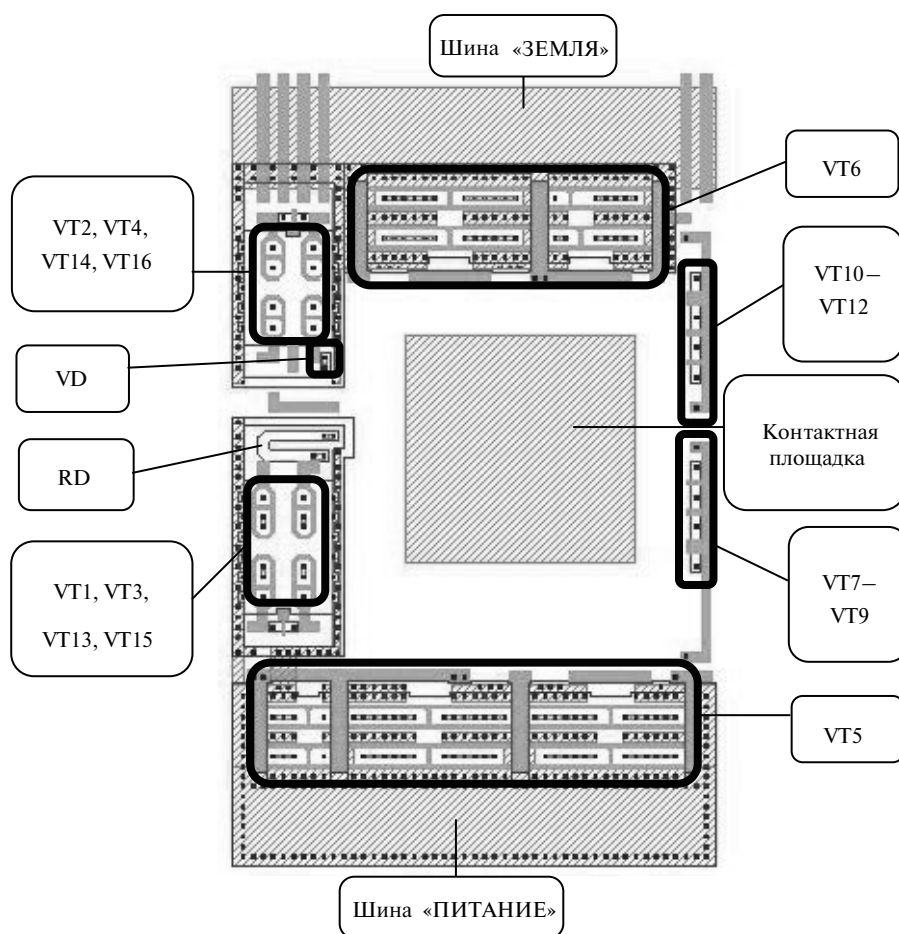


Рис. 1.15. Топология периферийной ячейки

Специализация периферийной ячейки осуществляется аналогично функциональным ячейкам путем соединения контактов транзисторов и других элементов в слое металла. Основные параметры топологии периферийной ячейки приведены в табл. 1.10.



Таблица 1.10. Основные параметры топологии периферийной ячейки

Наименование	Значение
<b>Периферийная ячейка</b>	
Длина (вдоль стороны БМК), мкм	230,4
Ширина, мкм	374,4
<b>Контактная площадка</b>	
Длина (вдоль стороны БМК), мкм	107,2
Ширина, мкм	108,8

### *Каналы трассировки*

Каналы трассировки предназначены для формирования электрических соединений между функциональными ячейками при специализации БМК и располагаются в поле БМК между столбцами базовых ячеек, а также между базовыми и периферийными ячейками (см. рис. 1.9, 1.12).

Конструкция каналов трассировки БМК позволяет реализовать двухуровневую разводку межсоединений в БИС. Первый слой образуют отрезки шин поликремния, которые расположены параллельно друг другу поперек канала. Вторым слоем являются межсоединения, которые формируются при специализации БМК путем селективного удаления металла, нанесенного поверх шин поликремния на всю поверхность кристалла (пластины). Связь первого и второго слоев осуществляется через контактные переходные окна алюминий – поликремний. Оба слоя формируются при изготовлении базовой структуры БМК. Специализация БИС осуществляется только за счет слоя металлизации. Отличие конструкций внешних и внутренних каналов трассировки состоит в различной длине и ориентации отрезков шин поликремния.

Пропускная способность каналов для трассировки БМК (число соединительных шин, которое можно провести в любом сечении канала для трассировки) определяет возможность реализации БИС. Увеличение пропускной способности канала обеспечивает рост коэффициента использования ячеек и повышает эффективность средств автоматического синтеза топологии, так как уменьшается объем ручной трассировки неразведенных с помощью САПР соединений. Однако при этом увеличивается площадь БМК. Поэтому при проектировании БМК необходимо найти разумный компромисс между размером поля БМК, конструкцией базовой ячейки и пропускной способностью каналов трассировки.

Специализация БМК заключается в создании электрических связей внутри базовых ячеек для формирования необходимых ФЯ и связей между полученными ФЯ. Первые формируются в области коммутации транзисторов ФЯ (см. рис. 1.12), а вторые – в области канальной трассировки.

Зашивка БМК серий 5503 и 5507 осуществляется одним фотошаблоном с минимумом технологических операций: нанесение и экспонирование фоторезиста, травление алюминия, снятие фоторезиста, нанесение защитного покрытия, нанесение и экспонирование фоторезиста, травление защитного покрытия для вскрытия контактных площадок.

## Корпусное исполнение

Основными параметрами, определяющими конструкцию микросхемы, являются:

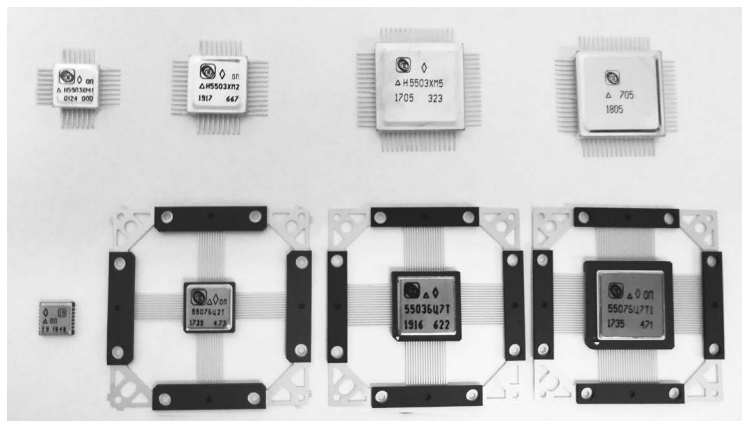
- условия эксплуатации микросхемы (ВВФ, такие как температура, вибрации, ускорения, радиация, влажность и др.);
- потребляемая микросхемой мощность;
- рабочие частоты микросхемы;
- требования по методам монтажа микросхемы в аппаратуру.

Условия эксплуатации определяют материал, из которого изготавливается корпус. Для микросхем народно-хозяйственного назначения обычно применяются пластиковые корпуса, которые имеют температурный диапазон от  $-40$  до  $+85$  °С. Для микросхем космического назначения, предназначенных для жестких условий эксплуатации, применяются металлокерамические корпуса. Микросхемы с высоким энергопотреблением требуют специальных типов корпусов, обеспечивающих необходимый теплоотвод, что отражается в конструкции и габаритах корпуса. Высокие рабочие частоты микросхем (более 200 МГц) также предъявляют к корпусу особые требования.

Микросхемы на БМК серий 5503 и 5507 являются низкопотребляющими микросхемами с рабочими частотами до 50 МГц и диапазоном рабочих температур от  $-60$  до  $+85$  °С, поэтому особые требования к корпусам не предъявляются. Для производства БИС на БМК серий 5503 и 5507 используются металлокерамические планарные корпуса с золотым покрытием Н-типа, а также корпуса 5-го типа и 4-го типа (табл. 1.11). Внешний вид корпусов представлен на рис. 1.16.

**Таблица 1.11.** Основные характеристики корпусов, применяемых при изготовлении БИС на БМК серий 5503 и 5507

Тип БМК	Обозначение корпуса	Выводы		Габаритные размеры без учета выводов, мм		
		кол-во, шт.	шаг, мм	длина	ширина	высота
H5503XM1, 5507БЦ1У	H09.28-1В	28	1,0	9,4	9,4	2,9
H5503XM2, 5507БЦ2У	H14.42-1В	42	1,0	12,0	12,0	2,9
H5503XM5, 5503БЦ7У, 5507БЦ5У, 5507БЦ7У	H18.64-1В	64	1,0	18,3	18,3	2,9
5503БЦ1У, 5507БЦ1У1	МК 5123.28-1.01	28	0,7	6,5	6,5	1,9
5503БЦ2Т, 5507БЦ2Т	МК 4217.44-1	44	0,5	10,0	10,0	3,0
5503XM5Т, 5503БЦ7Т, 5507БЦ5Т, 5507БЦ7Т	МК 4239.68-2	68	0,5	14,0	14,0	2,6
5503БЦ7Т, 5507БЦ7Т1	МК 4247.100-3	100	0,5	18,0	18,0	2,6



**Рис. 1.16.** Внешний вид микросхем серий 5503 и 5507:  
 слева направо сверху: Н09.28-1В, Н14.42-1В, Н18.64-1В;  
 слева направо снизу: 5123.28-1.01, 4217.44-1, 4239.68-2, 4239.100-3

### *Стойкость к воздействию внешних факторов*

Применяемые корпуса и особенности конструктивно-технологической реализации кристаллов микросхем обеспечивают стойкость микросхем серий 5503 и 5507 к воздействию внешних факторов.

#### *Механические факторы*

В табл. 1.12 приведены характеристики стойкости микросхем серий 5503 и 5507 к внешним механическим воздействиям.

**Таблица 1.12.** Стойкость к внешним механическим воздействиям

Воздействие	Характеристики	Значение		Ед. изм.
		min	max	
Синусоидальные вибрации	Диапазон частот	1	5000	Гц
	Амплитуда ускорения	—	400 (40)	м/с <sup>2</sup> (g)
Удары одиночного действия в любом направлении	Амплитуда пикового ударного ускорения	—	15 000 (1500)	м/с <sup>2</sup> (g)
	Длительность действия ударного ускорения	0,1	2,0	мс
Удары многократного действия в любом направлении	Амплитуда пикового ударного ускорения	—	1500 (150)	м/с <sup>2</sup> (g)
	Длительность действия ударного ускорения	1	5	мс
Линейное ускорение	Амплитуда ускорения		5000 (500)	м/с <sup>2</sup> (g)
Акустический шум	Диапазон частот	50	10 000	Гц
	Уровень звукового давления		170	дБ

### Климатические факторы

В табл. 1.13 приведены характеристики стойкости микросхем серий 5503 и 5507 к внешним климатическим воздействиям.

Таблица 1.13. Стойкость к внешним климатическим воздействиям

Воздействие	Значение		Ед. изм.
	min	max	
Повышенное рабочее давление		3	атм
Повышенная рабочая температура среды		+85	°С
Повышенная предельная температура среды		+125	°С
Пониженная рабочая температура среды	-60		°С
Пониженная предельная температура среды	-60		°С
Изменение температуры среды в пределах	-60	+125	°С
Повышенная относительная влажность при температуре +35°С		98	%

### Факторы космического пространства

В табл. 1.14 приведены характеристики стойкости микросхем серий 5503 и 5507 к факторам космического пространства.

Таблица 1.14. Стойкость к факторам космического пространства

Виды факторов	Характеристики факторов	Значения характеристик	
		Серия 5503	Серия 5507
7.И	7.И <sub>1</sub>	4У <sub>С</sub>	4У <sub>С</sub>
	7.И <sub>6</sub>	5 · 4У <sub>С</sub>	4У <sub>С</sub>
	ВПР по 7.И <sub>6</sub>	0,2 · 1У <sub>С</sub>	0,02 · 1У <sub>С</sub>
	7.И <sub>7</sub>	5 · 4У <sub>С</sub>	4У <sub>С</sub>
	УБР по 7.И <sub>8</sub>	0,07 · 1У <sub>С</sub>	0,02 · 1У <sub>С</sub>
7.С	7.С <sub>1</sub>	50 · 4У <sub>С</sub>	4У <sub>С</sub>
	7.С <sub>4</sub>	3 · 4У <sub>С</sub>	4У <sub>С</sub>
7.К	7.К <sub>1</sub>	2К	2К
	7.К <sub>4</sub>	1К	1К
	(7.К <sub>1</sub> + 7.К <sub>4</sub> )	1К	1К
	7.К <sub>11</sub> (7.К <sub>12</sub> )	40 МэВ · см <sup>2</sup> /мг	66 МэВ · см <sup>2</sup> /мг

### Библиотека функциональных ячеек

Библиотека функциональных ячеек является основой при проектировании и во многом определяет качество разработки БИС. Для обеспечения бездефектного проектирования библиотека должна удовлетворять следующим требованиям:

- 1) включать все основные группы функциональных ячеек;
- 2) иметь удобную для пользователя систему обозначений;

3) учитывать специфические особенности БМК.

Наиболее удобной для разработчика является система обозначений, построенная по функциональному принципу, которая и принята в единой унифицированной библиотеке функциональных ячеек серий БМК 5503 и 5507, состоящей из четырех библиотек:

1) библиотеки базовых функциональных ячеек (5503), которая включает все основные группы логических элементов и триггеров, а также периферийные элементы, обеспечивающие функции «вход», «выход» и «вход/выход» цифровых и аналоговых сигналов. Библиотека содержит 287 ячеек;

2) библиотеки цифроаналоговых ячеек (5503+), позволяющей реализовать аналого-цифровую обработку сигналов. Библиотека включает 28 ячеек;

3) библиотеки специальных ячеек (5503++), разработанных для реализации по техническому заданию заказчиков различных нестандартных специфических функций. Данная библиотека сторонним заказчикам не предоставляется;

4) библиотеки ячеек для реализации самосинхронизирующихся (для краткости – самосинхронных) схем (5503СС). Самосинхронные схемы характеризуются рядом параметров, выгодно отличающих их от синхронных схем, в том числе устойчивостью функционирования к разбросу и отклонениям параметров элементной базы из-за старения элементов, изменения температуры, напряжения источника питания и других ВВФ. Библиотека включает 269 ячеек.

Полное описание библиотек функциональных ячеек 5503 и 5503+ приведено в книге 3, а описание библиотеки 5503СС – в книге 4 серии практических пособий «Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507».

### ***САПР «Ковчег 3.04»***

САПР БИС «Ковчег 3.04» предназначена для разработки полузаказных КМОП БИС на основе базовых матричных кристаллов серий 5503 и 5507.

САПР «Ковчег 3.04» имеет единую программную оболочку, функционирующую в среде Windows. В состав САПР входят все основные подсистемы, необходимые для разработки и подготовки к производству полузаказной БИС, а именно:

- графический редактор схем;
- редактор описания схем в формате Verilog netlist;
- подсистема функционально-логического моделирования;
- подсистема размещения ячеек на поле БМК;
- подсистема синтеза топологии;
- специализированный топологический редактор;
- подсистема верификации топологии;
- подсистема расчета задержек в топологии;
- подсистема аттестации проекта БИС;
- средства обеспечения оперативного прототипирования БИС на имитаторах.

Структурная схема САПР БИС «Ковчег 3.04» приведена на рис. 1.17.

Ввод схемы осуществляется средствами графического редактора схем, также может быть использовано текстовое структурное описание схемы на языке Verilog. Подсистема функционально-логического моделирования обеспечивает анализ состояния схемы в статическом или динамическом режиме, сохранение эталон-

ных диаграмм работы схемы и автоматическое сравнение текущих диаграмм с эталонными с учетом задержек распространения сигналов в топологии.



Рис. 1.17. Структурная схема САПР БИС «Ковчег 3.04»

Совмещенная подсистема ручного и автоматического размещения ячеек на поле БМК обеспечивает возможность использования при разработке БИС до 90% ячеек поля БМК. Для повышения качества проектирования и минимизации затрат на производство в составе САПР реализована подсистема прототипирования, позволяющая подготовить информацию для зашивки в имитатор БИС с целью исследования функционирования микросхемы в составе аппаратуры заказчика до ее изготовления. Подробно методология разработки аппаратуры с применением БИС на БМК серий 5503 и 5507 изложена в разделе 5 данного практического пособия. Синтез топологии выполняется с учетом списков цепей приоритетной разводки и скоростных цепей. При необходимости топология может быть скорректирована средствами топологического редактора. Подсистема верификации, с одной стороны, проверяет выполнение требований стандарта кодирования топологии БИС, с другой – осуществляет проверку соответствия полученной топологии БИС ее логической схеме. Подсистема расчета задержек обеспечивает расчет задержек распространения сигналов в топологии для оценки влияния топологии на работоспособность БИС. Подсистема аттестации позволяет оценить устойчивость проекта микросхемы к воздействию внешних факторов, провести анализ влияния топологических параметров на правильность ее функционирования. Для обеспечения производства разработанной микросхемы средствами автоматического синтеза формируются программы контроля для забраковки микросхем на контрольно-измерительном оборудовании в составе пластины и в корпусном исполнении.

Полное описание САПР БИС «Ковчег 3.04» приведено в книге 2 серии практических пособий «Полузаказные БИС на БМК серий 5503 и 5507».