



# ПЕРСПЕКТИВНАЯ ЭЛЕМЕНТНАЯ БАЗА ДЛЯ АППАРАТУРЫ С ЖЕСТКИМИ УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

## PROMISING ELEMENT BASE FOR EQUIPMENT OPERATING IN HARSH ENVIRONMENTS

УДК 621.382, ВАК 05.27.01, DOI:10.22184/1993-8578.2016.70.8.22.31

А.Денисов\*, В.Коняхин\* / A.Denisov@tcen.ru, V.Koniakhin@tcen.ru  
A.Denisov\*, V.Koniakhin\*

Проанализированы варианты реализации специализированных микросхем. Рассмотрены особенности базовых матричных и базовых кристаллов как основы для реализации специализированных микросхем. Представлены современные серии базовых кристаллов 5521 и 5529, изготовленные по технологическим нормам 180 нм и 250 нм, а также БМК малой степени интеграции серий 5503 и 5507. Указанные БК и БМК составляют семейство серий, имеющих единую библиотеку функциональных ячеек, общие средства проектирования и аналогичные корпусные исполнения. Отличительной чертой семейства является повышенная стойкость к внешним воздействующим факторам космического пространства.

Possibilities of implementation of application-specific integrated circuit (ASIC) are analysed. The features of uncommitted logic array (ULA) and gate array (GA) as basis for the implementation of ASIC are considered. The up-to-date 180 nm and 250 nm 5521 and 5529 GA families and 5503 and 5507 small scale integration ULA families are presented. These GA and ULA form a group of families with a common library of functional cells, similar design tools and types of packages. Their distinctive feature is high resistance to space conditions.

**М**икроэлектроника является одной из отраслей промышленности, определяющих научно-технический прогресс общества. Большинство процессов, связанных с развитием микроэлектроники, носит выраженный экспоненциальный характер. В отличие от обычных отраслей промышленности, где создание 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 актуальна задача ускорения темпов разработки электронной компо-

нентной базы (ЭКБ) для современной радиоэлектронной аппаратуры (РЭА), в особенности – больших интегральных схем (БИС), которые можно разделить на два основных класса: универсальные и специализированные. К первому классу относятся микропроцессоры, микроконтроллеры, периферийные устройства, устройства памяти (ПЗУ, ОЗУ и т.д.), серии стандартных микросхем и др., то есть микросхемы, функциональные возможности которых носят универсальный характер и могут быть использованы в различных устройствах и системах. Объем производства микросхем данного класса составляет сотни тысяч и миллионы штук в год, что минимизирует затраты на их проектирование и освоение в производстве.

<sup>1</sup> НПК "Технологический центр" / SMC "Technological Centre".

Специализированные микросхемы выполняют в аппаратуре конкретные специфические функции, присущие только ей, и в большинстве случаев не могут быть использованы где-либо еще. С завершением производства аппаратуры исчезает потребность и в выпуске предназначенных для нее специализированных микросхем. Как правило, серийность специализированных микросхем напрямую связана с объемом выпуска аппаратуры, в которой они применяются. Существует большая номенклатура специализированных микросхем с огромными объемами выпуска, например БИС, применяемые в автомобильной электронике, бытовой и компьютерной технике и др. При производстве таких микросхем затраты на их проектирование и организацию массового выпуска легко окупаются. Это наиболее рентабельный сектор рынка микроэлектроники.

Однако в современном обществе существует потребность в тысячах типов специализированных микросхем, которые выпускаются для удовлетворения нужд отдельных отраслей промышленности и конкретных типов РЭА. Объем производства таких микросхем может составлять от нескольких десятков до нескольких тысяч штук в год. Способность разрабатывать и производить их во многом определяет научно-технический и оборонный потенциал страны. Не

случайно в санкционный список США против России попали крупнейшие предприятия отечественной микроэлектроники АО "Ангстрем" и ПАО "Микрон", являющиеся флагманами в производстве специализированных БИС.

Особую, наиболее сложную группу среди специализированных микросхем составляют БИС, применяемые в аппаратуре космического назначения и эксплуатируемые в условиях действия жестких внешних воздействующих факторов (ВВФ). Как правило, номенклатура таких микросхем велика, сроки разработки аппаратуры ограничены, а серийность, в силу специфики аппаратуры, часто не превышает нескольких сотен изделий в год. Производство, как правило, имеет прерывистый характер, а основной вклад в стоимость микросхем вносят затраты на освоение производства и проведение квалификационных и периодических испытаний для подтверждения уровня качества.

Современные специализированные микросхемы можно разделить на три группы: заказные микросхемы, программируемые логические интегральные схемы (ПЛИС) и полужаказные БИС на основе базовых (БК) или базовых матричных кристаллов (БМК). Принято считать, что полностью заказные микросхемы обеспечивают максимальную функциональность, надежность и стойкость к ВВФ, минимальную стоимость при

**M**icroelectronics is one of the industries that determine scientific and technical progress of society. Most of the processes associated with the development of microelectronics have pronounced exponential character. Unlike conventional industries, where the creation of faster and better devices with enhanced functionality usually doubles the cost of development and production, in microelectronics the opposite is true: the transition to a new (smaller) technological standards leads to reduction in price with simultaneous increasing functionality of integrated circuits.

In these circumstances, it is urgent to accelerate the development of electronic component base (ECB) for modern electronic equipment (EE), especially of very large scale integrated circuits (VLSIC), which can be divided into two basic classes: generic and application-specific. The first class includes microprocessors, microcontrollers, peripheral devices, storage devices (ROM, RAM, etc.), a series of standard chips, etc., that is, versatile chips, which can be used in various devices and systems. The production volume of chips of this class reaches hundreds of thousands and millions of pieces per year

that minimizes the contribution to their cost of design and development.

Application-specific integrated circuit (ASIC) performs specific functions inherent only to a certain type of equipment, and in most cases can't be used anywhere else. After the end of production of such equipment, there is no need in ASIC intended for it. As a rule, the volume of production of ASICs is directly tied to volume of production of equipment in which they are applied. There is a large range of ASICs with huge production volumes, for example, VLSICs for automotive electronics, household and computer equipment



массовом производстве, но экономически не эффективны при малых объемах выпуска, так как требуют максимальных затрат при разработке и освоении производства. ПЛИС обладают преимуществами при разработке и отладке проекта микросхемы в составе аппаратуры. В то же время наличие дополнительных элементов для программирования снижает их надежность и увеличивает энергопотребление. По сравнению с заказными БИС стоимость ПЛИС существенно выше. Полузаказные БИС занимают промежуточное положение между полностью заказными микросхемами и ПЛИС. По показателям надежности, энергопотребления и стойкости к ВВФ они сравнимы с заказными БИС, а по длительности цикла "разработка - изготовление - поставка" сопоставимы с ПЛИС. Производство БМК и БК, как правило, поддерживается в течение длительного времени (более 15 лет). Дополнительно необходимо учитывать, что ПЛИС военного и космического назначения (уровней качества Military и Space) из-за введенного эмбарго в Россию не поставляются.

Выбор способа реализации специализированных БИС определяется множеством факторов, но, как правило, именно полузаказные БИС обеспечивают наилучшее соотношение эксплуатационных и экономических показателей. Рассмотрим особенности БМК и БК, как основы для реализации специализированных микросхем.

### КОНСТРУКЦИЯ БМК

Базовый матричный кристалл (БМК) (англоязычные термин ULA, Uncommitted Logic Array) - это универсальная заготовка в виде кремниевой пластины, на которой сформированы кристаллы с матрицей транзисторных структур. Такие кристаллы называют базовыми, поскольку все фотошаблоны для их изготовления, за исключением слоев металлизации, являются постоянными и не зависят от реализуемой схемы. Простейшие элементы (КМОП-транзисторы) располагаются в виде регулярной матрицы, поэтому кристалл называют матричным. В отличие от ПЛИС, логика работы которых задается посредством программно-управляемых элементов, специализация БМК формируется технологически в процессе микроэлектронного производства. Изготовление конкретной БИС заключается в выполнении завершающих технологических операций над кремниевыми пластинами с кристаллами-заготовками БМК. При этом в одном или нескольких слоях металлизации осуществляется коммутация КМОП-транзисторов на поле матрицы для формирования цепей схемы. В сравнении с ПЛИС в структуре БМК отсутствуют избыточные элементы, что в несколько раз снижает общую сложность микросхемы и повышает ее надежность.

В конструкции БМК можно выделить регулярное поле, окруженное областью периферийных контактов. Для определения размера поля БМК

etc. The costs of design and organization of mass production of such chips are easy to pay off. It is the most profitable sector of the market of microelectronics.

However, in modern society there is a need for thousands of types of ASICs, which are produced to meet the needs of specific industries and specific types of electronics. The production volume of such circuits can range from a few dozen to several thousand pieces per year. Ability to develop and produce them largely determines the scientific, technical and defence potential of the

country. It is not coincidentally that the sanctions list of the USA against Russia includes the largest enterprises of the domestic microelectronics - Angstrom and Mikron, which are the flagships in the production of specialized VLSICs.

VLSICs, which are used in space equipment and operated under the influence of hard external factors, constitute a special, most complex group among ASICs. Usually, the range of such chips is large, the development time of equipment is limited, and seriality, due to the nature of the equipment, often

does not exceed several hundred units per year. Production, as a rule, is intermittent, and the main parts of the cost of the chips are costs of the development of production and expenses of certification and periodic tests for confirmation of the quality level.

Modern ASICs can be divided into three groups: custom IC, field-programmable gate array (FPGA) (FPGA) and semicustom IC based on gate array (GA) or uncommitted logic array (ULA). It is considered that the fully custom chips provide maximum functionality, reliability and

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 вентиляей, которые могут быть использованы при реализации конкретной микросхемы. Отношение использованных эквивалентных вентиляей к размеру поля БМК называется коэффициентом заполнения.

Сложность реализуемых на БМК микросхем определяется многими факторами: размером поля БМК, количеством доступных для использования внешних контактов, эффективностью средств проектирования, развитостью библиотеки функциональных ячеек, их быстродействием, возможностями охлаждения микросхем в аппаратуре и многими другими. На практике не удается использовать все 100% поля БМК. При заполнении поля кристалла менее чем на 70%, как правило, удается спроектировать топологию автоматически средствами САПР без вмешательства разработчика. При большем коэффициенте заполнения топология разрабатывается в интерактивном режиме с участием разработчика. Это усложняет процесс проектирования, но позволяет использовать кристалл меньшего размера, производство которого будет дешевле. Поэтому обычно БМК разрабатываются сериями. Серию составляют несколько конструктивно подобных БМК, имею-

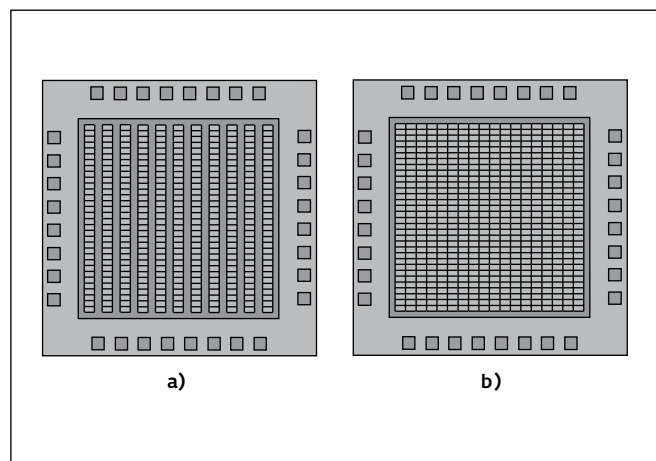


Рис.1. Варианты конструкций БМК: а – канальная; б – "море вентиляей"

Fig.1. Variants of ULA design: a – row structure; b – sea of gates

щих общую библиотеку функциональных ячеек и различающихся размером поля кристалла и количеством внешних выводов. Для каждого большего по размеру типа БМК в серии размер поля обычно увеличивается примерно вдвое. Серии БМК также могут состоять из одного типоразмера кристалла, изготавливаемого в различных типах корпусов.

Конструкция БМК, как правило, строится на 4-транзисторных базовых ячейках. Подобные ячейки позволяют эффективно использовать ресурсы БМК и реализовывать любые схемотехнические решения. Однако встречаются БМК

resistance to external factors, the minimum cost for mass production, but are not cost effective at low production volumes, as they require the maximum cost in the design and development of production. FPGAs have advantages in the development and debugging of the circuits project in the equipment. At the same time, the additional elements for programming reduce their reliability and increase power consumption. Compared to the custom VLSICs, the cost of FPGAs is significantly higher. Semicustom VLSICs occupy an intermediate

position between a fully custom chips and FPGAs. In terms of reliability, power consumption, and resistance to external factors, they are comparable to custom VLSICs, and in terms of the duration of "development – production – supply" cycle they are comparable to FPGA. The production of GA and ULA, as a rule, is maintained for a long time (over 15 years). Additionally, it is necessary to consider that the FPGAs for military and space purposes (of Military and Space quality levels) are not supplied to Russia due to an embargo.

The choice of the method of implementation of specialized VLSICs depends on many factors, but, as a rule, the semicustom chips provide the best balance of operational and economic performance. Let's consider the features of GA and ULA as the basis for the implementation of ASICs.

#### DESIGN OF ULA

Uncommitted logic array (ULA) is a versatile workpiece in the form of a silicon wafer with the chips with a matrix of transistor structures. All photomasks for the manufacture of such chips, except for metallization layers,



с разногабаритными ячейками или с регулярно повторяющимися транзисторными структурами.

По конструкции поля наибольшее распространение получили БМК, имеющие "канальную" организацию и БМК типа "море вентиляй". При канальной организации поле БМК представляет собой последовательность столбцов или строк ячеек и каналов для трассировки (рис.1а). При использовании организации "море вентиляй" поле БМК представляет собой сплошную регулярную структуру однотипных ячеек (рис.1б).

### КОНСТРУКЦИЯ БК

БМК свойственны существенные ограничения, которые обусловлены применением однотипных транзисторов, предназначенных для построения схем цифровой обработки, но не позволяющих реализовывать сложные аналоговые и другие схемы, имеющие какие-либо особенности.

Указанный недостаток устраняется при применении базовых кристаллов. Современный БК имеет фиксированную периферийную область, как правило, совпадающую с периферийной областью БМК, но в поле БК фиксируются только цепи организации системы питания микросхемы. Это позволяет создавать на поле БК как матрицы различных цифровых транзисторов, аналогичные БМК, так и другие схемы (рис.2). Следует отметить, что БМК является

фактически частным случаем БК, когда все поле последнего занято ячейками цифровых транзисторов.

Возможность реализации на поле БК матриц транзисторов различной мощности позволяет повысить частоту срабатывания триггеров более чем в два раза, что обеспечивает повышение системной частоты обработки информации, а также минимизирует площадь схемы.

Обычно с привязкой к конструкции БМК и БК создаются сложно-функциональные блоки (СФ-блоки), которые реализуют различные функции, такие как микропроцессорные ядра, микроконтроллеры, блоки памяти, интерфейсные блоки, блоки аналого-цифровой обработки и многие другие. Очень важно, что библиотека СФ-блоков может создаваться постепенно в процессе эксплуатации серии БМК и БК, как дополнительный результат проектирования конкретных БИС, а применение отработанных, прошедших экспериментальное апробирование СФ-блоков позволяет повысить качество разработки и сократить затраты на стадии проектирования микросхемы.

Следует отметить, что современные конструктивно-технологические базисы как на объемном кремнии, так и на структурах "кремний на изоляторе" позволяют создавать БК с повышенной устойчивостью к ВВФ, в том числе для аппаратуры космического назначения.

Таким образом, БК и БМК наиболее перспективны для создания специализированных

are constant and do not depend on the implemented scheme. The simplest elements (CMOS transistors) are arranged in a regular array. Unlike FPGAs, the logic of which is set by software-controlled items, the specialization of ULA is technologically formed in the process of microelectronic production. Production of specific VLSIC consists in accomplishment of the final manufacturing operations on silicon wafers with ULAs. The CMOS transistors on the array are switched in one or more layers of metallization for the formation of the circuit. Compared

to FPGAs, the structure of ULA does not contain redundant elements, which greatly reduces the overall complexity of the circuit and increases its reliability.

ULA includes floor surrounded by the region of the peripheral contacts. To define the size of the ULA the concept of "equivalent gate" is used. One equivalent gate corresponds to the four CMOS transistors which can realize 2AND-NOT or 2OR-NOT logical functions. It is necessary to distinguish between the actual ULA size and the number of equivalent gates that can be used to implement ASIC. The

ratio of used equivalent gates to the size of ULA is the fill factor.

The complexity of chips that are implemented on the ULA is determined by many factors: the size of ULA, the amount of external contacts, efficiency of design tools, level of the library of functional cells and their performance, cooling capabilities in hardware, and many others. In practice we cannot use 100% of the ULA area. When fill factor is less than 70%, as a rule, it is possible to design the topology automatically by CAD tools without the participation of the developer. In case of a larger fill

микросхем, особенно с повышенными требованиями к надежности в жестких условиях эксплуатации. Рассмотрим современные серии БК 5521 и 5529 [1-4], изготовленные по технологическим нормам 180 нм и 250 нм, а также БМК малой степени интеграции серий 5503 и 5507. Указанные БК и БМК составляют семейство серий, имеющих единую библиотеку функциональных ячеек, общие средства проектирования и аналогичные корпусные исполнения. Отличительной чертой семейства является повышенная стойкость к ВВФ космического пространства.

### СЕМЕЙСТВО СЕРИЙ БМК / БК 5521 И 5529

Серии БМК и БК 5529 изготавливаются по КМОП-технологии с нормами 0,25 мкм на структурах "кремний на изоляторе" (КНИ), а серия БК 5521 – с технологическими нормами 0,18 мкм на объемном кремнии. Напряжение питания составляет  $3 \text{ В} \pm 10\%$  или  $3,3 \text{ В} \pm 10\%$ , расчетное время задержки на вентиль – 100 пс, тактовая частота D-триггера в счетном режиме – 500 МГц.

БМК серии 5529 соответствуют требованиям ОСТВ 11 0998, освоены в производстве НПК "Технологический центр" с изготовлением кристаллов микросхем на заводе "Микрон", входят в перечень изделий, разрешенных к применению МОП 44 001.02. В 2017 году будут завершены ОКР по освоению в производстве десяти типов БК серий 5529 и 5521. Повышенная устойчивость микросхем к воздействию одиночных

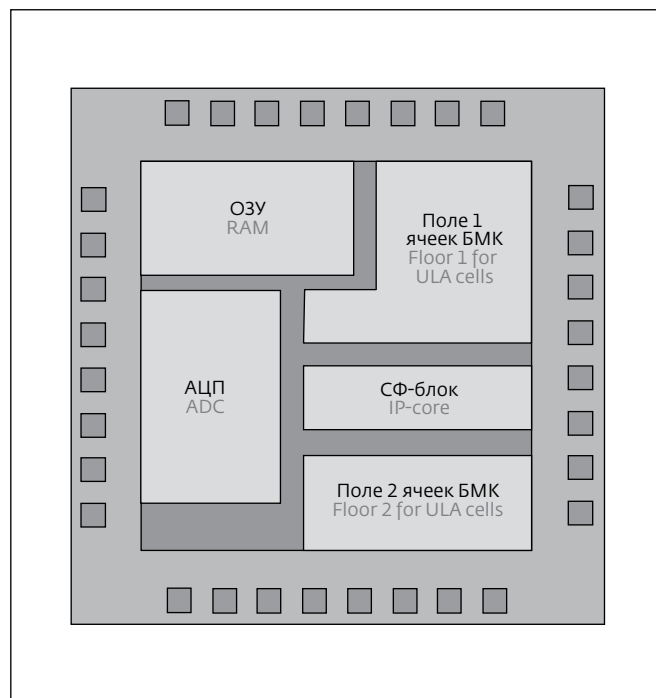


Рис.2. Конструкция БК

Fig.2. Design of GA

заряженных частиц обеспечивается для серии 5529 конструктивно-технологическим базисом КНИ, а для серии 5521 – применением троированных триггеров.

Состав и основные технические характеристики БМК и БК серий 5529 и 5521 приведены в табл.1.

factor the topology is designed in an interactive mode with the participation of the developer. This complicates the design process, but allows the use of smaller chip size, the production of which will be cheaper. So typically the families of ULAs are developed. The family includes several structurally similar ULAs with a common library of functional cells and different size of the floor and number of external contacts. For each larger type of ULA in family the floor size usually increases approximately twice. The ULA family can also consist of one

size of the chip manufactured in different types of packages.

The ULA design is usually based on a 4-transistor cells. These cells allow to efficient use the resources of ULA and to implement any circuit solution. However, the ULA may include cells of different sizes or regularly repeated transistor structures.

The most widely used ULAs have row or sea-of-gates structure. ULA with row structure consists of a sequence of columns or rows of cells and channels for the wiring (Fig.1a). ULA of sea-of-gates type has a regular

structure of identical cells (Fig.1b).

### DESIGN OF GA

ULAs are characterized by significant limitations, which are caused by the use of similar transistors that are intended to build circuits of digital processing, but does not allow to implement complex analog and other circuits with special features.

This drawback is eliminated by the use of the GA. Modern GA has a fixed peripheral area, usually coinciding with the peripheral area of ULA, but in GA only chains of power supply of the



Таблица 1. Состав и основные характеристики БК серий 5529 и 5521

Table 1. Specifications of 5529 and 5521 GA families

Условное обозначение БК Abbreviation of GA		Тип корпуса Type of package	Количество внешних/ информационных контактов Number of external/ information contacts	Размер поля, тыс. эквивалентных вентилей Floor size, thousands of equivalent gates
Серия 5521 5521 family	Серия 5529 5529 family			
5521TP01	5529TP01	МК 5123.28-1.01	28 / 26	39
5521TP02	5529TP02	МК 4217.44-1	44 / 40	73
5521TP03	5529TP03	МК 4217.44-1	44 / 40	200
		МК 4239.68-2	68 / 64	
5521TP04	5529TP04	МК 4239.68-2	68 / 64	400
		МК 4247.100-2	100 / 88	
5521TP05	5529TP05	МК 4247.100-2	100 / 88	800
		МК 4248.144-3	144 / 120	
5521TP06	5529TP06	МК 4248.144-3	144 / 120	985
		МК 4249.176-1	176 / 152	
5521TP07	5529TP07	МК 4249.176-1	176 / 152	1315
		МК 4250.208-1	208 / 184	
5521TP08	5529TP08	МК 4250.208-1	208 / 184	1810
		МК 4245.240-7	240 / 208	
5521TP09	5529TP09	МК 4245.240-7	240 / 208	2765
		МК 4244.256-4	256 / 224	
		МК 4251.304-1	304 / 272	
5521TP10	5529TP10	МК 4251.304-1	304 / 272	4240
		МК 4254.352-1	352 / 288	

chip are fixed. This allows to create on the base of GA not only arrays of different digital transistors similar to ULA, but also other circuits (Fig.2).

It should be noted that ULA is actually a special kind of GA, when all the area is occupied by cells of the digital transistors.

The possibility of implementation in GA of the arrays of transistors of different power allows to increase the frequency of the triggers more than twice, which enhances the system frequency of information processing, and also minimizes the area of the circuit.

Usually ULA and GA create a basis for IP cores that implement various functions, such as microprocessor cores, microcontrollers, memory blocks, interface blocks, analog-to-digital processing and many others. It is very important that the library of IP Cores may be created gradually in the process of operation of the ULA and GA families, as an additional result of the designing of specific VLSICs, and the use of proven IP Cores allows to improve the quality of development and to reduce the costs of design of the chip.

It should be noted that the up-to-date technological basis both on bulk silicon and silicon on insulator structures allow to create the GA with increased resistance to external factors, including for equipment for space applications.

Thus, ULA and GA are the most promising solutions for the creation of ASICs, especially with high requirements for reliability in harsh environments. Let's consider the modern 180 nm and 250 nm 5521 and 5529 GA families [1-4], and small scale integration 5503 and 5507 ULA families. These GA and ULA







Таблица 2. Состав и основные характеристики БМК серий 5503 и 5507

Table 2. Specifications of 5503 and 5507 ULA families

Условное обозначение БМК Abbreviation of ULA		Тип корпуса Type of package	Количество внеш- них / информационных контактов Number of external / infor- mation contacts	Размер поля, эквива- лентных вентилях Floor size, equivalent gates
Серия 5503 5503 family	Серия 5507 5507 family			
H5503XM1	5507БЦ1У	H09.28-1B	28 / 26	576
5503XM1У	5507БЦ1У1	МК 5123.28-1.01		
H5503XM2	5507БЦ2У	H14.42-1B	42 / 40	1296
H5503XM5	5507БЦ5У	H18.64-1B	64 / 62	3 072
5503XM5T	5507БЦ5T	МК 4239.68-2		
5503БЦ7У	5507БЦ7У	H18.64-1B	64 / 60	5 478
5503БЦ7T	5507БЦ7T	МК 4239.68-2	68 / 64	

### СЕРИИ БМК 5503 И 5507

БМК 5503 и 5507 являются сериями малой степени интеграции и уже более 15 лет широко применяются в аппаратуре космического назначения. На основе БМК данных серий разработано более 500 типов БИС, в том числе для таких космических аппаратов и кораблей как "Прогресс-М", "Союз-ТМА", "Меридиан", "Лабиринт", "Пион", "Аркон-2", "Электра", "Луч", "ГЛОНАСС-М", "ГЛОНАСС-К", "Кондор", "Экспресс", для системы управления разгонным блоком "Бриз-М" и др.

Серии 5503 и 5507 являются полными конструктивными аналогами, изготавливаются по КМОП-технологии с нормами 1,6 мкм и состоят из четырех типоразмеров БМК каж-

дая, выпускаемых в различных типах корпусов. Напряжение питания серий 5503 и 5507 составляет  $5\text{ В} \pm 10\%$  и  $3\text{ В} \pm 10\%$ , среднее время задержки на вентиль – не более 2 нс и не более 3 нс соответственно.

Состав и основные технические характеристики БМК этих серий приведены в табл.2.

Серии БМК 5503 и 5507 имеют единую библиотеку ячеек [5] с универсальной системой обозначений, которая состоит из трех частей:

- библиотека базовых ячеек (5503), которая включает все основные группы логических элементов, а также периферийные элементы, обеспечивающие функции входа, выхода и входа-выхода цифровых и аналоговых

form a group of families with a common library of functional cells, similar design tools and types of packages. Their distinctive feature is high resistance to space conditions.

### 5521 AND 5529 ULA/GA FAMILIES

ULA and GA of 5529 family are manufactured using  $0.25\ \mu\text{m}$  CMOS technology on the silicon on insulator (SOI) structures, and 5521 GA family – using  $0.18\ \mu\text{m}$  technology on bulk silicon. The supply voltage is  $3\text{ V} \pm 10\%$  or  $3.3\text{ V} \pm 10\%$ , the estimated delay time per gate is 100 ps, clock frequency of the

D-type flip-flop in the counting mode is 500 MHz.

5529 ULA family meet the requirements of the OCTB11 0998, are produced by SMC "Technological Centre" with the manufacture of chips at Mikron plant, and are included in the list of products permitted for use by МОП 44 001.02. In 2017, the production of ten types of GA of 5529 and 5521 families will be launched. Increased resistance to the single charged particles is provided for 5529 family by the use of SOI technology, and for 5521 family – by the use of triplicated triggers.

Specifications of 5529 and 5521 ULA/GA families are shown in table.1.

### 5503 AND 5507 ULA FAMILIES

Small scale integration 5503 and 5507 ULA families are more than 15 years widely used in equipment for space applications. ULAs of this families are a base for more than 500 types of VLSICs including such spacecraft and ships as Progress-M, Soyuz-TMA, Meridian, Labyrinth, etc.

5503 and 5507 families have the same design and are manufactured by  $1.6\ \mu\text{m}$  CMOS technology. Each family consist



сигналов, пассивное или активное доопределение внешнего контакта;

- библиотека цифро-аналоговых ячеек (5503+), позволяющих реализовать аналого-цифровую обработку сигналов;
- библиотека специальных ячеек (5503++), разработанных по специфическим требованиям различных заказчиков (сторонним заказчикам не предоставляется).

Разработка БИС выполняется на отечественной системе автоматизированного проектирования "Ковчег 3.0" [6]. В состав САПР входят все основные подсистемы, необходимые для разработки и подготовки к производству полузаказной БИС. Полная промышленная версия САПР "Ковчег 3.0" [6] доступна для свободного копирования ([www.asic.ru](http://www.asic.ru)), что позволяет создать на любом предприятии или в вузе полноценные рабочие места для проектирования БИС на БМК серий 5503 и 5507. Разработанные БИС могут быть изготовлены на микроэлектронном производстве НПК "Технологический центр" ([www.tcen.ru](http://www.tcen.ru)).

*Статья подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57814X0061.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Басаев А.С., Денисов А.Н., Коняхин В.В., Мальцев П.П. Специализированные интегральные микросхемы космического применения на основе базовых матричных кристаллов // Петербургский журнал электроники. 2008. №1. С. 34–39.
2. Денисов А.Н., Коняхин В.В. Разработки НПК "Технологический центр" для применения в аппаратуре космического назначения // Международная конференция "Микроэлектроника 2015". Интегральные схемы и микроэлектронные модули: проектирование, производство и применение : Сб. тезисов. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015. С. 74–77.
3. Денисов А.Н., Коняхин В.В. Семейство серий БМК НПК "Технологический центр" // Международная конференция "Микроэлектроника 2015". Интегральные схемы и микроэлектронные модули: проектирование, производство и применение : Сб. тезисов. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2015. С. 104–112.
4. Коняхин В.В., Денисов А.Н., Федоров Р.А. и др. Микросхемы для аппаратуры космического назначения : Практ. пособие / Под общ. ред. А.Н.Саурова. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2016. 388 с.
5. Денисов А.Н., Фомин Ю.П., Коняхин В.В., Федоров Р.А. Библиотека функциональных ячеек для проектирования полузаказных микросхем серий 5503 и 5507 / Под ред. А.Н. Саурова. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2012. 304 с.
6. Гаврилов С.В., Денисов А.Н., Коняхин В.В. Система автоматизированного проектирования "Ковчег 2.1" / Под ред. Ю.А.Чаплыгина. – М.: Микрон-Принт, 2001. 194 с.

of four standard sizes of ULA, which are manufactured in different types of packages. The supply voltage is  $5\text{ V} \pm 10\%$  or  $3\text{ V} \pm 10\%$ , the average delay time per gate is no more than 2 ns and no more than 3 ns, respectively.

Specifications of these ULA families are shown in table.2.

5503 and 5507 ULA families have a common library of cells [5] with the universal system of notation, which consists of three parts:

- library of core cells (5503), which includes all major groups of logic elements and peripheral elements that

provide the functions of input, output and input/output of digital and analog signals, passive or active assignment of external contact;

- library of digital-to-analog cells (5503+) allowing to implement the analog-to-digital processing of signals;
- library of special cells (5503++) developed for the specific requirements of different customers (not available for outside customers).

VLSICs are developed using domestic Covcheg 3.0 CAD [6]. CAD includes all main subsystems for development and

pre-production of semicustom VLSIC. Full industrial version of CAD is available for free copying (<http://www.asic.ru>) that allows to create in any enterprise or institution full-featured workplaces for development of VLSIC on 5503 and 5507 ULA families. Developed VLSICs can be manufactured by SMC "Technological Centre" (<http://www.tcen.ru>). ■

*This paper was created with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation. Unique identifier RFMEFI57814X0061.*