

# Радиационно-стойкие электронные компоненты BAE Systems в России

Александр Попович (Санкт-Петербург)

В статье приводятся сведения о номенклатуре и параметрах специализированных цифровых микросхем фирмы BAE Systems.

## ВВЕДЕНИЕ

До недавнего времени продукция одной из крупнейших в мире международных военно-промышленных корпораций – BAE Systems – в Российскую Федерацию официально не поставлялась. Однако сейчас для российских потребителей доступен почти весь ассортимент радиационно-стойких микросхем, выпускаемых на заводах BAE.

ЗАО «БА Электроникс» (BA Electronics) с 2009 г. импортирует и распространяет на условиях ИТАР (Руководство по международной торговле оружием) радиационно-стойкие электронные компоненты, выпускаемые корпорацией BAE Systems ([www.baesystems.com](http://www.baesystems.com)), обеспечивает выполнение гарантийных обязательств и техническую поддержку всех потребителей на территории России, а также республик, ранее входивших в состав СССР.

Британская компания BAE Systems (до 1999 г. – British Aerospace) специализируется на создании вооружения и военной техники, в том числе боевых самолетов и подводных лодок. Сегодня она занимает второе место в мире по объёму продаж оружия, уступая лишь американской корпорации Boeing. Компания BAE самостоятельно разрабатывает и производит полупроводниковую элементную базу как для

собственных нужд, так и для продажи. Центр полупроводниковых технологий BAE (см. рис. 1) выпускает электронные компоненты, которые необходимы для создания бортовой радиоэлектронной аппаратуры, и на протяжении многих лет является мировым лидером в области радиационно-стойких полупроводниковых нанотехнологий.

В настоящее время в центре осуществляется полный цикл изготовления интегральных микросхем от первичного контроля материалов и оптической литографии до корпусирования и полномасштабного тестирования готовых изделий по технологии КМОП с проектными нормами от 0,8 до 0,15 мкм.

Центр сертифицирован DSCC (Центром оборонных поставок в Колумбусе) в соответствии с MIL-PRF-38535 и включен в список квалифицированных производителей (QML) и список доверенных поставщиков министерства обороны США по категории 1A.

Научная деятельность центра в настоящее время сосредоточена в двух областях: дальнейшее повышение радиационной стойкости технологии R15 (КМОП 0,15 мкм) и развитие технологии халькогенидных наноэлементов энергонезависимой памяти.

## РАДИАЦИОННО-СТОЙКИЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ КОМПОНЕНТЫ

Полупроводниковые изделия, выполненные в BAE по технологиям R25 [1] (КМОП 0,25 мкм) и R15, включая оперативную и энергонезависимую память, обеспечивают уникальные характеристики по радиационной стойкости, а именно:

- работоспособность при накопленной дозе не менее 200 крад (до 1 Мрад в специальном исполнении);
- бесперебойное функционирование при кратковременном облучении  $2 \times 10^7$  рад/с;
- сохранение работоспособности после 50 нс импульсного облучения  $1 \times 10^{12}$  рад/с;
- стойкость к тяжело заряженным частицам (ТЗЧ) с энергией до 120 МэВ см<sup>2</sup>/мг;
- стойкость к нейтронному потоку до  $1 \times 10^{13}$  нейтрон/см<sup>2</sup>.

Для разработки бортовой цифровой аппаратуры, вычислительных и управляющих модулей космических аппаратов BAE выпускает 32-разрядный микропроцессорный комплект, включающий в себя процессор с архитектурой PowerPC [2], а также набор вспомогательных ИС. В частности, это мост PCI 2.2, многоканальный интерфейс SpaceWire, контроллер памяти и др. Кроме того, выпускается широкий ассортимент микросхем памяти, работающих с различными напряжениями питания (см. рис. 2). Это статическая оперативная память объёмом до 80 Мбит и временем доступа до 7,5 нс, однократно программируемая память antifuse (восстановление перемычек), а также энергонезависимая память.

Помимо электронных компонентов для обеспечения потребностей американской космической программы, BAE разрабатывает, изготавливает и поставляет готовые бортовые ЭВМ в форм-факторе 3U и 6U.

## МИКРОПРОЦЕССОР RAD750

Мощный 32-разрядный процессор RAD750 представляет собой радиационно-стойкий аналог процессора IBM PowerPC 750™. Семейство процессоров PowerPC 740/750 появилось в



Рис. 1. Центр полупроводниковых технологий BAE Systems

1997 г. как альтернатива процессорам Intel Pentium и благодаря малому энергопотреблению широко применялось в ноутбуках и моноблоках. Так, например, процессоры IBM PowerPC 750™ использовались в компьютерах iMac и iBook, выпускавшихся Apple.

Несмотря на то что развитие данного семейства для гражданских приложений фактически прекратилось несколько лет назад, удачная архитектура процессора дала семейству «вторую жизнь» в военных и особенно космических проектах. Сравнительно небольшое (около 11 млн.) количество транзисторов позволяет изготовить данный процессор по стандартной полупроводниковой технологии 0,25 мкм с площадью кристалла всего 130 кв. мм. Реализация процессора IBM PowerPC 750™ с помощью технологии R25 позволила достичь тактовой частоты 132 МГц при радиационной стойкости по накопленной дозе не менее 200 крад. Вариант микропроцессора на основе технологии R15 обеспечивает тактовую частоту свыше 200 МГц и проходит в настоящий момент сертификационные испытания.

Как типичный представитель семейства PowerPC 740/750, RAD750 использует шинный интерфейс 60x с развитой системой арбитража шин данных и адреса, позволяющей работать с различными схемами потокового чтения и записи. Система многоуровневого кэширования инструкций и данных существенно ускоряет производительность RAD750. Непосредственно в кристалле реализованы два модуля кэш-памяти по 32 Кб и контроллер L2 Tag, управляющий синхронной 72-рядной внешней кэш-памятью L2. Шины адреса и данных системной памяти и L2 снабжены линиями контроля чётности. Для отладки программного обеспечения реализован интерфейс JTAG.

К особенностям RAD750 также следует отнести развитую схему динамического контроля производительности и энергопотребления, позволяющую эффективно управлять работой бортового вычислителя в условиях ограниченных запасов электроэнергии на борту космического аппарата. Потребляемая мощность процессора составляет от 400 мВт до 5 Вт в зависимости от выбранного режима работы. Микросхема выпускается в керамическом корпусе column grid array CCGA-360.

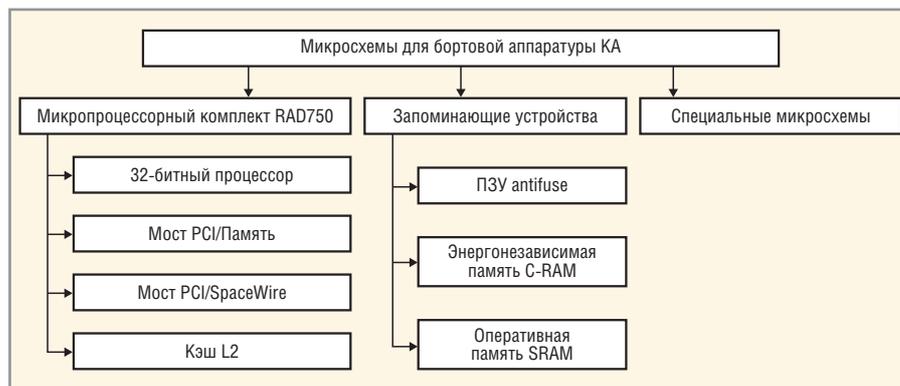


Рис. 2. Микросхемы для бортовой аппаратуры космических аппаратов

### ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМАЯ ПАМЯТЬ

Практическая реализация запатентованного более 40 лет назад запоминающего устройства на основе эффекта изменения фазы агрегатного состояния вещества потребовала десятилетий исследований. Сегодня микросхемы энергонезависимой памяти с запоминающими ячейками на основе сплавов Ge–Sb–Te начинают входить в повседневную практику космического приборостроения как один из ключевых элементов радиационно-стойкой вычислительной техники. BAE Systems – первая в мире компания, освоившая промышленный выпуск радиационно-стойкой энергонезависимой памяти на основе халькогенидных нанозаписываемых элементов (CRAM).

Принцип действия халькогенидной ячейки памяти прост: плёнка вещества, описываемого химической формулой  $\text{Ge}_2\text{Sb}_2\text{Te}_5$ , располагается между двумя электродами; в зависимости от фазы состояния вещества (аморфная или поликристаллическая), измеренное сопротивление плёнки может отличаться на порядки.

Для осуществления фазового перехода используется нагрев, возникающий при прохождении через ячейку электрического тока. Быстрый нагрев выше точки плавления и последующее быстрое охлаждение позволяет перевести плёнку в аморфное состояние, а относительно продолжительный (до нескольких сотен наносекунд) нагрев до температуры чуть ниже точки плавления позволяет восстановиться кристаллической структуре материала. Достигнутое количество циклов перезаписи одной ячейки без потери надёжности уже сейчас составляет  $10^8$ .

Существенным преимуществом CRAM по сравнению со многими другими технологиями хранения информации является практически полная нечув-

ствительность хранимой информации к электромагнитным полям, импульсам, ионизирующему облучению и другим факторам воздействия окружающей среды, что особенно важно для космического приборостроения и военных приложений. Энергонезависимая память CRAM от BAE Systems обеспечивает радиационную стойкость по накопленной дозе не менее 200 крад (до 1 Мрад в специальном исполнении), бесперебойное функционирование при интенсивном кратковременном облучении, стойкость к ТЗЧ и нейтронным потокам высокой плотности.

Микросхемы CRAM выпускаются в корпусах flatpack с количеством выводов 40 и 84 и доступны в различных конфигурациях от  $256\text{K} \times 8$  до  $512\text{K} \times 32$ . Также доступны варианты исполнения со встроенной системой коррекции ошибок (ECC), которая уменьшает полезный объём сохраняемой информации в два раза, но значительно повышает надёжность хранения.

За официальной информацией о доступности, условиях лицензирования и поставки, стоимости, подробных технических характеристиках продукции BAE Systems, а также по всем вопросам применения и внедрения можно обратиться в ЗАО «БА Электроникс» ([www.bae-rh.ru](http://www.bae-rh.ru)).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Попович А. Технология R25 против радиации: новые продукты на российском рынке электроники для космических аппаратов. Компоненты и технологии. 2009. № 12.
2. Попович А. Бортовые компьютеры космических аппаратов из компонентов BAE Systems. Компоненты и технологии. 2010. № 3.
3. Попович А. Радиационно-стойкая статическая оперативная память от BAE Systems. Компоненты и технологии. 2010. № 6. ©