

# Military & Aerospace

## и радиационно-стойкие микросхемы SRAM от GSI Technology

Евгений ПАВЛЮКОВИЧ

**Статья адресована разработчикам авиационной и космической аппаратуры, применяющим электронные компоненты, которые предназначены для эксплуатации в условиях радиационного поля и высоких температур. Представлены микросхемы ОЗУ памяти от GSI Technology, превосходящие по техническим характеристикам присутствующие на рынке не только в России, но и в мире. До недавнего времени микросхемы с такой высокой производительностью выпускались лишь в индустриальном исполнении.**

### Введение

Из предыдущих статей цикла о компании GSI Technology [1, 3–6] читатели уже познакомились с историей компании, ее географией, методологией, каталогом микросхем и IP-контроллеров SRAM, а также преимуществами работы с GSI Technology и существующими официальными каналами поставки в РФ. Вооружившись этими знаниями, можно сделать вывод, что практически в каждом семействе GSI Technology найдется микросхема, превосходящая аналогичную другого производителя по основным параметрам: объему памяти, частоте тактирования, задержке. Методология производства и оптимальный прямой канал поставки позволяют GSI успешно конкурировать на рынке. Не останавливаясь только на коммерческом и индустриальном исполнении, GSI Technology стремительно наращивает производство SRAM для оборонной, авиационной и космической промышленности (рис. 1). Именно об этом и пойдет речь в статье.



Рис. 1. Микросхема Military & Aerospace

### Микросхемы Military & Aerospace

Микросхемы Military & Aerospace представлены в продуктовой линейке GSI Technology уже достаточно давно (рис. 2).

Их появление вызвано лавинным увеличением спроса от крупных заказчиков из оборонной и авиационной отраслей США, Европы, Турции и Израиля. Для заказчиков, которым требуется подобное качество, гораздо важнее получить гарантии на длительный период жизни и надежность микросхем, чем сэкономить несколько десятков долларов на изделии, но затем заплатить большие деньги за испытания. Производители, использующие микросхемы, предназначенные для индустриального применения, через 5–7 лет обязательно столкнутся с дорогостоящим редизайном печатной платы и конструкторской документации после очередного обновления или снятия микросхемы с производства.

Несмотря на то, что микросхемы Military & Aerospace не были сертифицированы ни по одному из военных стандартов, они все прошли дополнительные испытания на работоспособность в расширенном температурном режиме:

- Extended Temperature:  $-40...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Military Temperature:  $-55...+125\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Кроме расширенного температурного диапазона, GSI Technology гарантирует их выпуск в течение следующих 10 лет после размещения заказа. В коммерческих, индустриальных микросхемах и Military & Aerospace используются одинаковые кристаллы, а также предусмотрен единый процесс производства. Все они проходят испытания в тех же самых лабораториях по одним и тем же методикам.

По дополнительному требованию клиента все микросхемы в заказе могут быть изготовлены на базе кристаллов из одной партии, то есть выращенных на одной пластине. Также заказчик может выбрать корпус с содержанием свинца (5/6 RoHS) или без него (6/6 RoHS).

Принимая во внимание тот факт, что GSI Technology строго придерживается международных рекомендаций IEEE 1149.1 JTAG по производству микросхем SRAM, справедливо сделать вывод, что заказчик может применять микросхемы коммерческого, индустриального или Military & Aerospace-назначения без редизайна печатной платы и IP-контроллера.

Благодаря такому подходу микросхемы Military & Aerospace имеют общий экспортный код 3A991B2B с коммерческими и индустриальными микросхемами. Соответственно, на них не распространяются лицензионные ограничения министерства торговли США и Европы.

GSI Technology также производит микросхемы с аппаратным блоком коррекции ошибок ECC (Error Correction Code), который исправляет одиночные ошибки. Процедура исправления не видна для пользователя и происходит автоматически без подачи сигнала о произошедшей и исправленной ошибке. В таблице 1 представлены результаты испытаний семейств SigmaQuad-II/II+ на эффективность борьбы с программными сбоями. Исходя из результатов испытаний, можно сделать вывод, что в микросхемах GSI Technology со встроенным аппаратным блоком ECC одиночные и групповые ошибки исключены. Таким образом, после проведения дополнительных испытаний на устойчивость к радиа-

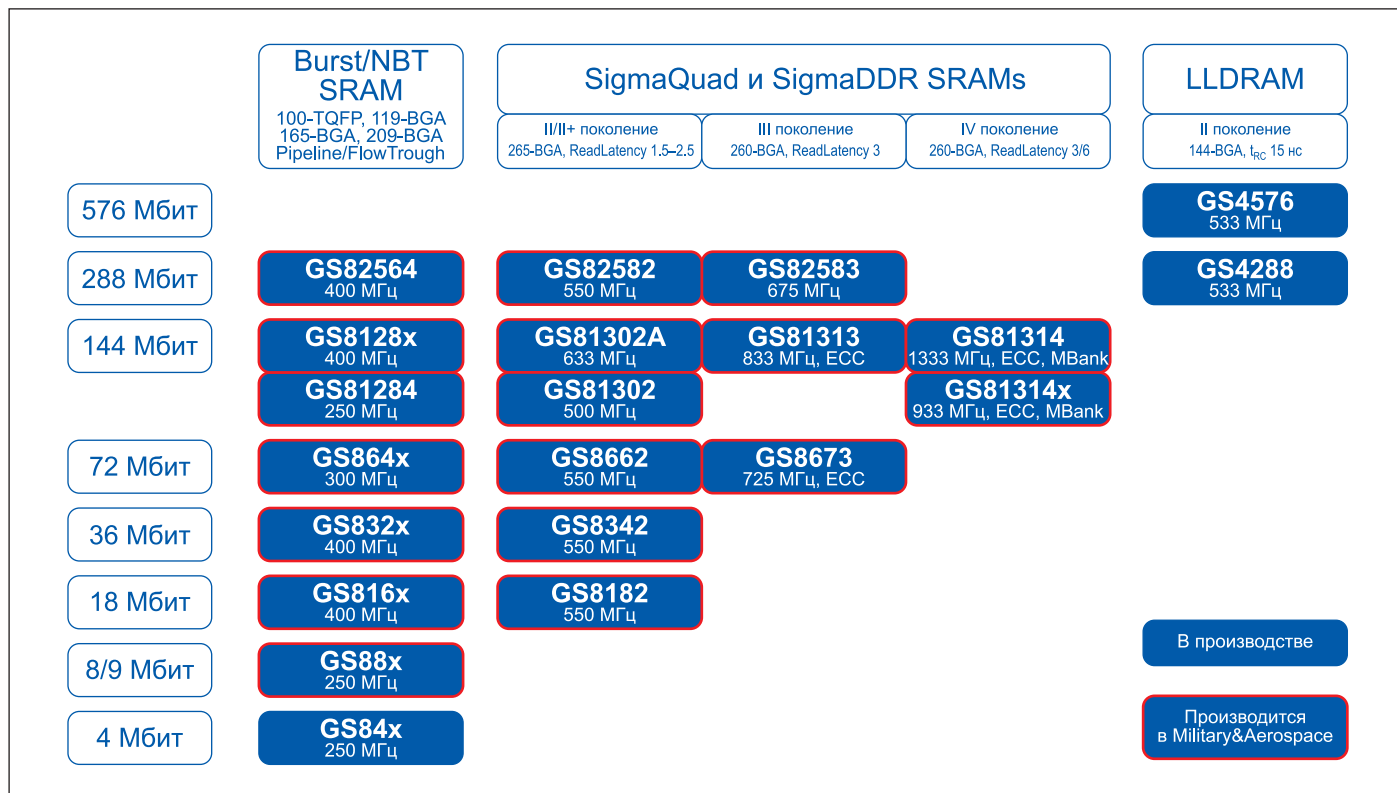


Рис. 2. Продуктовая линейка Military & Aerospace

Таблица 1. Эффективность аппаратного ECC

Микросхема	Объем, Мбит	Технология, нм	ECC	SBU <sup>1</sup>	MCU <sup>2</sup>	SEL <sup>3</sup>
GS81302	144	65	Нет	200	171	0
GS8672	72	65	Да	0	0	0
GS8662	72	90	Нет	248	158	0

Примечания.

<sup>1</sup> SBU — Single-Bit Upset, одиночная программная ошибка.

<sup>2</sup> MCU — Multi-Cell Upset, множественная программная ошибка.

<sup>3</sup> SEL — Single-Event Latch-up, одиночные тиристорные защелкивания.

ционной дозе допускается применение микросхемы GSI Technology Military & Aerospace в космической отрасли.

### Радиационно-стойкая SRAM

Традиционными производителями радиационно-стойкой памяти для российского потребителя уже на протяжении многих лет являются компании: 3D Plus, Cobham (Aeroflex), Microchip (Atmel), Honeywell, «Миландр», «Интеграл», «Ангстрем», «Элвис» и «НИИС». Однако все они значительно уступают по производительности и объему памяти микросхемам GSI Technology.

Во втором квартале 2018 года GSI Technology начала серийное производство радиационно стойких микросхем синхронной статической памяти. Это беспрецедентно новый уровень микросхем. В таблице 2 приведены основные параметры семейств SigmaQuad, SyncBurst и No Bus Turnaround (NBT).

Радиационная-стойкость кристаллов (TID, Total Ionizing Dose — общая накопленная доза, и SEL) в микросхемах GSI Technology достигается за счет изменения имплантата КМОП, а именно увеличен n-канал, не применяется борфосфатное силикатное стекло и добавлено полиамидное покрытие кристаллов.

Для уменьшения вероятности возникновения программных ошибок (Single-Event Upset, SEU) GSI Technology распределила узлы ячеек памяти на максимальном расстоянии друг от друга и увеличи-

ла надежность дизайна высокоскоростных блоков путем оптимизации таймингов и внутренней схемы питания. Также при обращении к памяти по одному адресу не используются соседние ячейки.

Микросхемы поставляются в TQFP-корпусе, изготовленном путем заливки компаундом с низким содержанием материалов, вызывающих появление альфа-частиц. Шарикопы, напаянные по технологии Flip Chip, размещены на максимальном удалении от чувствительных зон. Для установки шариков может использоваться припой с низким содержанием изотопов свинца или без свинца (RoHS 6/6).

Все микросхемы GSI Technology в радиационно-стойком исполнении выпускаются по 40-нм технологии на фабрике TSMC. Партнером по установке кристаллов в корпус, испытаниям и сертификации является компания STS-Micross, США. Микросхемы успешно прошли сертификацию на соответствие технологиям QML-Q и QML-V по процедурам, описанным в спецификации MIL-PRF-38535.

### Rad-Hard-микросхемы

К семейству Rad-Hard принято относить микросхемы с высокой радиационной стойкостью от 100 кРад. Как правило, такие микросхемы поставляются в керамических корпусах (рис. 3).

GSI Technology производит три семейства микросхем, попадающих под определение Rad-Hard: SigmaQuad-II+, NBT и SyncBurst.

Таблица 2. Сравнение Rad-Hard с Rad-Tolerant

	Rad-Hard	Rad-Tolerant
Объем, Мбит	288 / 144 / 72 (SigmaQuad) 144 / 72 / 36 (SyncBurst и NBT)	
Частота тактирования, МГц	350 / 250 (SigmaQuad) 333 / 250 (SyncBurst и NBT)	
Шина данных	x18 / x36	
Корпус	165-CCGA или LGA (SigmaQuad) 100-Ceramic QFP (SyncBurst и NBT)	165-LBGA (SigmaQuad) 100-TQFP (SyncBurst и NBT)
Общая накопленная доза (англ. Total Ionizing Dose)	> 300 кРад	> 50 кРад
Защита от тиристорного эффекта (англ. Single Event Latchup Immunity)	> 80 МэВ·см <sup>2</sup> /мг (+125 °C)	> 42,2 МэВ·см <sup>2</sup> /мг (+125 °C)

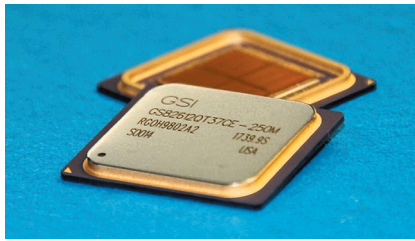


Рис. 3. Микросхемы Rad-Hard

Таблица 3. Потребляемая мощность SigmaQuad-II+

	350 МГц	250 МГц
	-55...+125 °C	
Шина данных ×36	1430 мА	1140 мА
Шина данных ×36	1280 мА	1030 мА
Спящий режим*	590 мА	520 мА

**Примечание.** \*Под спящим режимом подразумевается состояние микросхемы, когда завершены все операции записи и чтения и микросхема отключена. Частота тактирования максимальная.

чтения за полцикла. Сопротивление линий задается выводом ZQ. Напряжение питания ядра составляет 1,8 В. Напряжение питания интерфейса HSTL может быть 1,5 или 1,8 В. Общая накопленная доза (TID) 200 кРад, а защита от тиристорных защелкиваний >80 МэВ·см<sup>2</sup>/мг. Максимальная потребляемая мощность в зависимости от разрядности и частоты тактирования представлена в таблице 3. Микросхемы SigmaQuad-II+ Rad-Hard выпускаются в керамическом корпусе 165-CCGA и 165-LGA с шагом 1,27 мм.

#### Семейство No-Bus Turnaround

Память NBT SRAM является синхронной, имеет возможность работать с пакетными данными (Burst) и обладает упрощенным интерфейсом. Микросхемы NBT предназначены для работы с широкой полосой пропускания данных. Для расширения полосы пропускания и увеличения скорости передачи были исключены неиспользуемые циклы тактирования во время переключения между операциями чтения и записи [3]. Традиционными применениями микросхем NBT являются сетевое оборудование и обработка изображения.

В радиационно-стойком исполнении производятся микросхемы 144, 72 и 36 Мбит, с максимальной частотой тактирования 333 и 250 МГц. Каждая микросхема может работать в Pipeline- или Flow Through-

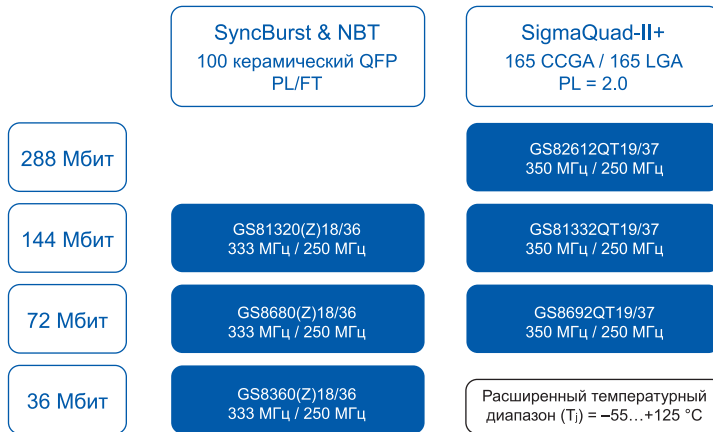


Рис. 4. Продуктовая линейка Rad-Hard

Продуктовая карта Rad-Hard-микросхем изображена на рис. 4.

#### Rad-Tolerant-микросхемы

К микросхемам Rad-Tolerant относят микросхемы с меньшим запасом прочности, чем у Rad-Hard. Однако они также изготовлены специально для применения в космической отрасли и обладают устойчивостью к воздействию радиационного поля и высоких температур. С целью предложения оптимального варианта из соотношения цена/качество GSI Technology разработала значительно более дешевые микросхемы Rad-Tolerant (рис. 5). В микросхемах Rad-Tolerant и Rad-Hard используются одинаковые кристаллы. Отличие заключается только в применении пластикового корпуса в семействе Rad-Tolerant.

#### Технические характеристики микросхем

Ниже приведен краткий обзор основных характеристик радиационно-стойких микросхем SigmaQuad-II+, NBT и SyncBurst.

#### Семейство SigmaQuad-II+

Из всего семейства SigmaQuad-II+ в радиационно-стойком исполнении выпускаются только микросхемы с наиболее востребованным объемом памяти: 288, 144 и 72 Мбит, па-

кетной записью данных по 2 слова (Burst of 2), встроенным блоком терминирования (On-Die Termination) на линиях данных D, побайтовой записи BW и тактирования K/K#. Частота тактирования равна 350 или 250 МГц. Quad-интерфейс позволяет одновременно записывать и читать данные по двум независимым портам на возрастающем и спадающем фронтах сигнала тактирования. Задержка чтения равна 2.0 циклам тактового сигнала. QVLD-вывод, выравненный с эхо-сигналом, предупреждает о появлении данных на шине

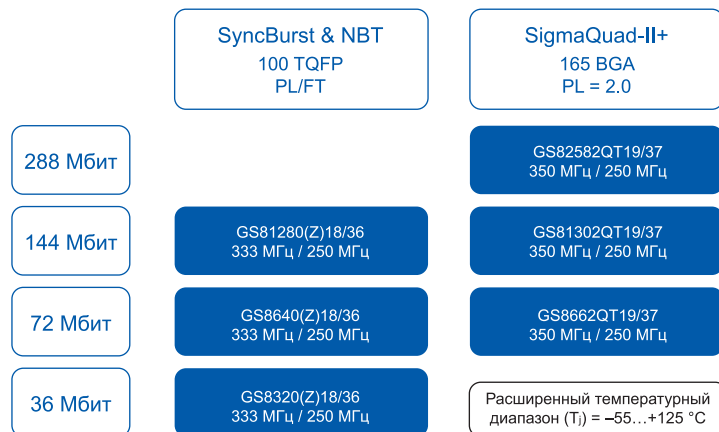


Рис. 5. Продуктовая линейка Rad-Tolerant

режиме, который задается сигналом на выводе FT#. Последовательность адресов операций Burst задается внешним выводом LBT. Для увеличения разрядности шины данных предусмотрен вывод ZQ, задающий импеданс на линиях. Вывод ZZ позволяет включать спящий режим. Напряжение питания ядра и шины данных равно 2,5 или 3,3 В. Потребляемая мощность приведена в таблице 4. Общая накопленная доза (TID) 300 кРад, а защита от тиристорных защелкиваний >80 МэВ·см<sup>2</sup>/мг. Поставляются микросхемы в керамическом корпусе 100-QFP.

### Семейство SyncBurst

Микросхемы SyncBurst SRAM работают только с пакетными данными Burst по 2 или 4 слова на один такт тактирования. Так же

как NBT, микросхемы SyncBurst используются в сетевом оборудовании и обработке изображений [3].

В радиационно-стойком исполнении выпускаются микросхемы объемом 144, 72 и 36 Мбит и частотой 333 или 250 МГц. Присутствует вывод FT для выбора режима Pipeline или Flow-Through, вывод LBO для переключения между Linear- и Interleaved-режимами операций Burst, вывод ZZ для перехода в спящий режим. Начальное состояние Burst настроено на работу в Interleaved-режиме. В отличие от NBT у SyncBurst можно выполнять побайтовую запись данных Byte Write (BW) и Global Write (GW) операции. Напряжение питания ядра и шины данных равно 2,5 или 3,3 В. Потребляемая мощность не отличается от микросхем NBT (табл. 4). Общая накопленная доза (TID) 300 кРад, а защита от тиристорных защелкиваний >80 МэВ·см<sup>2</sup>/мг. Поставляются микросхемы также в керамическом корпусе 100-QFP.

### Заключение

В каталоге Military & Aerospace GSI Technology присутствуют более производительные микросхемы, чем в радиационно-стойком исполнении, однако появление SigmaQuad-II+, NBT и SyncBurst уже сделало значительный рывок в технологиях радиационно-стойкой памяти, позволяя не только уменьшить количество элементов на плате,

но и существенно увеличить производительность изделий. Особенно приятно то, что все микросхемы доступны к поставке в РФ и GSI Technology готова оказать квалифицированную помощь в освоении архитектуры и принципов работы с новыми типами микросхем. Вместе с микросхемами GSI Technology бесплатно предоставляет IP-контроллеры в исходном коде на Verilog или VHDL, адаптированные под задачу заказчика. Основными областями применения такого уровня микросхем являются обработка видео и изображений с широкой панорамой, основная вычислительная машина, радиолокация, телекоммуникация, ГЛОНАСС и GPS. ■

### Литература

1. Павлюкович Е. Микросхемы высокопроизводительной памяти от GSI Technology // Компоненты и технологии. 2017. № 9.
2. [www.gsitechnology.com](http://www.gsitechnology.com)
3. Павлюкович Е. Микросхемы SRAM No Bus Turnaround от GSI Technology // Компоненты и технологии. 2018. № 2.
4. Павлюкович Е. Микросхемы SigmaQuad-II/II+ и SigmaDDR-II/II+ от GSI Technology // Компоненты и технологии. 2018. № 3.
5. Павлюкович Е. Обзор SRAM SigmaQuad-III/IV и SigmaDDR-III/IV от GSI Technology // Компоненты и технологии. 2018. № 4.
6. Павлюкович Е. IP-контроллеры SRAM от GSI Technology // Компоненты и технологии. 2018. № 5.

Таблица 4. Потребляемая мощность NBT и SyncBurst

	Режим	-55...+125 °C		
		350 МГц	250 МГц	
Активный режим	×32/36	Pipeline	720 мА	590 мА
		Flow Through	555 мА	500 мА
	×18	Pipeline	650 мА	550 мА
		Flow Through	520 мА	480 мА
Спящий режим*	—	Pipeline	220 мА	220 мА
		Flow Through	220 мА	220 мА
Микросхема отключена	—	Pipeline	240 мА	240 мА
		Flow Through	240 мА	240 мА

**Примечание.** \*Спящий режим NBT и SyncBurst активируется путем подтягивания вывода ZZ к VDD.