

# Радиационно-стойкая статическая оперативная память от BAE Systems

Евгений КОТЕЛЬНИКОВ  
info@bae-radhard.ru

Оперативная память — это неотъемлемая часть любого вычислительно-го устройства. Выбор «обычных» микросхем статической памяти (ОЗУ) весьма велик, и достигнутые производителями технические характеристики отвечают самым высоким требованиям коммерческих приложений. Совсем иначе обстоят дела с радиационно-стойкими микросхемами памяти. До сих пор требования по стойкости к факторам космического пространства вступали в явное противоречие с требованиями по производительности и объему микросхем. Доступное и в России с 2009 года четвертое поколение статических ОЗУ, выпускаемых корпорацией BAE Systems, предлагает новые возможности для разработчиков бортовой аппаратуры космических аппаратов и отчасти преодолевает проблемы предыдущих поколений радиационно-стойких микросхем памяти.

Семейство микросхем Millennium, выпускаемое американским подразделением корпорации BAE Systems, представляет собой набор изделий, построенных на базе уникального радиационно-стойкого чипа статической памяти объемом

524 288 × 8 бит, разработанного по технологии R25 в Центре полупроводниковых технологий BAE Systems (Манассас, США). Флагман семейства — микросхема размером 512 Кслов × 40 бит. Рассмотрим это изделие более подробно.

В зависимости от модификации обеспечивается стойкость по накопленной дозе 100 или 200 крад, стойкость к ТЗЧ с энергией <120 МэВ·см<sup>2</sup>/мг и нейтронному потоку до 1 × 10<sup>13</sup> нейтрон/см<sup>2</sup>. Ожидаемая частота отказов составляет не более 1 × 10<sup>-9</sup> на бит в сутки. При этом время доступа к данным — не более 15 нс. Какова же плата за столь высокие характеристики?

Большинство технических решений, обычно используемых при проектировании радиационно-стойких микросхем ОЗУ, так или иначе требуют увеличения размера ячейки памяти, однако на этом пути разработчика поджидают две неприятности. Первая — это очевидное увеличение размера кристалла и, соответственно, площади занимаемой микросхемой на плате, вторая — это увеличение потребляемой мощности.

Давайте посмотрим, как удалось разработчикам фирмы BAE справиться с этими проблемами: устройм небольшое «соревнование» между микросхемами памяти различных производителей.

В таблице приведены сравнительные характеристики микросхем статических ОЗУ, представленных на рынке. Для сравнения у каждого из производителей были выбраны микросхемы памяти максимального объема, с максимально широкой шиной данных, что обеспечивает максимальную скорость обмена. Предпочтение отдавалось микросхемам с выводами по периметру корпуса.

Параметры радиационной стойкости при выборе не учитывались. Для наглядности данные последних двух столбцов представлены на рис. 1 в виде гистограммы.

Таблица. Сравнительные характеристики микросхем статических ОЗУ разных производителей

Производитель	Название микросхемы	Организация, Кслов/бит		Объем, Мбит	Размеры, мм	Площадь корпуса, см <sup>2</sup>	Время доступа, нс	Скорость обмена, бит/с	Мощность потребления, Вт	Мощность ожидания, мВт при 25 °С	Диапазон рабочих температур, °С	Udr, В	Удельное потребление мощности, Гбод/Вт	Удельная емкость, Мбит/см <sup>2</sup>
		512	40											
BAE Systems	Millennium	512	40	20	26×23	6,0	15	2,7	2,3 при 110 °С	3,5	-55...+140	1,5	1,2	3,3
Cypress	CY7C1062DV33, 3,3 В	512	32	16	14×22 BGA	3,1	10	3,2	0,5775	99	-55...+125	2	5,5	5,2
SAMSUNG	K6R4016C1D, 5 В	256	16	4	10×19 TSOP2	1,9	10	1,6	0,375	25	-40...+85	-	4,3	2,1
SAMSUNG	K6R4016V1D, 3,3 В	256	16	4	10×19 TSOP2	1,9	10	1,6	0,2805	3,96	-40...+85	-	5,7	2,1
Micross	AS8SLC512K32PEC, 3,3 В	512	32	16	25×25 PLCC	6,3	12	2,7	0,726	264	-55...+125	-	3,7	2,6

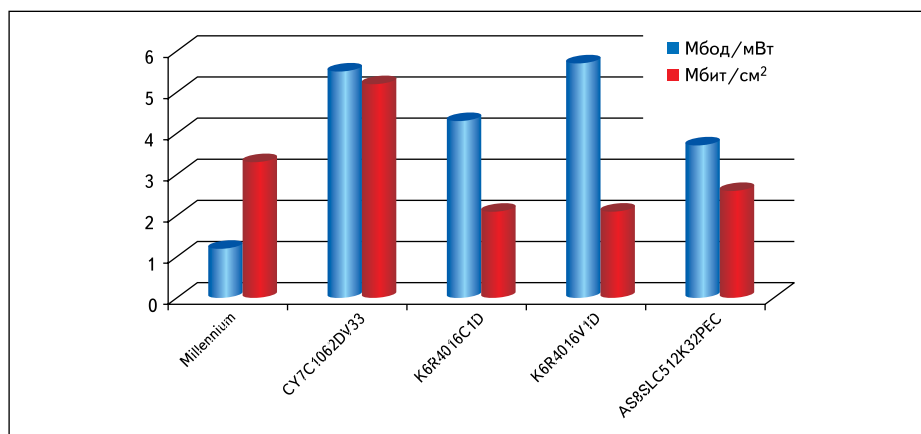


Рис. 1. Сравнительные характеристики Millennium и микросхем других производителей

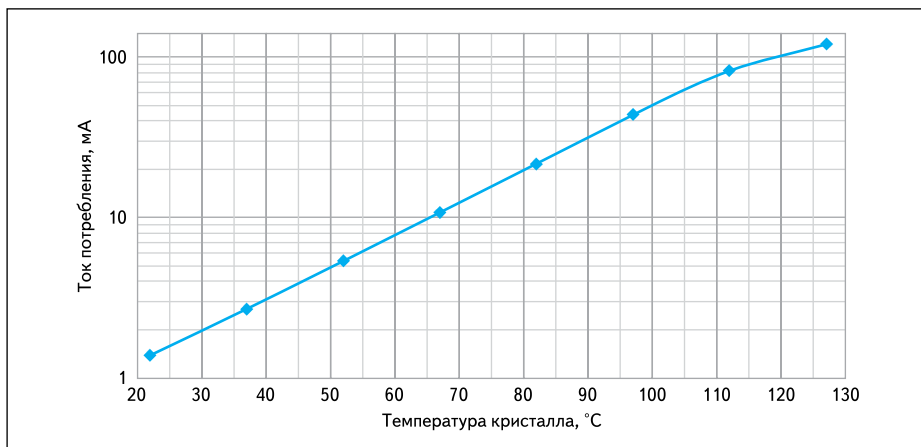


Рис. 2. Зависимость статического тока потребления КМОП СОЗУ от температуры

Как видно на приведенных рисунках, Millennium практически не отстает от не радиационно-стойких микросхем других производителей по удельной емкости (Мбит/см<sup>2</sup>), однако создается ложное впечатление, что Millennium сильно проигрывает по удельному потреблению мощности. Тут надо отметить, что максимальная потребляемая мощность у Millennium нормируется в рабочем режиме при температуре 110 °С, в то время как у других производителей ток потребления нормируется при отсутствии тока на выходах микросхемы. Что трудно себе представить, поскольку мы всегда имеем дело с емкостями монтажа, а при длительности цикла 10–15 нс ток перезаряда этих емкостей должен быть значительным. Температура испытаний у других производителей зачастую не указывается, а некоторые из представленных микросхем вообще не могут работать при столь высокой температуре. Известно, что ток покоя КМОП-микросхем памяти растет экспоненциально с температурой и увеличивается примерно в 10 раз на каждые 50°, что подтверждается данными рис. 2.

Таким образом, можно сказать, что инженерам ВАЕ Systems удалось в значительной степени преодолеть проблемы, связанные с использованием большой ячейки памяти, и создать радиационно-стойкую микросхему с характеристиками, близкими к характеристикам обычных коммерческих продуктов. Возникает вопрос: за счет чего получены такие результаты?

Для того чтобы понизить потребляемую мощность, в Millennium используется раздельное питание ядра и периферии, это, конечно, потребует дополнительного места на плате — под размещение дополнительного источника питания, однако дает и два значительных преимущества. Кроме того, как станет ясно далее, место под источник питания часто можно освободить. Первое преимущество от использования раздельного питания, как уже было сказано, — это снижение потребляемой мощности. Второе

же — это то, что Millennium сохраняет записанные в нее данные при пониженных напряжениях питания вплоть до 1,5 В, в то время как остальные участники нашего «соревнования» либо теряют информацию при питании ниже 2 В, либо вообще не гарантируют сохранность данных при понижении питания ниже номинала. Эти данные приведены в таблице в столбце Udr (Data Retention Voltage).

С потреблением ясно. Но как же удалось снизить занимаемую микросхемой площадь? — спросите вы. Ответ кроется во внутреннем строении Millennium (рис. 3).

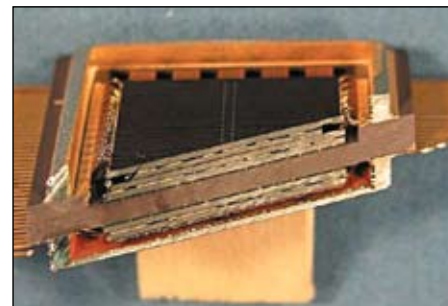


Рис. 3. Внутреннее строение Millennium

Оказывается, внутри корпуса микросхемы расположено пять кремниевых пластин, три из которых монтируются над керамическим основанием, а две другие — под. Такая конструкция микросхемы очевидным образом позволяет снизить занимаемую микросхемой площадь в пять раз.

Теперь, когда мы познакомились с секретами внутреннего строения Millennium, остановимся кратко на ее логической организации (рис. 4). В отличие от большинства микросхем других производителей, Millennium имеет два входа выбора микросхемы LS0 LS1, активные уровни на которых задаются двумя дополнительными входами LD0–LD1. Другими словами, выбор микросхемы для чтения или записи происходит тогда и только тогда, когда уровни на входах LS0–LD0 и LS1–LD1 попарно совпадают.

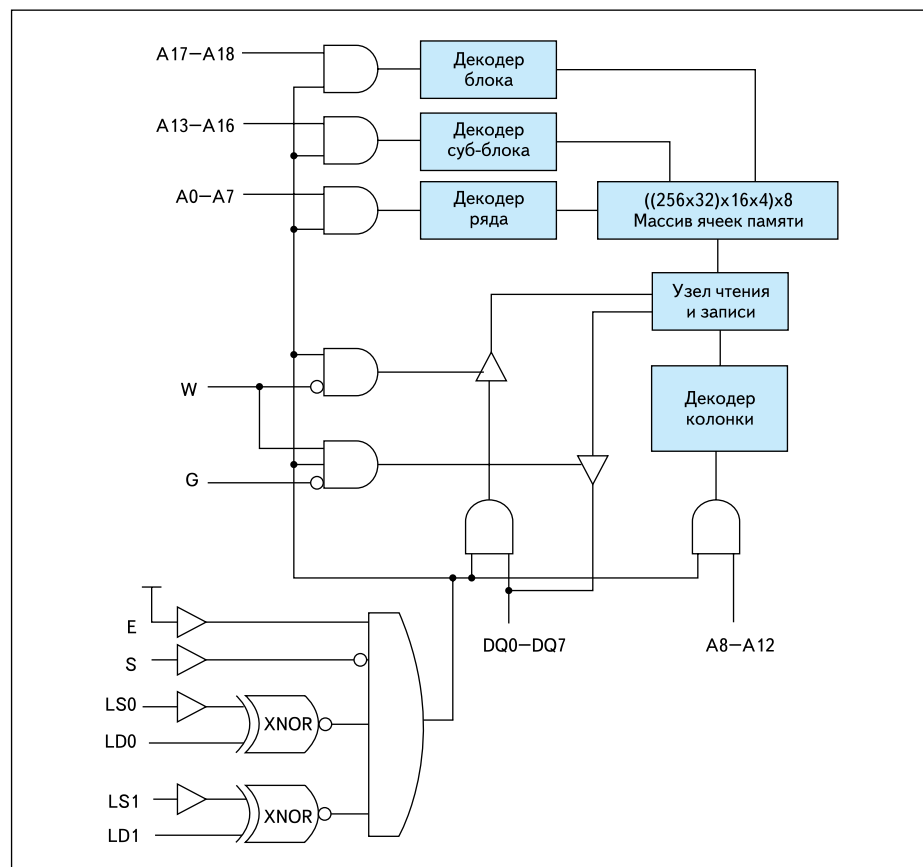


Рис. 4. Внутренняя организация Millennium

Такая организация схемы выбора кристалла позволяет расширить шину адреса на два разряда без использования внешнего дешифратора, что отчасти компенсирует место, занятое внешним источником питания на плате.

Подведем итоги:

1. Millennium находится по удельному энергопотреблению и удельной плотности памяти на уровне современных не радиационно-стойких аналогов других производителей и незначительно отстает по скорости доступа к данным.
2. Millennium выгодно отличается минимальным напряжением, при котором данные, записанные в память, сохраняются.

3. Millennium может работать как в системах с питанием 3 В, так и в системах с питанием 5 В.

4. Все перечисленные достоинства сохраняются в условиях значительной накопленной дозы радиации, при облучении тяжелыми заряженными частицами и нейтронными потоками высокой плотности.

В заключение отметим, что на смену Millennium в 2010 году приходит семейство Monolithic. Оно представляет собой пятое поколение микросхем ОЗУ от VAE Systems, построенных на основе нового чипа объемом  $2\,097\,152 \times 8$  бит и изготовленного по новейшей технологии R15, о которой будет рассказано в одном из следующих материалов о продукции компании. ■