

# РАДИАЦИОННО-СТОЙКАЯ ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМАЯ ПАМЯТЬ КОМПАНИИ NORTHROP GRUMMAN

**А.Тузов** [tas@favorit-ec.ru](mailto:tas@favorit-ec.ru),  
по материалам, предоставленным компанией Northrop Grumman

Более 25 лет Лаборатория передовых технологий (Advanced Technology Laboratories) компании Northrop Grumman Corporation (NGC), расположенная в Балтиморе, разрабатывает, изготавливает и поставляет радиационно-стойкие микросхемы, предназначенные для применения в аэрокосмической аппаратуре. На производственных линиях по обработке пластин диаметром до 150 мм компания выпускает более 175 типов различных электронных приборов, отвечающих требованиям военных и аэрокосмических стандартов, – от датчиков до решений для систем спутниковой связи. По утверждению NGC, сегодня она – единственный поставщик радиационно-стойкой перепрограммируемой энергонезависимой памяти (ЭРПЗУ), не требующей в условиях высокой радиации специальной защиты, резервирования или отключения питания при простое. Радиационную стойкость ЭРПЗУ от Northrop Grumman подтвердили многочисленные летные испытания. Что же представляют собой радиационно-стойкие микросхемы ЭРПЗУ компании NGC?

## ЭНЕРГОНЕЗАВИСИМАЯ ПАМЯТЬ КОМПАНИИ NGC ПО ТЕХНОЛОГИИ SONOS

Компания Northrop Grumman Corporation занимает лидирующие позиции в области создания энергонезависимой репрограммируемой памяти (ЭРПЗУ), отличающейся высокой радиационной стойкостью. Это достигнуто за счет применения специальной технологии SONOS

(Silicon-Oxide-Nitride-Oxide-Silicon – кремний – оксид – нитрид – оксид – кремний). Технология SONOS на уровне коммерческого применения была разработана в 1970-х годах. С середины 1970-х над ней активно работали специалисты подразделения электронных систем Westinghouse Electronic Systems знаменитой корпорации Westinghouse Electric Corporation.

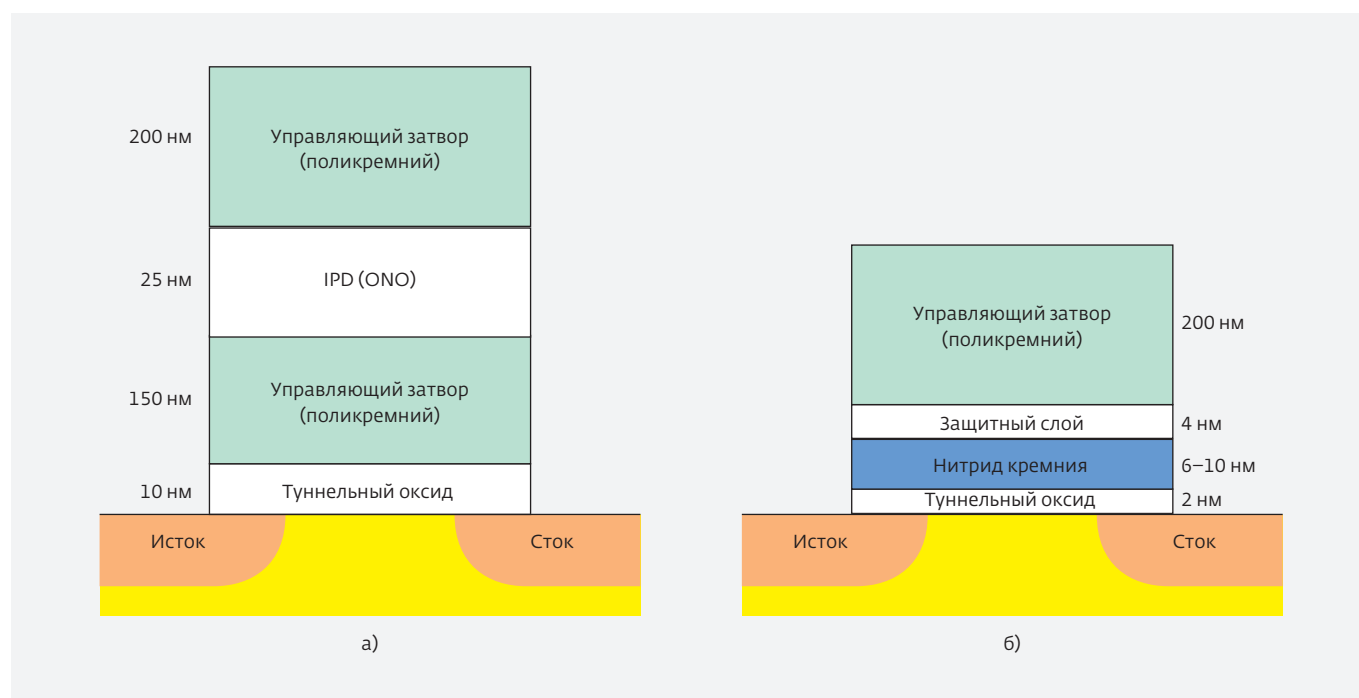
В 1996 году это подразделение приобрела компания Northrop Grumman, и работы продолжились в рамках новой корпорации.

Суть технологии SONOS очень близка к более распространенной технологии ЭРПЗУ на основе транзисторов с плавающим затвором. Запоминающим элементом выступает МОП-транзистор, затвор которого выполнен из поликремния и изолирован от других приборных структур диэлектриком –  $\text{SiO}_2$  или  $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4$ . Сверху расположен управляющий затвор. Память SONOS по принципу действия аналогична, но отличается конструктивно – над транзисторной структурой располагается слой нитрида кремния, заключенный между двумя слоями  $\text{SiO}_2$  (см. рисунок). В слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  имплантированы частицы серебра, на которых может происходить захват статических зарядов. Верхний слой  $\text{SiO}_2$  – защитный (пассивирующий). Нижний слой оксида кремния называют туннельным, поскольку именно сквозь него электроны туннелируют из низлежащей области стока в слой нитрида кремния (или из слоя нитрида кремния в область истока). Туннельный оксид должен быть достаточно тонким – не более 10 нм.

Такая структура, при всей схожести со схемой на основе транзисторов с плавающим затвором, обладает рядом достоинств. И важнейшее

из них – радиационная стойкость. Под воздействием тяжелых заряженных частиц на ЭРПЗУ в первую очередь происходит повреждение тонкого слоя туннельного подзатворного диэлектрика. В случае с плавающим поликремниевым затвором это приводит к выходу из строя ячейки памяти – поскольку нарушается электрическая изоляция между плавающим затвором и транзисторной структурой, а слой поликремния – проводящий, и условий для удержания заряда уже нет. В случае SONOS при аналогичном повреждении туннельного диэлектрика ситуация радикально иная. Слой  $\text{Si}_3\text{N}_4$  – не проводящий, заряды удерживаются несвязанными друг с другом частицами серебра. Поэтому утечки заряда не происходит. Кроме того, SONOS-технология, благодаря меньшей толщине слоя оксид кремния – нитрид – оксид кремния, обеспечивает значительно меньшее напряжение программирования (5–10 В), а также высокую плотность размещения элементов. К тому же, технология SONOS ЭРПЗУ совместима с КМОП-технологией.

Технологию SONOS при изготовлении запоминающих устройств использует ряд компаний. Но лидером в области радиационно-стойких ЭРПЗУ для космического применения, безусловно, сегодня выступает компания Northrop Grumman Corporation.



Структуры транзистора с плавающим затвором (а) и SONOS-типа (б)

Таблица.1. Микросхемы EEPROM-памяти компании NGC

Обозначение	W28C64	W28C256	w28C0108
Организация, бит	8K×8	32K×8	128K×8
Топологическая норма, мкм	1,25	1,25	0,80
Ячейка памяти	Четырехтранзисторная (4Т)	Четырехтранзисторная (4Т)	Двухтранзисторная (2Т)
Размер кристалла, мм	6,5×6,5	8×10,2	8,3×10,6
Напряжение записи, В	10	10	7,5
Время записи, мс/страница	10	10	100
Время доступа для чтения, нс	250		
Хранение данных	10 лет при 125°С (1Е4 циклов)		
Начало продаж	Второй квартал 1993 года	Второй квартал 2000 года	Четвертый квартал 2014 года

Сегодня NGC производит и поставляет три разработанные Сандийской национальной лабораторией микросхемы радиационно-стойких SONOS ЭРПЗУ: W28C64 объемом 64 Кбит (8K×8 бит), W28C256 объемом 256 Кбит (32K×8 бит) и W28C0108 объемом 1 Мбит (128K×8 бит) (табл.1). Первые две ИС выполнены по 1,25-мкм технологии формирования n-канальных КМОП-транзисторов на p+-эпитаксиальной кремниевой подложке с двухуровневой металлизацией. Схемы памяти успешно используется в космическом оборудовании с 1995 года. При поглощенной дозе облучения 1,5 Мрад увеличение тока EEPROM-памяти в режиме хранения пренебрежимо мало, потери функциональности не наблюдается.

ИС ЭРПЗУ W28C0108 – третье поколение семейства радиационно-стойких схем NGC (табл.2). Микросхема выполнена по 0,8-мкм технологии. Но не только это отличает ее от предшественников – совершенно иначе построены сами ячейки памяти. По площади кристалла микросхема сопоставима с ЭРПЗУ W28C256 (см. табл.1). Причем во всех схемах отсутствует эффект защелки.

ЭРПЗУ W28C64 и W28C256 поставляются в керамических 32-выводных корпусах LCC либо в плоских корпусах, радиационно-стойкая схема W28C0108 – в 36-выводном плоском корпусе. Обеспечивается совместимость по выводам с коммерческими ИС памяти в корпусах PLCC-32 других производителей. Рабочая температура составляет –55...125°С.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ЭРПЗУ

Вся продукция NGC проходит двухдневные отбраковочные испытания на работоспособность при температуре 250°С, что эквивалентно работе в течение более чем 2 тыс. лет при температуре 125°С. Испытания микросхем W28C64 показали, что они при общей накопленной дозе излучения 65 крад (Si) выдерживают 38 тыс. циклов перезаписи. Срок хранения данных без отказов – 5,1 лет.

Большая часть микросхем W28C256 прошла статические испытания на срок службы в течение 1 тыс. ч при 150°С и суммарной дозе излучения 450 крад (Si), а также стандартные испытания корпусировки. Статические испытания на сохраняемость данных выполнялись при 10



**Таблица 2.** Характеристики радиационно-стойкой EEPROM-памяти объемом 1 Мбит

Параметр	Значение
Напряжения питания, В	3,3, -4,2 (запись)
Число циклов записи, min чтения	10 <sup>4</sup> не ограничено
Срок хранения данных	>10 лет при температуре 125°C
Потребляемая мощность, мВт режим ожидания режим чтения режим записи	1 60 40
Мощность дозы кратковременного воздействия при сбое памяти, рад/с	>10 <sup>12</sup>
Кратковременное воздействие тяжелых заряженных частиц, МэВ/см <sup>2</sup> (мг)	40

тыс. циклах перезаписи и температуре 150°C в течение 2 тыс. и 6 тыс. ч с чтением данных памяти. После каждого испытания на сохранность проверялась работоспособность путем считывания данных при трех значениях температуры: -55, 25 и 125°C. Квалификационные испытания работоспособности памяти EEPROM объемом 256 Кбит при температуре более 200°C продолжают до сих пор.

ЭРПЗУ W28C0108 объемом 1 Мбит испытывалось на срок хранения данных при значениях температуры 225, 250 и 300°C. Испытания 59 образцов показали, что срок хранения данных при температуре 125°C намного превышает 100 лет.

В ходе испытаний на работоспособность в течение 1 тыс. ч при температуре 150°C и на радиационную стойкость при суммарной дозе

ионизирующего излучения до 1 Мрад (Si) значительных изменений в работе микросхем памяти не наблюдалось.

В итоге испытания радиационно-стойких микросхем EEPROM-памяти компании NGC показали, что схемы выдерживают общую дозу радиации до 300 крад (Si). Кратковременная мощность излучения, вызывающая сбой памяти, превышает 10<sup>12</sup> рад (Si)/с.

### РАБОТА ЭРПЗУ NGC НА ОРБИТЕ

В 1997 году на орбиту была выведена экспериментальная космическая станция для тестирования изделий микроэлектроники и фотоники МРТВ (Microelectronics and Photonics Test Bed). На ней испытывались четыре микросхемы ЭРПЗУ объемом 64 Кбит на чтение, запись и хранение данных. Продолжительность полета МРТВ составила

**Таблица 3.** Результаты контроля работы микросхем EEPROM-памяти на борту спутника МРТВ

Параметр	Результаты тестирования		Комментарий
	Измеренное значение	Значение по спецификации	
Суммарная доза, крад (Si)	~81	300	Ограничено сроком полета
Число программных циклов, ×10 <sup>4</sup>	5,04	1	Превышено более чем в пять раз без нарушения работоспособности
Хранение данных, лет	7,1	10	Ограничено сроком полета



**Таблица 4.** Результаты квалификационных испытаний ЭРПЗУ объемом 256 Кбит

Тест	Число приборов	Число партий	Температура, °С	Часов, ×10 <sup>6</sup>	Приборо-часов, ×10 <sup>6</sup>		Число отказов
					при 150°С	при 125°С	
На срок службы	132	28	150	1	132	264	–
Расширенный на срок службы	15	1	150	15	225	450	–

около 9 лет (окончилась в начале 2006 года). Приборы были постоянно запитаны, их работа непрерывно контролировалась в режиме реального времени. Сбоев в работе приборов не было обнаружено в течение всего полета (табл.3).

В 1999 году на орбиту был выведен спутник НАСА Chandra. Компания Northrop Grumman Aerospace Systems разработала для него систему телеметрии, в которой использовались микросхемы ЭРПЗУ объемом 64 Кбит. Космический аппарат успешно выполняет свои задачи в течение 15 лет (что в три раза больше заложенного при разработке ресурса). За 18 лет с момента программирования микросхем памяти (без повторного программирования) не было ни одного отказа хранения данных. Первое

перепрограммирование ЭРПЗУ (для модернизации системы телеметрии) запланировано на 2014 год.

Расширенные квалификационные испытания различных партий микросхем ЭРПЗУ объемом 256 Кбит в течение многих лет также подтвердили высокие значения их радиационной стойкости надежности – один отказ за 10<sup>9</sup> приборо-часов работы.

Разработанное компанией Northrop Grumman по технологии радиационно-стойкой EEPROM 2-Кбит блочно-ориентированное запоминающее устройство с произвольно выборкой (BORAM), запрограммированное в декабре 1976 года, не имело ни одного потерянного бита до декабря 2013 года – 37 лет сохранности данных!!! ●

## НОВЫЕ КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "ТЕХНОСФЕРА"



Цена 1210 руб.

### ТОРИЙ В ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ Алексеев С.В., Зайцев В.А.

Москва: ТЕХНОСФЕРА, 2014.  
288 с. + 6 с. цв. вкл.  
ISBN 978-5-94836-394-3

В книге приведены сведения о роли тория в ядерной энергетике. Кратко рассмотрены данные об исследовании ториевого топливного цикла. Приведены сведения о свойствах, технологии получения и перспективы применения ториевого топлива в ядерных реакторах. Рассмотрены методы получения тугоплавких соединений тория. Проанализированы результаты работ по вскрытию торийсодержащих материалов, получению ядерночистых соединений тория (ThO<sub>2</sub>, ThC, ThN, ThB, ThP, ThS), переработке отработанного топлива и технике безопасности при работе с торием.

Книга предназначена для научных работников и инженеров, работающих в области исследования и применения ядерного топлива.

#### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319 Москва, а/я 91; ☎ (495) 956-3346, 234-0110; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)