

Продолжение. Начало в № 5'2002

Сегнетоэлектрические FRAM-приборы производства Ramtron

Ramtron International Corporation — стремительно развивающаяся компания, являющаяся разработчиком технологии FRAM и мировым лидером в сфере разработки и производства электронных компонентов по запатентованной фирмой технологии FRAM.

**Сергей Добрусенко,
Татьяна Ткачева**

serge_dobrusenko@fromru.com

Корпорация Ramtron International была основана в 1984 году для разработки сегнетоэлектрического технологического процесса производства полупроводниковых запоминающих приборов и с 1994 года начала производство первых коммерческих приборов по запатентованной фирмой технологии FRAM. За прошедшие годы фирма освоила небольшой, но обладающий уникальными свойствами ассортимент энергонезависимых приборов FRAM на основе усовершенствованного сегнетоэлектрического технологического процесса. Совершенствование технологии осуществляется по двум направлениям.

Первое — переход на запоминающий элемент, выполненный на базе одностранзисторной ячейки памяти 1Т/1С (рис. 1). Первое в мире коммерческое изделие, выполненное по технологии 1Т/1С (прибор FM24C256), было представлено на рынок в 2001 году. Ранее при производстве FRAM-приборов использовалась двухтранзисторная ячейка памяти 2Т/2С. Переход на технологическую ячейку с одним транзистором и одним конденсатором позволил существенно сократить площадь кристалла, необходимую для размещения запоминающего элемента.

Второе направление — это научные исследования в области совершенствования самих сегнетоэлектрических материалов, используемых при производстве FRAM-приборов. Следует обратить внимание на такую технологическую особенность ячейки памяти FRAM, как отсутствие какого-либо повышенного напряжения записи. Запись информации в ячейку производится напряжением, не превышающим напряжение питания самой микросхемы. Это позволяет исключить какие-либо задержки при переключении из режима записи в режим чтения и наоборот. Эксплуатация микросхем, не использующих внутренние повышенные напряжения питания отдельных узлов и каскадов, существенно повышает надежность и эксплуатационные характеристики приборов. Использование напряжения питания микросхем для непосредственной записи информации в ячейку памяти позволяет также полностью использовать такое потенциальное преимущество технологии FRAM, как отсутствие каких-либо задержек при записи информации. В принципе,

быстродействие технологической ячейки памяти FRAM обуславливается только быстродействием внутренних буферных схем FRAM-приборов.

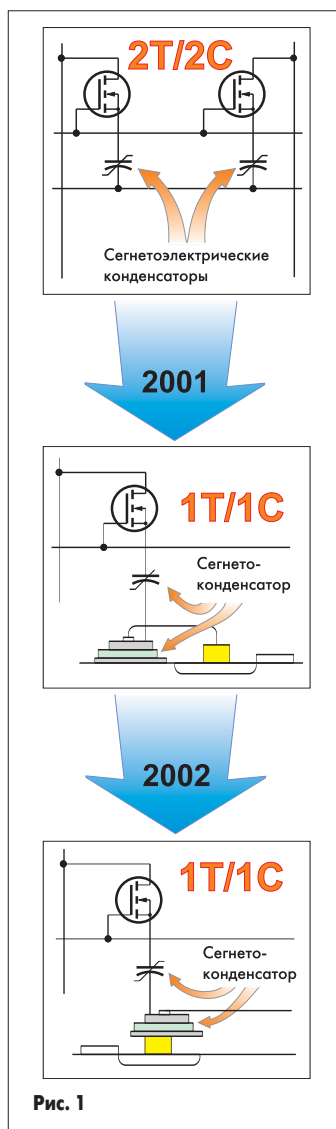
В 2001 году специалисты Ramtron достигли существенных успехов как в совершенствовании самих сегнетоэлектрических материалов, так и в достижении таких их характеристик и параметров, которые позволили фирме перейти к производству различных коммерческих 3-вольтовых FRAM-приборов с одновременным улучшением большинства их характеристик, в том числе продолжительности хранения информации.

По достижении реальных надежных характеристик по количеству циклов записи-чтения в 10^{16} – 10^{19} циклов для новой низковольтной (3 В) технологической ячейки памяти FRAM Ramtron International начала разработку и производство серии новых, низковольтных приборов с уникальными характеристиками. В настоящее время фирма производит целую серию последовательных (I²C, SPI) и параллельных FRAM-приборов, для которых этот параметр определен как «Unlimited Read/Write Cycles» для работы в промышленном диапазоне температур в течение 10 лет непрерывной эксплуатации.

Особенности применения FRAM-приборов

Основной особенностью всех FRAM-приборов является их полная программная (на уровне системы команд) и аппаратная совместимость с большинством EEPROM, поставляемых на рынок ведущими изготовителями полупроводниковых приборов энергонезависимой памяти, таких, как Microchip и ST, и соответствие всем отраслевым стандартам на приборы памяти.

Одной из самых важных отличительных особенностей FRAM-приборов, определяемой технологическими особенностями ячейки памяти FRAM является полное отсутствие каких-либо задержек при записи информации и при переключении режимов работы микросхем. При модернизации аппаратуры и при разработке новых устройств с применением FRAM-приборов следует учитывать, что все они вы-



полняют запись информации со скоростью системной шины и не нуждаются в дополнительных циклах, обычно программно формируемых управляющим микроконтроллером для записи в EEPROM. В случае с FRAM запись информации возможна в конвейерном режиме с использованием каналов прямого доступа к памяти или с использованием максимальной пропускной способности последовательной шины микроконтроллеров, имеющих аппаратную поддержку передачи данных по шинам I²C и SPI. Таким образом, FRAM-память имеет скорость записи, сопоставимую с RAM, но при этом она полностью энергонезависима и способна гарантированно сохранять информацию в течение 10 лет при непрерывной работе в режиме чтения-записи или при полностью отключенном источнике питающего напряжения. Фактически приборы FRAM работают как RAM.

Еще одной важной отличительной особенностью FRAM-приборов, определяемой технологическими особенностями ячейки памяти, являются практически одинаковые токи потребления как в режиме чтения, так и в режиме записи. Так как запись информации в ячейку производится напряжением, не превышающим напряжение питания микросхем, приборы FRAM в динамическом режиме имеют мощность потребления намного меньше, чем любые EEPROM в режиме записи. Эта особенность снижает требования, предъявляемые к источнику питания микросхем, а также приводит к тому, что FRAM-приборы памяти генерируют намного меньше электромагнитного шума и помех на шинах питания и интерфейсных линиях по сравнению со стандартными для отрасли EEPROM.

Запоминающий элемент памяти имеет два устойчивых состояния, что принципиально отличает его от запоминающего элемента EEPROM. Его отличительной особенностью является намного большая разница в уровнях логического 0 и 1 и, как следствие, повышенная устойчивость FRAM к различным электромагнитным помехам, наводкам и излучениям, что в целом ряде прикладных применений оказывается неоспоримым преимуществом технологии. Эта особенность приборов обуславливает их широкое применение в таких приборах, как различные счетчики электроэнергии и портативное промышленное оборудование, предназначенное для работы в сильно зашумленных средах и условиях наличия сильных электромагнитных помех.

Дополнительно, в тех случаях, когда в цепях питания или на интерфейсных линиях присутствует серьезный шум или колебания питающего напряжения, продолжительное время записи EEPROM создает так называемое «окно уязвимости», в течение которого записываемые данные могут быть искажены. В отличие от этого запись информации в FRAM выполняется очень быстро, от нескольких наносекунд до микросекунды, в зависимости от конкретной модели. Таким образом, запись в FRAM выполняется достаточно быстро, чтобы избежать проблем с потерей информации от сбоя электропитания или от сильного электромагнитного шума.

FRAM-приборы с быстрым последовательным интерфейсом I²C



Линейка приборов FRAM с быстрым последовательным интерфейсом I²C состоит из различных изделий с емкостями от 4 до 256 кбайт (табл. 1). В скором времени планируется запуск в производство новых 3-вольтовых FRAM с емкостями до 1 Мбайт. Все приборы имеют лучшие по сравнению с EEPROM характеристики — и по количеству циклов записи, и по скорости записи. Приборы обладают временем записи байта до 12,5 мкс в зависимости от конкретной модели, характеризуются малым энергопотреблением как в режиме чтения, так и в режиме записи, и выдерживают более 10¹⁰ циклов записи. Приборы изготавливаются по 0,5–0,35-микронной технологии. В 2002 году освоено производство приборов FM24CL04, FM24CL16 и FM24CL64 с неограниченным количеством циклов чтения-записи. То есть фактически это полностью энергонезависимая память RAM, не имеющая каких-либо встроенных источников питания. Все приборы имеют одинаковые электрические характеристики и параметры и различаются только объемом.

Рассмотрим ключевые характеристики приборов на примере недавно анонсированного 64-килобитного прибора FM24C64-S, старшего в серии последовательных 3-вольтовых FRAM с шиной I²C. FM24C64-S это один из первых в мире коммерческих приборов FRAM-памяти, имеющий неограниченное количество циклов чтения-записи.

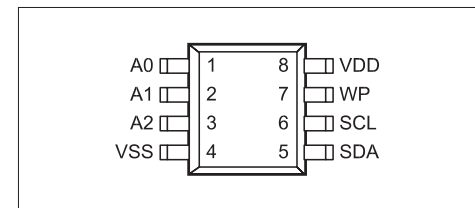
Таблица 1. Линейка FRAM-приборов с быстрым последовательным интерфейсом I²C

Product	Density	Organized	Speed	Endurance	Write byte	VDD	Cases	Status
FM24CL1024-S	1Mb	131072×8	1 MHz	–	–	2,7–3,6V	–	Product Concept
FM24CL256-S	256Kb	32768×8	1 MHz	–	–	2,7–3,6V	SOIC8	Product Concept
FM24C256-SE	256Kb	32768×8	1 MHz	10 ¹¹	12,5 μs	5,0V	SOIC8	Production
FM24CL64-S	64Kb	8192×8	1 MHz	Unlimited	12,5 μs	2,7–3,6V	SOIC8	Customer Samples
FM24C64-S	64Kb	8192×8	1 MHz	10 ¹⁰	12,5 μs	5,0V	SOIC8	Production
FM24C64-P	64Kb	8192×8	1 MHz	10 ¹⁰	12,5 μs	5,0V	PDIP8	Production
FM24CL16-S	16Kb	2048×8	1 MHz	Unlimited	12,5 μs	2,7–3,6V	SOIC8	Production
FM24C16A-S	16Kb	2048×8	1 MHz	10 ¹²	12,5 μs	5,0V	SOIC8	Customer Samples
FM24C16-S	16Kb	2048×8	400 kHz	10 ¹⁰	20 μs	5,0V	SOIC8	Production
FM24C16-P	16Kb	2048×8	400 kHz	10 ¹⁰	20 μs	5,0V	PDIP8	Production
FM24CL04-S	4Kb	512×8	1 MHz	Unlimited	12,5 μs	2,7–3,6V	SOIC8	Customer Samples
FM24C04A-S	4Kb	512×8	1 MHz	10 ¹²	12,5 μs	5,0V	SOIC8	Production
FM24C04-S	4Kb	512×8	400 kHz	10 ¹⁰	20 μs	5,0V	SOIC8	Production
FM24C04-P	4Kb	512×8	400 kHz	10 ¹⁰	20 μs	5,0V	PDIP8	Production

Описание изделия

FM24C64-S — 64-килобитное энергонезависимое ОЗУ со стандартным 2-проводным интерфейсом I²C, совместимое на уровне контактов с промышленным стандартом 24C64 EEPROM. Чтение и запись выполняются со скоростью шины до 1 МГц. FM24C64-S работает от 3-вольтового источника питания и потребляет 0,2 мА в режиме чтения или записи при частоте шины 100 кГц. FM24C64-S гарантирует 10 лет хранения данных и поставляется в 8-выводных корпусах EIAJ SOIC для промышленного температурного диапазона от –40 до +85 °С.

Конфигурация выводов



Pin Names	Function
A0-A2	Device Select Address
SDA	Serial Data/Address
SCL	Serial Clock
WP	Write Protect
VSS	Ground
VDD	Supply Voltage 5V

Особенности прибора

FM24C64-S выполняет запись информации со скоростью шины I²C. При записи информации в микросхему нет никаких дополнительных задержек. Кроме того, приборы имеют фактически неограниченный ресурс циклов записи — намного больше, чем любые EEPROM. Кроме того, FRAM в режиме записи потребляет намного меньшую мощность, чем EEPROM. FM24C64-S легко каскадируется и совместим со стандартными EEPROM по системе команд.

Эти особенности делают прибор FM24C64-S идеальным для энергонезависимых применений памяти, требующих частой или быстрой записи данных. Примером могут быть различные системы сбора данных, где количество циклов записи может быть критично, а применение EEPROM с длительным временем записи может привести к потере данных. Комбинация особенностей FRAM позволяет

производить более частую запись данных с меньшим риском потери данных для системы. Полный цикл памяти длится меньше, чем один такт шины. Поэтому любое действие, включая чтение или запись, может начинаться немедленно после операции записи данных или адреса. Подтверждение квитированием, используемое при работе с EEPROM, чтобы определить, закончился ли цикл записи, не нужно, и будет всегда возвращать код готовности.

Фактическая запись в память происходит после передачи восьмого бита данных. Запись выполняется прежде, чем будет послан по шине сигнал подтверждения. Если необходимо прервать запись без изменения содержимого памяти, это может быть сделано с помощью кода Start или Stop до окончания передачи всего байта данных по шине. FM24C64-S не использует буферизацию данных. Данные пишутся непосредственно в FRAM-массив.

Линейка FRAM, приборов с быстрым последовательным интерфейсом SPI



Линейка FRAM с быстрым последовательным интерфейсом SPI сегодня состоит из различных изделий с емкостями от 4 до 64 кбайт (табл. 2). В скором времени планируется запуск в производство новых 3-вольтовых приборов с емкостями до 1 Мбайт. Все приборы имеют лучшие по сравнению с EEPROM характеристики — и по количеству циклов записи, и по скорости записи. Приборы обладают временами записи байта до 0,4 мкс в зависимости от

конкретной модели, характеризуются малым энергопотреблением как в режиме чтения, так и в режиме записи, и выдерживают более 10¹⁰ циклов записи. Приборы изготавливаются по 0,5-микронной технологии. В 2002 году освоено производство приборов FM25CL64 с неограниченным количеством циклов чтения-записи. Фактически — это полностью энергонезависимая память RAM без каких-либо встроенных источников питания. Все приборы имеют одинаковые электрические характеристики и параметры и различаются только емкостью.

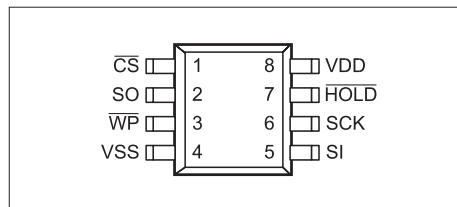
Рассмотрим ключевые характеристики приборов на примере низковольтного 64-килобитного FRAM-прибора FM25CL64-S, старшего в серии последовательных FRAM с шиной SPI. FM25CL64-S — это один из первых в мире коммерческих FRAM, имеющих неограниченное количество циклов чтения-записи.

Описание изделия

FM25CL64-S — 64-килобитное энергонезависимое ОЗУ со стандартным 3-проводным интерфейсом SPI, совместимое с промышленным стандартом 25C64 EEPROM на уровне выводов. Чтение и запись выполняются со скоростью шины до 20 МГц. FM25CL64-S работает от 3-вольтового источника питания и потребляет 5 мА в режиме чтения или записи при частоте шины 20 МГц.

FM25CL64-S гарантирует 10 лет хранения данных и поставляется в 8-выводных корпусах SOIC для промышленного температурного диапазона от -40 до +85 °С. SPI Mode 0&3 (CPOL, CPHA=0,0 & 1,1).

Конфигурация выводов



Pin Names	Function
/CS	Chip Select
/WP	Write Protect
/HOLD	Hold
SCK	Serial Clock
SI	Serial Data Input
SO	Serial Data Output
VDD	Supply Voltage 5V
VSS	Ground

Таблица 2. Линейка FRAM-приборов с быстрым последовательным интерфейсом SPI

Product	Density	Organized	Speed	Endurance	Write byte	VDD	Cases	Status
FM25CL1024-S	1Mb	131072x8	20 MHz	-	-	2.7-3.6V	-	Product Concept
FM25CL256-S	256Kb	32768x8	20 MHz	-	-	2.7-3.6V	-	Product Concept
FM25CL64-S	64Kb	8192x8	20 MHz	Unlimited	0,4 μs	3.0-3.6V	SOIC8	Customer Samples
FM25CL16-S	16Kb	2048x8	20 MHz	-	-	3.0-3.6V	SOIC8	Product Concept
FM25CL04-S	4Kb	512x8	20 MHz	-	-	3.0-3.6V	SOIC8	Product Concept
FM25C160-S	16Kb	2048x8	5 MHz	10 ¹⁰	1,6 μs	5V	SOIC8	Production
FM25C160-P	16Kb	2048x8	5 MHz	10 ¹⁰	1,6 μs	5V	PDIP8	Production
FM25640-S	64Kb	8192x8	5 MHz	10 ¹⁰	1,6 μs	5V	SOIC8	Production
FM25640-P	64Kb	8192x8	5 MHz	10 ¹⁰	1,6 μs	5V	PDIP8	Production
FM25160-S	16Kb	2048x8	2.1 MHz	10 ¹⁰	3,8 μs	5V	SOIC8	Production
FM25160-P	16Kb	2048x8	2.1 MHz	10 ¹⁰	3,8 μs	5V	PDIP8	Production
FM25040-S	4Kb	512x8	2.1 MHz	10 ¹⁰	3,8 μs	5V	SOIC8	Production
FM25040-P	4Kb	512x8	2.1 MHz	10 ¹⁰	3,8 μs	5V	PDIP8	Production

Особенности прибора

FM25CL64-S выполняет запись информации со скоростью шины SPI. При записи информации в микросхему нет никаких дополнительных задержек. Следующий цикл шины может начинаться немедленно.

Кроме того, приборы имеют фактически неограниченный ресурс циклов записи — принципиально больше, чем любые EEPROM. Кроме того, в режиме записи FRAM потребляет намного меньшую мощность, чем EEPROM.

Приборы FM25CL64-S позволяют программно устанавливать как частичную, так и полную защиту от записи. Следует учитывать энергонезависимость регистра статуса — если в предыдущей рабочей сессии был сброшен признак WREN, то запись будет блокирована. При начале записи признак WREN должен быть установлен. Флаг WEL указывает состояние счетчика записи. Попытка прямой записи бита WEL не даст никакого эффекта.

Линейка FRAM-приборов с параллельным интерфейсом

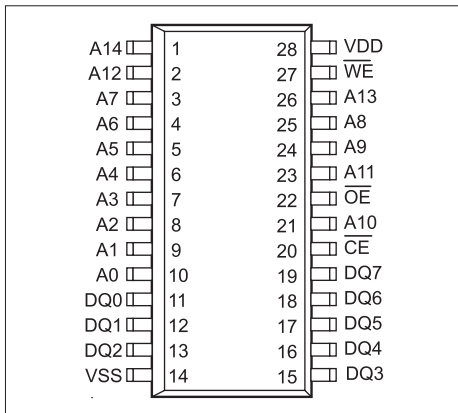


Линейка FRAM с параллельным интерфейсом сегодня состоит из различных изделий с емкостями от 64 до 256 кбайт (табл. 3). В скором времени планируется запуск в производство новых 3-вольтовых приборов с емкостями до 1 Мбайт. Все приборы имеют лучшие по сравнению с EEPROM характеристики — и по количеству циклов записи, и по скорости записи. Время записи байта — до 70 нс в зависимости от конкретной модели. Приборы характеризуются малым энергопотреблением как в режиме чтения, так и в режиме записи, и выдерживают более 10¹⁰ циклов записи. Приборы изготавливаются по 0,5-микронной технологии. В 2002 году освоено производство приборов FM18L08 с неограниченным количеством циклов чтения-записи. Фактически — это полностью энергонезависимая память RAM, без встроенных источников питания. Все приборы имеют одинаковые электрические характеристики и параметры и различаются только емкостью.

Рассмотрим ключевые характеристики приборов на примере низковольтного 256-килобитного прибора FM18L08, являющегося старшим в серии параллельных FRAM. FM18L08 —

это первый в мире коммерческий FRAM-прибор с неограниченным количеством циклов чтения-записи.

Конфигурация выводов



Pin Name	Type	Pin Description
A0-A14	Input	15 линий адреса
DQ0-7	I/O	8 линий данных
/CE	Input	Выбор кристалла
/OE	Input	Разрешение шины
/WE	Input	Разрешение записи
VDD	Supply	Напряжение питания
VSS	Supply	Земля

Описание изделия

FM18L08 — 256-килобитное энергонезависимое ОЗУ со стандартной параллельной организацией, совместимое с промышленным стандартом JEDEC 32Kx8 SRAM & EEPROM на уровне выводов. Чтение и запись выполняются за 140 нс. FM18L08 работает от 3-вольтового источника питания и потребляет 15 мкА в пассивном режиме и 15 мА режиме чтения или записи. FM18L08 гарантирует 10 лет хранения данных и поставляется в 28-выводных корпусах SOIC или PDIP для промышленного температурного диапазона от -40 до +85 °C.

Особенности прибора

Прибор FM18L08 разрабатывался в первую очередь для замены BBSRAM, но нашел массу других применений. Типичный модуль SRAM со встроенной батареей выдерживает до 60 °C и 90% Rh, но при этом не учитываются вибрации и атмосферное давление. Однако FRAM-приборы проходят HAST-тесты (сильно ускоренный стрессовый тест). Эти тесты проводятся при следующих параметрах: 120 °C при 85% Rh, 24,4 psia и полном напряжении питания VDD.

Таблица 4. Process Qualification Results 64K Device

Test Description	Applied Stress	Device Stress Hrs	Sample Size	Number of Failures	Equivalent Hrs at 55 °C	Activation Energy	FITS 55 °C
HTOL	125 °C, Dynam. Vcc = 6V	1000	77	0	7.8 E+04 8.8 Years	0.70	153 a
RETN, 150 C bake Retention	SS & OS RETN No elect. bias	1000	376	1 b	3.6 E+05 114 Years	0.87	5
85/85	85 °C 85% Moisture	1000	46	0			
Thermal Shock	200 cycles 0 °C to 100 °C	N/A	11	0			
RETF	1.0 E+07	1000	46	0			
Retention	1.0 E+08	1000	46	0			
After	1.0 E+09	1000	46	0			
Fatigue	Fatigue followed by Retention at 150 °C						

Таблица 3. Линейка FRAM-приборов с параллельным интерфейсом

Product	Density	Organized	Access	Endurance	Write byte	VDD	Cases	Status
FM20L08	128Kx8	131072x8	-	-	-	2.7-3.6V	-	Product Concept
FM18L08-70-S	32Kx8	32768 x 8	70 ns	Unlimited	140 nS	2.7-3.6V	SOIC28	Customer Samples
FM18L08-70-P	32Kx8	32768x8	70 ns	Unlimited	140 nS	2.7-3.6V	PDIP28	Customer Samples
FM1808-70-S	32Kx8	32768x8	70 ns	10^10	130 nS	5V	SOIC28	Production
FM1808-70-P	32Kx8	32768x8	70 ns	10^10	130 nS	5V	PDIP28	Production
FM1808-120-S	32Kx8	32768x8	70 ns	10^10	180 nS	5V	SOIC28	Production
FM1808-120-P	32Kx8	32768x8	70 ns	10^10	180 nS	5V	PDIP28	Production
FM1608-120-S	8Kx8	8192x8	120 ns	10^10	180 nS	5V	SOIC28	Production
FM1608-120-P	8Kx8	8192x8	120 ns	10^10	180 nS	5V	PDIP28	Production

Приборы FM18L08 обеспечивают работу в промышленном температурном диапазоне при напряжении питания от 3 до 3,65 В. В то же время приборы допускают эксплуатацию при напряжении питания от 2,7 В, и при этом гарантируются все электрические параметры в диапазоне температур от 0 до +85 °C. Прибор выпускается в корпусе PDIP FM18L08-70-P.

Технологические и конструктивные особенности FRAM-приборов

Вся номенклатура поставляемых в настоящее время фирмой Ramtron International на рынок FRAM-приборов изготавливается по 0,5-0,35-микронным топологическим проектным нормам с ячейкой памяти 1Т/1С, за исключением приборов FM24C256, выполненных по новой технологии ячейки памяти 1Т/1С.

В настоящее время фирмой изготавливаются различные 5- и 3-вольтовые FRAM, имеющие как конструктивные, так и технологические отличия. Все 5-вольтовые FRAM изготавливаются на основе разработанного и запатентованного фирмой Ramtron International сегнетоэлектрического технологического процесса. Все они имеют конструктивное исполнение как в корпусах SOIC, так и в PDIP. В отличие от этого вся 3-вольтовая серия FRAM изготавливается только в корпусах типа SOIC, за исключением прибора FM18L08-10-P (корпус PDIP). Все 3-вольтовые приборы изготавливаются по усовершенствованному сегнетоэлектрическому технологическому процессу и имеют улучшенные характеристики и параметры долговременного хранения информации по сравнению с 5-вольтовыми приборами. Приборы FM24CL04A и FM24CL16A изготавливаются по 0,35-микронному техпроцессу и выдерживают 10¹² циклов чтения-записи.

Специалисты Ramtron постоянно работают над совершенствованием технологии в тесном сотрудничестве с ведущими производителями полупроводниковых приборов, такими, как Infineon, Hitachi, Fujitsu, Toshiba, Samsung, Texas Instruments, NEC и ST Microelectronics, с которыми Ramtron имеет соответствующие соглашения лицензирования и совместные проекты новых плотноупакованных FRAM-приборов. Такое взаимодействие с лидерами мирового рынка оказалось весьма плодотворным, что подтверждается результатами различных тестовых испытаний службой качества фирмы и независимыми экспертами. Результаты некоторых тестов, приводимых в данной статье (табл. 4-6), наглядно демонстрируют потенциальные возможности технологии FRAM и высокие показатели надежности, присущие этим приборам. Приведены результаты лишь некоторых, наиболее интересных на взгляд авторов, тестов, проводимых ежемесячно службой качества Ramtron.

Уже в начале 2002 года запатентованная фирменная сегнетоэлектрическая технология и вся выпускаемая фирмой Ramtron продукция была сертифицирована на соответствие стандартам ISO9000. Следует отметить качественные изменения в технической документации на приборы и в технической информации на сайте фирмы (www.ramtron.com), произошедшие в 2002 году. Так, в документации введена табличная информация обо всех внесенных изменениях и их дате за время жизни каждого FRAM-прибора с начала выпуска опытных образцов до настоящего времени, что оказывается весьма важным как для разработчиков, так и для эксплуатационников. Текущая информация по всем FRAM-приборам, отражающая все актуальные изменения в последних версиях, доступна на сайте Ramtron. В разделе Errata Sheets доступны так-

Таблица 5. 3 V 0.5 μ Process Qualification

Test Description	Applied Stress	Device Stress Hrs	Sample Size	Number of Failures	Equivalent Hrs at 55 °C	Activation Energy	FITS 55 °C
HTOL	125 °C, Dynam. Vcc = 3.6 V	1000	308	0	7.8 E+04 8.8 Years	0.7	153 a
Retention	SS & OS RETN 150 °C Bake V=0	1000	308	0	3.60 E+05 114 Years	0.87	5
Temperature	85 °C 85% RH	1000	308	0			
Thermal Shock	200 cycles 0 °C to 100 °C	N/A	104				
Low Temp Operation	-55 °C V=3.6 V CLK=1MHz	N/A	104	0			
Temp Cycle	-65 °C~150 °C	N/A	308	0			
HAST	130 °C, 85% RH, 2.33 E5 Pa, V=3.6	96	104	0			

же спецификации по отклонениям параметров приборов сигнальных производственных партий и опытных образцов. Все приборы доступны в виде свободных образцов, заказ которых также возможен на сайте изготовителя.

Таблица 6. Суммарные результаты ежемесячных HAST-тестов при воздействии повышенных температур (200 °C) при полном функциональном контроле работоспособности — QAM 200 °C @ 72 Hrs

Device	Lot	Sample	Fail	Yield
FM24C64-P	94950C	100	0	100
FM24C64-S	94950A	99	0	98
FM1808-120-P	0101AP	54	0	100
FM1808-120-S	0101AS	80	0	100
FM1608-120-P	0701AP	80	1	98.7
FM1608-120-S	0701AS	100	0	100
FM1608-120-S	0201AS	100	0	100
FM1608-120-P	0201AP	96	0	100
FM1608-120-P	0701AQ	93	3	93.7
FM1808-120-S	1001AS	54	0	100
FM24C64-S	0102AS1	100	0	100
FM24C64-P	0102AQ	96	0	100
FM1808-120-P	1001AP	49	0	96
FM1608-120-P	1301AP	98	1	99
FM1608-120-S	1301AQ	97	1	98.9
FM24C64-S	0102AS2	99	0	100
FM24C64-P	1306AP	100	0	100
FM1808-120-P	1307AP	93	0	97.9
FM1808-120-P	1407AP	100	0	100
FM1608-120-S	1302AS2	99	2	97.9
FM1808-120-S	1307AS	99	0	98
FM1808-120-S	1407AS	98	0	98
FM1808-120-S	1408AS	100	0	100
FM24C64-S	1306AS	100	0	100
FM1608-120-S	1302AS	95	0	100
FM24C64-P	1409AP	100	0	100
FM24C64-P	1707AT	100	0	100
FM24C64-P	1707AP	100	0	100
FM24C64-S	1410AS	100	0	100
FM24C64-S	1411AS	100	0	100
FM24C64-S	1707AS	100	1	99
FM1808-120-S	2005AS	96	0	96
FM1608-120-P	1706AP	98	1	99
FM1608-120-P	2105AP	100	1	99
FM1808-120-S	1801AS	97	0	97
FM1608-120-S	2105AT	99	0	100
FM1608-120-S	2106AS	97	0	99
FM1608-120-S	1904AS	100	0	100
FM1608-120-S	2105AS	97	0	98
SUM		3663	11	99.70%