

F-RAM: практический шаг к универсальной памяти

С освоением 130 нанометрового технологического процесса и выпуском микросхем F-RAM¹ 4 Мбит, корпорация Ramtron опережает на несколько лет другие компании, которые внедряют альтернативные технологии энергонезависимой памяти с произвольным доступом (NV-RAM²), такие как M-RAM или P-RAM. Производители одноплатных компьютеров и высокопроизводительных микроконтроллерных систем получили, наконец, универсальную память, проверенную временем, с высоким быстродействием, надежностью и с достаточным объемом массива F-RAM в одном кристалле.

Илья ЗАЙЦЕВ
ilya.zc@eltech.spb.ru



Потребность в энергонезависимой памяти с произвольным доступом в цифровой технике существовала всегда. Однако, на протяжении десятков лет не было коммерчески доступной технологии массового производства таких запоминающих устройств. Разработчики аппаратного и программного обеспечения настолько привыкли разделять энергонезависимую и оперативную память, настолько много создано программ, закрепляющих такое разделение, что теперь, когда новые технологии одна за другой приносят желаемое, требуется перестройка конструкторского мышления.

Можно ожидать, что через 4–5 лет инженеры смогут выбирать NV-RAM среди множества приборов, произведенных по различным технологиям. К уже хорошо известной ферроэлектрической памяти F-RAM корпорации Ramtron добавятся микросхемы магниторезистивной памяти (Magnetoresistive RAM, M-RAM) и фазопеременной памяти (Phase-Change RAM, P-RAM), над разработкой и внедрением которых сейчас работает множество компаний во всем мире. Опираясь на известные особенности каждой из этих технологий, можно предположить, что они

будут применяться в различных, но частично пересекающихся областях.

Из новейших, пока еще не освоенных технологий наиболее близка к внедрению в массовое производство магниторезистивная память. Не углубляясь в физические принципы ее работы, можно выделить основные эксплуатационные особенности M-RAM: практически неограниченное количество циклов перезаписи, сравнительно большой объем массива на одном кристалле, высокое быстродействие, сравнительно высокое энергопотребление. Кроме задач разработки и внедрения технологии массового производства M-RAM, компании-производители должны решить технические проблемы M-RAM, существующие сейчас:

- Ограниченный диапазон температур эксплуатации — предоставляемые сейчас образцы работают в диапазоне температур от 0 до 70 °С. Наиболее близка к решению этой проблемы компания Freescale — опубликована документация на микросхемы с диапазоном эксплуатационных температур от -40 до +105 °С.
- Высокое энергопотребление, в 4–5 раз превышающее потребление F-RAM того же объема; для M-RAM объемом 4 Мбит ток потребления составляет порядка 55 мА при чтении и более 100 мА при записи, а в режиме ожидания — более 10 мА.
- Проблема сохранности данных в условиях воздействия электромагнитных помех с уровнем, обычным для промышленных объектов и приборов высокопроизводительной ВТ — первые образцы микросхем M-RAM поставлялись потребителю в корпусах, оснащенных металлическими экра-

нами, без которых сохранность данных не гарантировалась.

Над внедрением технологии M-RAM сейчас работают такие гиганты полупроводниковой индустрии, как NEC, Hitachi, Toshiba, Freescale и целый ряд научно-исследовательских компаний.

Фазопеременная память P-RAM использует тот же принцип хранения, что и перезаписываемые компакт-диски — халькогенидные сплавы приобретают аморфное или кристаллическое состояние при определенных температурах нагрева. Только для считывания с компакт-дисков используется различие в отражательной способности аморфных и кристаллических участков поверхности, а в микросхемах памяти — различное электрическое сопротивление халькогенидных ячеек в разном фазовом состоянии. Ключевое преимущество P-RAM — очень высокая устойчивость к ионизирующим излучениям, что и позволило компании BAЕ Systems создать микросхемы памяти с устойчивостью 200 тысяч рад и даже 1 миллион рад для применения в военной авиации и космических аппаратах.

Второе перспективное преимущество P-RAM — минимальный размер ячейки, представляющей собой диод, к одному из электродов которого, как простой резистор, подключен халькогенидный столб. При такой архитектуре ячейки возможно построение массива памяти довольно большого размера на одном кристалле.

Над коммерциализацией P-RAM сейчас работают совместно Intel и ST-Microelectronics. Основные проблемы, которые должны решить разработчики перед внедрением P-RAM в массовое производство:

- диалектическое противоречие — разрушение информации при нагреве и необходимость в таких сплавах, которые меняли бы фазовое состояние при как можно более низкой температуре — для снижения длительности и тока записи;

¹ Ранее в публикациях и документах для обозначения технологии и приборов ферроэлектрической памяти использовалась аббревиатура FRAM (без разделительного дефиса). С конца 2007 года Ramtron использует аббревиатуру F-RAM, чтобы дифференцироваться от названия американской компании FRAM, производящей фильтры различного назначения с 1934 года.

² Аббревиатура NV-RAM (Non-Volatile Random Access Memory) привычно используется для обозначения модулей памяти, состоящих из микросхемы статического ОЗУ и литиевой батареи. В этой публикации NV-RAM используется в более полном смысле — для обозначения всего класса энергонезависимых запоминающих устройств с произвольным доступом.

- недостаточная разница сопротивлений сплава в аморфном и кристаллическом состоянии требует применения очень чувствительных схем сравнения для распознавания логического «0» и «1». Это снижает устойчивость работы микросхем в условиях электромагнитных помех;
- отвод тепла при интенсивных операциях записи.
- ресурс по количеству циклов перезаписи хотя и велик, но не достаточен для действительно произвольного обращения — 10^8 – 10^{10} циклов.

Перечисленные преимущества и особенности P-RAM и M-RAM позволяют предположить, что M-RAM найдет применение в стационарных высокопроизводительных устройствах (уже сейчас появились сообщения о прототипах коммерческих M-RAM на тактовых частотах до 250 МГц), требующих большого объема памяти и способных обеспечить довольно большую потребность M-RAM в энергии. Применение P-RAM, вероятно, будет лежать в тех областях, где интенсивность операций записи не будет столь велика и будет существенная потребность в стойкости к внешним воздействиям.

На фоне претендентов на звание универсальной памяти нового поколения технология F-RAM выглядит очень привлекательно в текущем состоянии и продолжает интенсивно развиваться:

- Применяемая сейчас технология позволяет производить F-RAM с объемом массива до 64 Мбит. Ramtron продолжает разработки, направленные на уменьшение топологического размера ячейки.
- На изменение логического состояния ячейки требуется менее 1 нс — существует большой потенциал для увеличения быстродействия F-RAM за счет применения более быстрых схем CMOS-обрамления массива.
- Для F-RAM свойственно низкое энергопотребление, одинаковое в режимах записи и чтения. На самых высоких тактовых частотах, доступных для выпускаемых сейчас микросхем F-RAM, ток потребления не превышает 25 мА в момент переключения фронтов. В периоды установившихся логических уровней ток потребления в несколько раз меньше. По сравнению с EEPROM или Flash, для записи полного массива микросхемы F-RAM требуется почти на 2 порядка меньше энергии источника питания.
- Информацию, хранящуюся в массиве F-RAM, очень сложно исказить внешними воздействиями, такими как электрические и магнитные поля, электромагнитные помехи, электростатические разряды. Например, чтобы изменить поляризацию ячейки F-RAM внешним электрическим полем, необходимо приложить непосредственно к корпусу микросхемы поле напряженностью 130 кВ. Все известные проблемы сохранности данных во F-RAM на практике происходят из некорректной работы

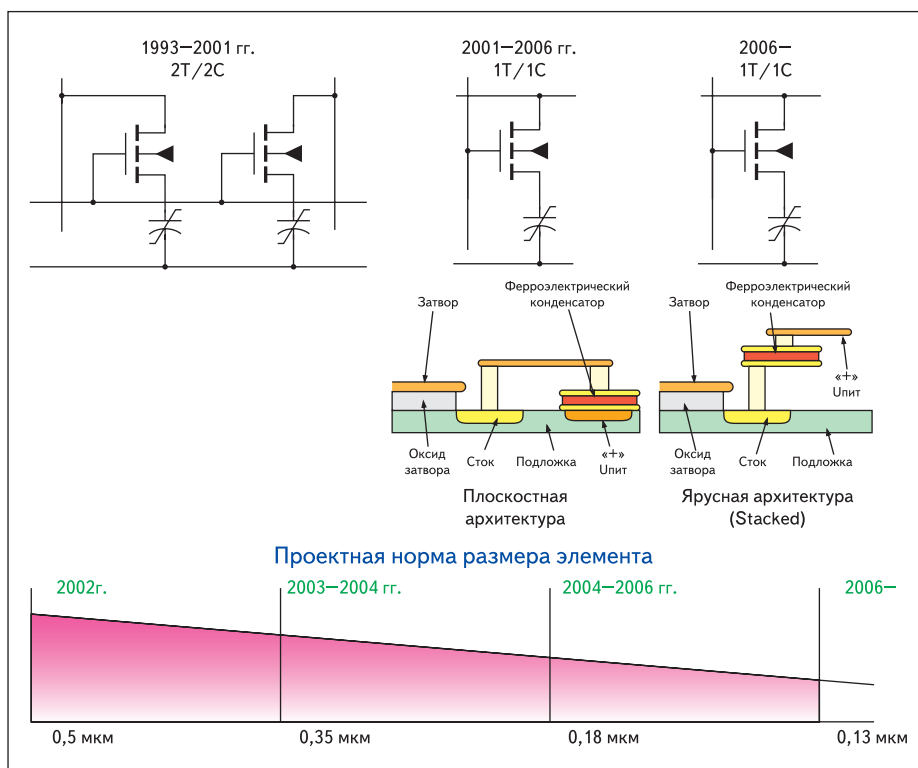


Рис. 1. Этапы совершенствования архитектуры ячейки F-RAM

внешних компонентов и недочетов в обеспечении ЭМС.

В 2007 году внедрена технология производства F-RAM с проектной нормой 130 нм и ярусной архитектурой ячейки памяти (рис. 1). За счет размещения ферроэлектрического конденсатора непосредственно над стоком МОП-ключа, а не в одной плоскости с ним, удалось уменьшить размер ячейки памяти до 0,71 мкм². Ярусная (стековая) архитектура более технологична в производстве, поскольку позволяет лучше изолировать друг от друга плохо совместимые между собой химические вещества и процессы, применяемые для изготовления элементов схемы на разных стадиях. В результате общее количество ИС на одной кремниевой пластине и количество годных резков увеличивается, что

благоприятно отражается на цене готовой микросхемы.

Первыми F-RAM, произведенными по технологическому процессу 130 нм, стали FM22L16-55-TG и FM21L16-60-TG с параллельным 8/16-разрядным интерфейсом, а также FM25H20-DG (2 Мбит) с интерфейсом SPI 40 МГц. FM25H20-DG пока еще официально не анонсирована, но заказ инженерных образцов со склада локальных дистрибьюторов возможен.

FM22L16 и FM21L16 одинаковы по структуре и функциональности, различаются только объемом массива — 4 и 2 Мбит соответственно (256×16/512×8 и 128×16/256×8). Структура FM22L16-55-TG представлена на рис. 2.

В FM2xL16 применена структура массива, впервые опробованная в 1-мегабитной

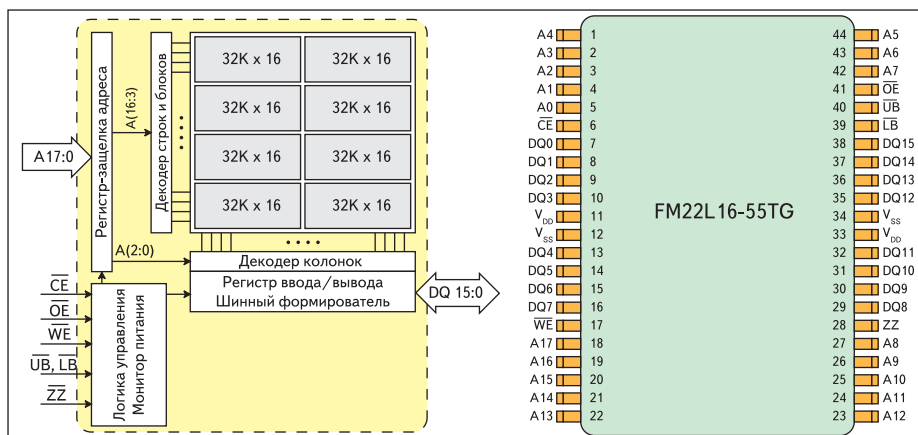


Рис. 2. Структурная схема и конфигурация выводов FM22L16-55-TG

FM20L08. Массив разделен на 8 блоков по 32×16 , каждый из которых может быть программно защищен от случайной модификации. Таким образом, в одной микросхеме F-RAM может храниться как постоянная (коды программ, таблицы преобразования или т. п.), так и оперативная информация.

Алгоритм управления защитой представляет собой простую последовательность нескольких операций чтения и записи по заданным адресам. Функции управления защитой выполняет блок менеджера доступа (БМД), входящий в состав логики управления. В течение обычной работы БМД «наблюдает» за типами операций и адресами ячеек, к которым обращается внешнее устройство. Если в нескольких последовательных циклах чтения производится обращение к заранее заданной, установленной производителем, последовательности адресов, БМД «распознает» тип операции «модификация регистра защиты» и открывает к нему доступ для внешнего устройства. После модификации конфигурации защищаемых блоков БМД вновь блокирует его от случайного доступа.

Для надежной сохранности данных в FM2×L16 встроен монитор питания, блокирующий доступ к массиву при низком напряжении питания. Это проблема, актуальная для ЗУ любого типа (за исключением только масочных ЗУ и ЗУ с пережигаемыми перемычками). Она заключается в том, что некоторые типы микроконтроллеров при низком напряжении питания выдают на шину неуправляемые, хаотически изменяющиеся импульсы, которые могут инициировать случайные операции записи в ЗУ и испортить хранящиеся данные. Обычно, для подавления этого эффекта используются внешние или встроенные в микроконтроллер мониторы питания и супервизоры. Однако, как показывает опыт многих инженеров, не всегда удается избежать искажения данных в ЗУ, причиной которого является несанкционированный доступ при низком напряжении. Поэтому дополнительный рубеж защиты данных в F-RAM FM2×L16 и FM20L08 увеличивает надежность сохранности информации.

Интерфейс данных FM2×L16 может быть как 16-разрядным, так и 8-разрядным. Для управления разрядностью интерфейса служат входы /UB и /LB. Они определяют доступ к старшей и младшей половине 16-разрядного слова как дополнительная линия адреса. Чтобы организовать 8-разрядный интерфейс, надо подавать на эти входы взаимно инверсные уровни и объединить попарно выходы данных D0–D7 и D8–D15, как показано на рис. 3.

По конфигурации выводов FM2×L16 совместимы с промышленным стандартом SRAM в корпусе TSOP-II с 44 выводами и могут служить их аппаратной заменой. FM2×L16 поддерживают синхронный режим обмена с управлением по выводу /CE, а также асинхронный обмен с помощью простой смены адреса. В асинхронном режиме обеспечивается скорость обмена более 16 Мбайт

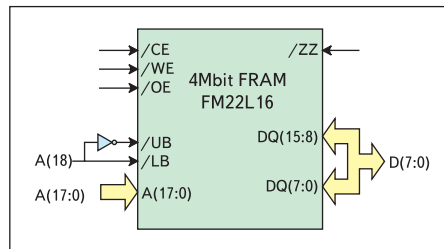


Рис. 3. Подключение FM22L16 к 8-разрядной шине данных

в секунду, в синхронном — более 64 Мбайт в секунду.

Разработку FM2×L16 можно по праву назвать успешной. Благодаря многолетнему опыту Ramtron по развитию технологии и сотрудничеству с компанией Texas Instruments по интеграции с технологией CMOS 130 нм, эта разработка сразу привлекла широкое внимание. Начиная со второго квартала прошлого года компания Ramtron поставила тысячи микросхем, и до настоящего времени не было сделано сколько-нибудь существенных замечаний в работе инженерных образцов. В настоящее время производство FM2×L16 переходит в статус массового.

Почти одновременно с началом поставок инженерных образцов FM22L16 немецкая компания fimicro, являющаяся производителем одноплатажных промышленных компьютеров (Single Board Computer, SBC), интеллектуальных модулей расширения ввода/вывода и программного обеспечения реального времени, анонсировала серию active104 в стандартном промышленном формате PC-104. Серия состоит из сетевых и клиентских модулей SBC (active104host Net и active104host Client) и интеллектуальных контроллеров расширения ввода/вывода active104 RAID, Ethernet и USB. Неотъемлемой частью каждого модуля серии является F-RAM, используемая как массив универсальной памяти для хранения постоянной и оперативной информации.

Инженеры fimicro выбрали F-RAM в качестве альтернативы менее надежной Flash и для замены SRAM и EEPROM. Особенности F-RAM, такие как возможность записи без задержки, практически неограниченный ресурс по количеству циклов перезаписи, энергонезависимость и сверхмалое энергопотребление делают серию active104, по мнению специалистов fimicro, уникальной на рынке PC-104-совместимых устройств.

Интеллектуальные модули расширения ввода/вывода active104 поддерживают функцию горячей замены. Использование F-RAM позволило упростить реализацию этой функции, сделать ее более надежной и безопасной с точки зрения ЭМС, чем при использовании любого другого типа памяти.

На каждом модуле active104 установлен массив F-RAM общей емкостью 2 Мбайт, состоящий из 4 микросхем FM22L16. В разработке находятся версии модулей со сменными ми-

кросборками F-RAM различной емкости, которые позволят предоставить конечному пользователю возможность модернизации системы «на месте».

Массив F-RAM используется для хранения базовой системы ввода/вывода (BIOS), операционной системы реального времени aerolithe OSx86 RTOS, дополнительного и прикладного программного обеспечения, а также для критических системных данных, различных для модулей каждого типа.

Например, в модулях active104 RAID, использующих RAID-массив на NAND Flash накопителях, часть массива F-RAM используется для хранения таблицы размещения файлов, контрольной информации, а также в качестве энергонезависимого буфера переносимых данных.

В модулях active104 Ethernet и USB часть массива F-RAM используется для буферизации пакетов данных, а также для фиксации статуса обмена в каждый момент времени. Это позволяет сохранять «на лету» полную информацию о состоянии канала при внезапном пропадании питания и возобновлять обмен с точки останова, как только питание будет восстановлено.

В компании fimicro высоко оценивают преимущества, привнесенные F-RAM в их продукцию. Симон Фишер, управляющий партнер fimicro, так отозвался о применении F-RAM: «Комплексное использование F-RAM как технологии энергонезависимой памяти во всех аппаратных средствах fimicro увеличивает надежность и запас прочности наших изделий».

Так как основные этапы внедрения в производство технологии F-RAM 130 нм уже пройдены, можно ожидать, что уже в текущем году Ramtron существенно расширит линейку F-RAM большой емкости. По уровню стоимости «емкие» F-RAM сейчас успешно конкурируют с первыми продуктами M-RAM, но Ramtron планирует снижение цен в этом году с началом их массового производства. Это укрепит конкурентоспособность технологии и однозначно окажет благотворное влияние на широкое распространение F-RAM во многих областях применения. ■

Литература

1. Технические описания F-RAM FM21L16 и FM22L16 http://www.ramtron.com/lib/literature/datasheets/FM21L16ds_r1.1.pdf
http://www.ramtron.com/lib/literature/datasheets/FM22L16ds_r1.2.pdf
2. Серия одноплатажных компьютеров и модулей расширения ввода/вывода active104 компании fimicro <http://www.fimicro.com/en/products/hardware/start.htm>
3. Магниторезистивная память M-RAM Freescale <http://www.freescale.com/webapp/sps/site/overview.jsp?nodeId=015424>
4. О перспективной технологии P-RAM <http://www.memorystrategies.com/report/focused/phasechange.htm>