Прочла много материалов, думаю в логику техпроцессов производства микросхем поняла, ниже сохранила информации которые мне показались очень интересны.

Таблица 1. Сравнительные характеристики различных технологий памяти

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Свойства | Тип памяти | | | | | |
| MRAM | DRAM | SRAM | FLASH | EEPROM | FeRAM |
| Высокая плотность | + | + | — | + | — | — |
| Энергонезависимость | + | — | — | + | + | + |
| Произвольный доступ | + | + | + | — | — | + |
| Неразрушающее чтение | + | — | + | + | + | — |
| Неограниченное число обращений | + | + | + | — | — | — |
| Быстрое считывание | + | + | + | + | + | + |
| Быстрая запись | + | + | + | — | — | + |
| Низкое потребление при записи | + | + | + | — | — | + |
| Цикл чтения | 5–70 нс | ~100 нс | 5–100 нс | ~100 нс | ~100 нс | 50–150 нс |
| Цикл записи | 5–70 нс | ~100 нс | 5–100 нс | >1 мс | >1 мс | 50–150 нс |
| Напряжение записи, В | <5 | <5 | <5 | 5 | 12 | <5 |
| Срок хранения данных (без питания), лет | бесконечно | 0 | 0 | >10 | >5 | >10 |
| Стойкость (число циклов записи) | >10 15 | >10 15 | >10 15 | ~10 6 | ~10 6 | ~10 6 |
| Радиационная стойкость | + | — | — | — | — | -\* |

**Планарная технология** — совокупность технологических операций, используемых при изготовлении планарных (плоских, поверхностных) [полупроводниковых приборов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D0%BD%D0%B8%D0%BA%D0%BE%D0%B2%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%B1%D0%BE%D1%80%D1%8B) и [интегральных микросхем](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BC%D0%B8%D0%BA%D1%80%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D1%8B).

Таблица 2. Параметры серийных микросхем энергонезависимой памяти

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Flash | | FRAM | | MRAM | | PCM |
| Intel | Samsung | Ramtron | Futjitsu | Cypress | Freescale | BAE Sys. |
| Наименование | JS29F16G08 | K9NBG08U5M | FM20L08 | MB85R1001 | CY9C62256 | MR2A16A | 251A184 |
| Объем памяти | 16 Гбит | 32 Гбит | 1 Mбит | 1 Mбит | 256 кбит | 4 Mбит | 4 Mбит |
| Организация | 2 Гбит x 8 | 4 Гбит x 8 | 128 кбит x 8 | 128 кбит x 8 | 32 кбит x 8 | 256 кбит x 8 | 512 кбит x 8 |
| Интерфейс | параллел. | параллел. | параллел. | параллел. | параллел. | параллел. | нет данных |
| Длительность цикла записи в страничном режиме | 220 мкс/стр.\*\* | 200 мкс/стр.\*\* | 30 нс \* | нет | нет | нет | нет данных |
| Длительность цикла записи при произвольном доступе, нс. | произвольный доступ возможен, но работа в таком режиме нерациональна | | 350 | 250 | 70 | 35 | 500 |
| Длительность цикла чтения при произвольном доступе | 25 мкс | 25 мкс | 350 нс | 250 нс | 70 нс | 35 нс | 70 нс |
| Напряжение питания, В | 2,7–3,6 | 2,7–3,6 | 3,3 | 3,3–3,6 | 2,7–3,6 | 3,0–3,6 | 3,3 |
| Число циклов обращения | 10 5 | 10 5 | неогранич | 10 10 | 10 15 | неогранич | нет данных |
| Длительность хранения данных, лет | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | нет данных |
| Ток потребления standby, мкА | 40 | 20 | 25 | 100 | 90 | 9000 | нет данных |
| Ток потребления в активном режиме, мА | 25 | 25 | 22 | 10 | 60 | 105 | нет данных |
| Произвольная адресация данных | произвольный доступ возможен, но работа в таком режиме нерациональна | | да | да | да | да | нет данных |
| Радиационная стойкость | низкая | | нет данных | нет данных | нет данных | нет данных | высокая |
| Удельная стоимость бит/$ | низкая | | средняя | средняя | высокая | высокая | нет данных |

# Технологии флэш-памяти

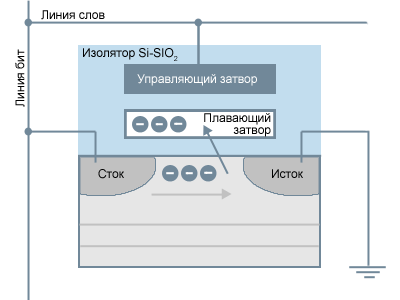
Современному человеку нравится быть мобильным и иметь при себе различные высокотехнологичные гаджеты (англ. gadget — устройство), облегчающие жизнь, да что там скрывать, делающие ее более насыщенной и интересной. И появились-то они всего за 10-15 лет! Миниатюрные, легкие, удобные, цифровые… Всего этого гаджеты достигли благодаря новым микропроцессорным технологиям, но все же больший вклад был сделан одной замечательной технологией хранения данных, о которой сегодня мы и будем говорить. Итак, флэш-память.

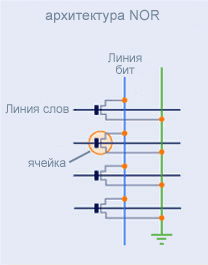
Бытует мнение, что название FLASH применительно к типу памяти переводится как «вспышка». На самом деле это не совсем так. Одна из версий его появления говорит о том, что впервые в 1989-90 году компания Toshiba употребила слово Flash в контексте «быстрый, мгновенный» при описании своих новых микросхем. Вообще, изобретателем считается Intel, представившая в 1988 году флэш-память с архитектурой NOR. Годом позже Toshiba разработала архитектуру NAND, которая и сегодня используется наряду с той же NOR в микросхемах флэш. Собственно, сейчас можно сказать, что это два различных вида памяти, имеющие в чем-то схожую технологию производства. В этой статье мы попытаемся понять их устройство, принцип работы, а также рассмотрим различные варианты практического использования.

### NOR

|  |  |
| --- | --- |
| Поскольку память с такой организацией считается первой представительницей семейства Flash, с нее и начнем. Схема логического элемента, собственно давшего ей название (NOR — Not OR — в булевой математике обозначает отрицание «ИЛИ»), приведена на рисунке. | https://www.ixbt.com/storage/flash-tech/nor-bul.png |

С помощью нее осуществляется преобразование входных напряжений в выходные, соответствующие «0» и «1». Они необходимы, потому что для чтения/записи данных в ячейке памяти используются различные напряжения. Схема ячейки приведена на рисунке ниже.

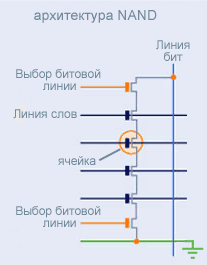




Она характерна для большинства флэш-чипов и представляет из себя транзистор с двумя изолированными затворами: управляющим (control) и плавающим (floating). Важной особенностью последнего является способность удерживать электроны, то есть заряд. Также в ячейке имеются так называемые «сток» и «исток». При программировании между ними, вследствие воздействия положительного поля на управляющем затворе, создается канал — поток электронов. Некоторые из электронов, благодаря наличию большей энергии, преодолевают слой изолятора и попадают на плавающий затвор. На нем они могут храниться в течение нескольких лет. Определенный диапазон количества электронов (заряда) на плавающем затворе соответствует логической единице, а все, что больше его, — нулю. При чтении эти состояния распознаются путем измерения порогового напряжения транзистора. Для стирания информации на управляющий затвор подается высокое отрицательное напряжение, и электроны с плавающего затвора переходят (туннелируют) на исток. В технологиях различных производителей этот принцип работы может отличаться по способу подачи тока и чтению данных из ячейки. Хочу также обратить ваше внимание на то, что в структуре флэш-памяти для хранения 1 бита информации задействуется только один элемент (транзистор), в то время как в энергозависимых типах памяти для этого требуется несколько транзисторов и конденсатор. Это позволяет существенно уменьшить размеры выпускаемых микросхем, упростить технологический процесс, а, следовательно, и снизить себестоимость. Но и один бит далеко не предел: Intel уже выпускает память [StrataFlash](https://www.ixbt.com/storage/flash-theory-p1.shtml), каждая ячейка которой может хранить по 2 бита информации. Кроме того, существуют пробные образцы, с 4-х и даже 9-битными ячейками! В такой памяти используются технология многоуровневых ячеек. Они имеют обычную структуру, а отличие заключается в том, что заряд их делится на несколько уровней, каждому из которых в соответствие ставится определенная комбинация бит. Теоретически прочитать/записать можно и более 4-х бит, однако, на практике возникают проблемы с устранением шумов и с постепенной утечкой электронов при продолжительном хранении. Вообще, у существующих сегодня микросхем памяти для ячеек характерно время хранения информации, измеряемое годами и число циклов чтения/записи — от 100 тысяч до нескольких миллионов. Из недостатков, в частности, у флэш-памяти с архитектурой NOR стоит отметить плохую масштабируемость: нельзя уменьшать площадь чипов путем уменьшения размеров транзисторов. Эта ситуация связана со способом организации матрицы ячеек: в NOR архитектуре к каждому транзистору надо подвести индивидуальный контакт. Гораздо лучше в этом плане обстоят дела у флэш-памяти с архитектурой NAND.

### NAND

|  |  |
| --- | --- |
| NAND — Not AND — в той же булевой математике обозначает отрицание «И». Отличается такая память от предыдущей разве что логической схемой. | https://www.ixbt.com/storage/flash-tech/nand-bul.png |



Устройство и принцип работы ячеек у нее такой же, как и у NOR. Хотя, кроме логики, все-таки есть еще одно важное отличие — архитектура размещения ячеек и их контактов. В отличие от вышеописанного случая, здесь имеется контактная матрица, в пересечениях строк и столбцов которой располагаются транзисторы. Это сравнимо с пассивной матрицей в дисплеях :) (а NOR — с активной TFT). В случае с памятью такая организация несколько лучше — площадь микросхемы можно значительно уменьшить за счет размеров ячеек. Недостатки (куда уж без них) заключаются в более низкой по сравнению с NOR скорости работы в операциях побайтового произвольного доступа.

Существуют еще и такие архитектуры как: DiNOR (Mitsubishi), superAND (Hitachi) и пр. Принципиально нового ничего они не представляют, а лишь комбинируют лучшие свойства NAND и NOR.

И все же, как бы там ни было, NOR и NAND на сегодняшний день выпускаются на равных и практически не конкурируют между собой, потому как в силу своих качеств находят применение в разных областях хранения данных. Об этом и пойдет далее речь…

### Где нужна память…

Сфера применения какого-либо типа флэш-памяти зависит в первую очередь от его скоростных показателей и надежности хранения информации. Адресное пространство NOR-памяти позволяет работать с отдельными байтами или словами (2 байта). В NAND ячейки группируются в небольшие блоки (по аналогии с кластером жесткого диска). Из этого следует, что при последовательном чтении и записи преимущество по скорости будет у NAND. Однако с другой стороны NAND значительно проигрывает в операциях с произвольным доступом и не позволяет напрямую работать с байтами информации. К примеру, для изменения одного байта требуется:

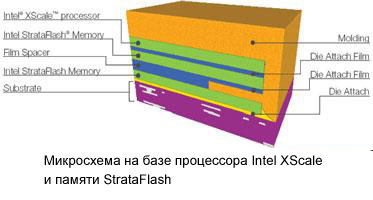
1. считать в буфер блок информации, в котором он находится
2. в буфере изменить нужный байт
3. записать блок с измененным байтом обратно

Если еще ко времени выполнения перечисленных операций прибавить задержки на выборку блока и на доступ, то получим отнюдь неконкурентоспособные с NOR показатели (отмечу, что именно для случая побайтовой записи). Другое дело последовательная запись/чтение — здесь NAND наоборот показывает значительно более высокие скоростные характеристики. Поэтому, а также из-за возможностей увеличения объема памяти без увеличения размеров микросхемы, NAND-флэш нашел применение в качестве хранителя больших объемов информации и для ее переноса. Наиболее распространенные сейчас устройства, основанные на этом типе памяти, это флэшдрайвы и карты памяти. Что касается NOR-флэша, то чипы с такой организацией используются в качестве хранителей программного кода (BIOS, RAM карманных компьютеров, мобилок и т. п.), иногда реализовываются в виде интегрированных решений (ОЗУ, ПЗУ и процессор на одной мини-плате, а то и в одном чипе). Удачный пример такого использования — проект Gumstix: одноплатный компьютер размером с пластинку жвачки. Именно NOR-чипы обеспечивают требуемый для таких случаев уровень надежности хранения информации и более гибкие возможности по работе с ней. Объем NOR-флэш обычно измеряется единицами мегабайт и редко переваливает за десятки.

### И будет флэш…

Безусловно, флэш — перспективная технология. Однако, несмотря на высокие темпы роста объемов производства, устройства хранения данных, основанные на ней, еще достаточно дороги, чтобы конкурировать с жесткими дисками для настольных систем или ноутбуков. В основном, сейчас сфера господства флэш-памяти ограничивается мобильными устройствами. Как вы понимаете, этот сегмент информационных технологий не так уж и мал. Кроме того, со слов производителей, на нем экспансия флэш не остановится. Итак, какие же основные тенденции развития имеют место в этой области.

Во-первых, как уже упоминалось выше, большое внимание уделяется интегрированным решениям. Причем проекты вроде Gumstix лишь промежуточные этапы на пути к реализации всех функций в одной микросхеме.



Пока что, так называемые on-chip (single-chip) системы представляют собой комбинации в одном чипе флэш-памяти с контроллером, процессором, SDRAM или же со специальным ПО. Так, например, Intel StrataFlash в сочетании с ПО Persistent Storage Manager (PSM) дает возможность использовать объем памяти одновременно как для хранения данных, так и для выполнения программного кода. PSM по сути дела является файловой системой, поддерживающейся ОС Windows CE 2.1 и выше. Все это направлено на снижение количества компонентов и уменьшение габаритов мобильных устройств с увеличением их функциональности и производительности. Не менее интересна и актуальна разработка компании Renesas — флэш-память типа superAND с встроенными функциями управления. До этого момента они реализовывались отдельно в контроллере, а теперь интегрированы прямо в чип. Это функции контроля бэд-секторов, коррекции ошибок (ECC — error check and correct), равномерности износа ячеек (wear leveling). Поскольку в тех или иных вариациях они присутствуют в большинстве других брендовых прошивок внешних контроллеров, давайте вкратце их рассмотрим. Начнем с бэд-секторов. Да, во флэш-памяти они тоже встречаются: уже с конвейера сходят чипы, имеющие в среднем до 2% нерабочих ячеек — это обычная технологическая норма. Но со временем их количество может увеличиваться (окружающую среду в этом винить особо не стоит — электромагнитное, физическое (тряска и т. п.) влияние флэш-чипу не страшно). Поэтому, как и в жестких дисках, во флэш-памяти предусмотрен резервный объем. Если появляется плохой сектор, функция контроля подменяет его адрес в таблице размещения файлов адресом сектора из резервной области.

|  |
| --- |
| https://www.ixbt.com/storage/flash-tech/pic5.png |
| https://www.ixbt.com/storage/flash-tech/pic6.png |

Собственно, выявлением бэдов занимается алгоритм ECC — он сравнивает записываемую информацию с реально записанной. Также в связи с ограниченным ресурсом ячеек (порядка нескольких миллионов циклов чтения/записи для каждой) важно наличие функции учета равномерности износа. Приведу такой редкий, но встречающийся случай: брелок с 32 Мбайт, из которых 30 Мбайт заняты, а на свободное место постоянно что-то записывается и удаляется. Получается, что одни ячейки простаивают, а другие интенсивно исчерпывают свой ресурс. Чтобы такого не было, в фирменных устройствах свободное пространство условно разбивается на участки, для каждого из которых осуществляется контроль и учет количества операций записи.

Еще более сложные конфигурации класса «все-в-одном» сейчас широко представлены такими компаниями как, например, Intel, Samsung, Hitachi и др. Их изделия представляют собой многофункциональные устройства, реализованные в одной лишь микросхеме (стандартно в ней имеется процессор, флэш-память и SDRAM). Ориентированы они на применение в мобильных устройствах, где важна высокая производительность при минимальных размерах и низком энергопотреблении. К таким относятся: PDA, смартфоны, телефоны для сетей 3G. Приведу пример подобных разработок — чип от Samsung, объединяющий в себе ARM-процессор (203 МГц), 256 Мбайт NAND памяти и 256 SDRAM. Он совместим с распространенными ОС: Windows CE, Palm OS, Symbian, Linux и имеет поддержку USB. Таким образом на его основе возможно создание многофункциональных мобильных устройств с низким энергопотреблением, способных работать с видео, звуком, голосом и прочими ресурсоемкими приложениями.

Другим направлением совершенствования флэш является уменьшение энергопотребления и размеров с одновременным увеличением объема и быстродействия памяти. В большей степени это касается микросхем с NOR архитектурой, поскольку с развитием мобильных компьютеров, поддерживающих работу в беспроводных сетях, именно NOR-флэш, благодаря небольшим размерам и малому энергопотреблению, станет универсальным решением для хранения и выполнения программного кода. В скором времени в серийное производство будут запущены 512 Мбит чипы NOR той же Renesas. Напряжение питания их составит 3,3 В (напомню, хранить информацию они могут и без подачи тока), а скорость в операциях записи — 4 Мбайт/сек. В то же время Intel уже представляет свою разработку StrataFlash Wireless Memory System (LV18/LV30) — универсальную систему флэш-памяти для беспроводных технологий. Объем ее памяти может достигать 1 Гбит, а рабочее напряжение равно 1.8 В. Технология изготовления чипов — 0,13 нм, в планах переход на 0,09 нм техпроцесс. Среди инноваций данной компании также стоит отметить организацию пакетного режима работы с NOR-памятью. Он позволяет считывать информацию не по одному байту, а блоками — по 16 байт: с использованием 66 МГц шины данных скорость обмена информацией с процессором достигает 92 Мбит/с!