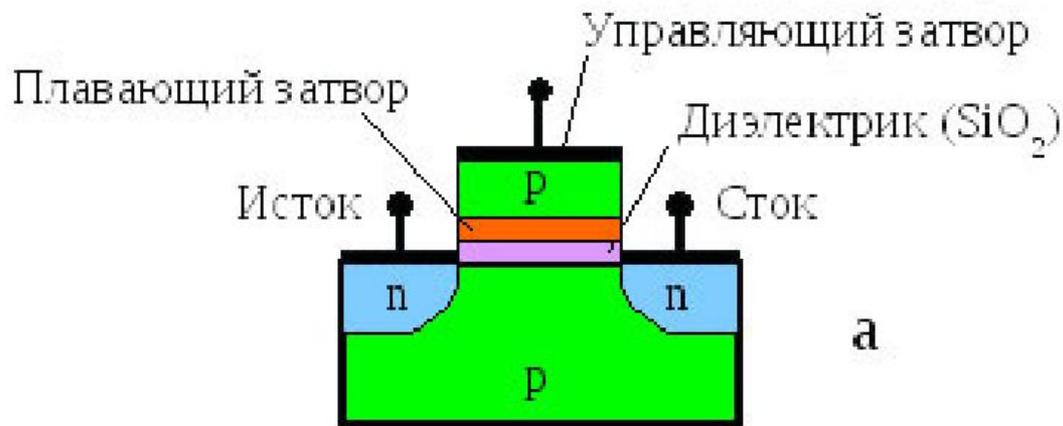
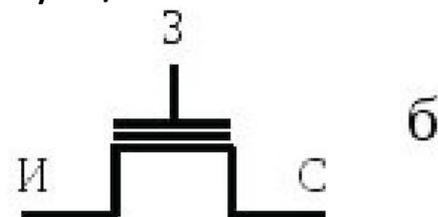


ФЛЕШ ПАМЯТЬ

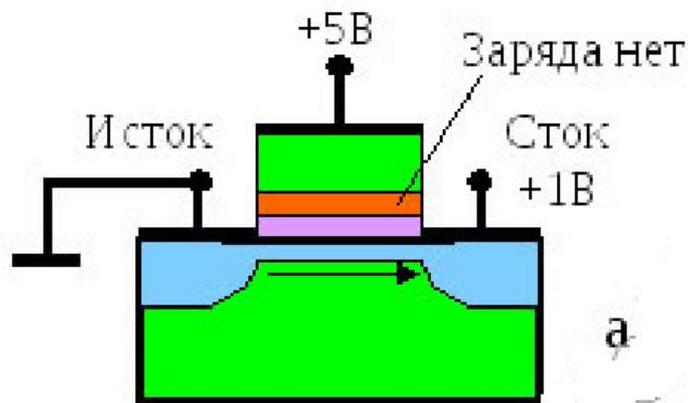
Лекция 13



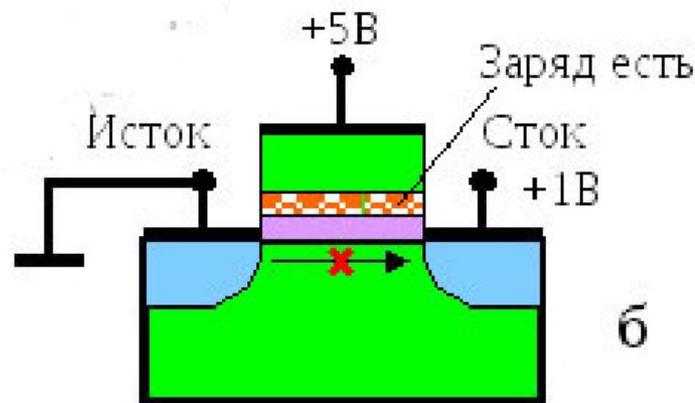
Ячейка памяти с одним транзистором
<https://hobbyits.com/princip-raboty-i-ustrojstvo-flesh-pamyati/>



Структура полевого транзистора с плавающим затвором (а) и его обозначение на электрических схемах (б).

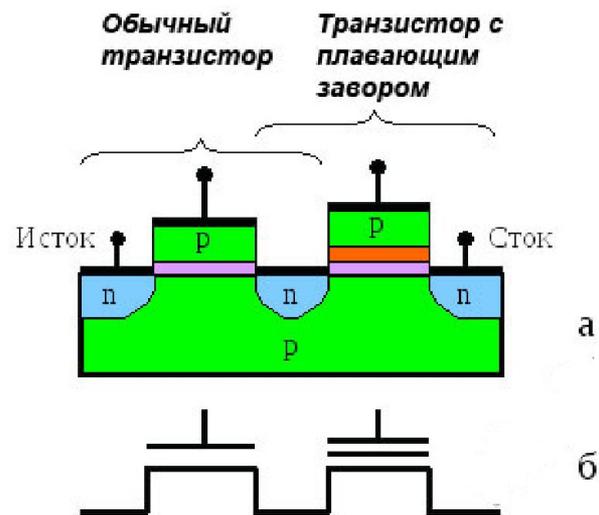


Транзистор открыт. Ток есть.
 Логический «ноль»

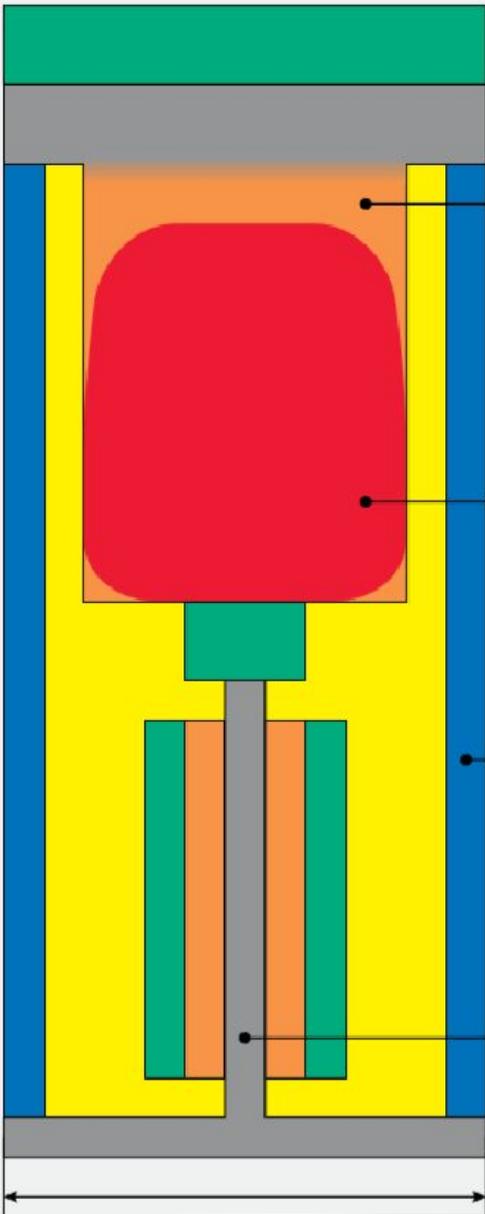


Транзистор закрыт. Тока нет.
 Логическая «единица»

Чтение логического «нуля» (а) и логической «единицы» (б) из ячейки памяти на основе полевого транзистора с плавающим затвором.



Структура двухтранзисторной ячейки памяти (а) и ее обозначение на электрических схемах (б).



Обеспечение максимальной скорости роста кристалла в результате оптимизации времени операции записи "1" и температуры за счет формирования импульса (длительность ≤ 50 нс)

Многоуровневая, многоразрядная ячейка (>2 бит на ячейку памяти)

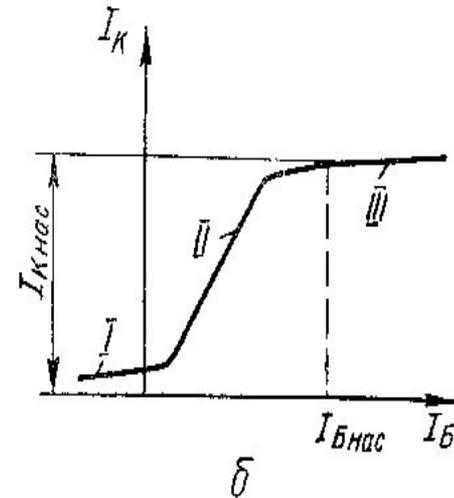
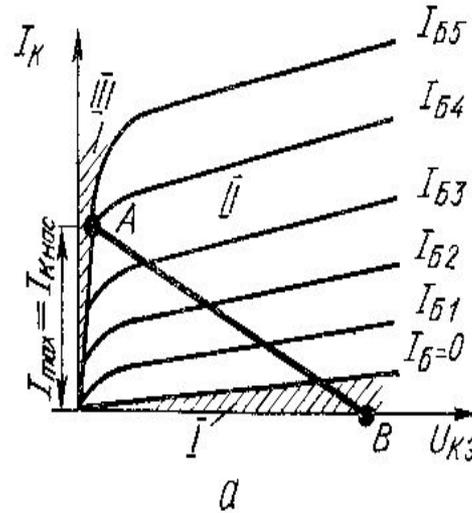
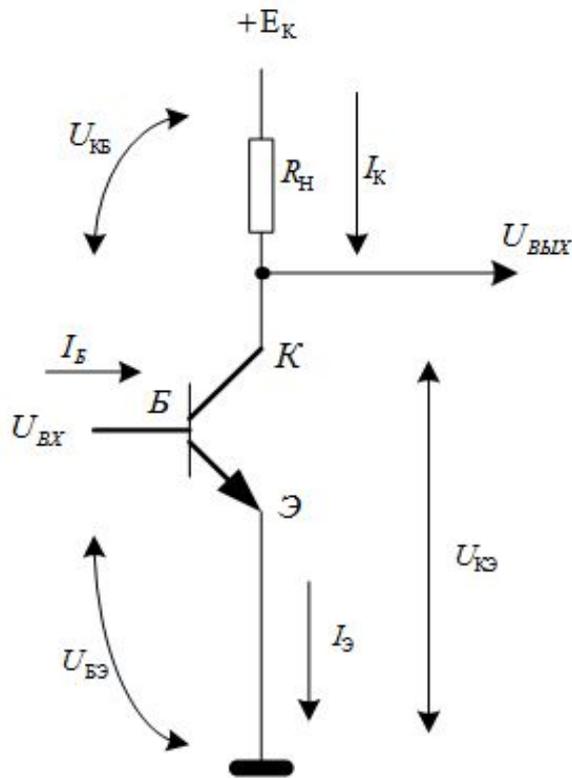
Барьеры на основе нитрида металла для ограничения тепловых помех

МОП полевой транзистор с вертикальным окружающим затвором

Соответствие плотности упаковки, равной 20 нм или меньше

Транзистор в ключевом режиме

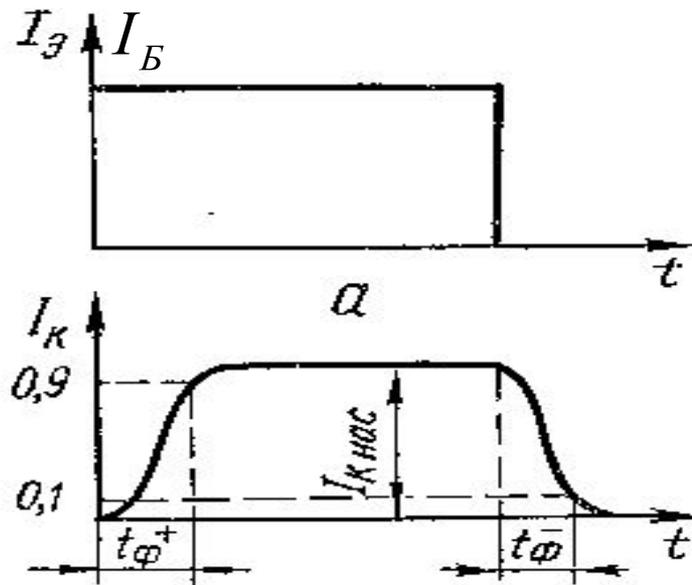
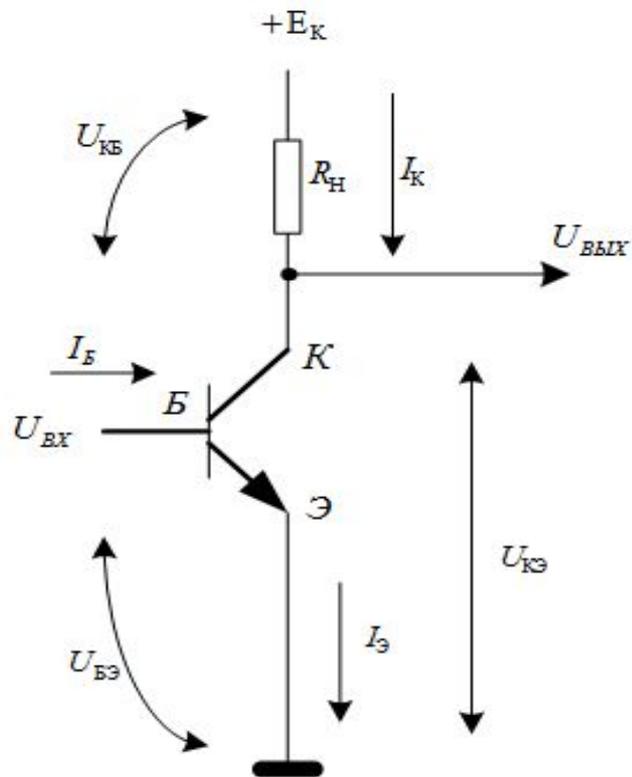
В ключевом режиме транзистор периодически переходит из открытого состояния (режим насыщения) в закрытое (режим отсечки) и наоборот, что соответствует двум устойчивым состояниям «0» и «1».



Участок 1 – транзистор заперт $I_K = 0$, $U_{КЭ} = E_K$ – режим "отсечки"

Участок 2 – переходный режим

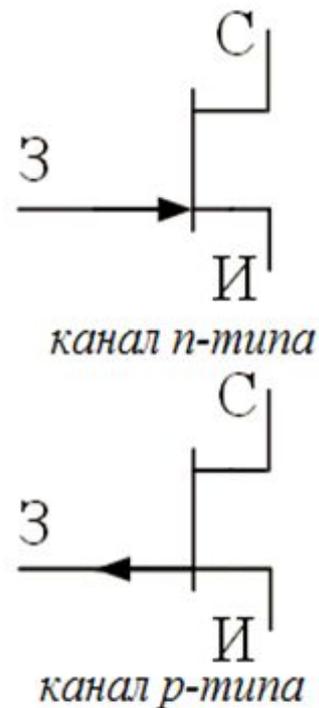
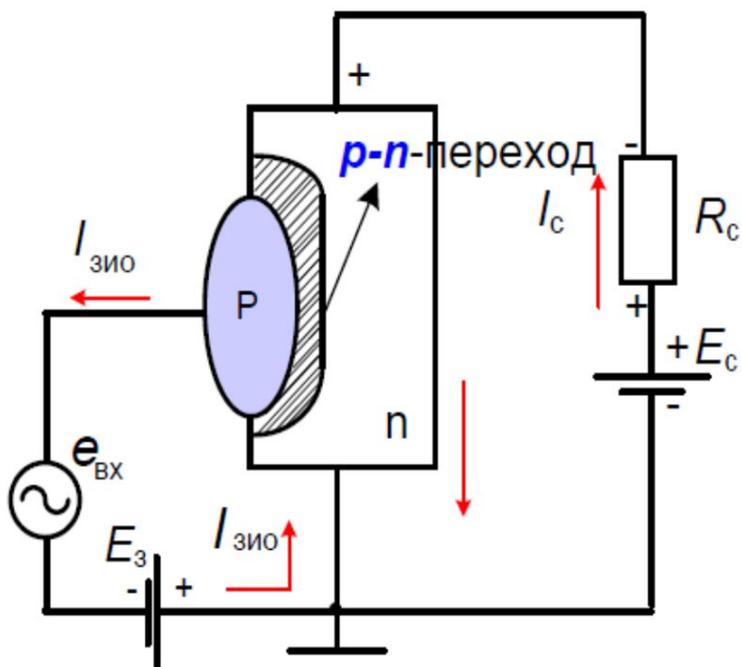
Участок 3 - $U_{КЭ} = 0$, $I_K = E_K/R_H$ – режим "насыщения"



Качество транзисторного ключа определяется скоростью переключения, т.е. временем его перехода из одного состояния в другое. Чем выше частотные свойства транзистора, тем выше его быстродействие и тем лучше он работает в ключевом режиме

Полевые транзисторы с управляющим p-n-переходом

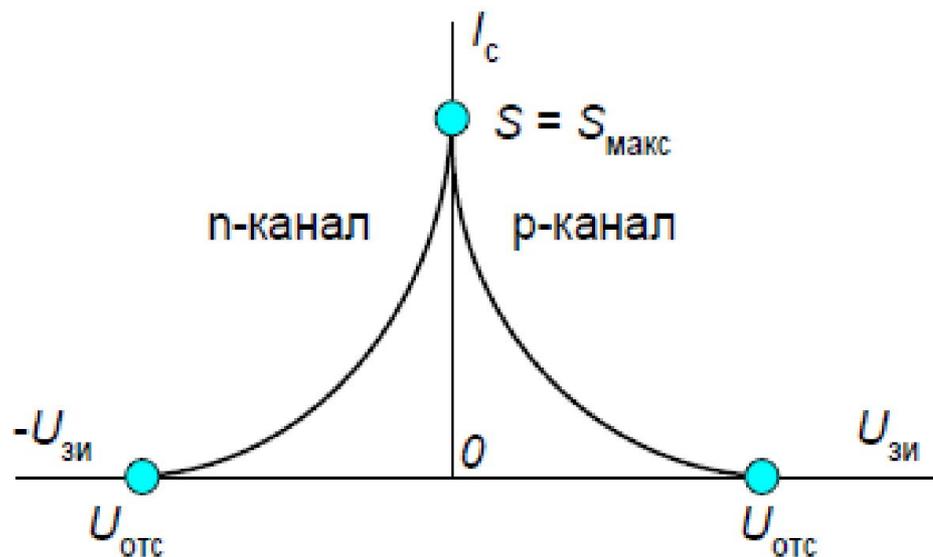
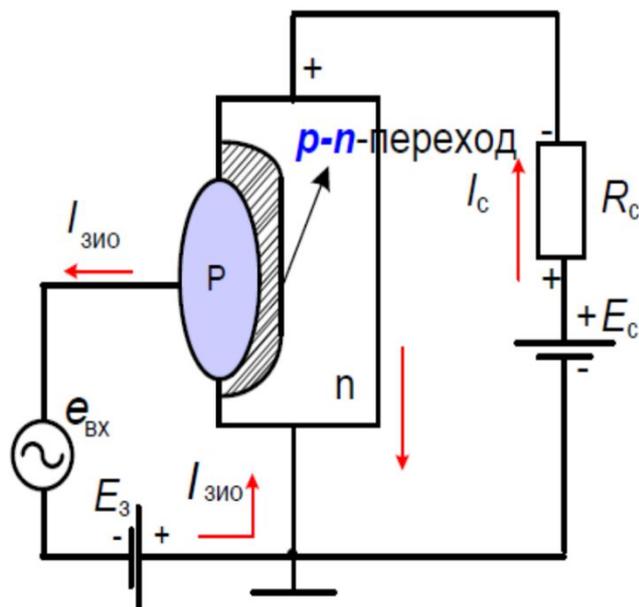
Полевой транзистор представляет собой монокристалл полупроводника (например **n – типа**) по торцам которого сформированы электроды, а посередине создана область противоположного типа проводимости (соотв. **p-типа**) и выводы от этой области. Тогда на границе раздела областей с различным типом проводимости возникнет **p-n-переход**.



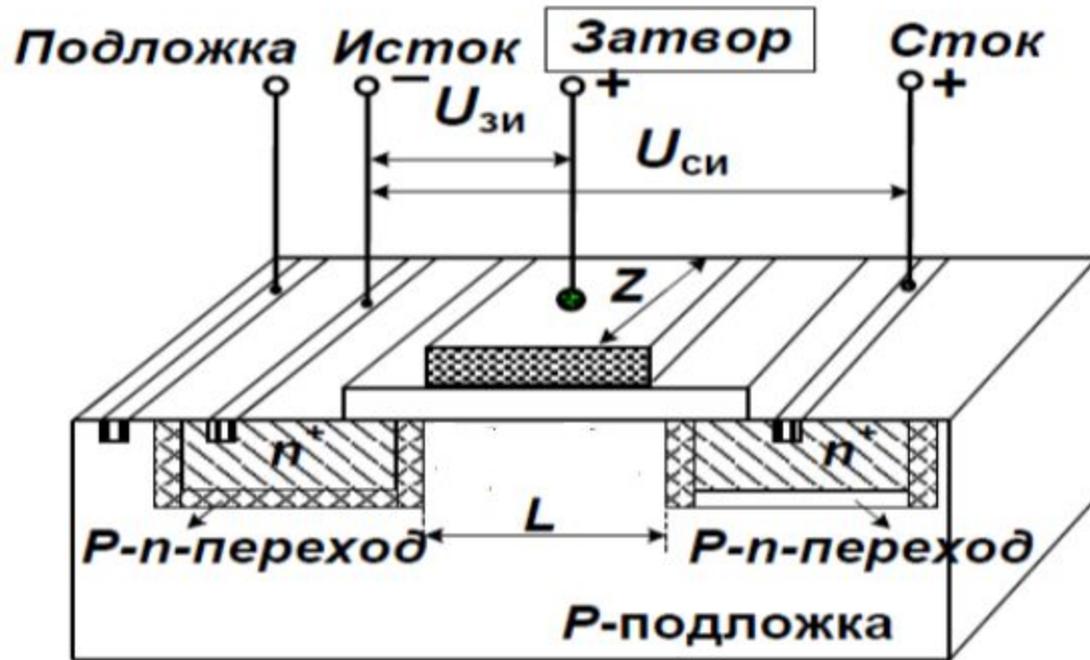
- Электрод, от которого движутся основные носители заряда в канале, называют истоком, а электрод, к которому движутся, - стоком. Управляющий электрод называют затвором.
- Для эффективного управления выходным током материал основного полупроводника должен быть высокоомным. Кроме того, начальная ширина канала должна быть достаточно малой – порядка нескольких микрон.

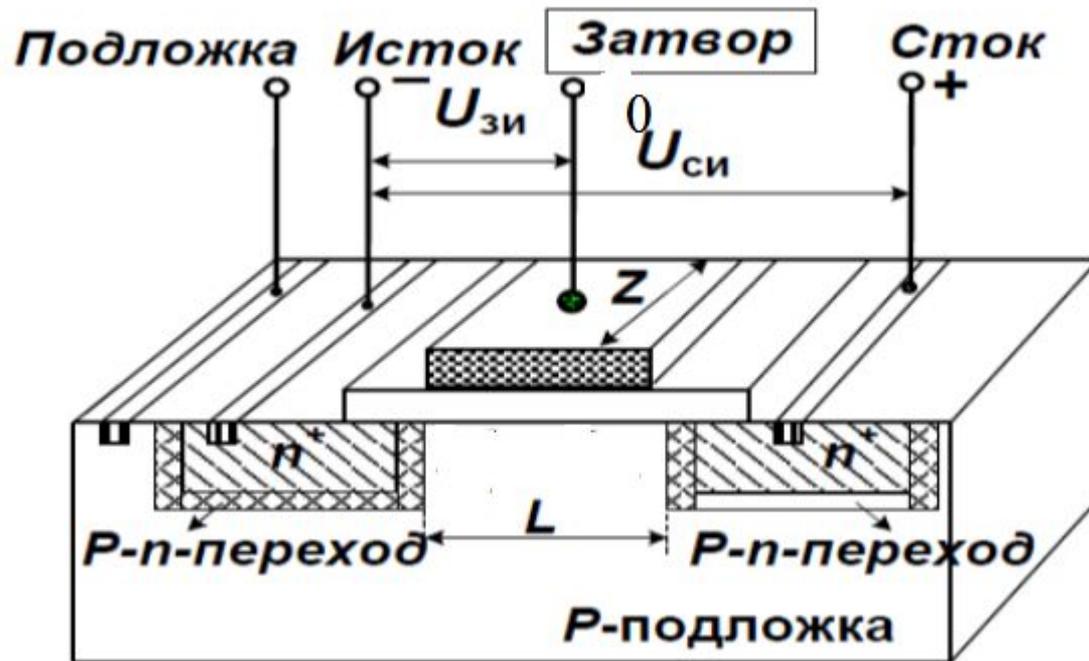
Стоко-затворная характеристика канал n-типа

- Управляющее действие затвора наглядно иллюстрирует стоко-затворная характеристика $I_c = f(U_{зи})$ при $U_{си} = \text{const}$.
- При $U_{зи} = 0$ сечение канала наибольшее, его сопротивление минимально, и, следовательно, ток максимален. Если $U_{зи}$ становится отрицательным, площадь поперечного сечения канала уменьшается, ток снижается. При некотором запирающем напряжении, называемом напряжением отсечки, площадь поперечного сечения станет равной нулю и ток стока будет очень мал.

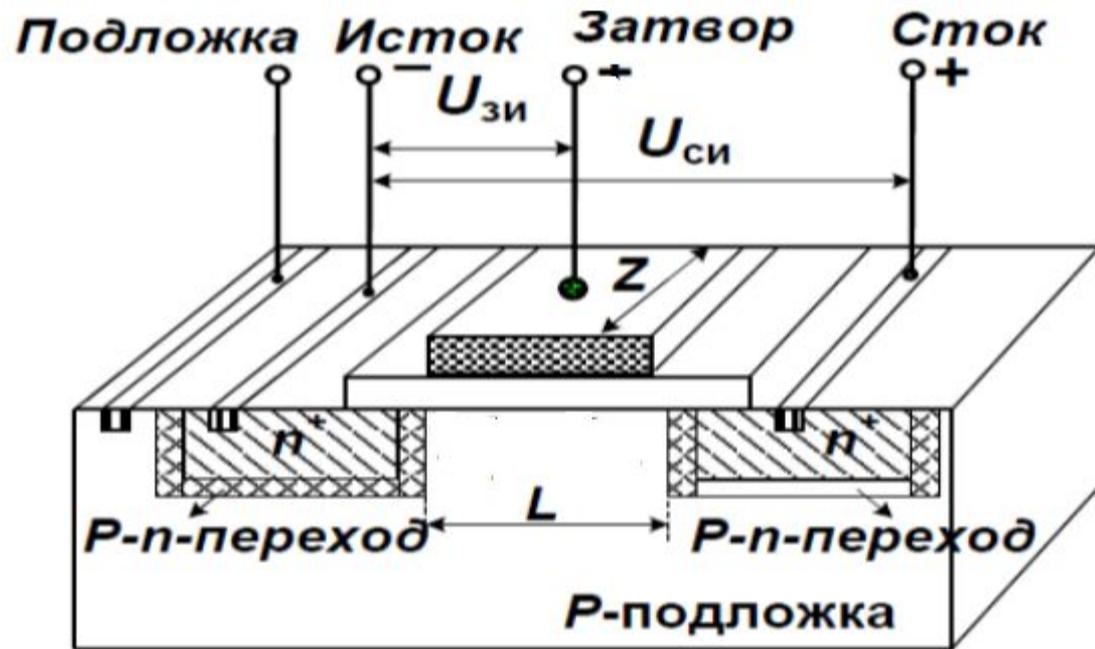


МДП-транзистор с индуцированным каналом (обогащенного типа, *Enhancement MOSFET, E-MOSFET*)

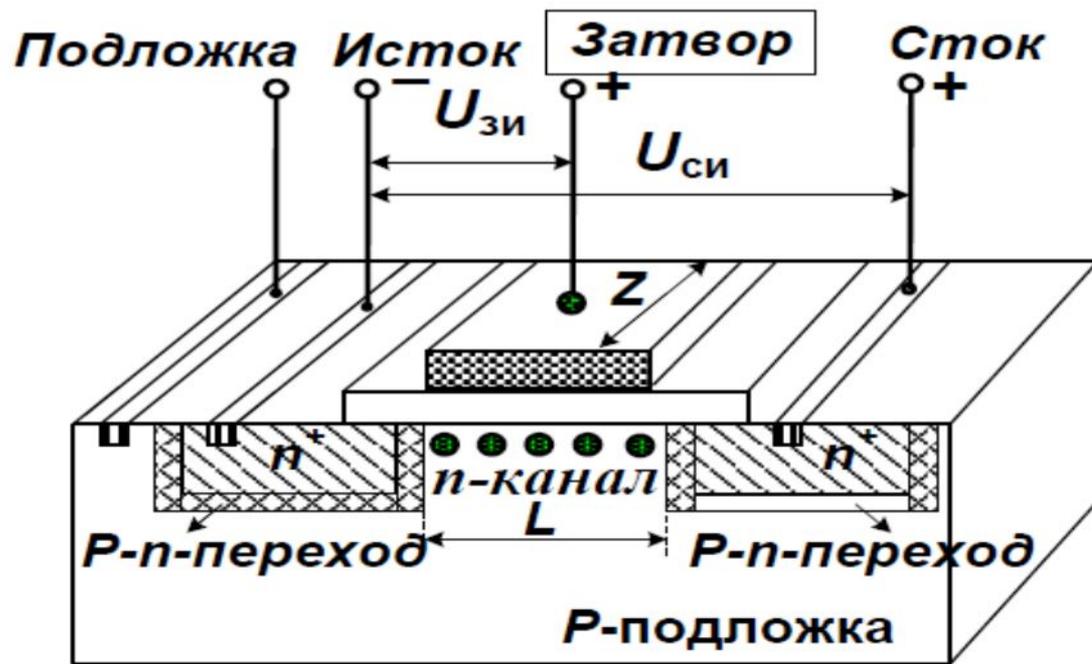




Если подать напряжение питания в цепь стока, а на затворе $U_{зи} = 0$, то ток в канале будет отсутствовать (за исключением тока неосновных носителей обратносмещённых переходов).

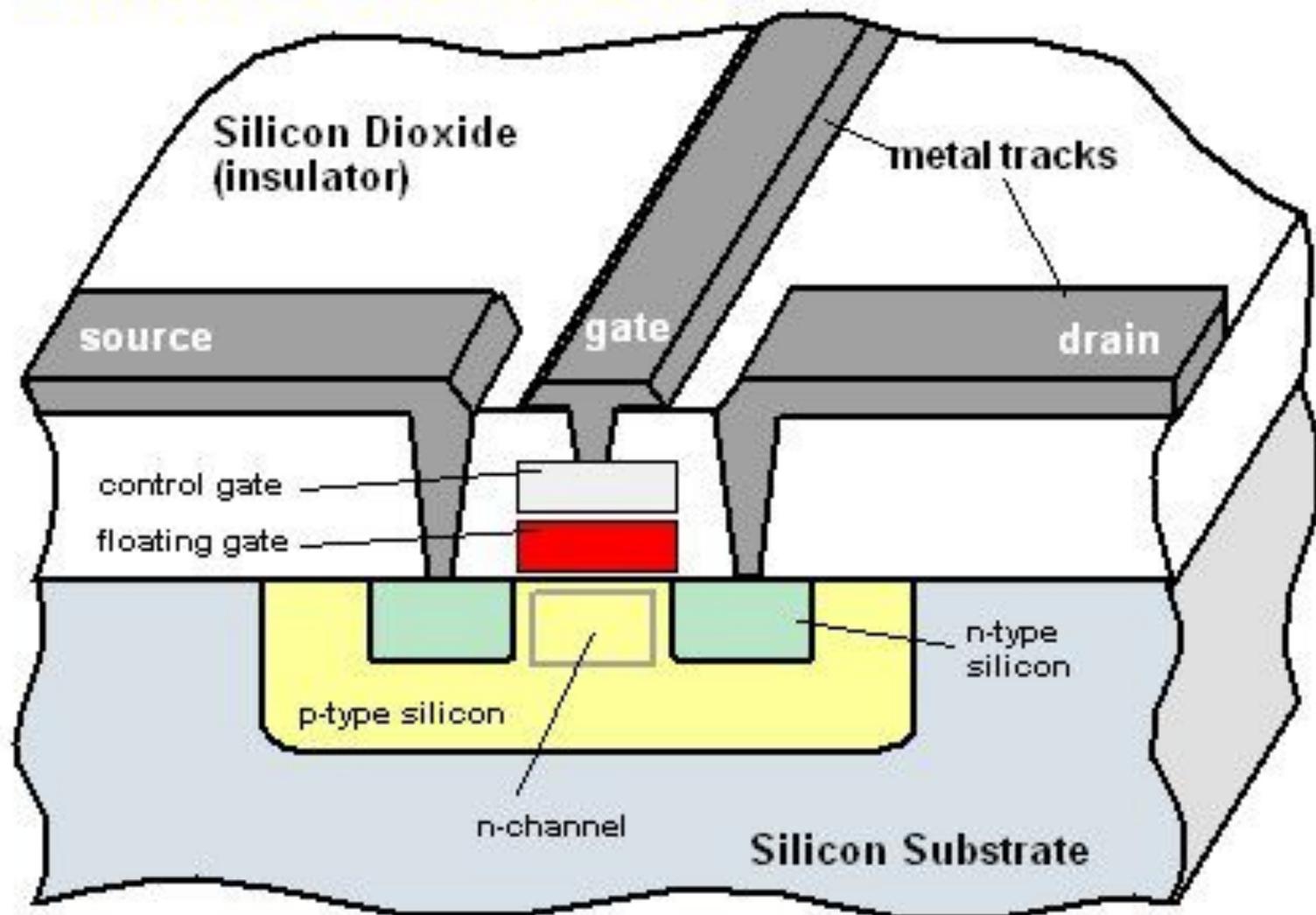


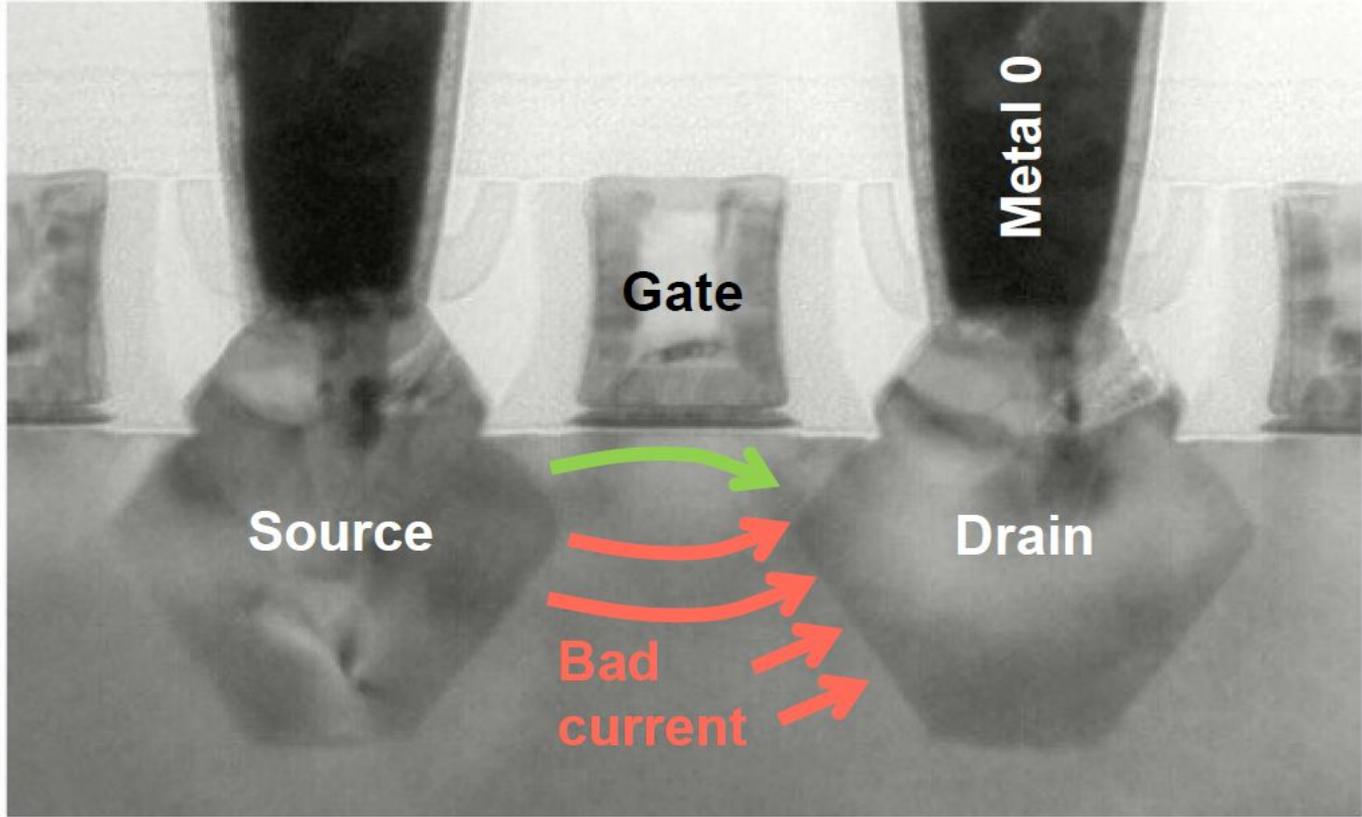
Если на затвор подать отрицательное напряжение, а на стоке сохранить положительное, то тока всё равно не будет: канал между стоком и истоком заполнится положительными зарядами, подтянутыми из *p*-подложки электрическим полем затвора.



Если на затвор подать положительное напряжение, то под действием ускоряющего поля затвора в приповерхностный слой начнут подтягиваться носители *n*-типа. Уровень напряжения на затворе, при котором в канале появляется проводимость, называется *пороговым напряжением*. Обозначим его через U_0 . При $U_{зи} \approx 2U_0$ образуется токопроводящий канал (индуцированный), который соединит области стока и истока, и ток стока достигнет своего номинального значения.

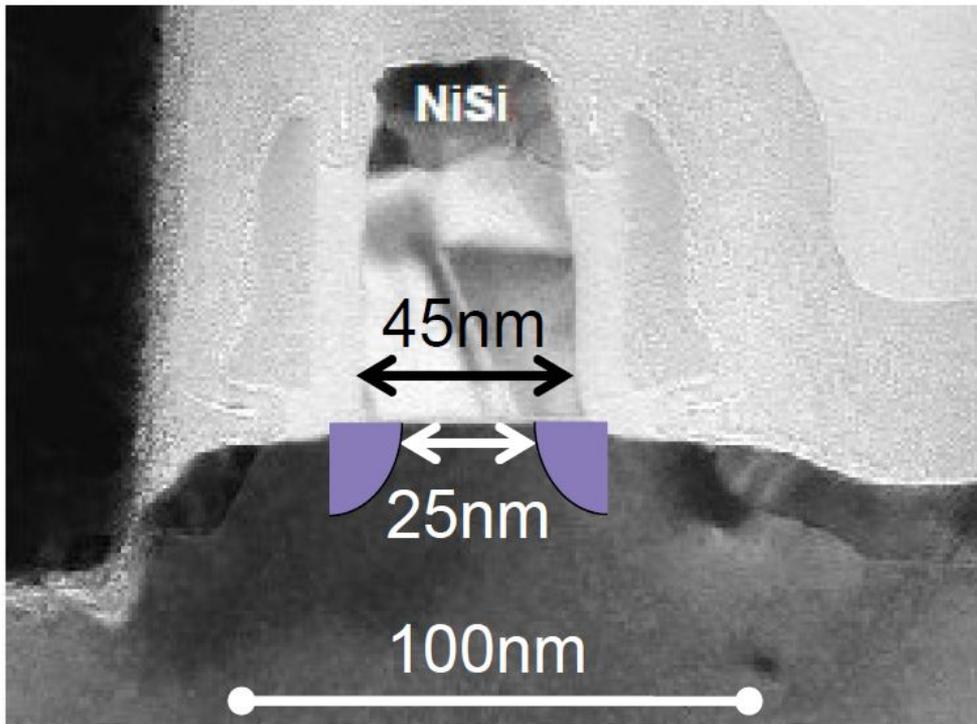
EEPROM and Flash Transistor



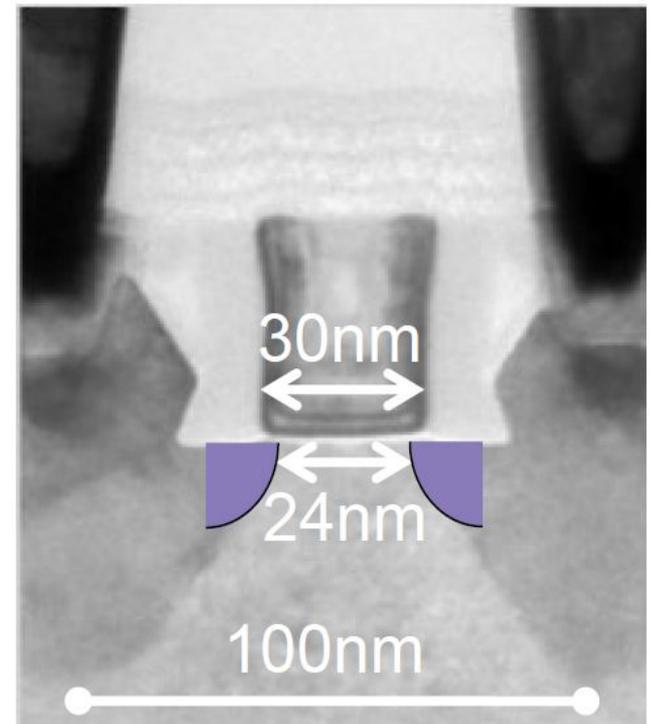


Эффективная длина канала в технологиях 90 нм и 32 нм. Транзисторы сняты в одном и том же масштабе. Полукруги на рисунках — это форма дополнительного слабого подлегирования стоков (LDD, lightly doped drain), делаемого для уменьшения ширины рп-переходов.

90 nm node

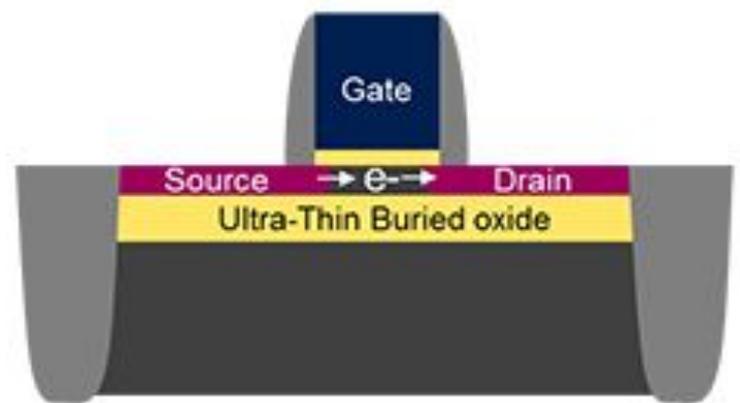
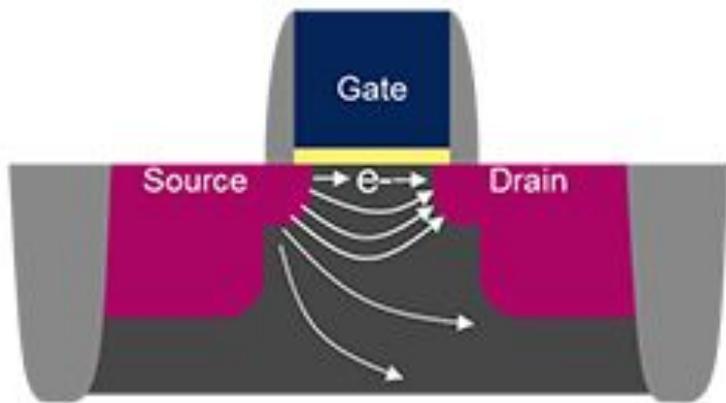


32 nm node



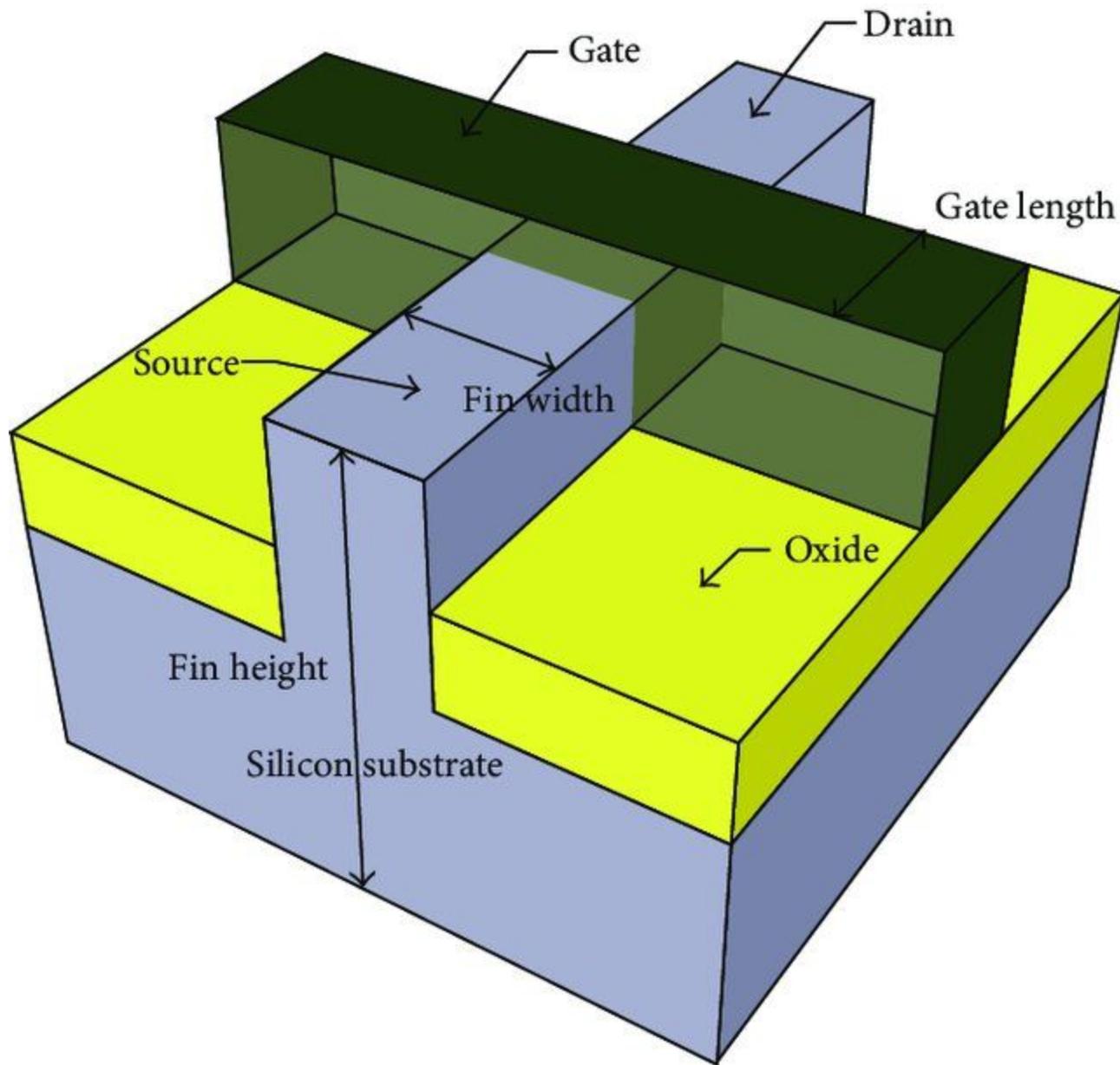
Bulk

FD-SEI



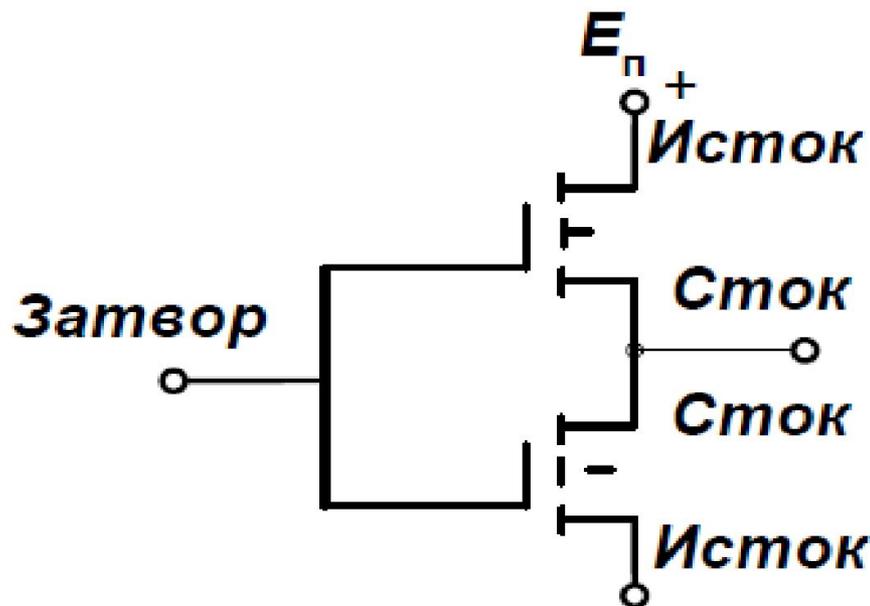
Сравнение транзисторов, выполненных по обычной объемной и FDSOI (полностью обедненный КНИ) технологиях.

Источник — ST Microelectronics
Как видите, идея более чем удачная! под очень тонким активным слоем располагается оксид, убирающий вредный ток утечки на корню! Заодно, за счет уменьшения емкости pn-переходов (убрали четыре из пяти сторон куба стока) увеличивается быстродействие и еще уменьшается энергопотребление. Именно поэтому сейчас технологии FDSOI 28-22-20 нм активно рекламируются как платформы для микросхем интернета вещей — потребление действительно сокращается в разы, если не на порядок. И еще такой подход позволяет в перспективе поскейлить обычный плоский транзистор до уровня 14-16 нм, чего объемная технология уже не позволит.

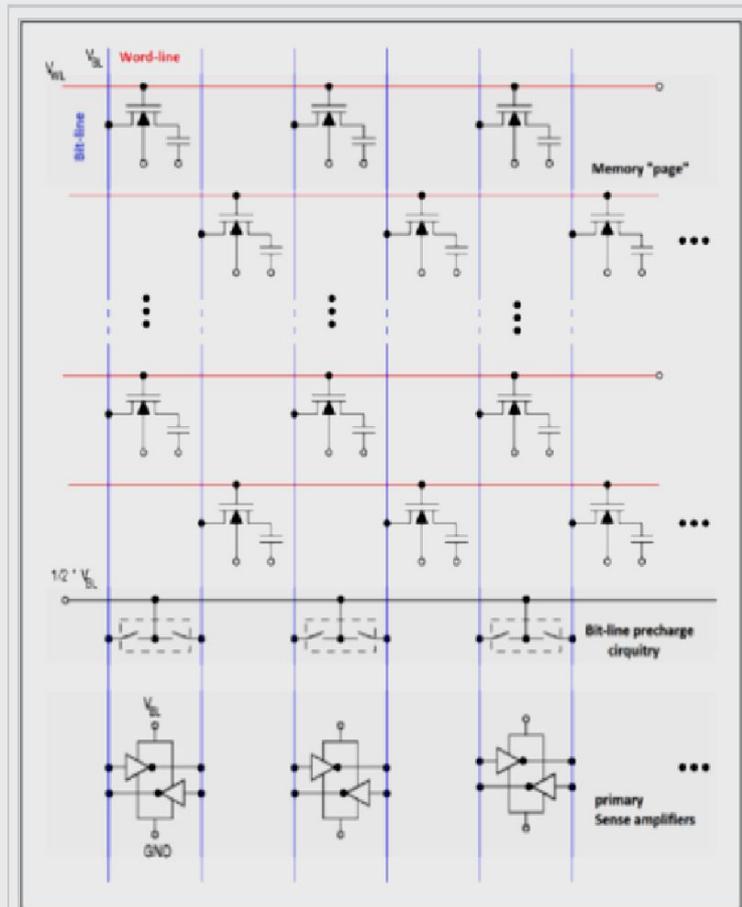
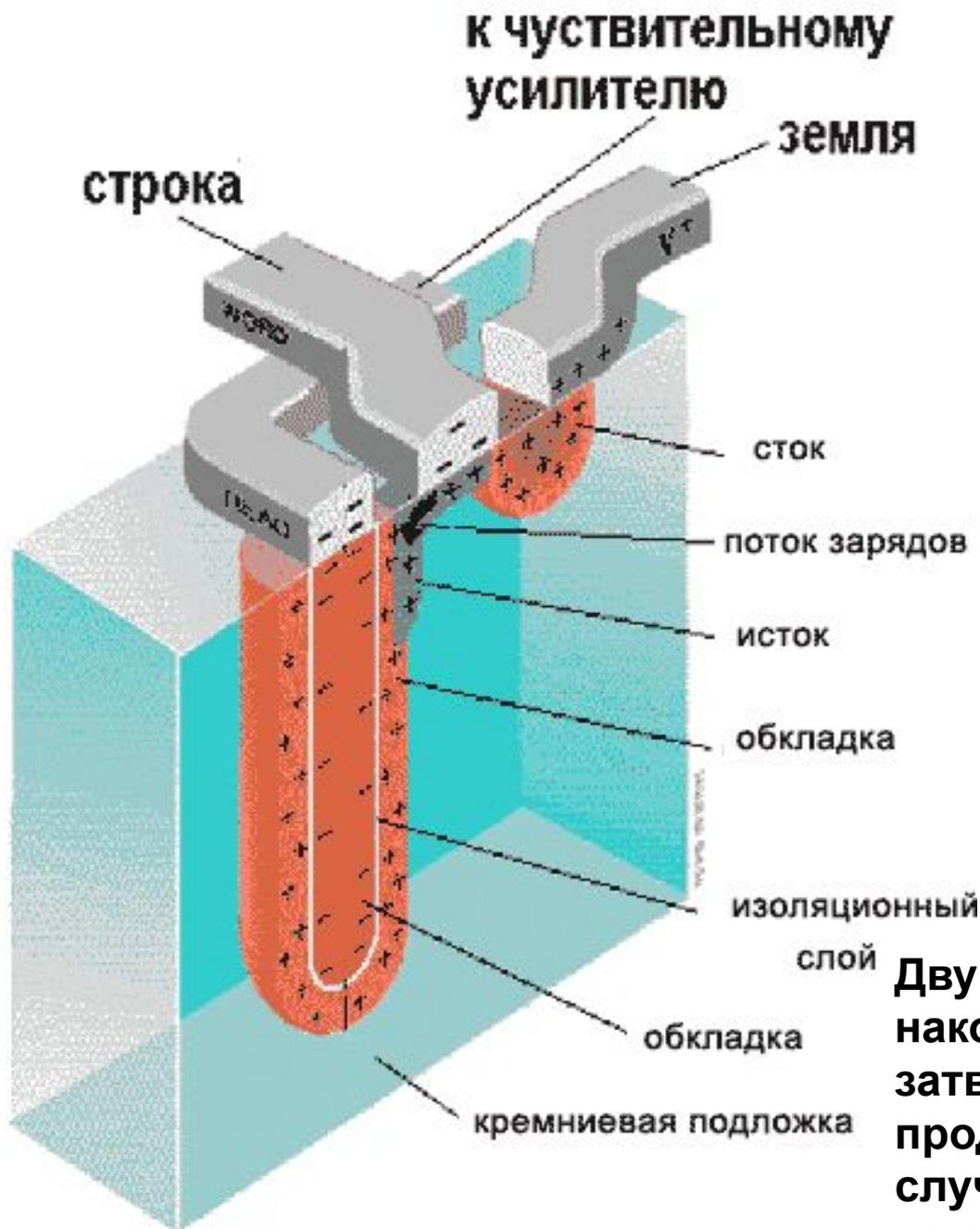


КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник; *CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor*)

В более общем случае — КМДП (со структурой металл-диэлектрик-полупроводник). В технологии КМОП используются полевые транзисторы с изолированным затвором с каналами разной проводимости.

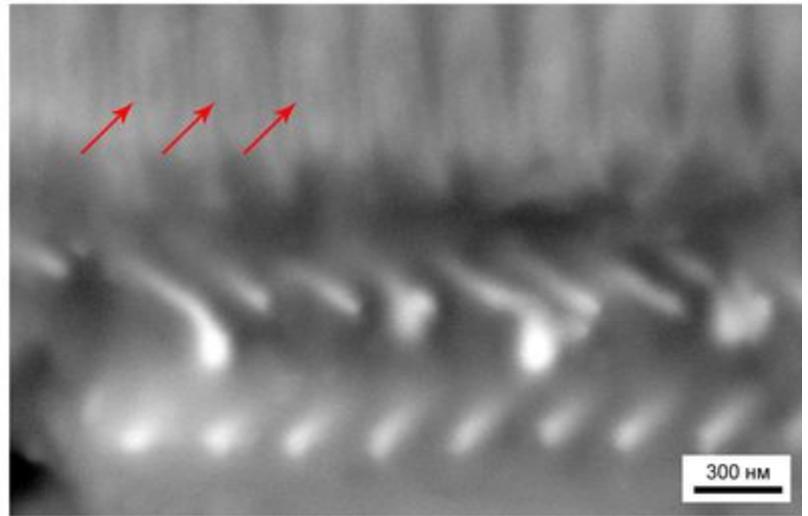
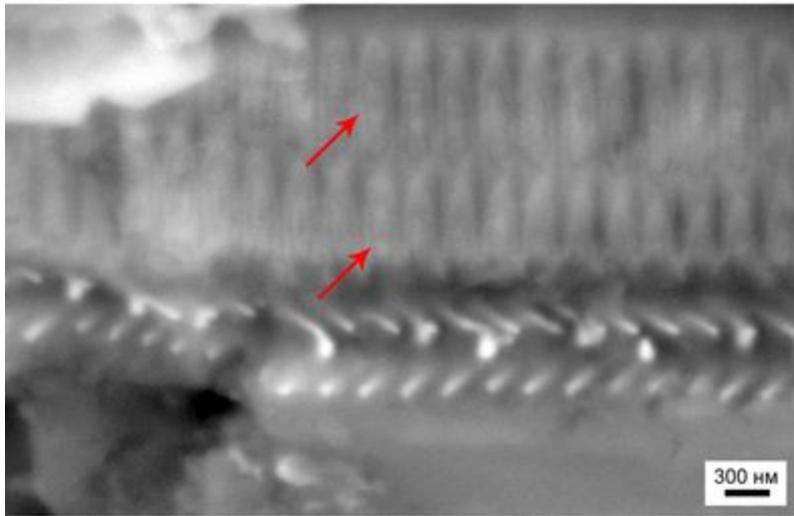
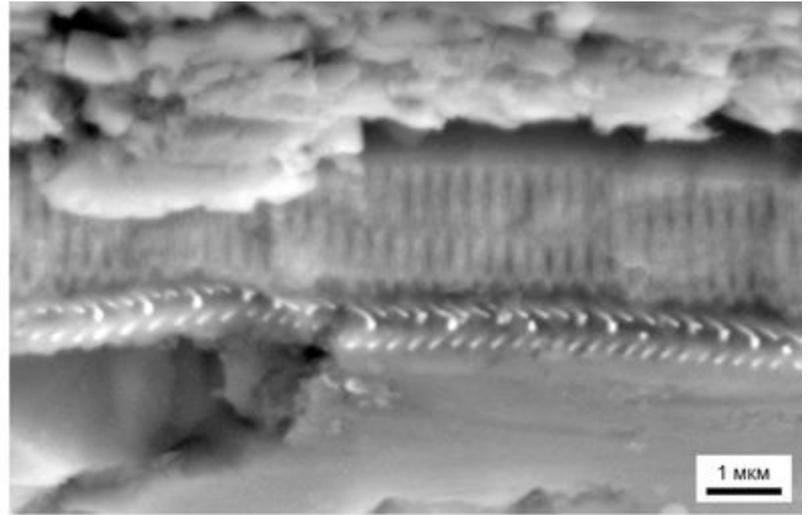
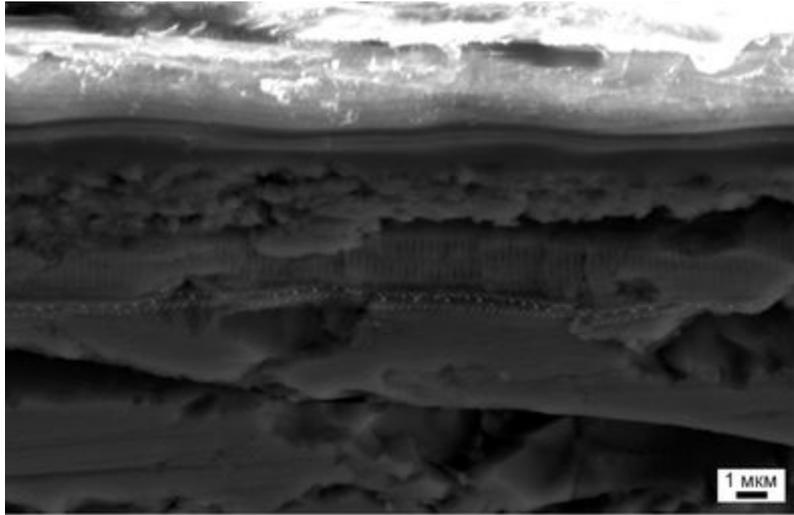


- Отличительной особенностью схем КМОП по сравнению с биполярными технологиями является очень малое энергопотребление в статическом режиме.
- Отличительной особенностью структуры КМОП по сравнению с другими МОП-структурами ([N-МОП](#), [P-МОП](#)) является наличие как n-, так и p-канальных полевых транзисторов;
- Как следствие, КМОП-схемы обладают более высокой скоростью действия и меньшим энергопотреблением, однако при этом характеризуются более сложным технологическим процессом изготовления и меньшей плотностью упаковки.
- Подавляющее большинство современных логических [микросхем](#), в том числе, [процессоров](#), используют схемотехнику КМОП.



Basic structure of a DRAM cell array.

Двумерный массив. Так как на накопление заряда на плавающем затворе уходит довольно продолжительное время, то в случае RAM ячейка памяти состоит из конденсатора и обычного полевого транзистора



Структурная организация Flash

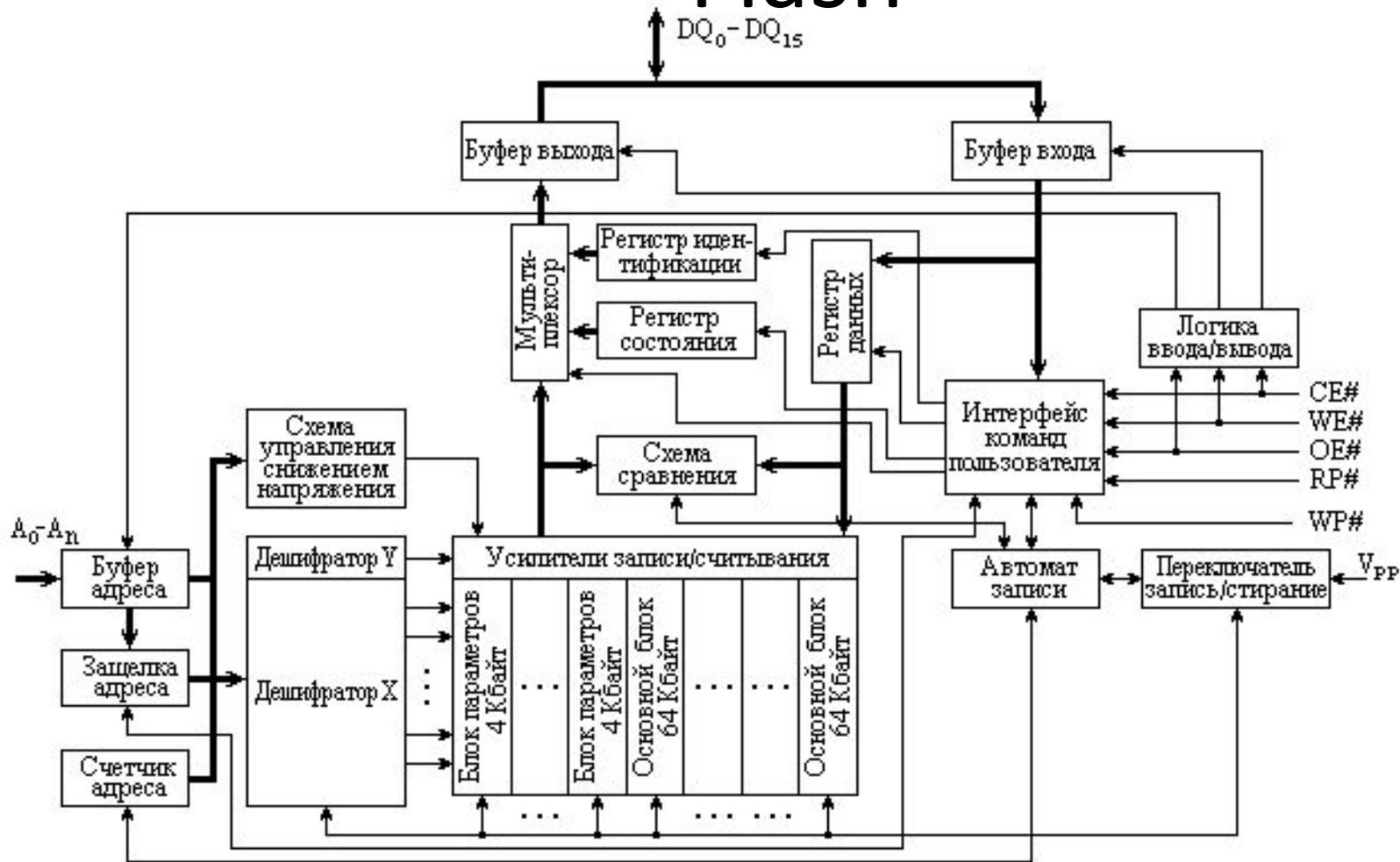
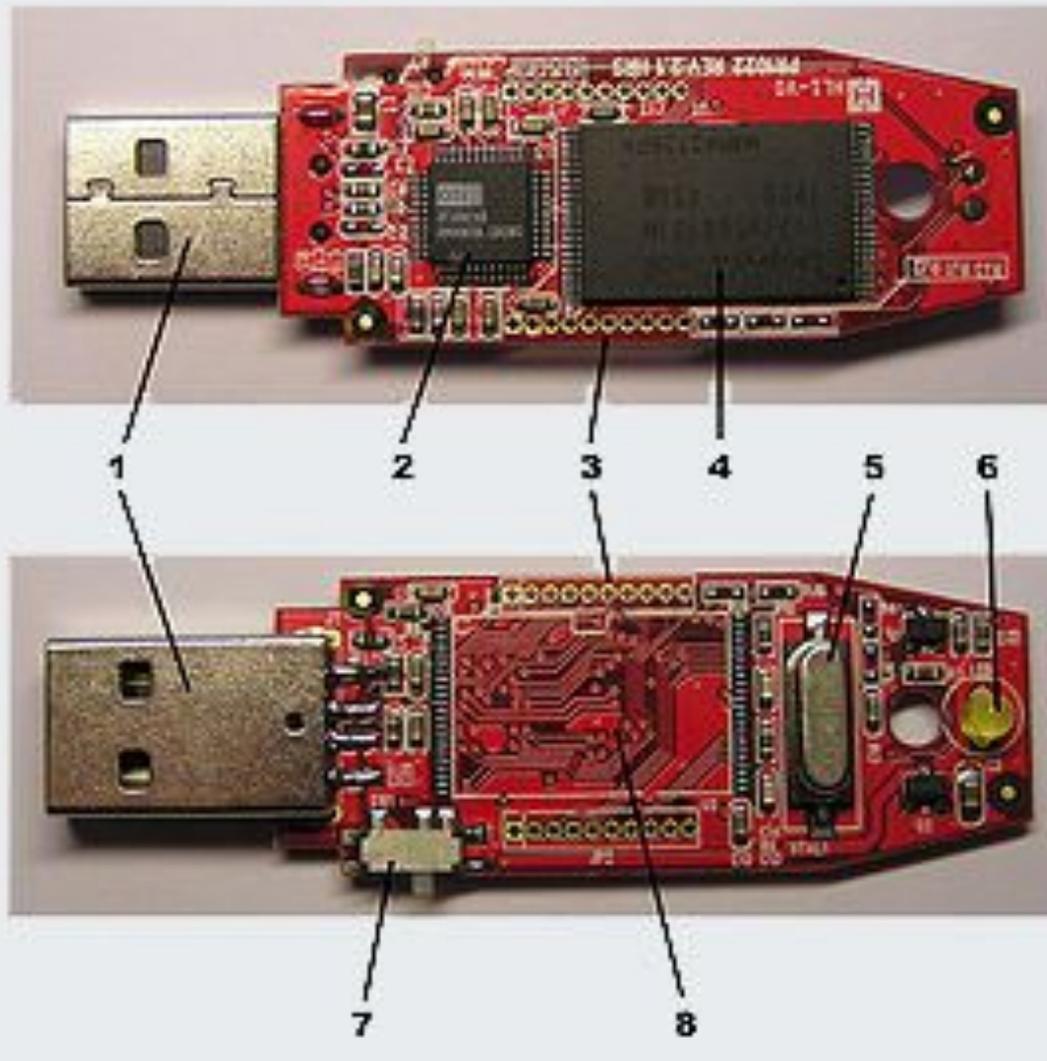
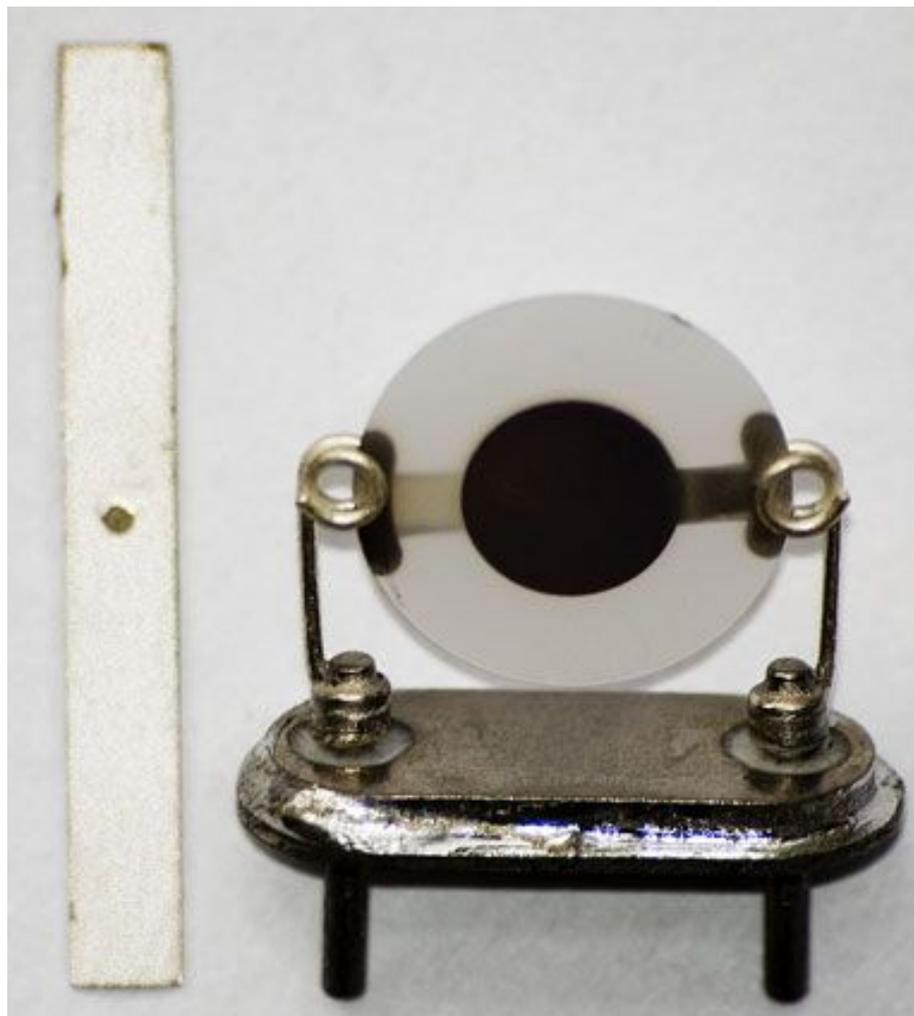
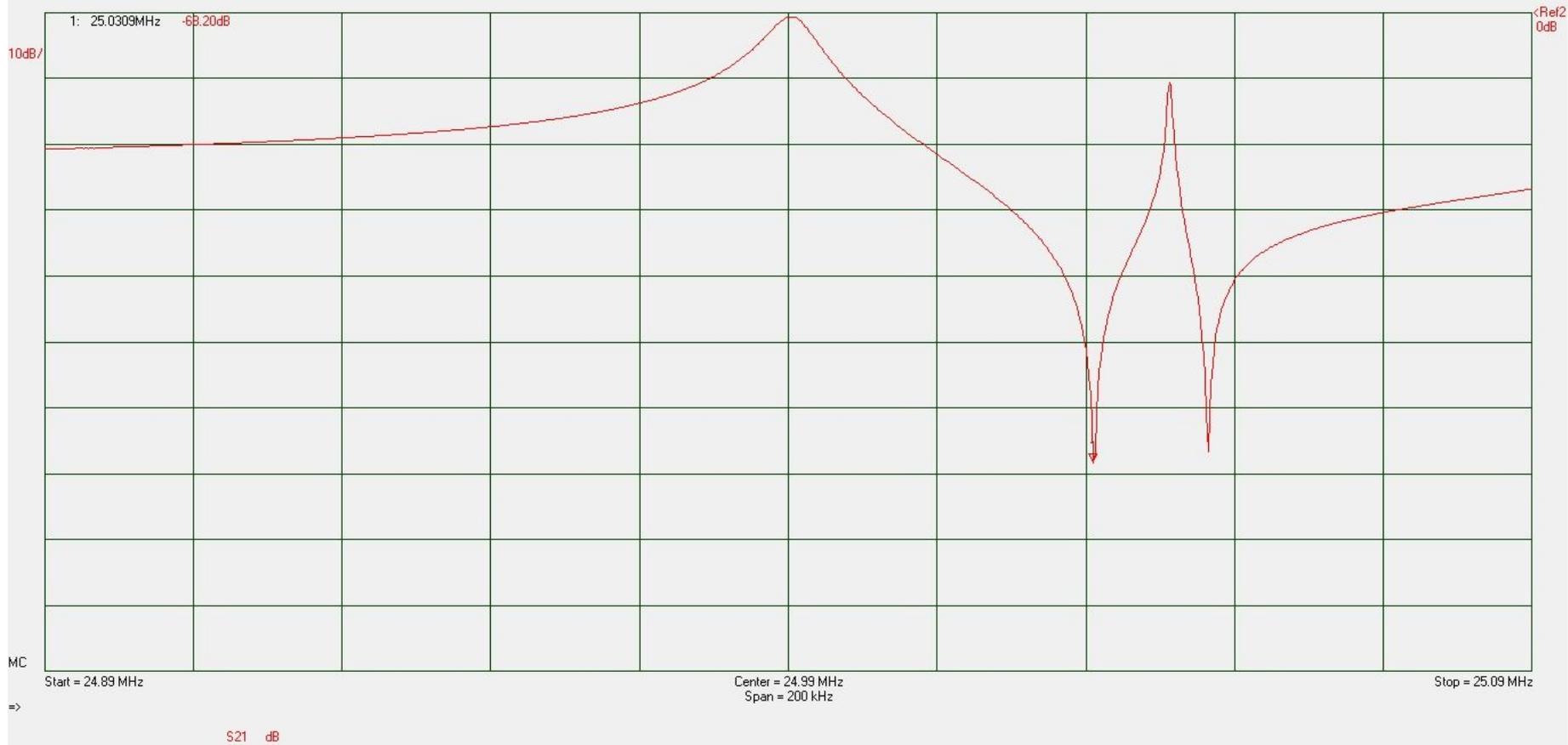


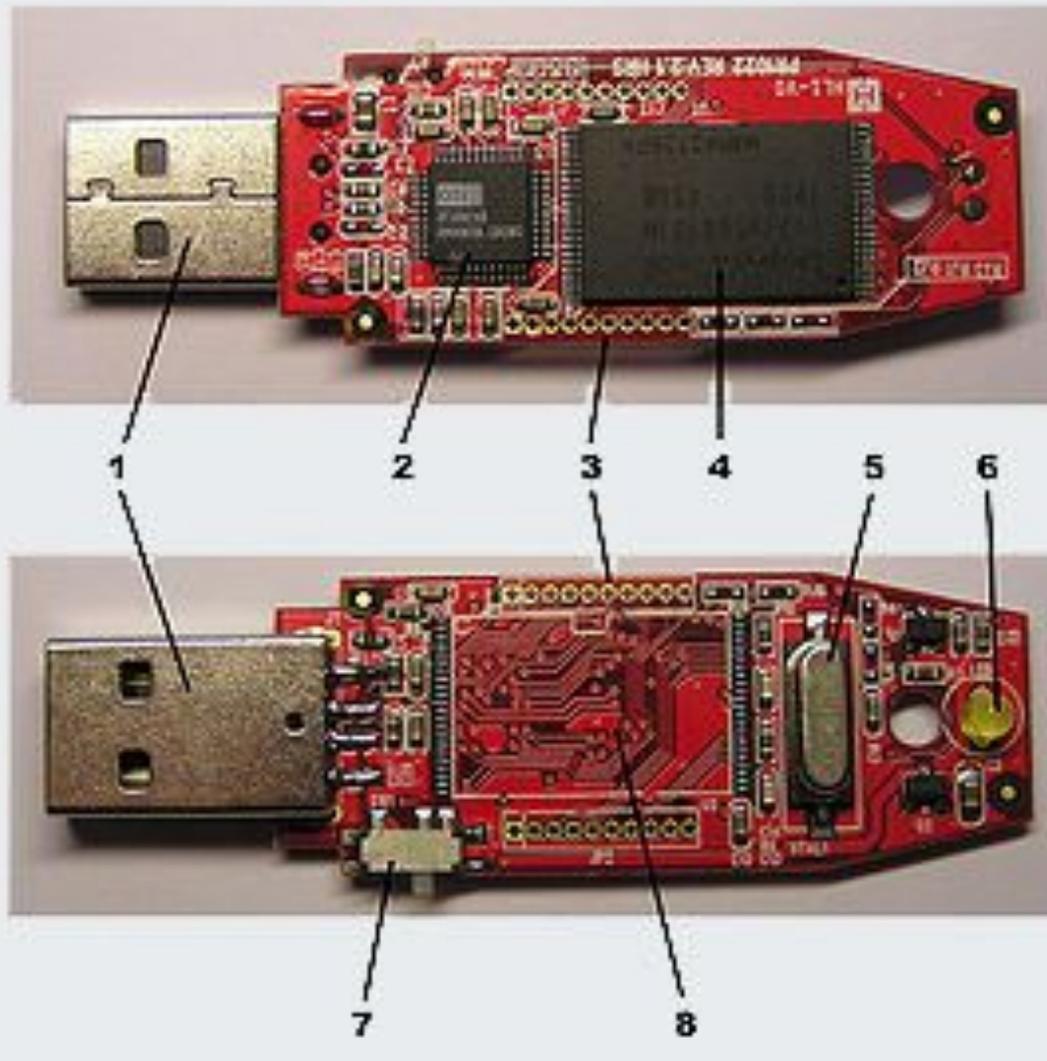
Рис. 27. Структурная схема флэш-памяти



1. USB-коннектор, 2. контроллер, 3. РСВ-многослойная печатная плата, 4. модуль NAND памяти, 5. кварцевый генератор опорной частоты, 6. LED-индикатор (сейчас, правда, на многих флешках его нет), 7. переключатель защиты от записи (аналогично, на многих флешках отсутствует), 8. место для дополнительной микросхемы памяти.

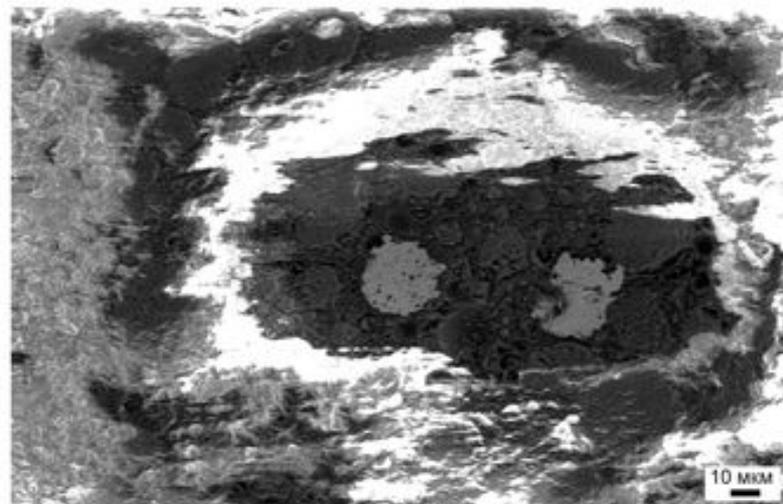
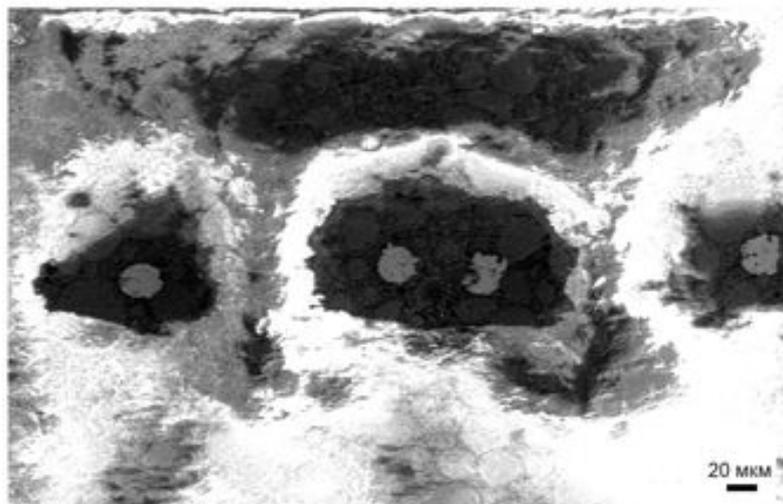
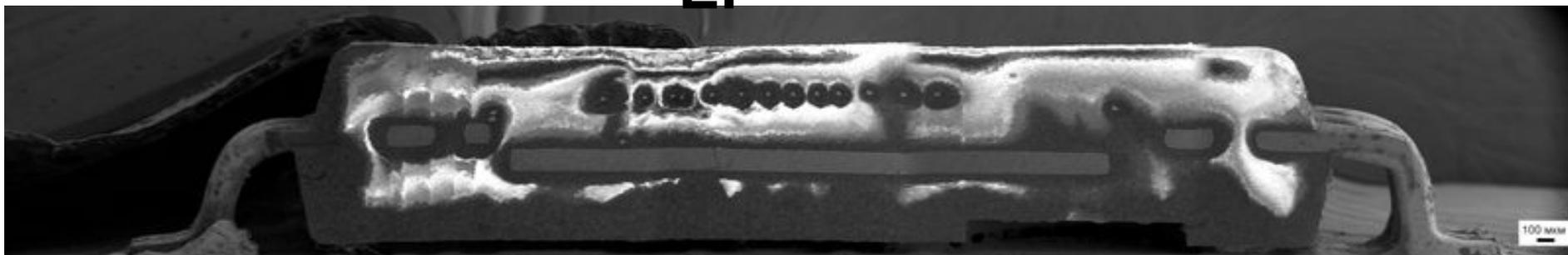






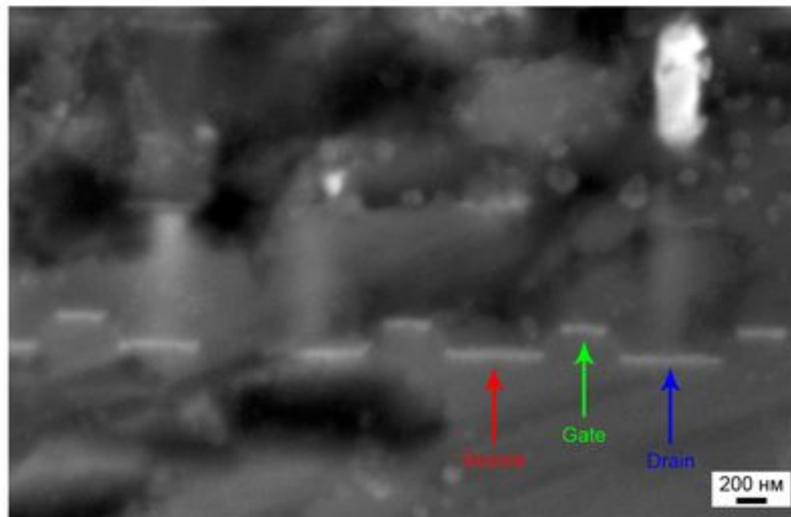
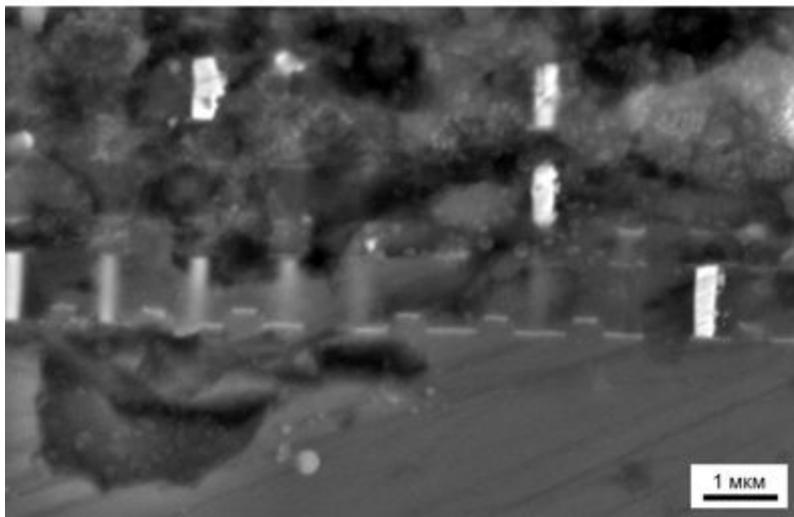
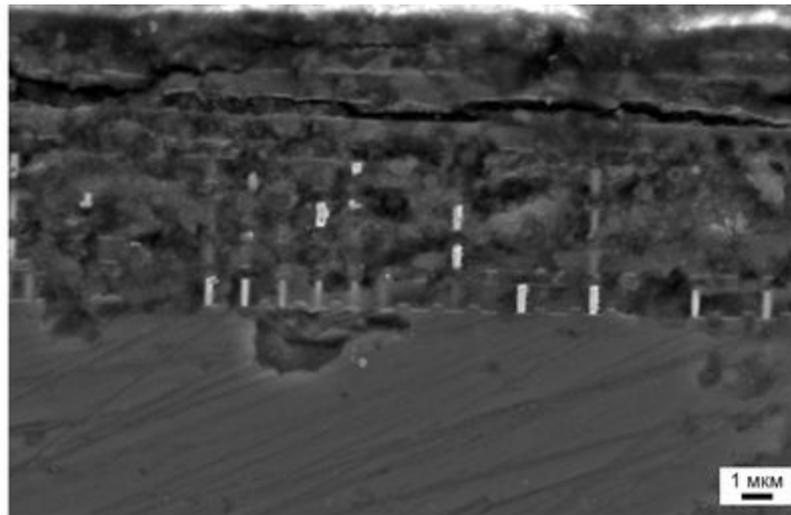
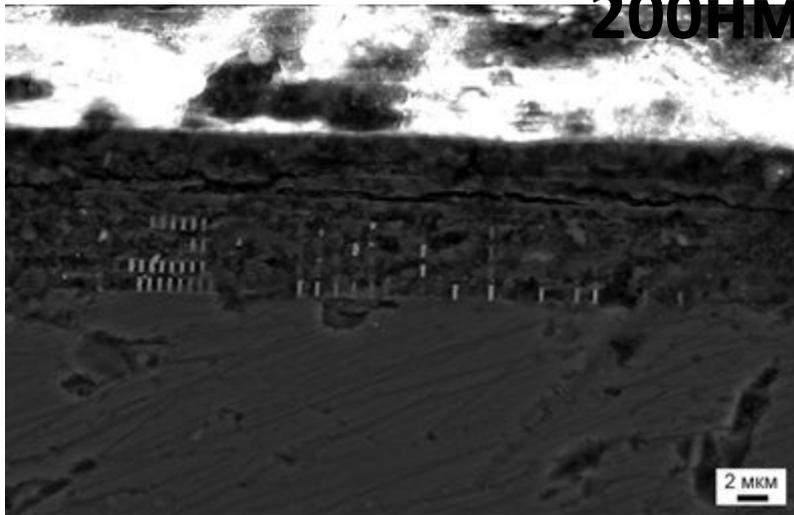
1. USB-коннектор, 2. контроллер, 3. PCB-многослойная печатная плата, 4. модуль NAND памяти, 5. кварцевый генератор опорной частоты, 6. LED-индикатор (сейчас, правда, на многих флешках его нет), 7. переключатель защиты от записи (аналогично, на многих флешках отсутствует), 8. место для дополнительной микросхемы памяти.

КОНТРОЛЛ ЕР

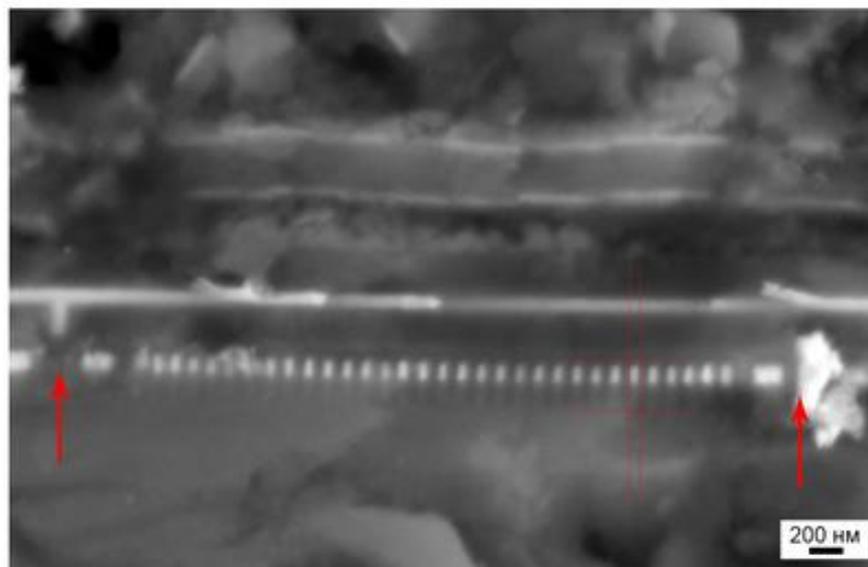
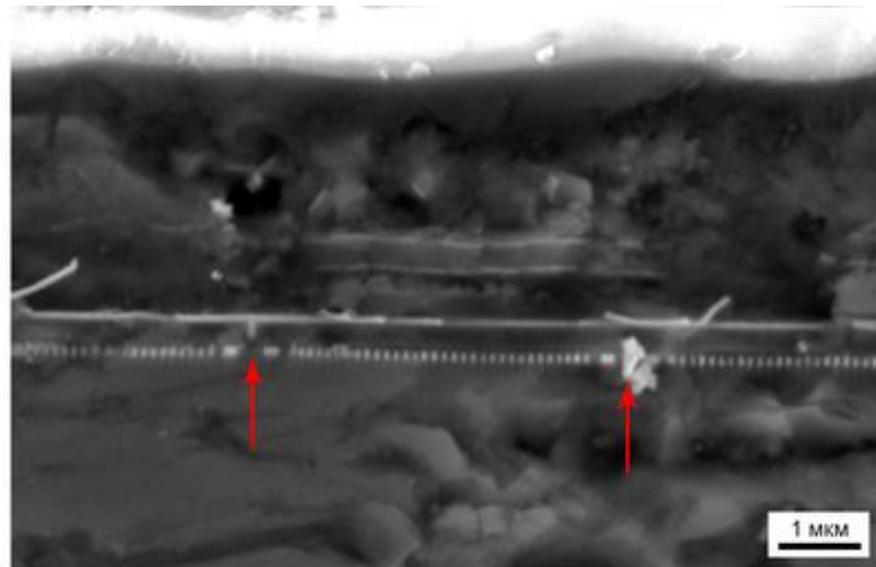
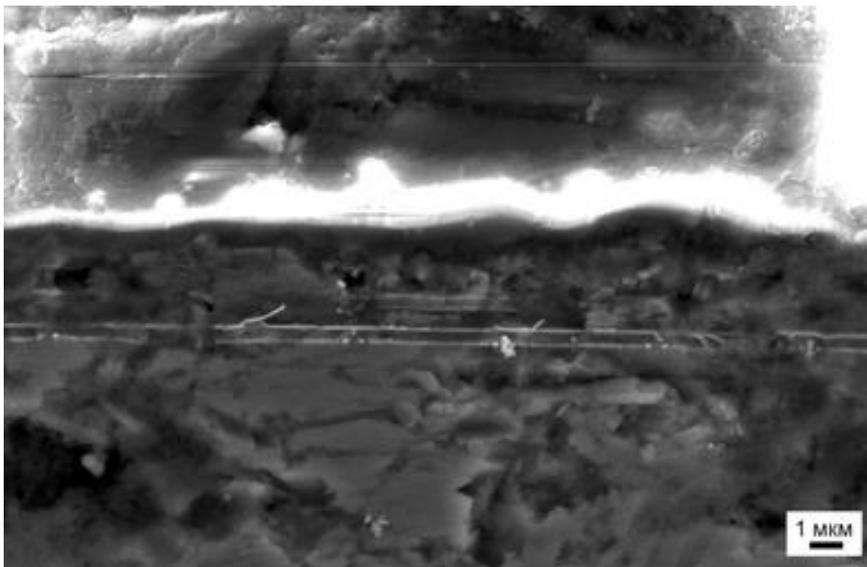


КОНТРОЛЛЕР

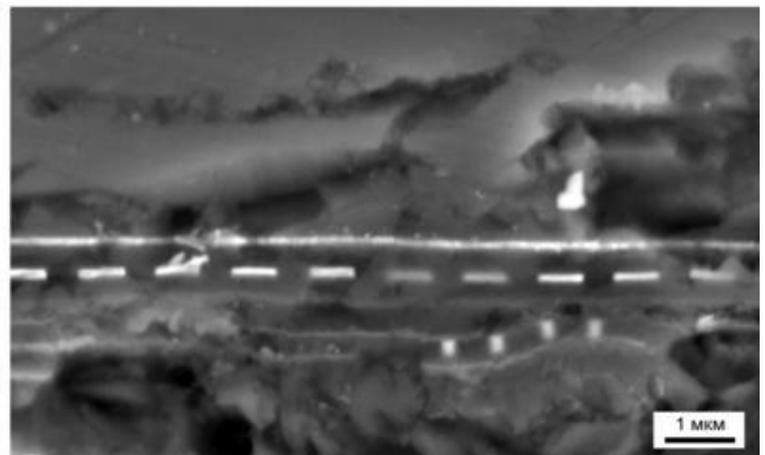
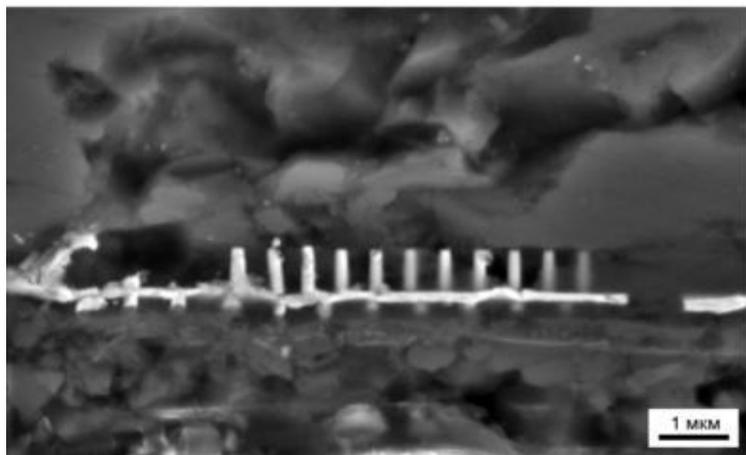
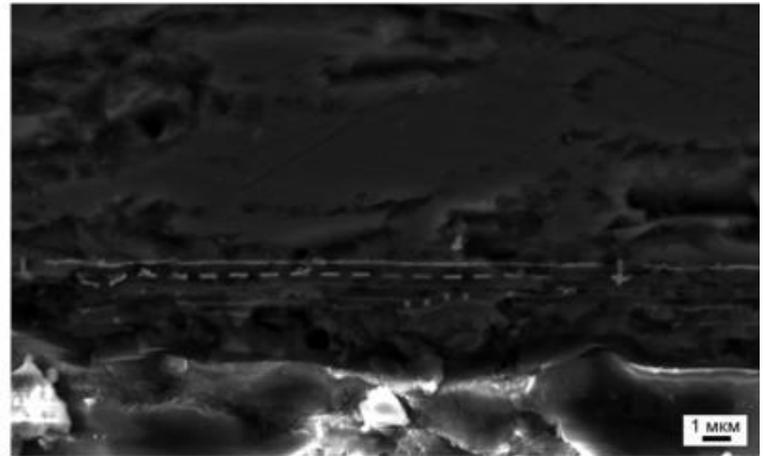
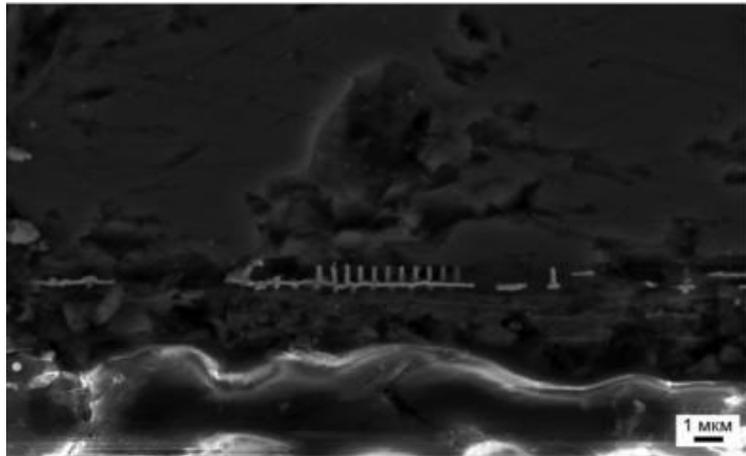
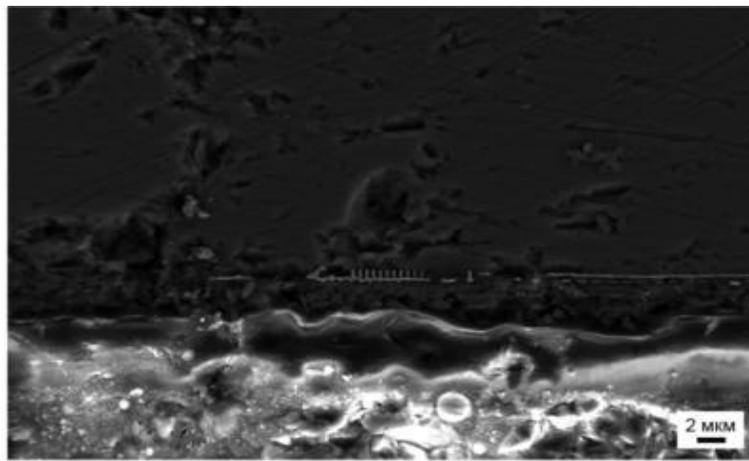
200nm

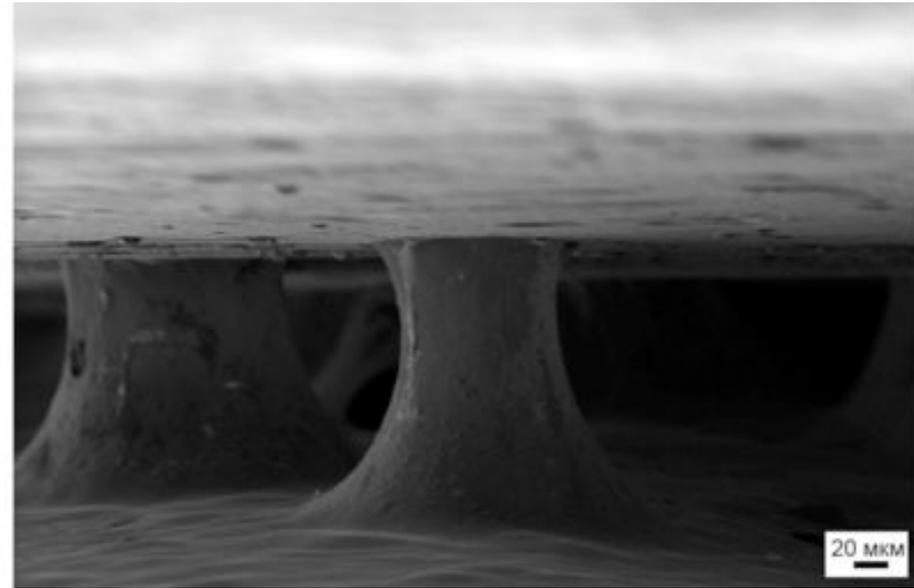
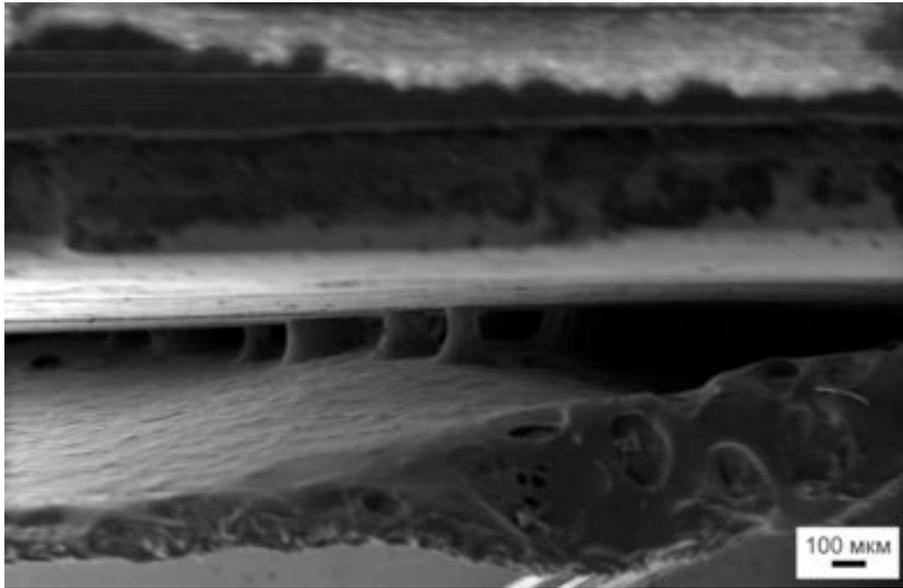


Карта памяти модуль флеш:



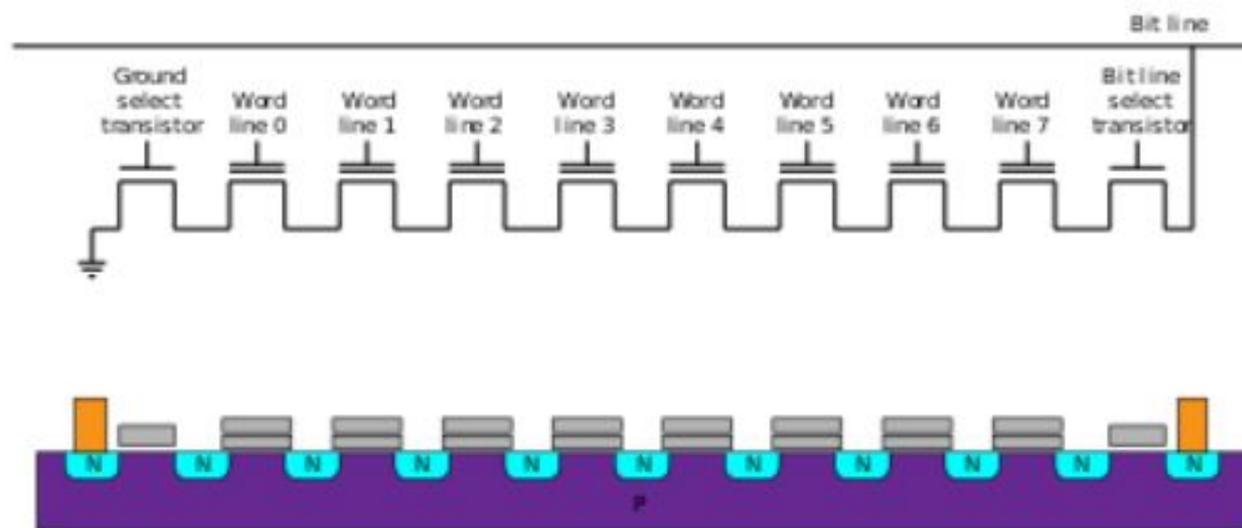
Ячейки памяти. Границы блоков выделены стрелочками. Линиями обозначены отдельные ячейки. Для справки, «толщина» ячейки (т.е. расстояние между двумя светлыми точками на нижнем изображении) около 60 нм.





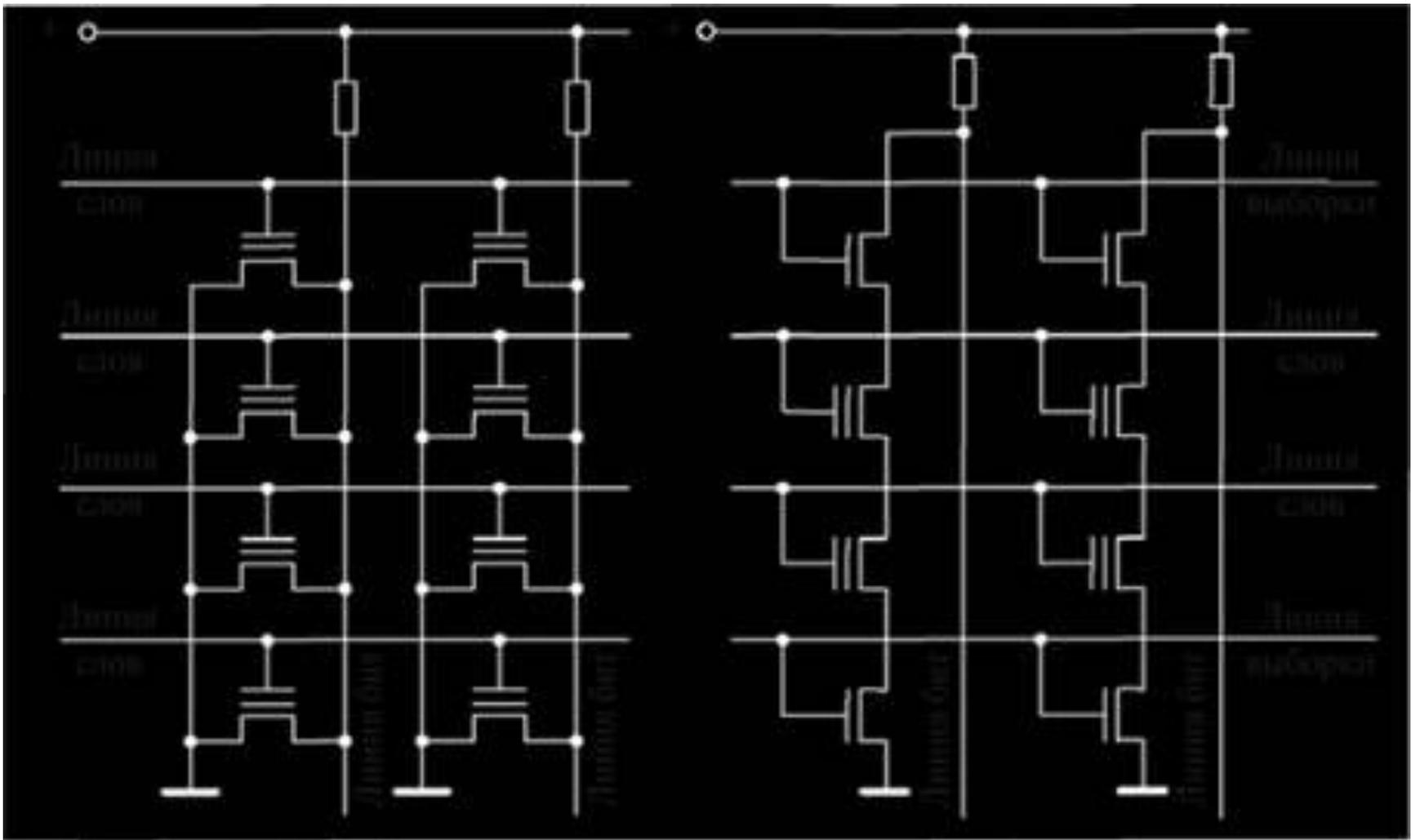
Углеродный скотч, на котором были закреплены исследуемые образцы. Думаю, что и обычный скотч выглядит похожим образом

<https://habr.com/post/135515/>



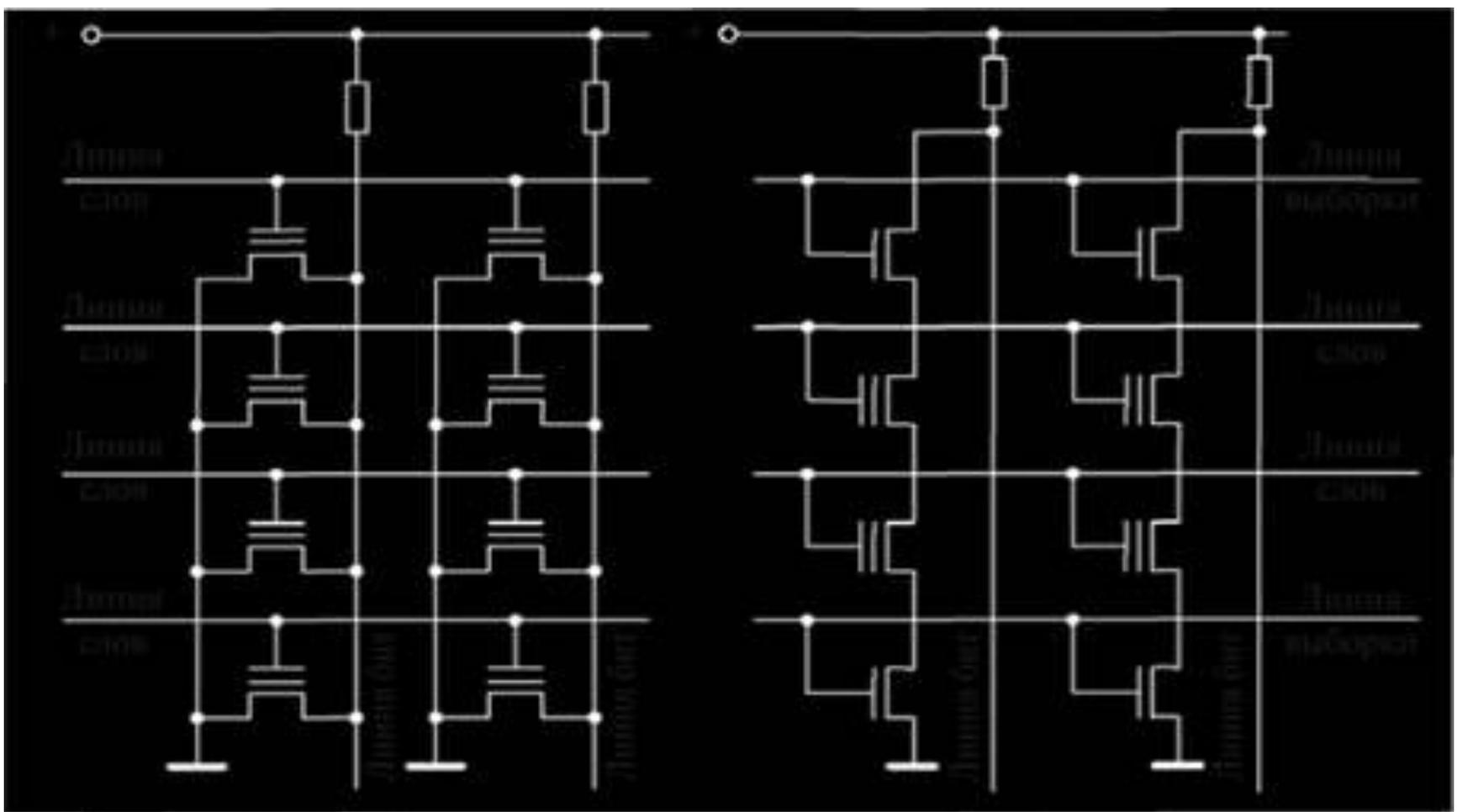
Структура одного столбца
NAND flash с 8 ячейками



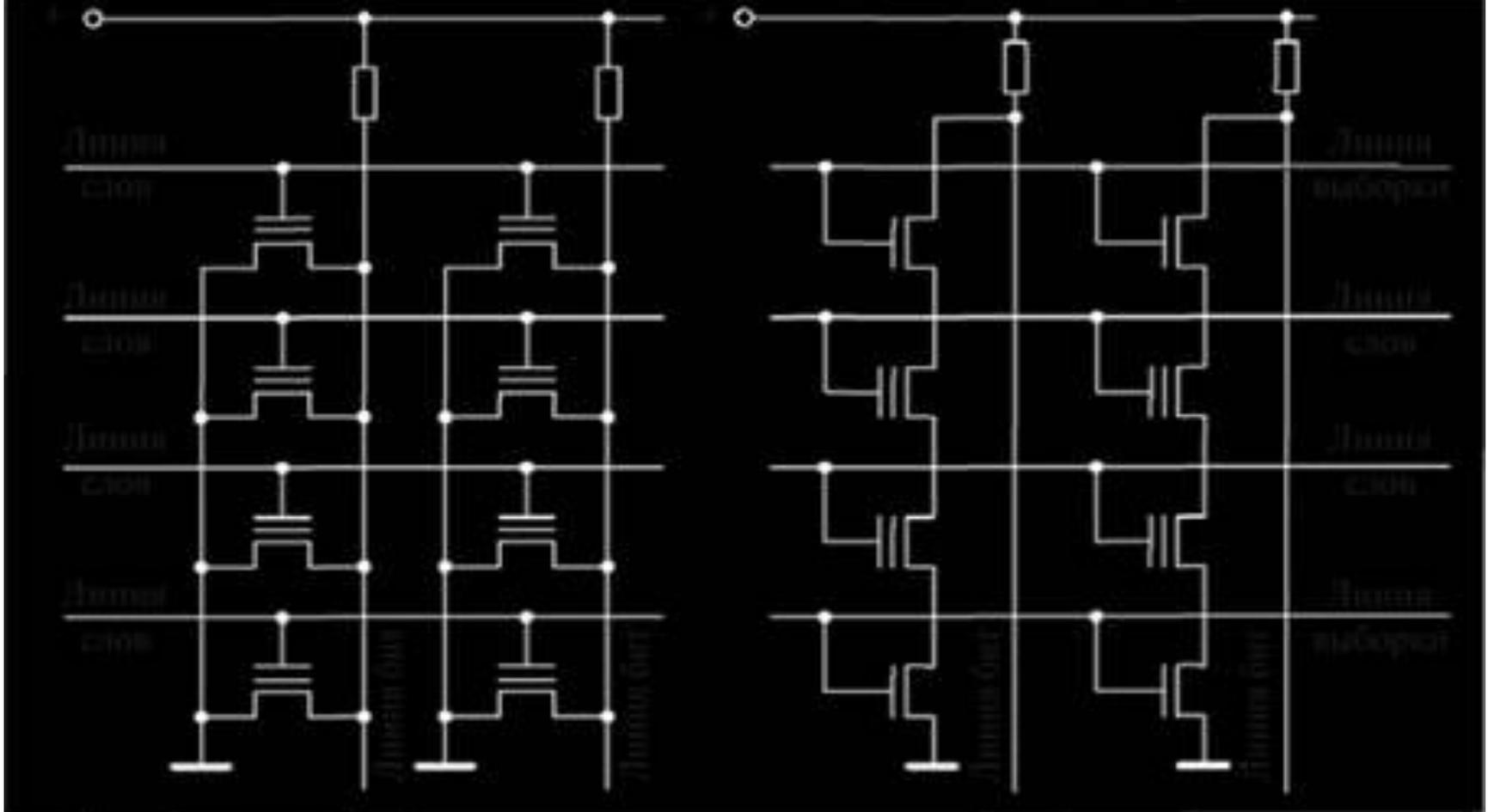


NOR

NAND



Структура NOR (NOT OR – ИЛ И–НЕ). Такая структура образуется при подключении управляющего затвора каждой ячейки- транзистора к линиям слов (Word Line), стока к линиям битов, а истока к общей точке. Для нее характерно параллельное подключение всех ячеек к линии бит. При подаче положительного напряжения на управляющий затвор хотя бы одного из транзисторов, подсоединенных к линии битов, она переходит в состояние 0, что соответствует выполнению логической операции ИЛИ–НЕ. Выбор ячеек в режиме чтения осуществляется с помощью



Структура NAND (NOT AND – И–НЕ). Вместо отдельных ячеек к линиям подключаются составленные из них последовательные цепочки. Цепочки с помощью двух транзисторов подключаются к линии бит и общей точке. Каждая последовательная цепочка выполняет логическую операцию И–НЕ, при которой битовая линия переходит в состояние 0, если все транзисторы, подключенные к ней, проводят ток. Цепочки образуют группы (по 16 ячеек), которые объединяются в страницы, а страницы – в блоки. При такой структуре массива памяти обращение к отдельным ячейкам невозможно. Программирование выполняется одновременно только в пределах одной страницы, а при стирании обращение происходит к блокам или к группам блоков.

Преимущества Flash

Для хранения данных не требуется дополнительной энергии, то есть flash-память является энергонезависимым устройством.

Энергия, правда, требуется для записи данных, совсем без затрат тут не обойтись, в конце концов, вечный двигатель, как известно, создать невозможно. Зато по сравнению с компакт-дисками или дискетами затраты энергии при работе с flash-устройством минимальны. Поэтому flash-память является очень экономной с точки зрения энергозатрат. Как подтверждение – при записи данных на flash-микросхему требуется в 10-20 раз меньше энергии, чем при аналогичных действиях с компакт-диском или дискетой.

Flash-микросхема позволяет многократно (но, увы, не бесконечно...) перезаписывать данные. То есть flash-память – перезаписываемое устройство хранения данных.

Преимущества Flash

- **Накопитель на основе flash-микросхемы не содержит в себе никаких движущихся механических узлов и устройств, поскольку это твердотельная память. А раз так, то flash-устройства отличаются устойчивостью к механическим воздействиям: нет механики – нечему и ломаться. К примеру, flash-накопитель способен выдержать удары в 10-20 раз более сильные, чем те, что просто “убили” бы компьютерный винчестер. Причем не только выдержать, но и работать в условиях тряски и довольно-таки жесткого “избиения”.**
- **Компактность – еще одно преимущество накопителей на flash-памяти, которое и предопределило использование flash-устройств в разнообразных малогабаритных гаджетах и “ручных” устройствах.**
- **Наконец, информация, записанная на флэш-память, может храниться очень длительное время (порядка 10 лет). То есть flash-микросхема является устройством для долговременного хранения данных.**

Недостатки Flash

- Для начала главный потребительский недостаток – flash-память стоит дороже и менее надежна чем компьютерные винчестеры.
- Flash-память работает существенно медленнее, чем оперативная память на основе микросхем SRAM и DRAM. И даже по сравнению с жестким диском flash-накопитель является аутсайдером. К примеру, средняя скорость считывания данных с flash-накопителя составляет 5 Mb/s, а записи – 3 Mb/s. В то же время жесткий диск может обмениваться данными со скоростью около 30 Mb/s.
- Наконец, еще один серьезнейший недостаток, который уже упоминался выше – flash-память имеет ограничение по количеству циклов перезаписи. Предел колеблется от 10 000 до 1 000 000 циклов для разных типов микросхем. И хотя миллион операций записи/стирания – это совсем немало, однако наличие физического предела использования микросхемы памяти можно считать серьезным недостатком flash-устройств.