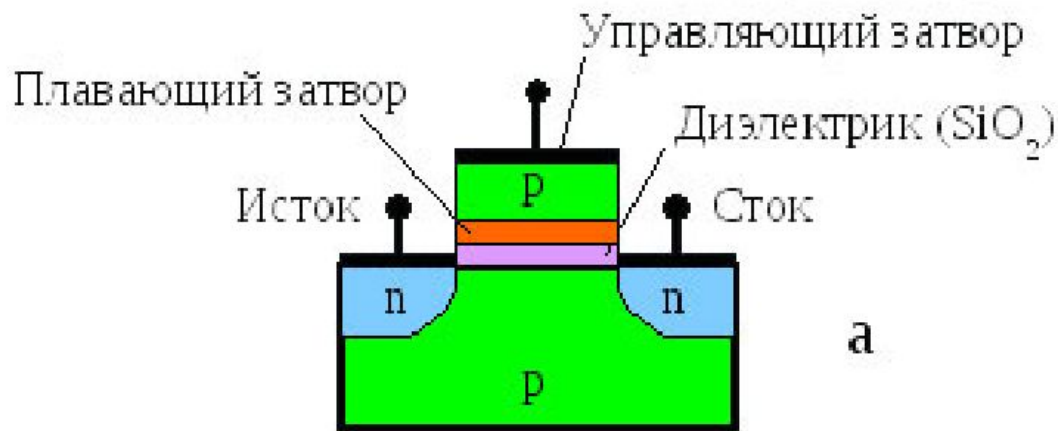
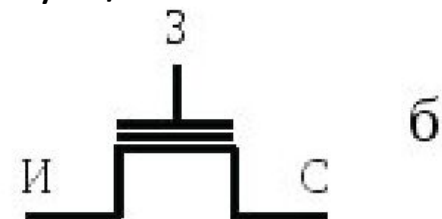


# ФЛЕШ ПАМЯТЬ

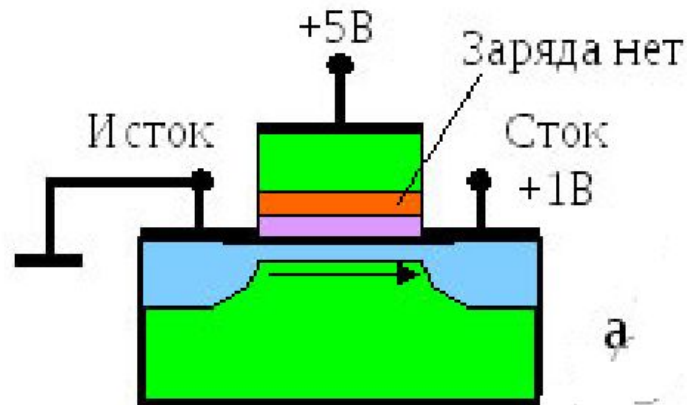
Лекция 13



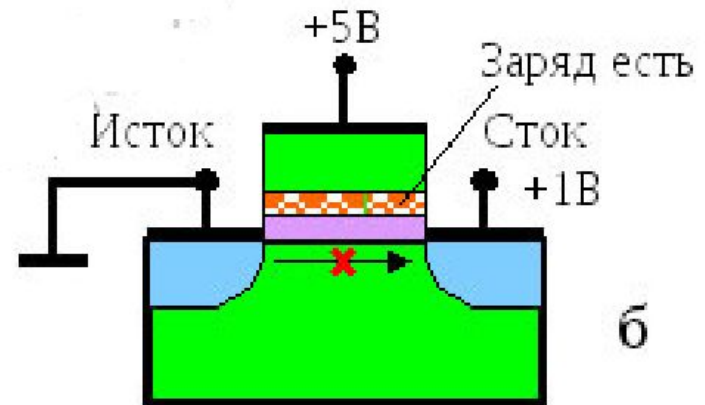
Ячейка памяти с одним транзистором  
<https://hobbyits.com/princip-raboty-i-ustrojstvo-flesh-pamyati/>



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

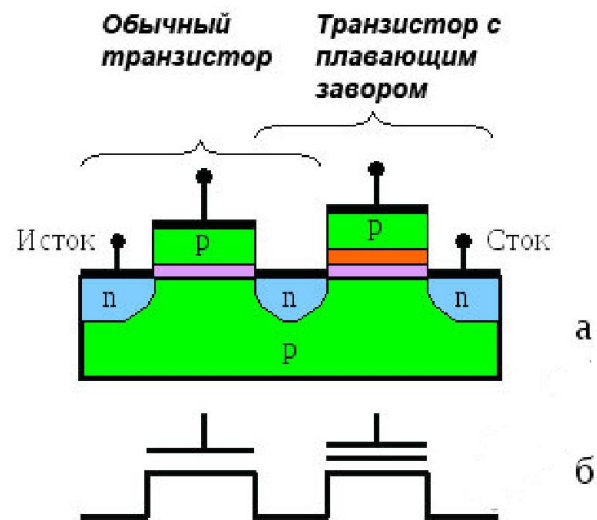


Транзистор открыт. Ток есть.  
Логический «ноль»

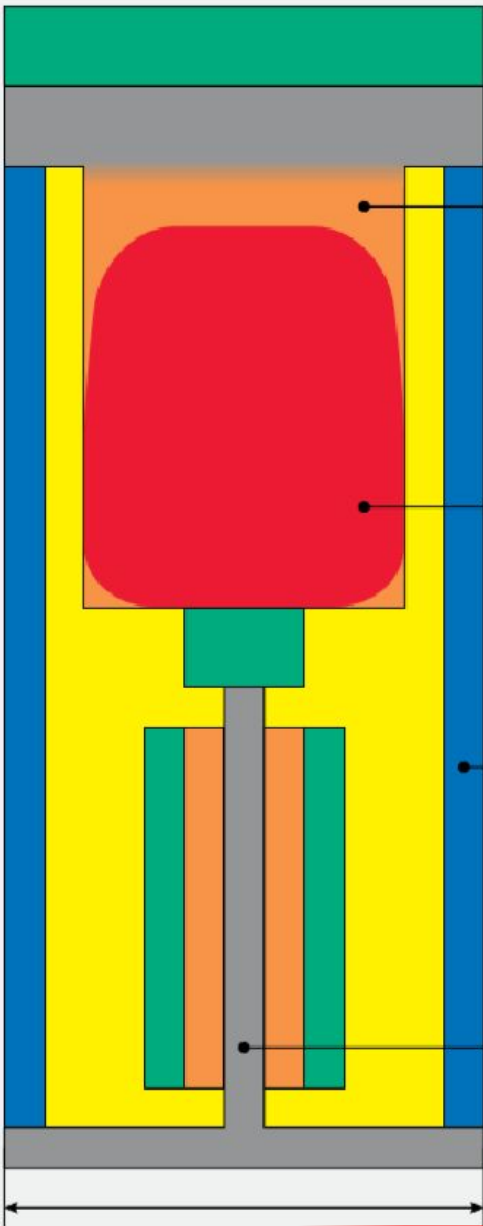


Транзистор закрыт. Тока нет.  
Логическая «единица»

**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  $\leq 50$  нс)

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

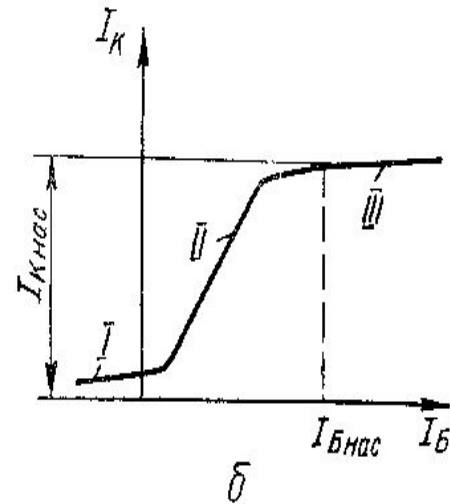
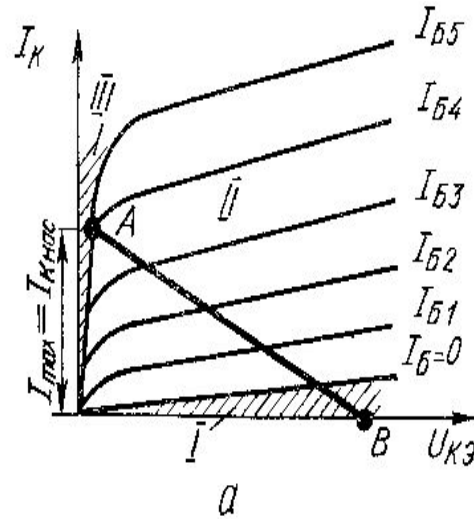
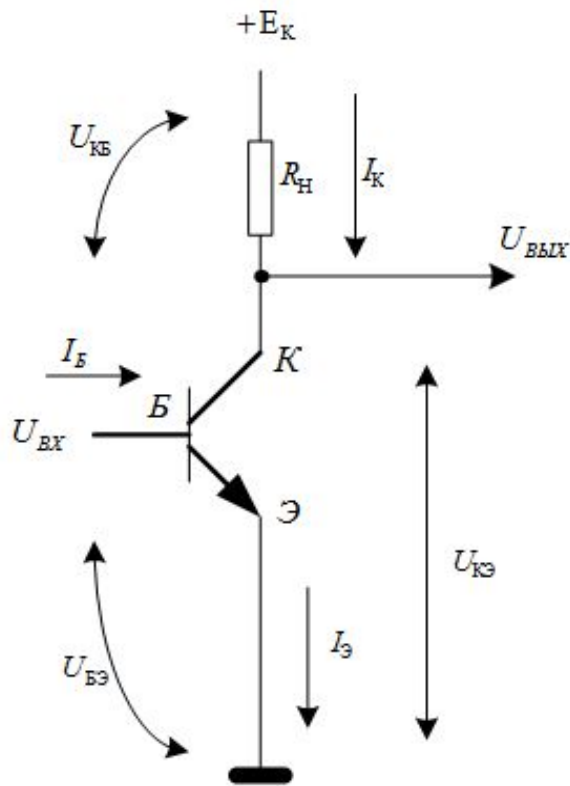
Барьеры на основе нитрида металла для ограничения тепловых помех

МОП полевой транзистор с вертикальным окружающим затвором

Соответствие плотности упаковки, равной 20 нм или меньше

# Транзистор в ключевом режиме

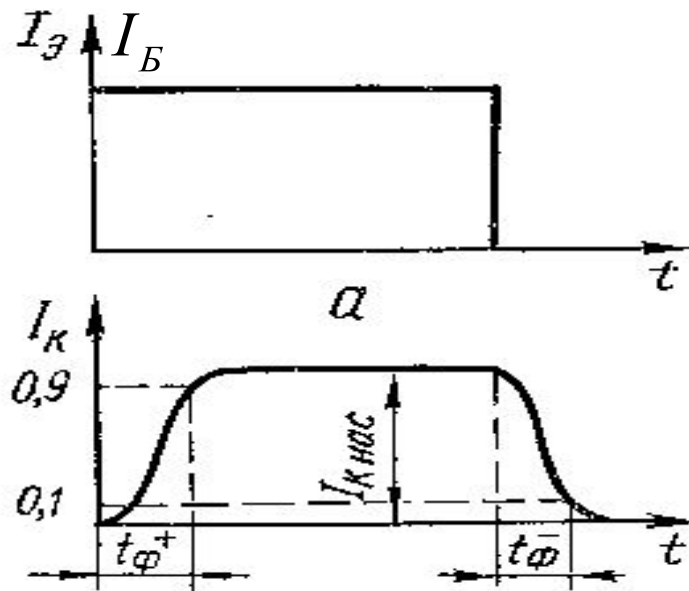
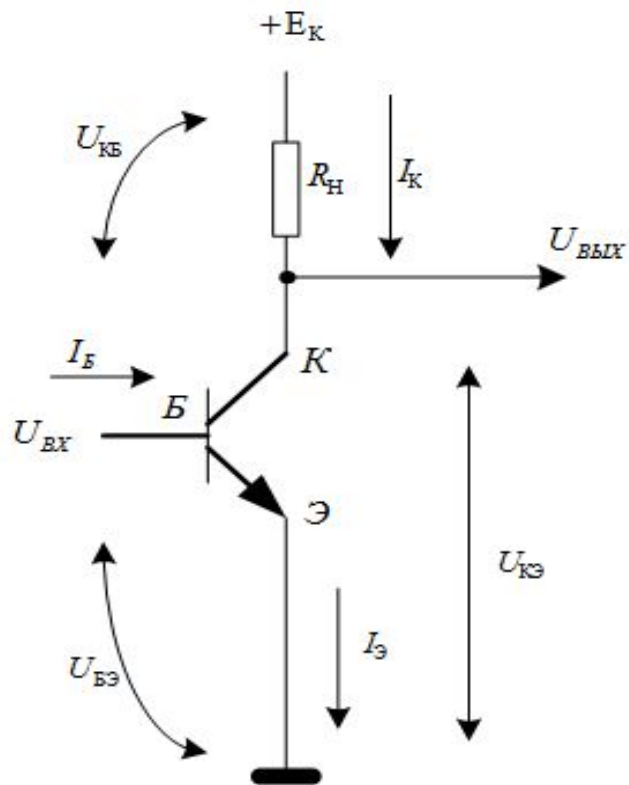
В ключевом режиме транзистор периодически переходит из открытого состояния (режим насыщения) в закрытое (режим отсечки) и наоборот, что соответствует двум устойчивым состояниям «0» и «1».



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

**Участок 2** – переходный режим

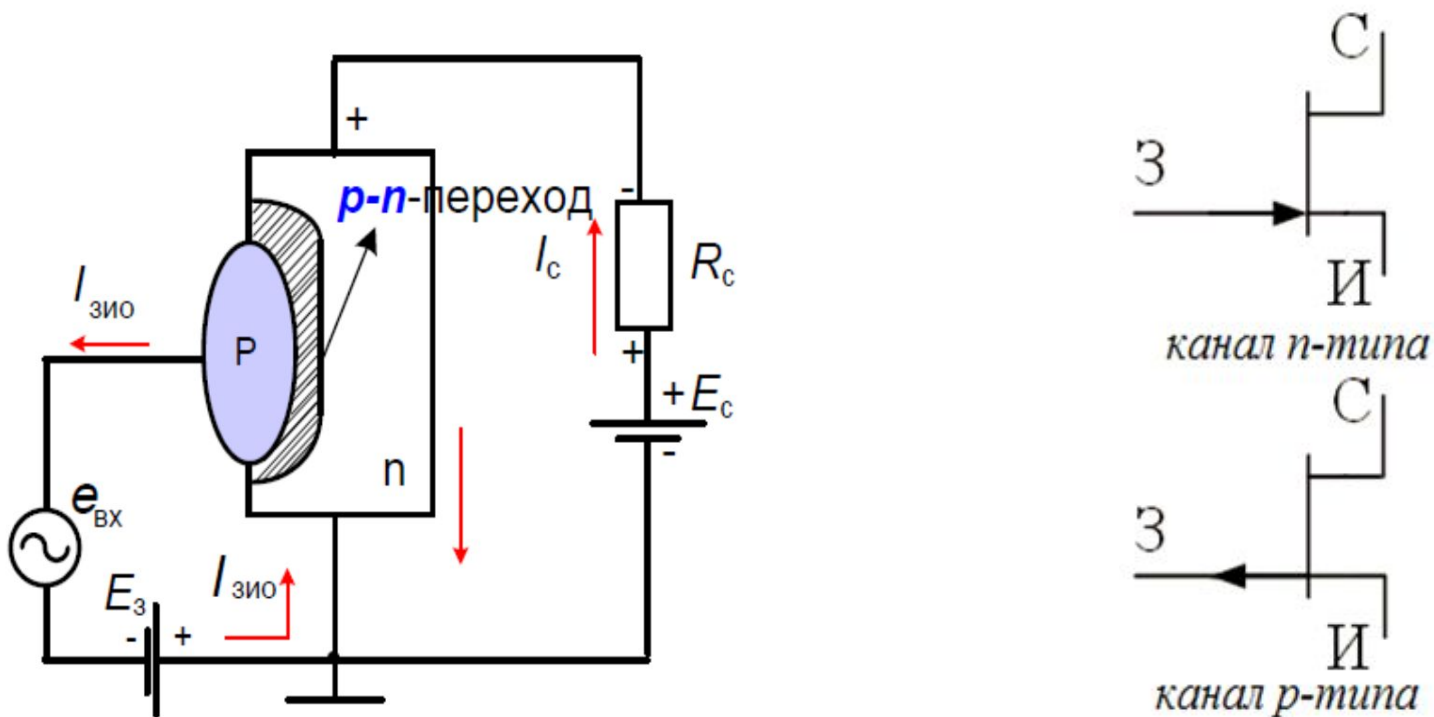
**Участок 3** -  $U_{КЭ} = 0$ ,  $I_K = E_K/R_H$  – режим "насыщения"



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**.

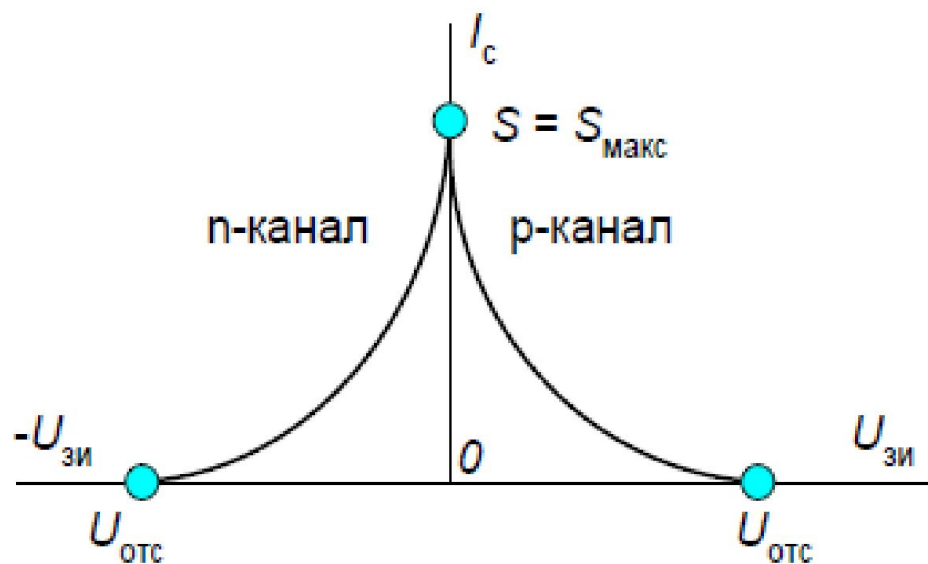
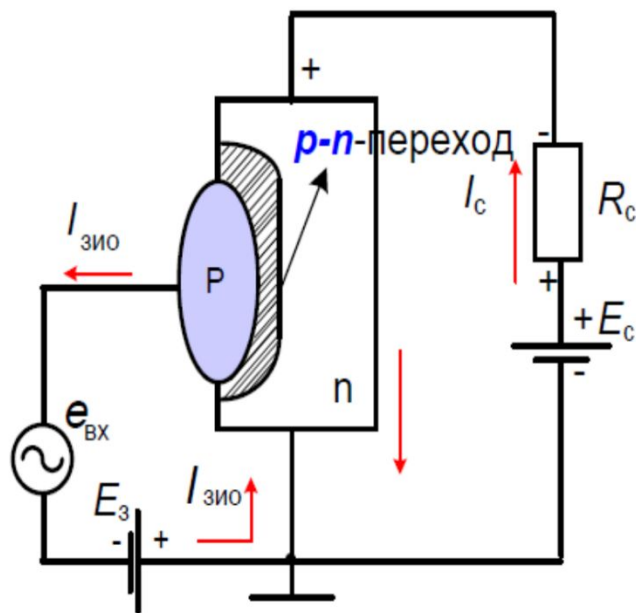


- Электрод, от которого движутся основные носители заряда в канале, называют истоком, а электрод, к которому движутся, - стоком. Управляющий электрод называют затвором.
- Для эффективного управления выходным током материал основного полупроводника должен быть высокоомным. Кроме того, начальная ширина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

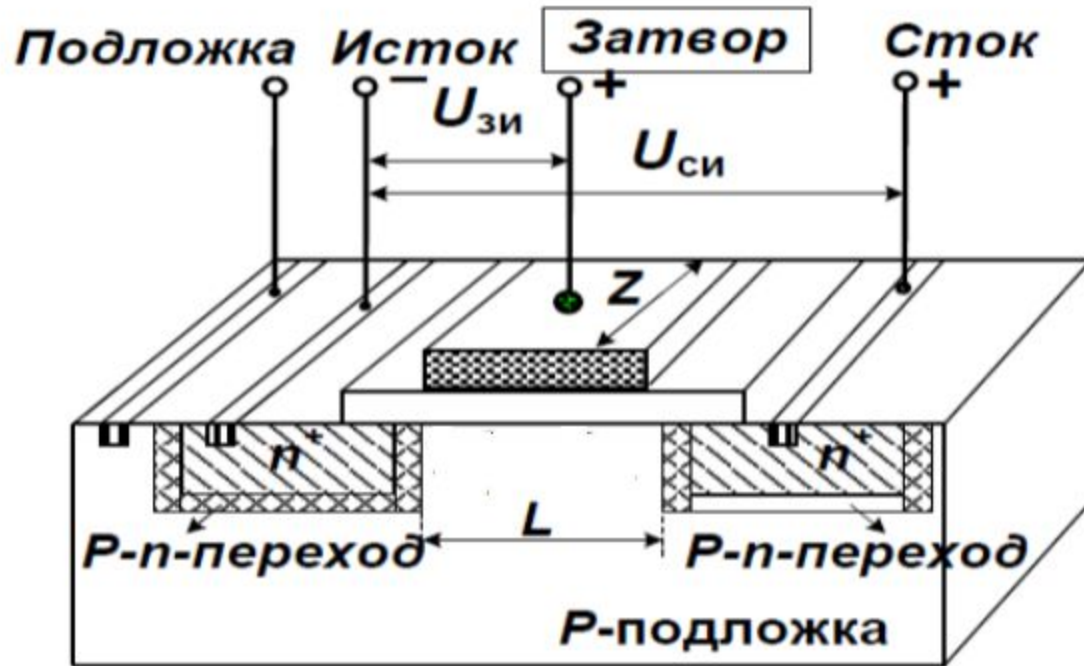


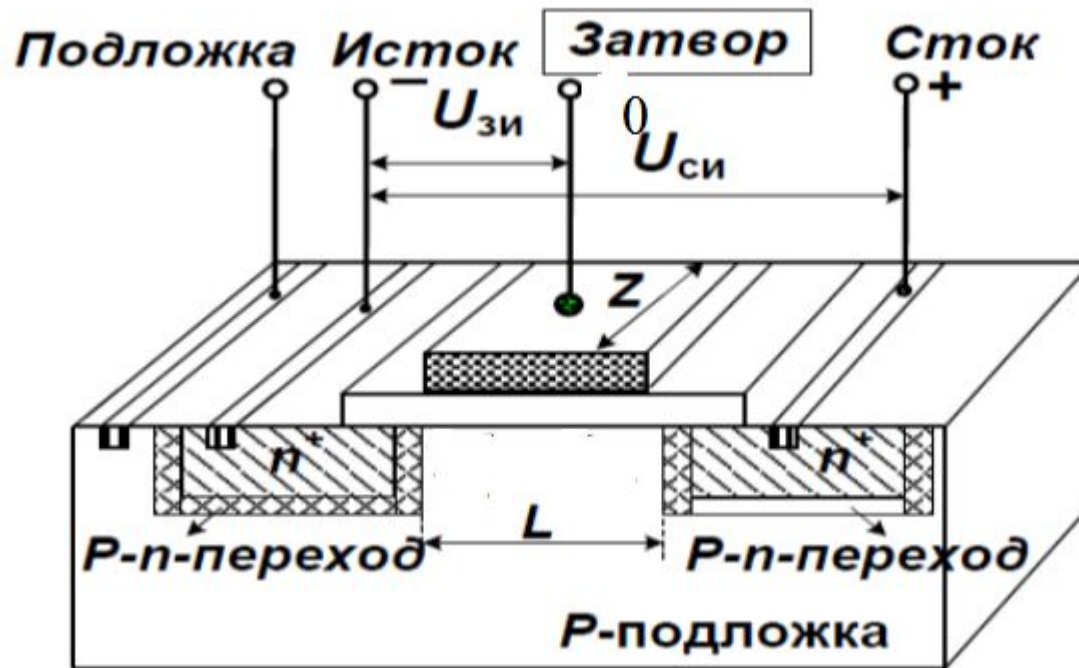
# Стоко-затворная характеристика канал n-типа

- 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.

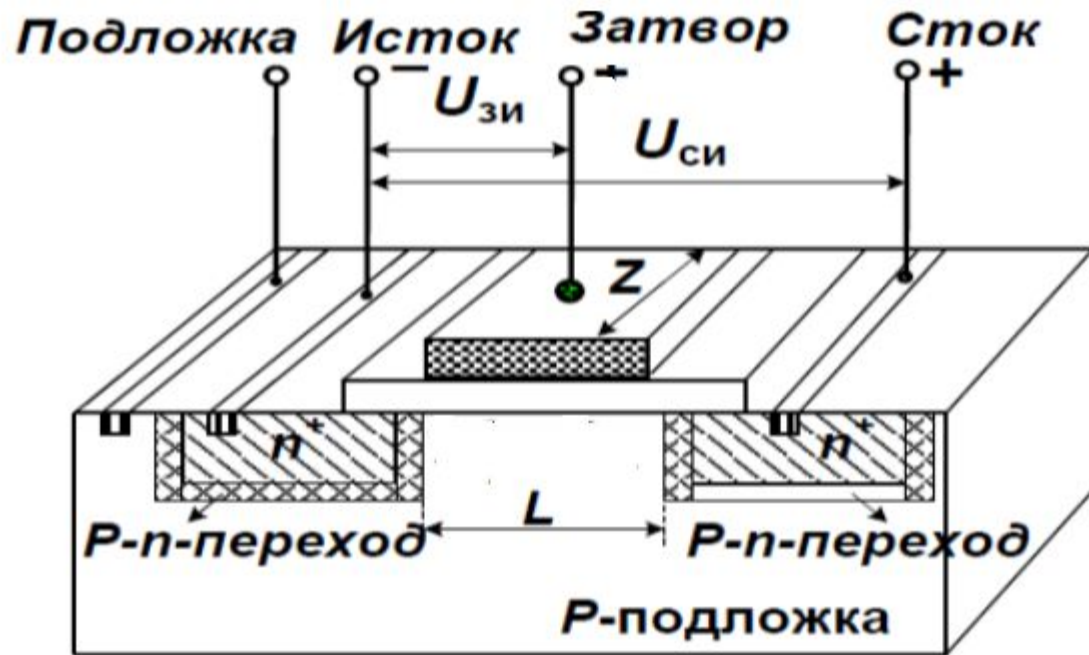


МДП-транзистор с индуцированным каналом (обогащенного типа, *Enhancement MOSFET, E-MOSFET*)

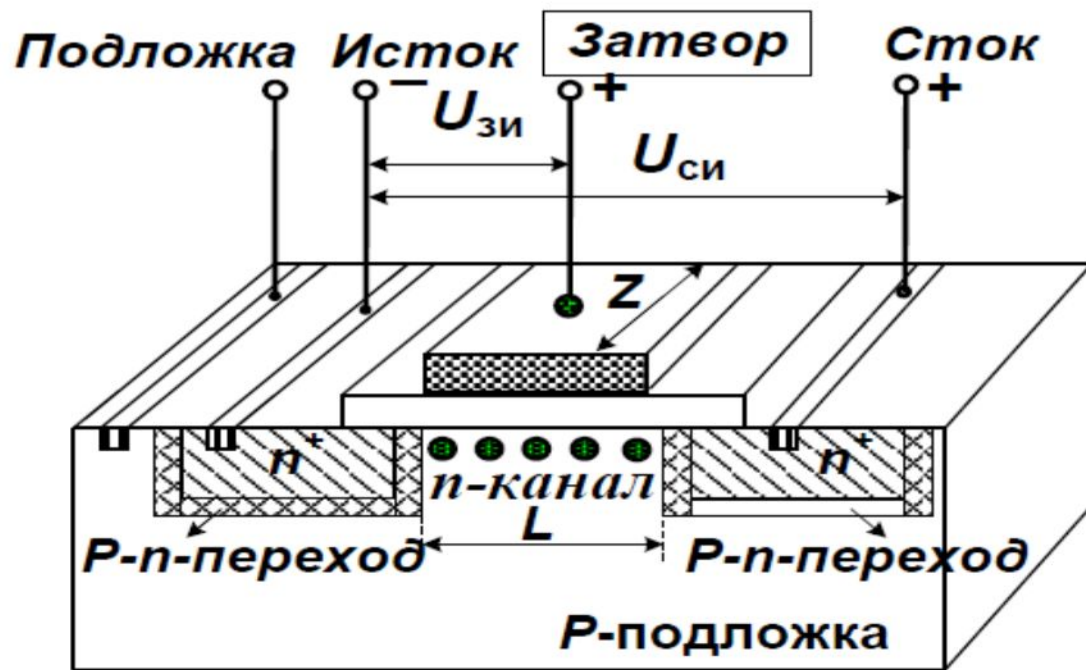




*Если* подать напряжение питания в цепь стока, а на затворе  $U_{зи} = 0$ , то ток в канале будет отсутствовать (за исключением тока неосновных носителей обратносмещённых переходов).



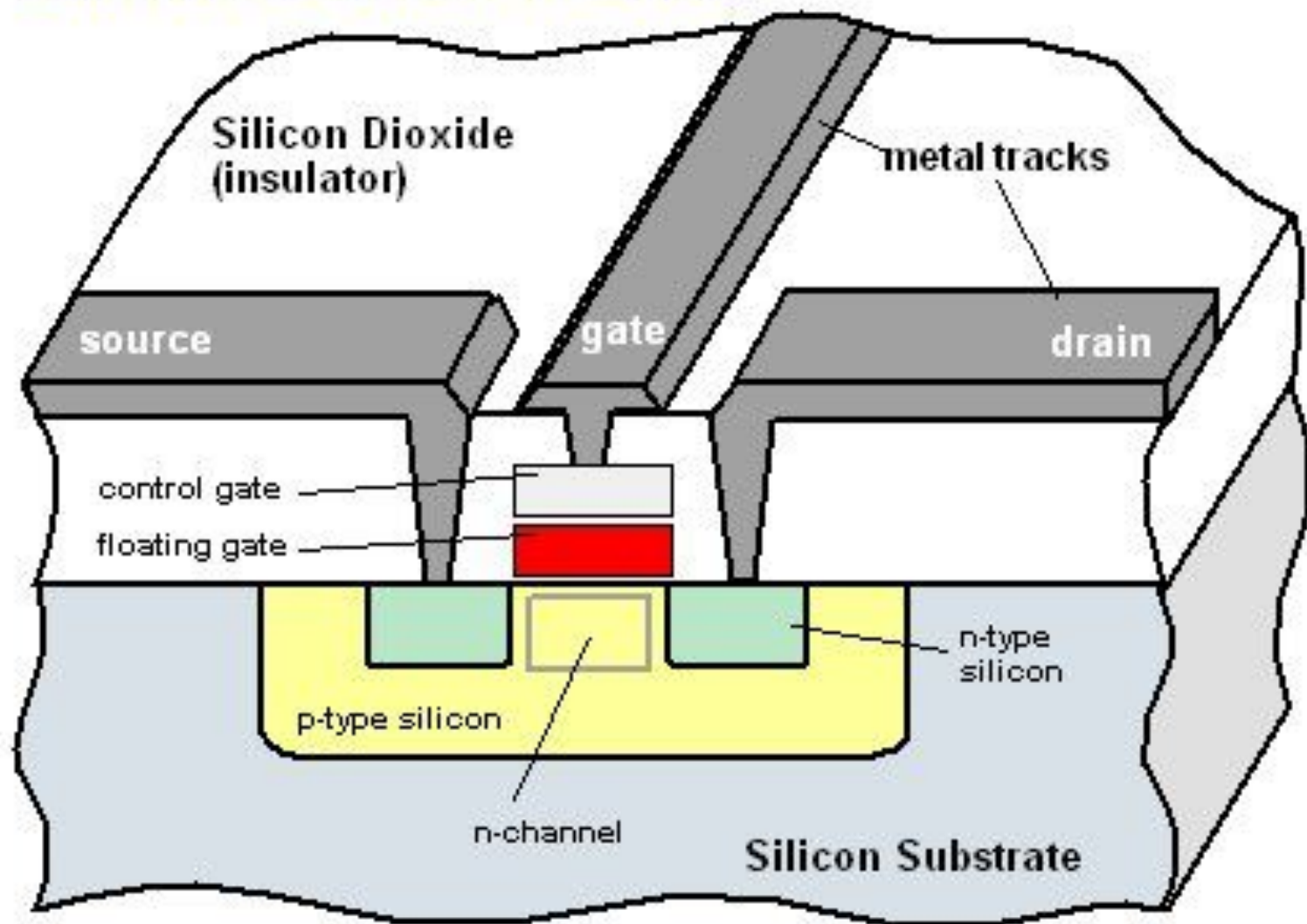
*Если* на затвор подать отрицательное напряжение, а на стоке сохранить положительное, то тока всё равно не будет: канал между стоком и истоком заполнится положительными зарядами, подтянутыми из *p*-подложки электрическим полем затвора.

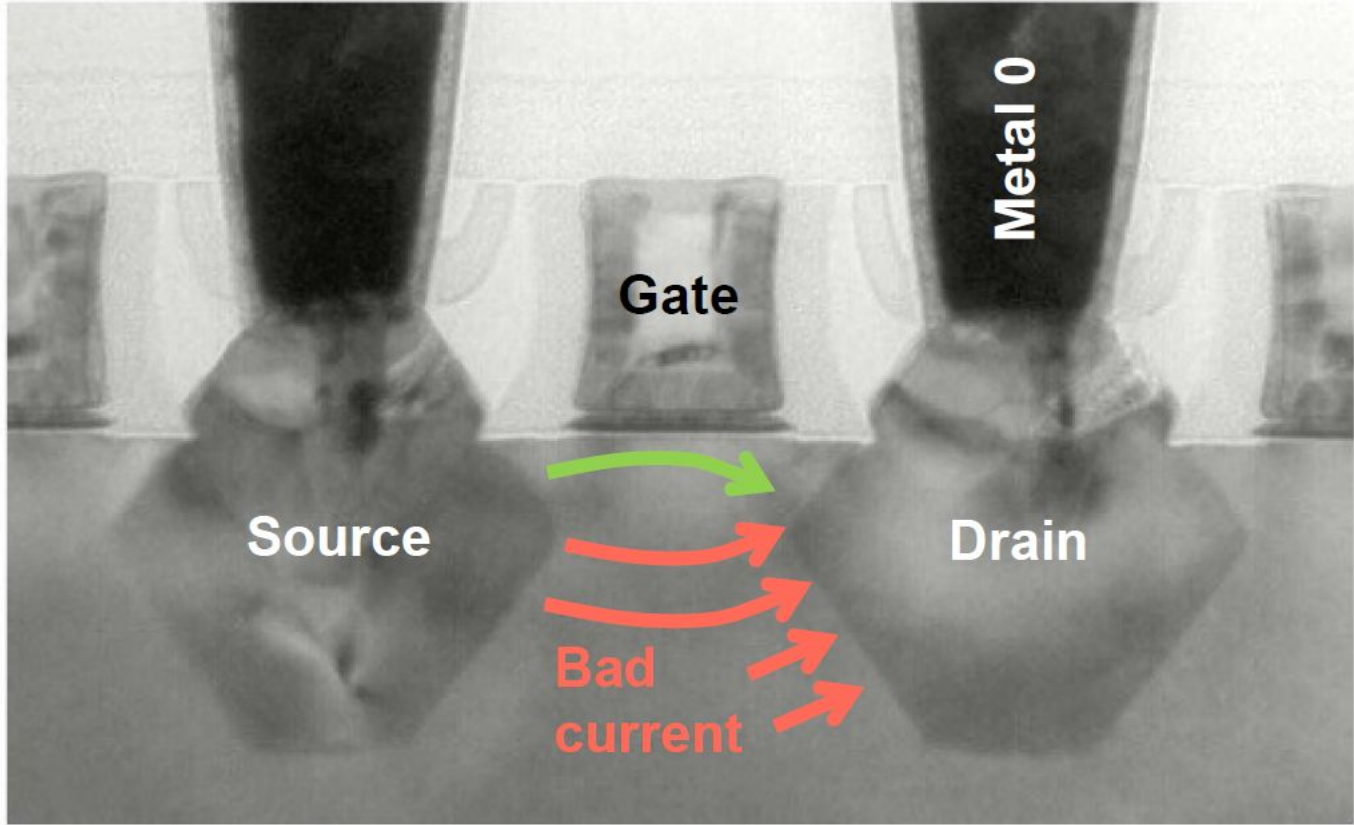


*Если* на затвор подать положительное напряжение, то под действием ускоряющего поля затвора в приповерхностный слой начнут подтягиваться носители  $n$ -типа. Уровень напряжения на затворе, при котором в канале появляется проводимость, называется *пороговым напряжением*. Обозначим его через  $U_0$ . При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



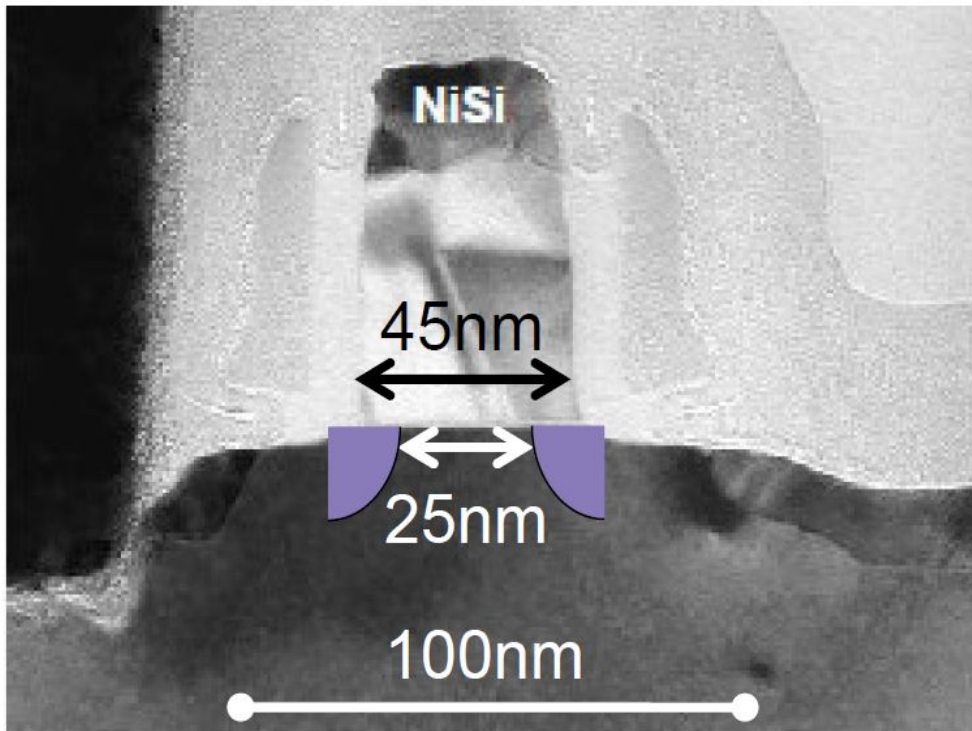
## EEPROM and Flash Transistor



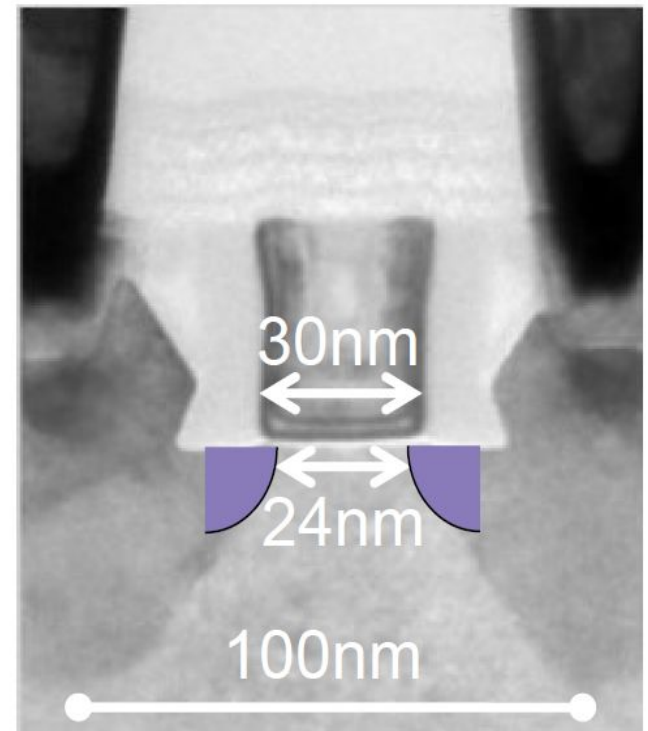


Эффективная длина канала в технологиях 90 нм и 32 нм. Транзисторы сняты в одном и том же масштабе. Полукруги на рисунках — это форма дополнительного слабого подлегирования стоков (LDD, lightly doped drain), делаемого для уменьшения ширины рп-переходов.

90 nm node



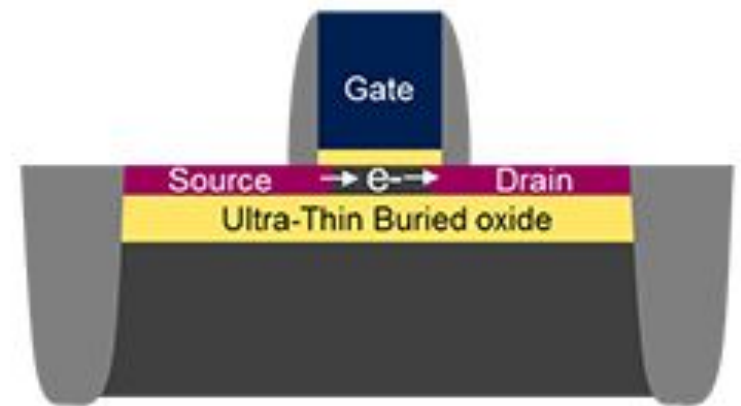
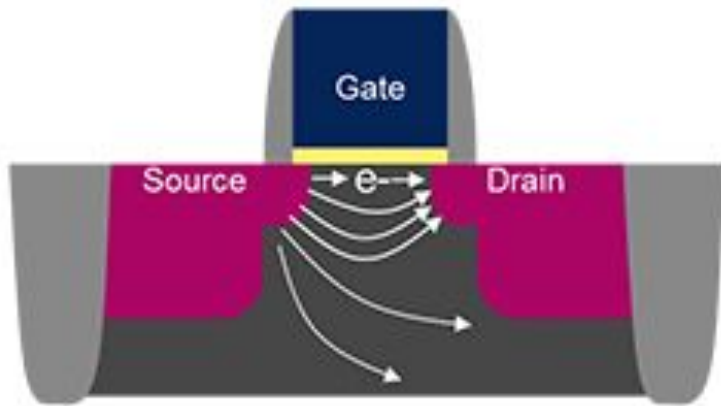
32 nm node





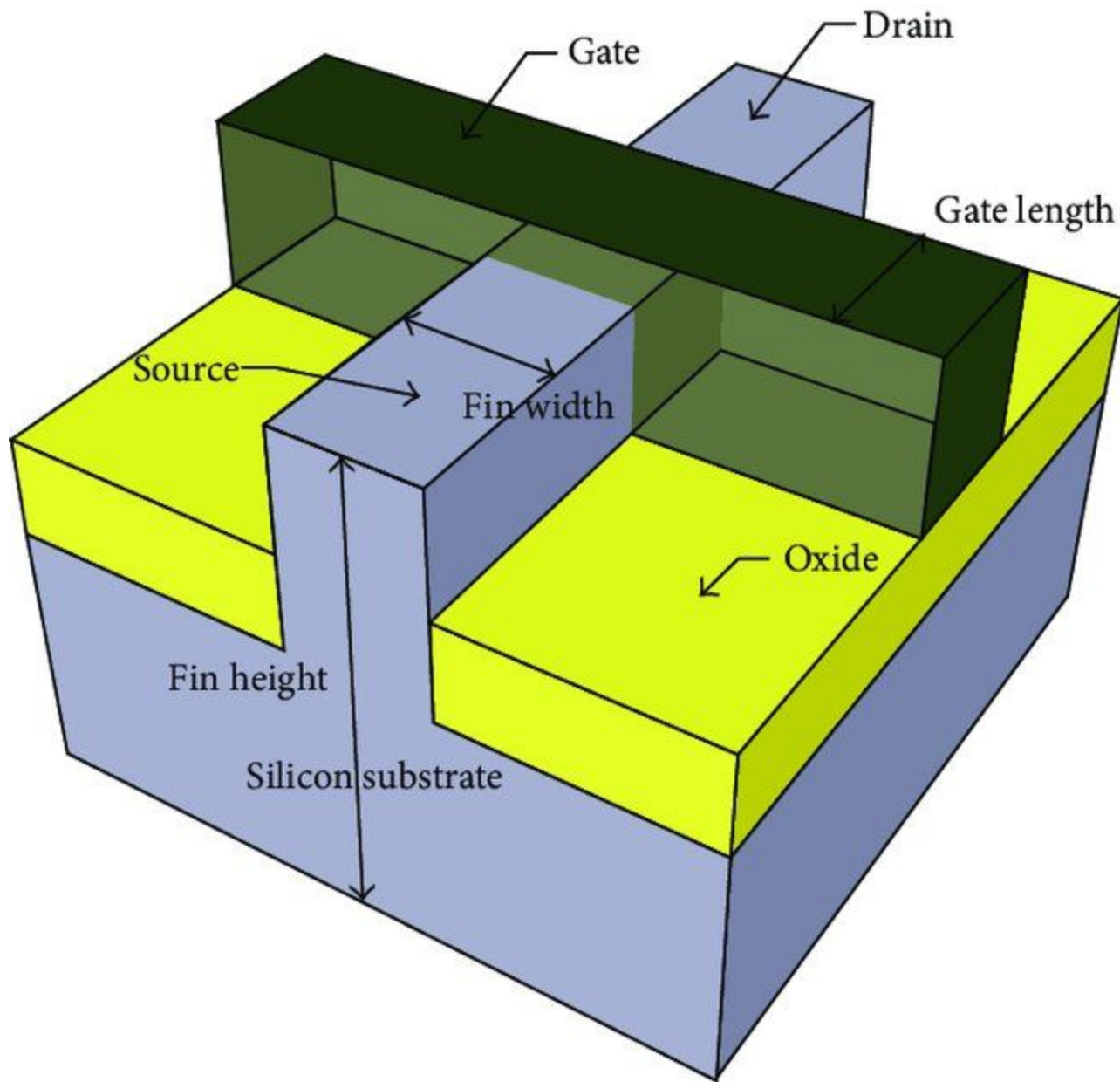
Bulk

FD-SEI



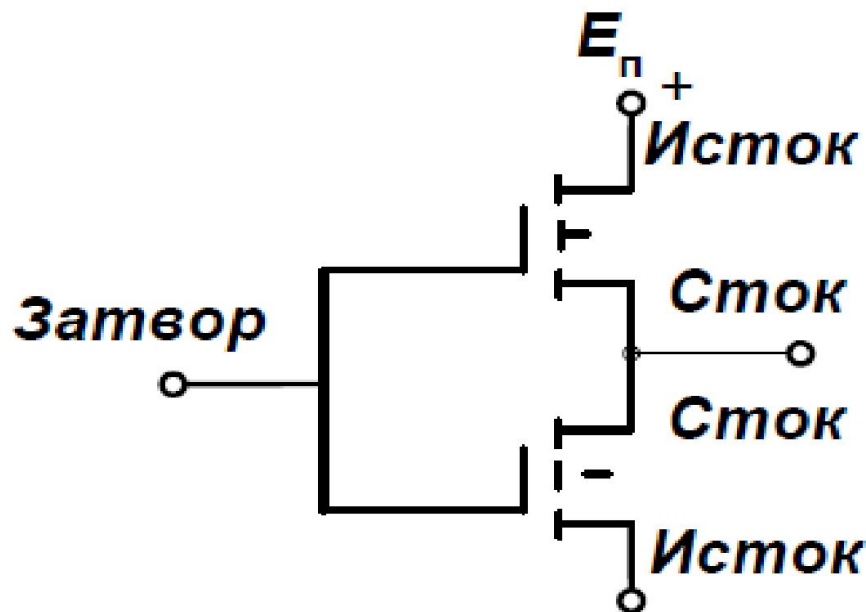
## Сравнение транзисторов, выполненных по обычной объемной и FDSOI (полностью обедненный КНИ) технологиях.

**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.

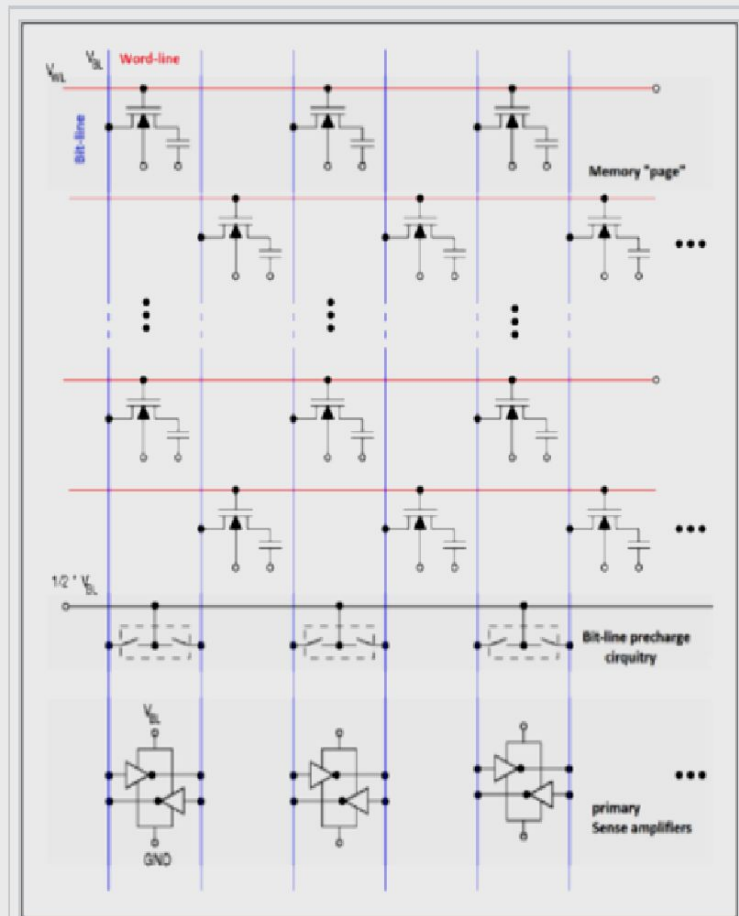
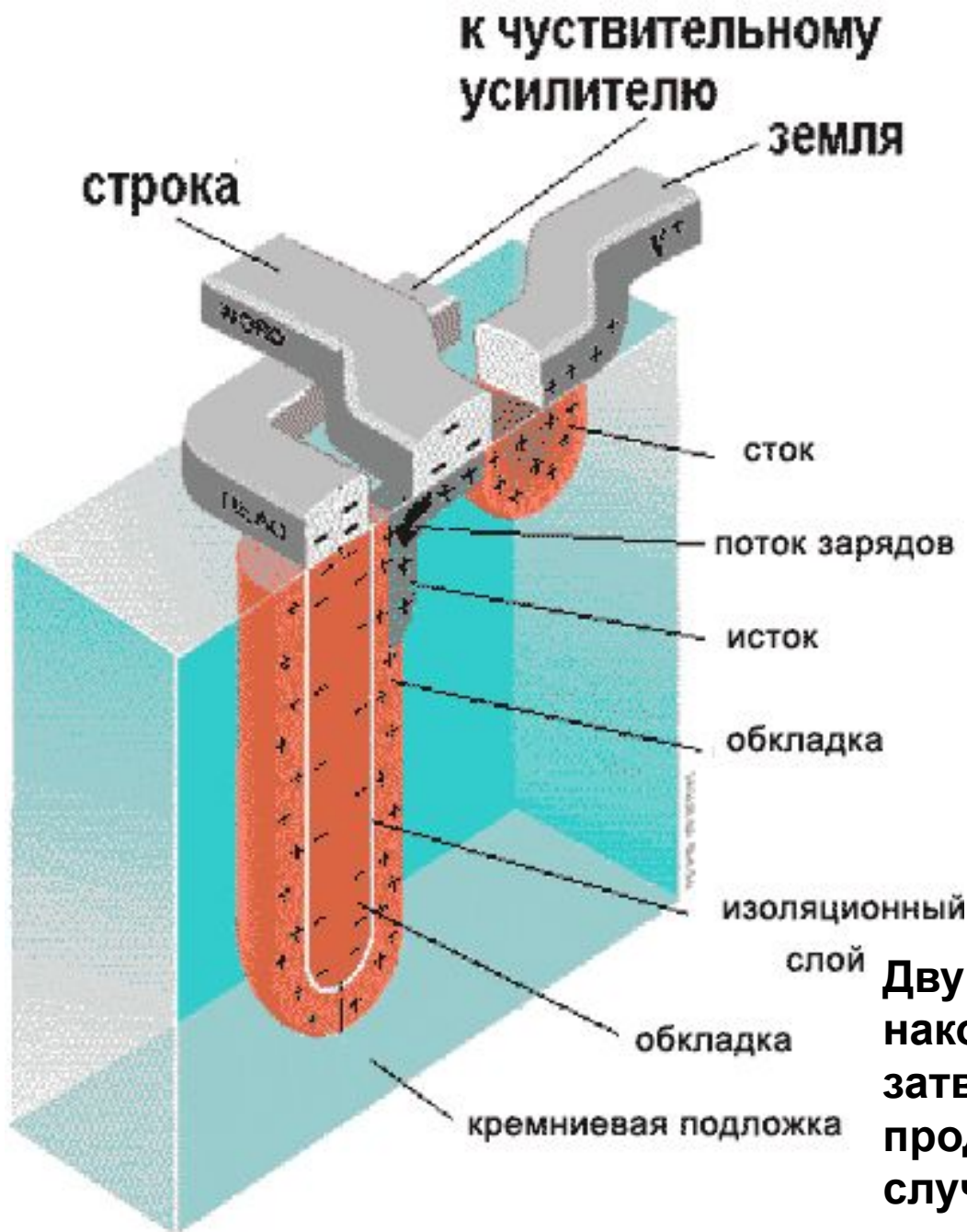


# КМОП (комплементарная структура металл-оксид-полупроводник; *CMOS, complementary metal-oxide-semiconductor*)

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



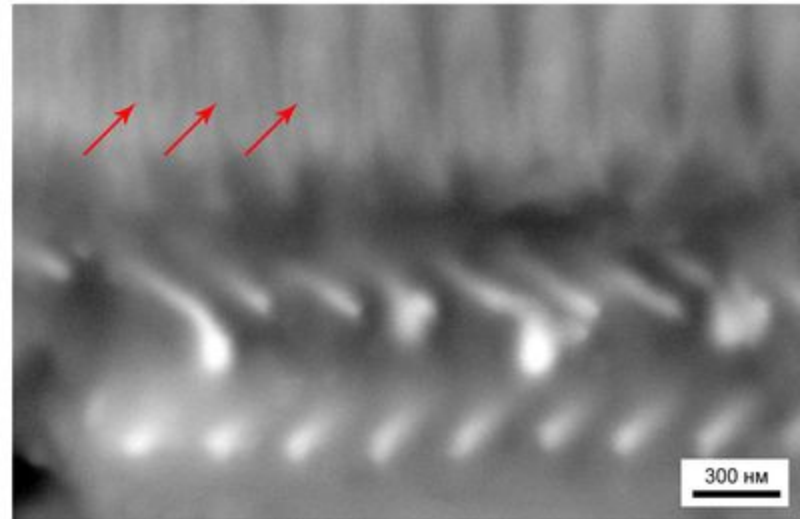
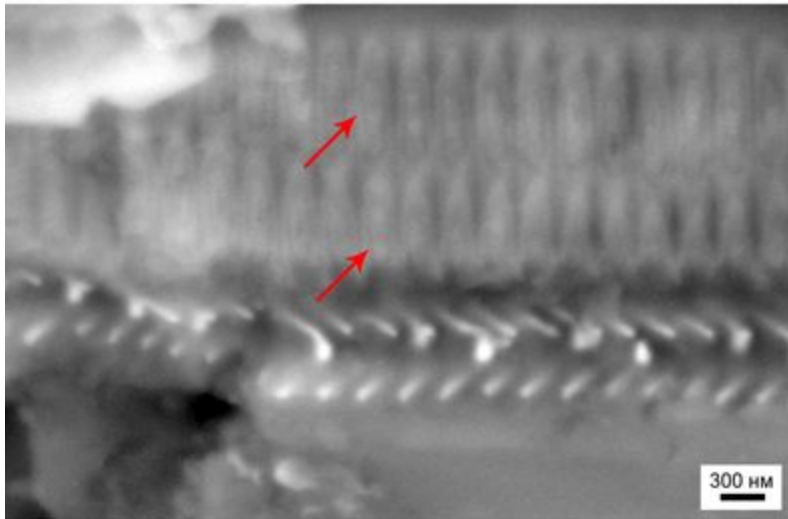
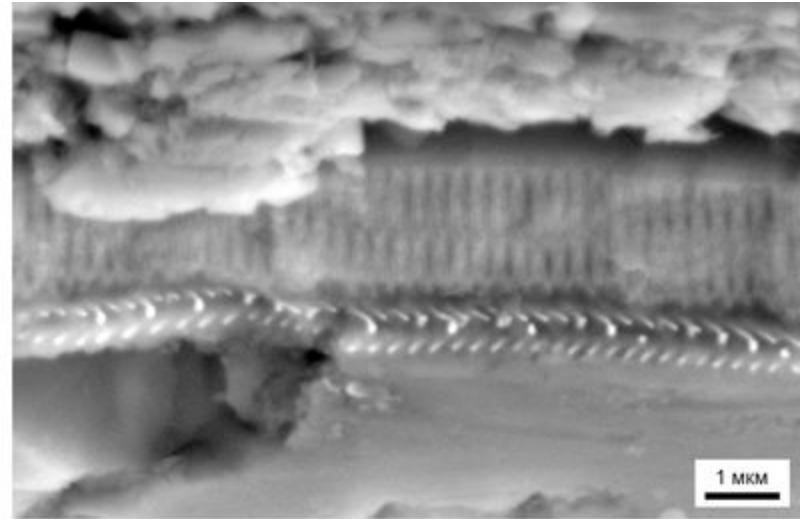
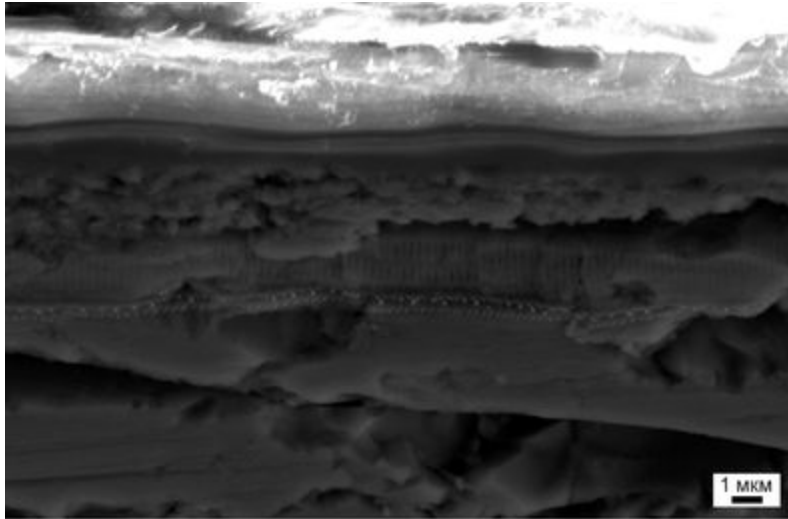
- Отличительной особенностью схем КМОП по сравнению с биполярными технологиями является очень малое энергопотребление в статическом режиме.
- Отличительной особенностью структуры КМОП по сравнению с другими МОП-структурами ([N-МОП](#), [P-МОП](#)) является наличие как n-, так и p-канальных полевых транзисторов;
- 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

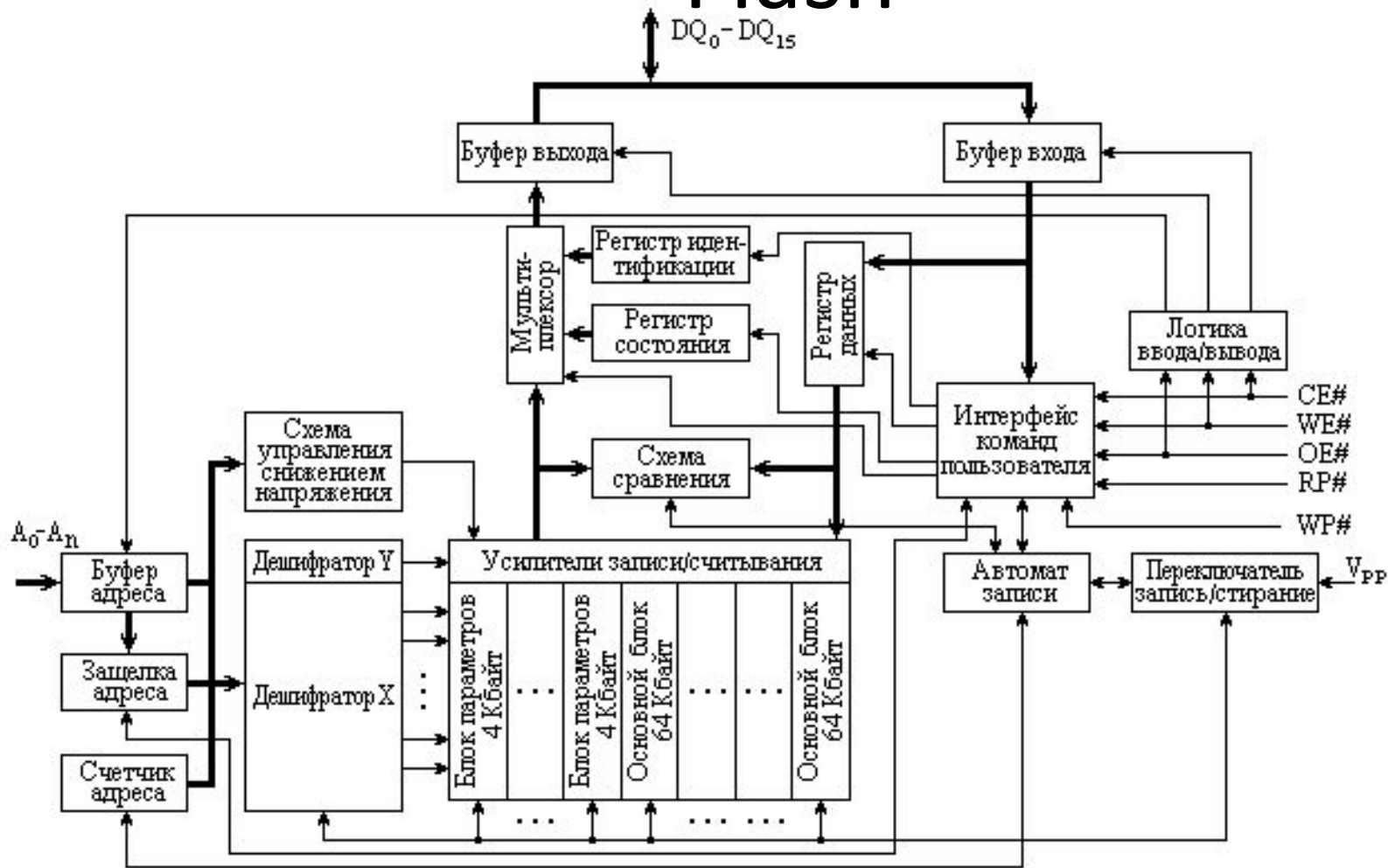
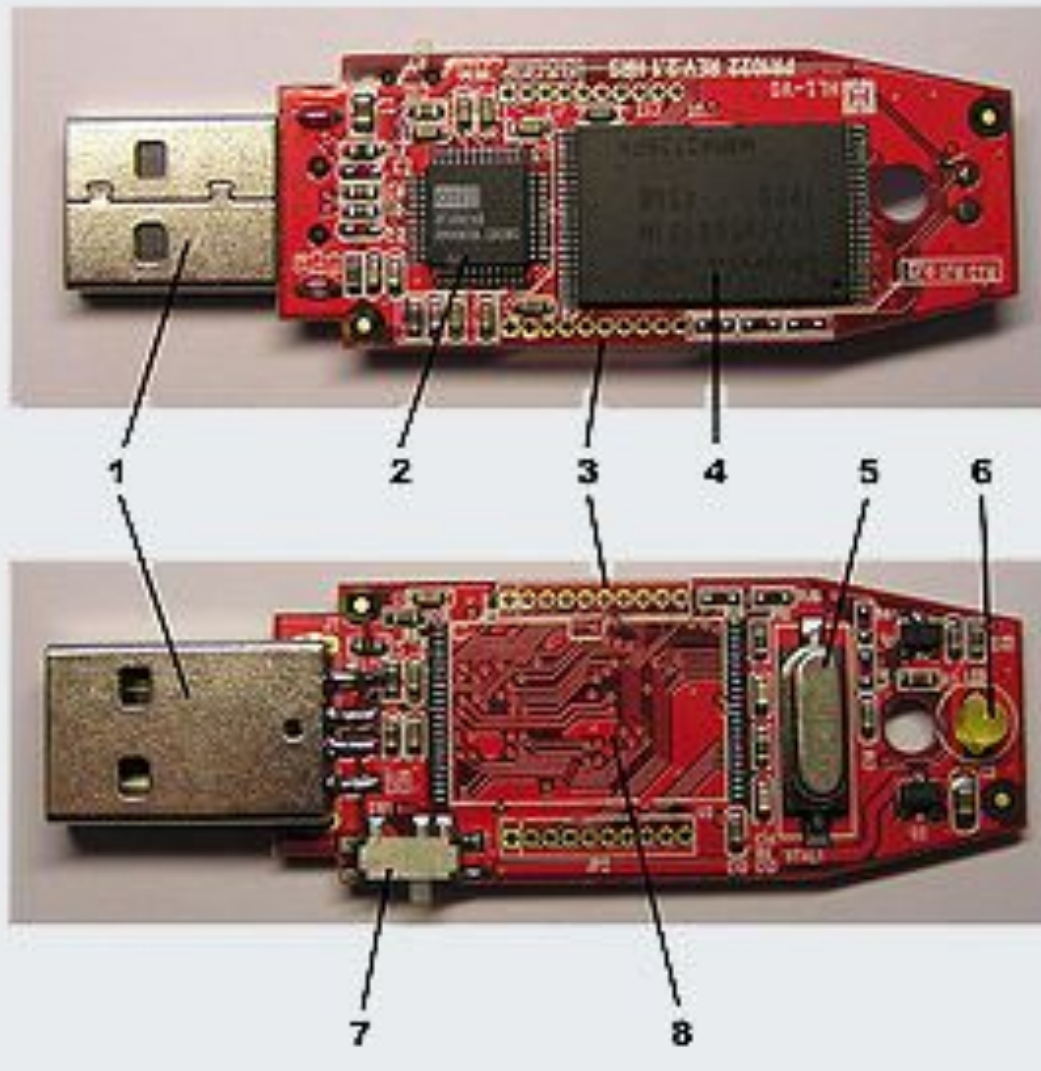
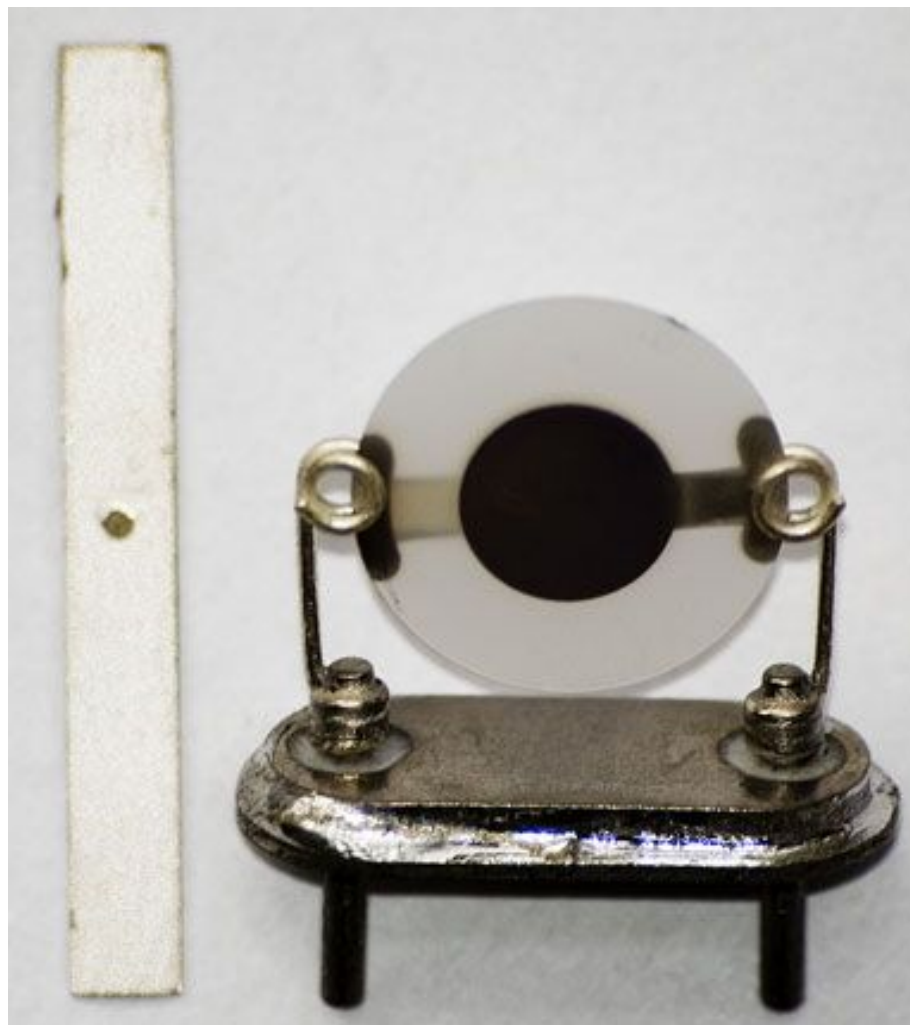


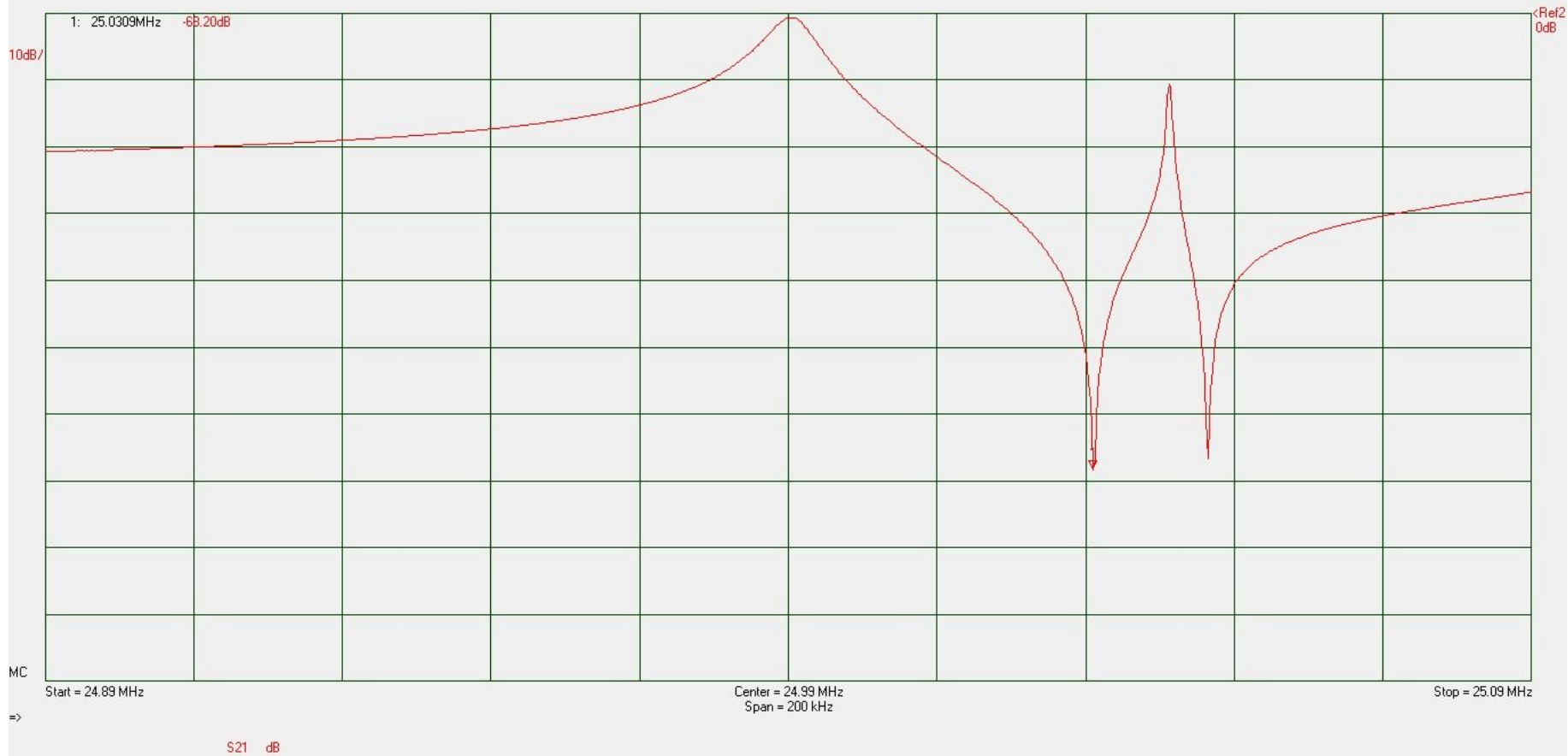
Рис. 27. Структурная схема флэш-памяти

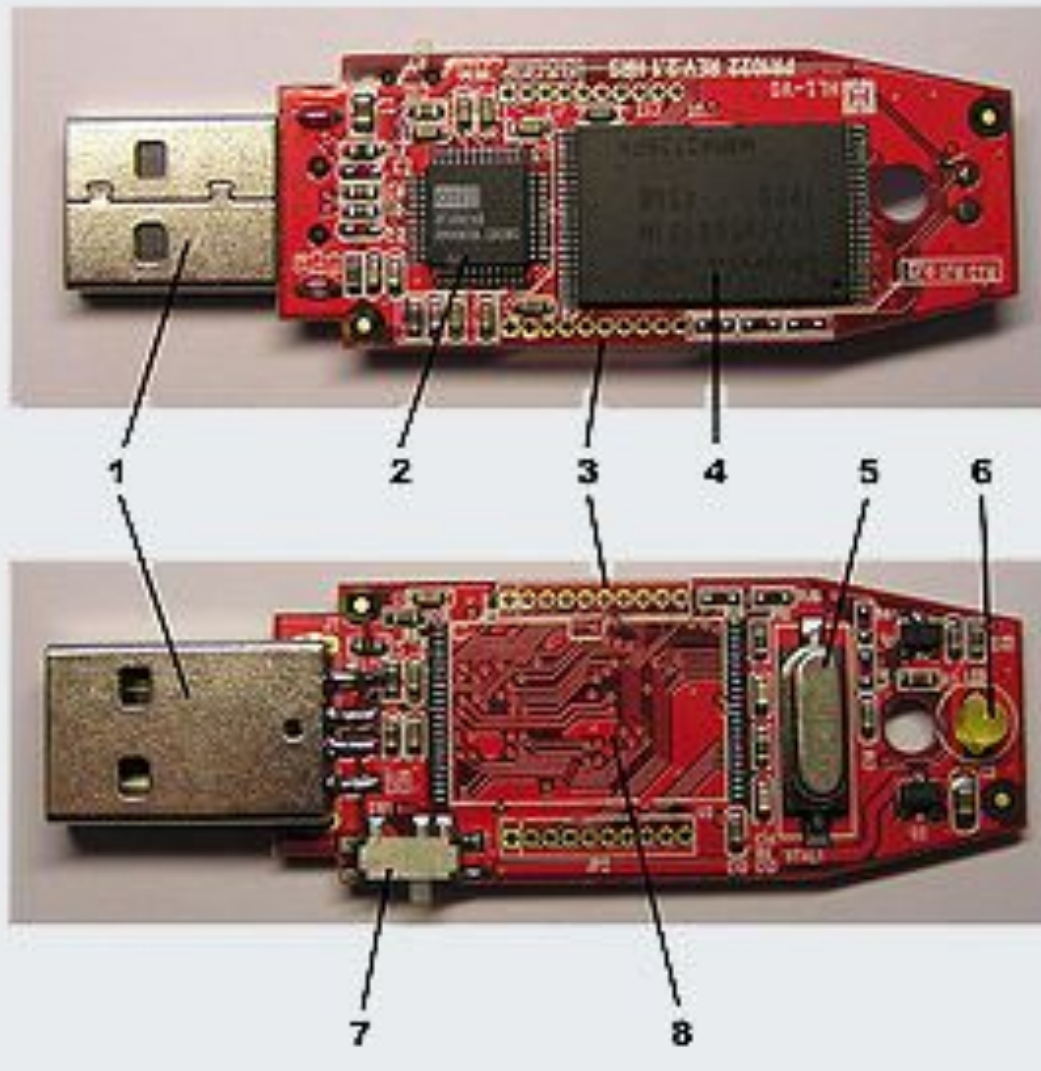


**1. USB-коннектор, 2. контроллер, 3. РСВ-многослойная печатная плата, 4. модуль NAND памяти, 5. кварцевый генератор опорной частоты, 6. LED-индикатор (сейчас, правда, на многих флешках его нет), 7. переключатель защиты от записи (аналогично, на многих флешках отсутствует), 8. место для дополнительной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



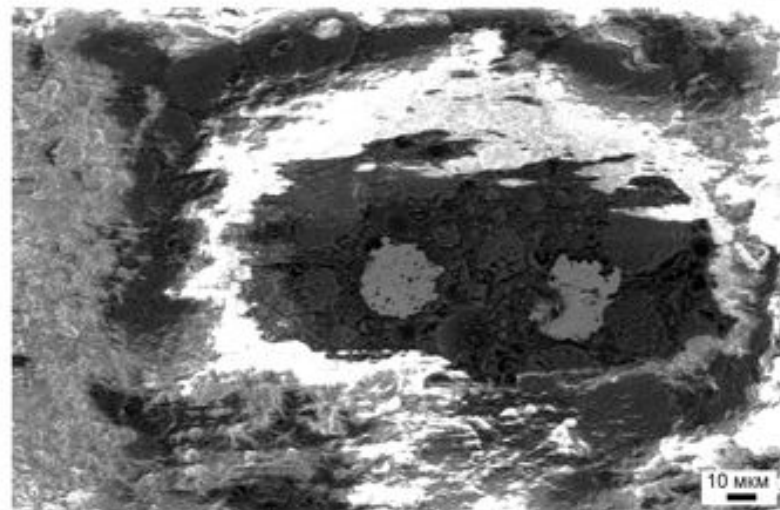
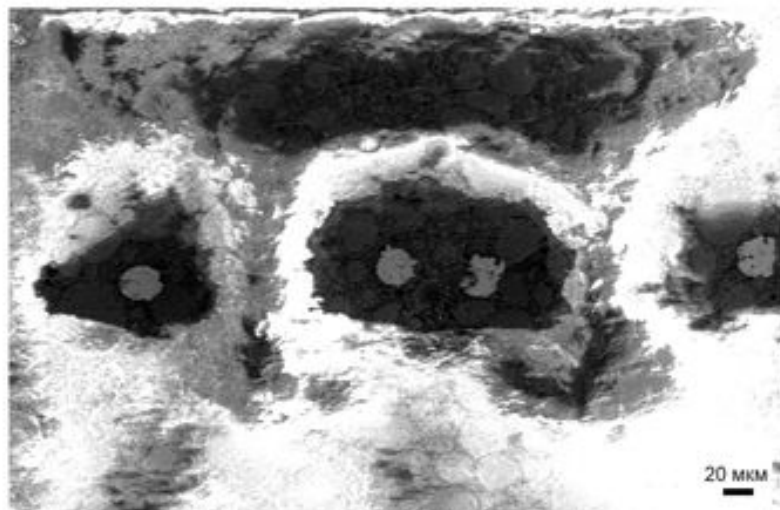
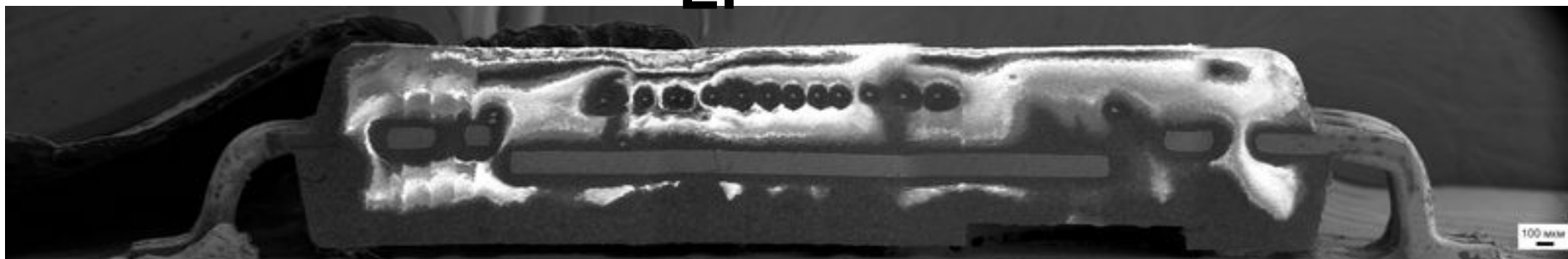






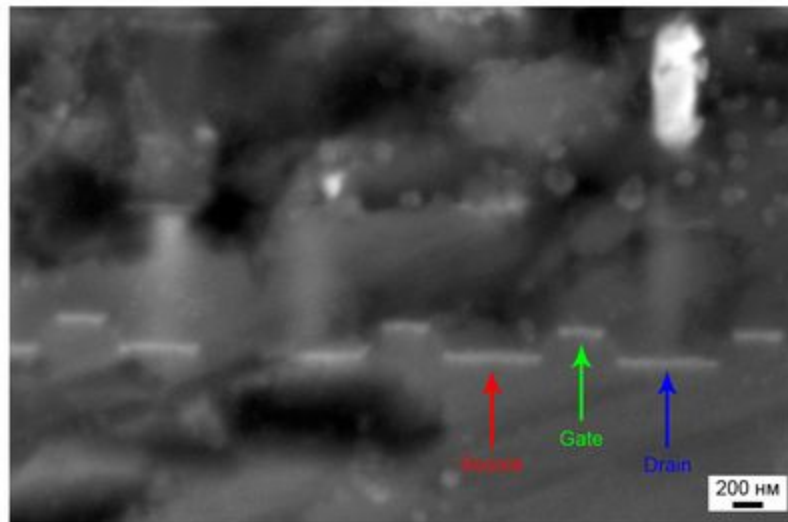
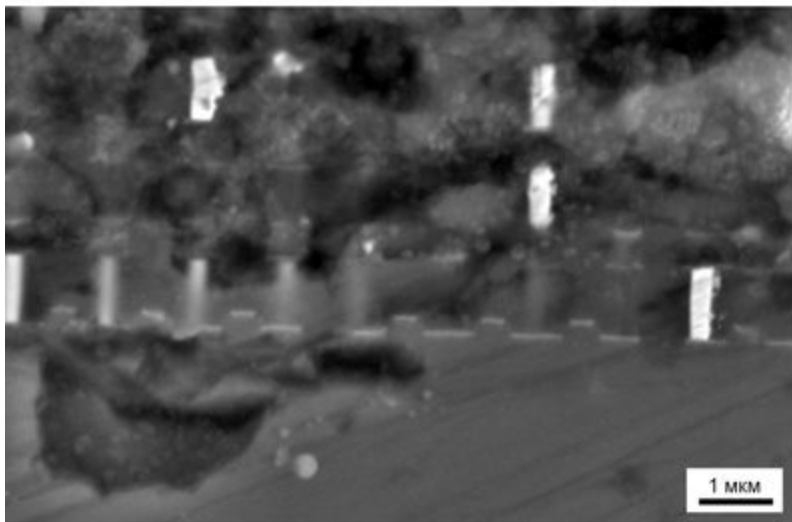
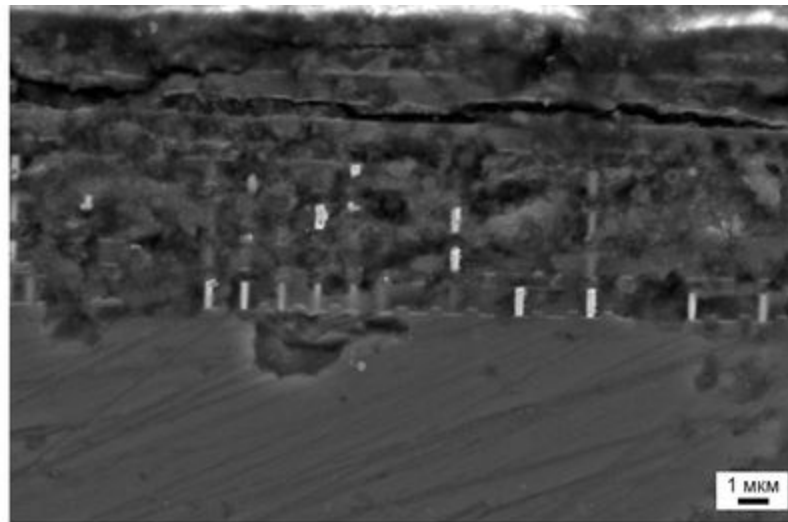
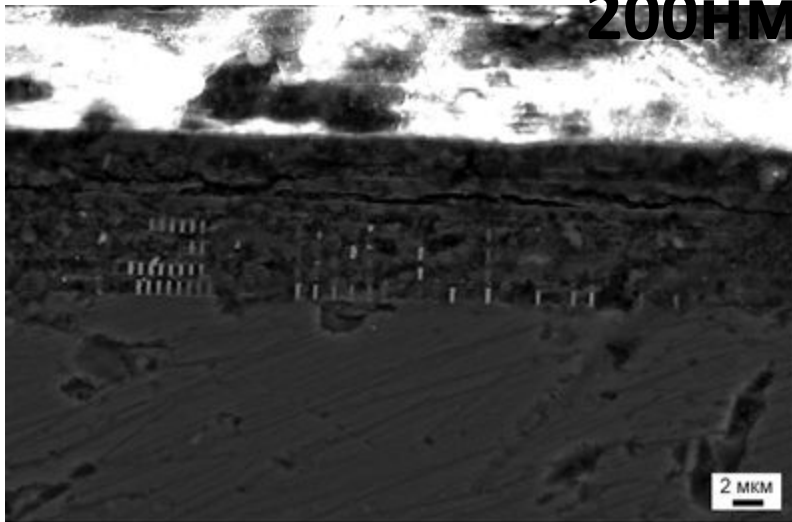
**1. USB-коннектор, 2. контроллер, 3. РСВ-многослойная печатная плата, 4. модуль NAND памяти, 5. кварцевый генератор опорной частоты, 6. LED-индикатор (сейчас, правда, на многих флешках его нет), 7. переключатель защиты от записи (аналогично, на многих флешках отсутствует), 8. место для дополнительной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

# КОНТРОЛЛ ЕР



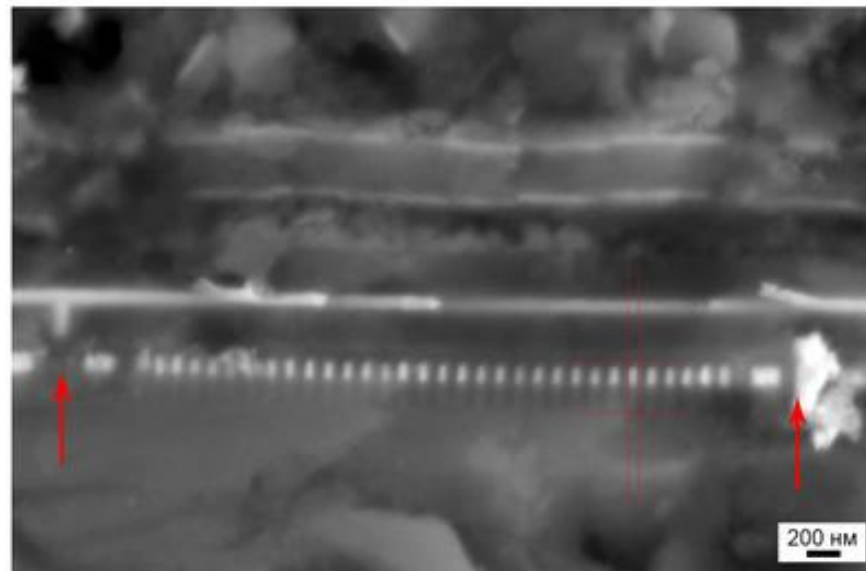
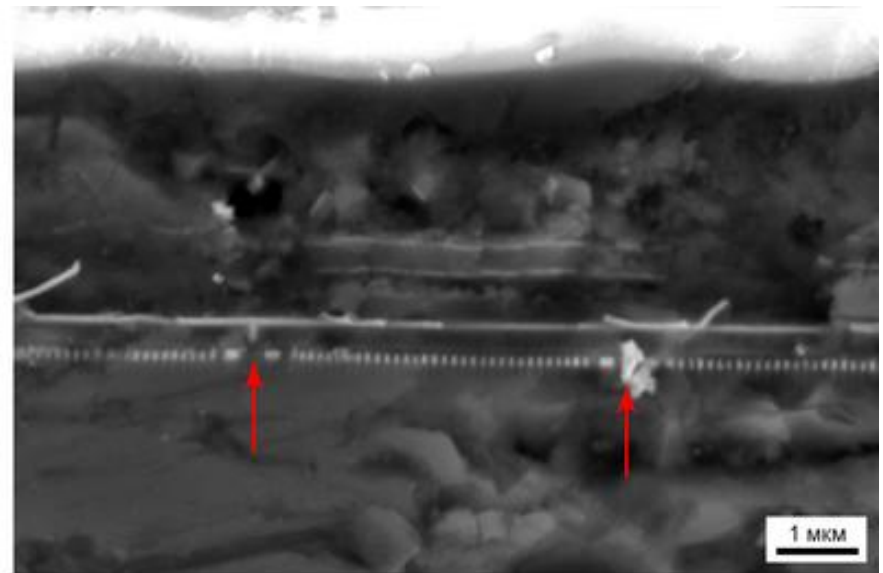
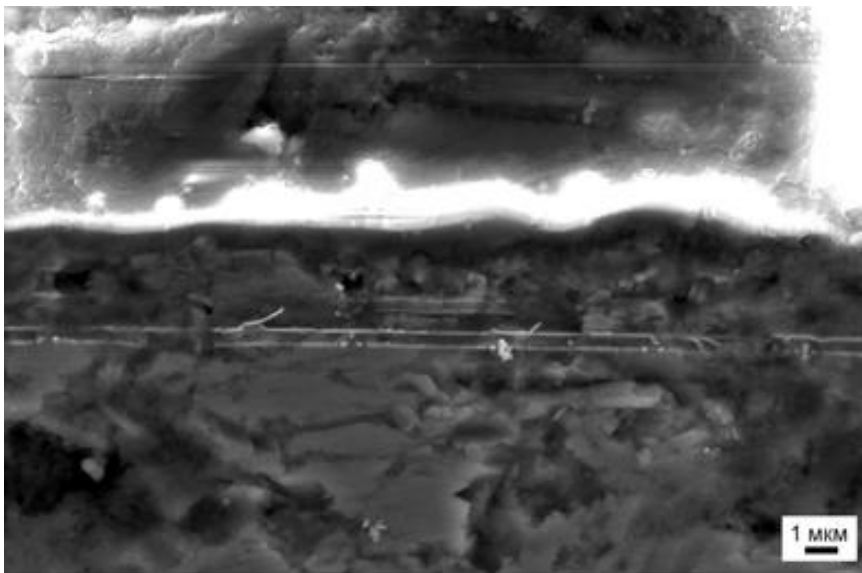
# КОНТРОЛЛЕР

200nm

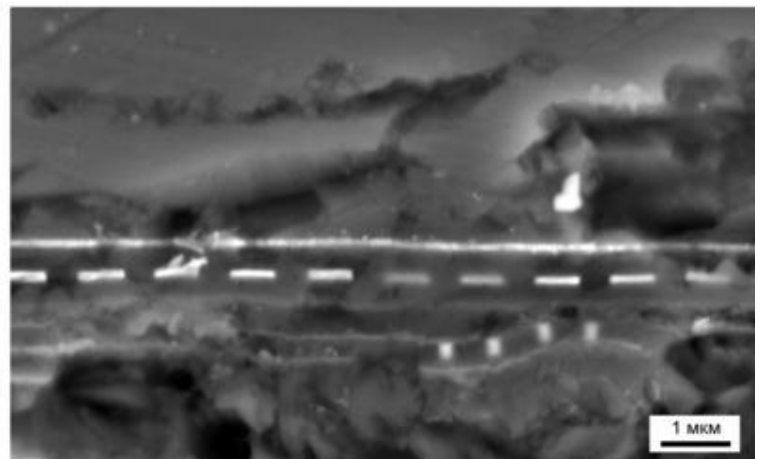
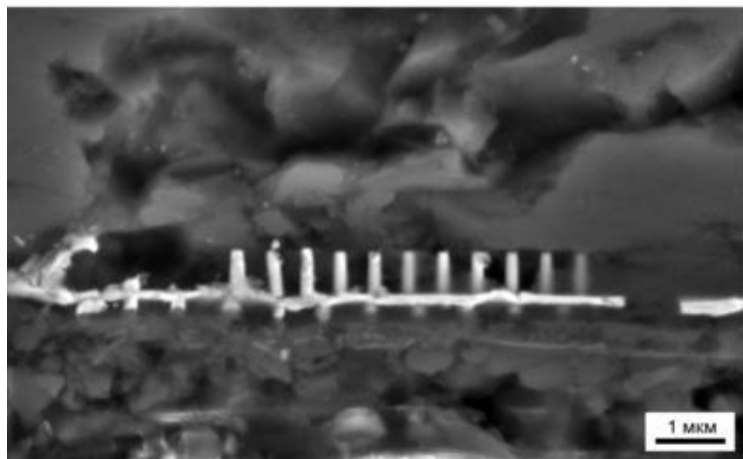
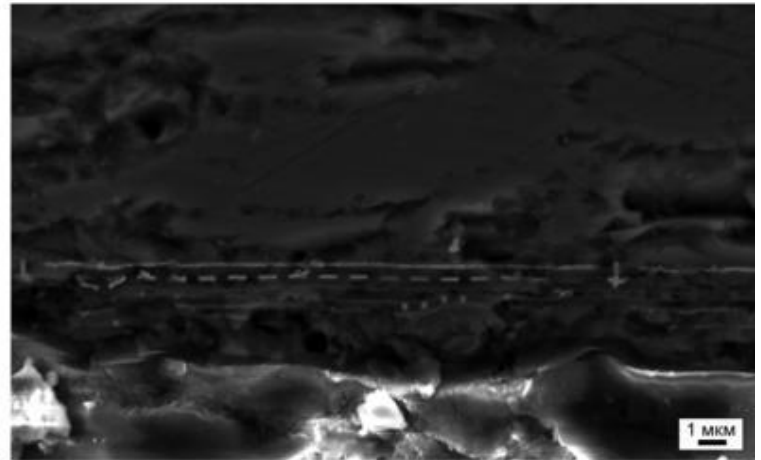
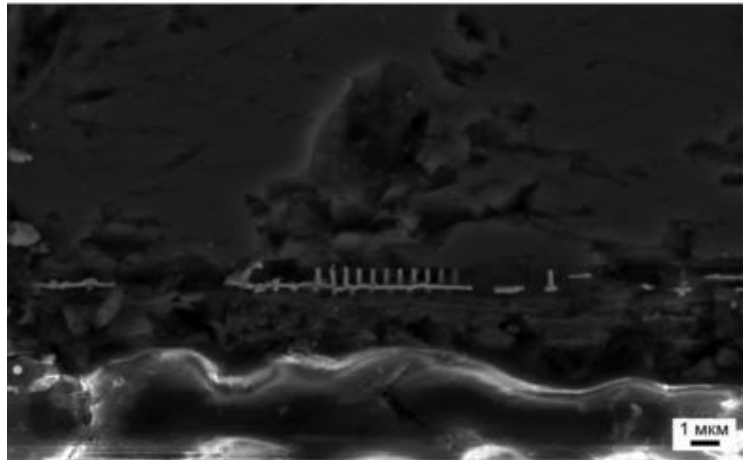
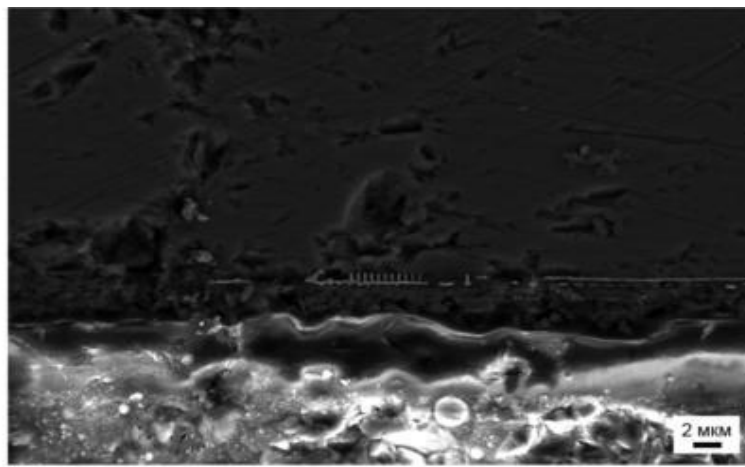


Карта памяти модуль флеш:

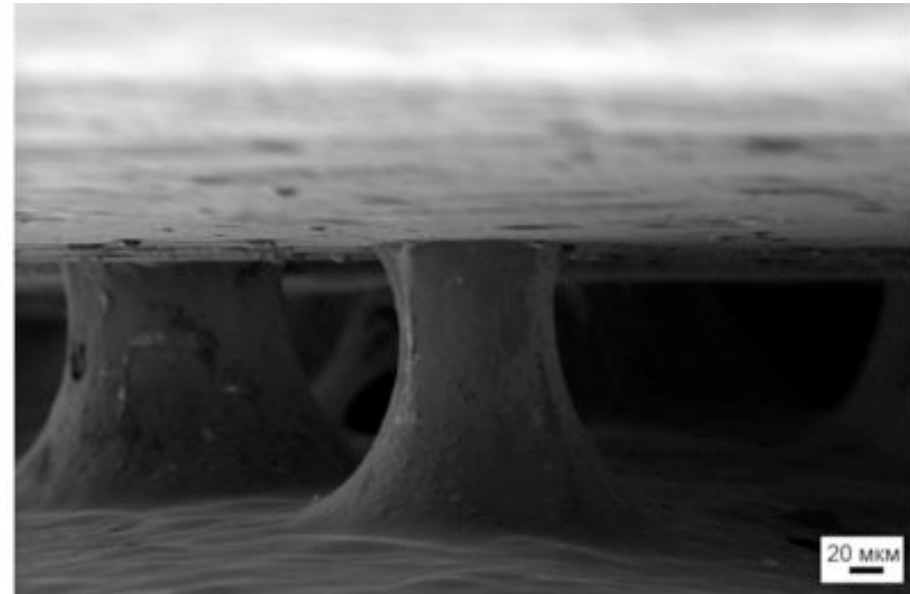
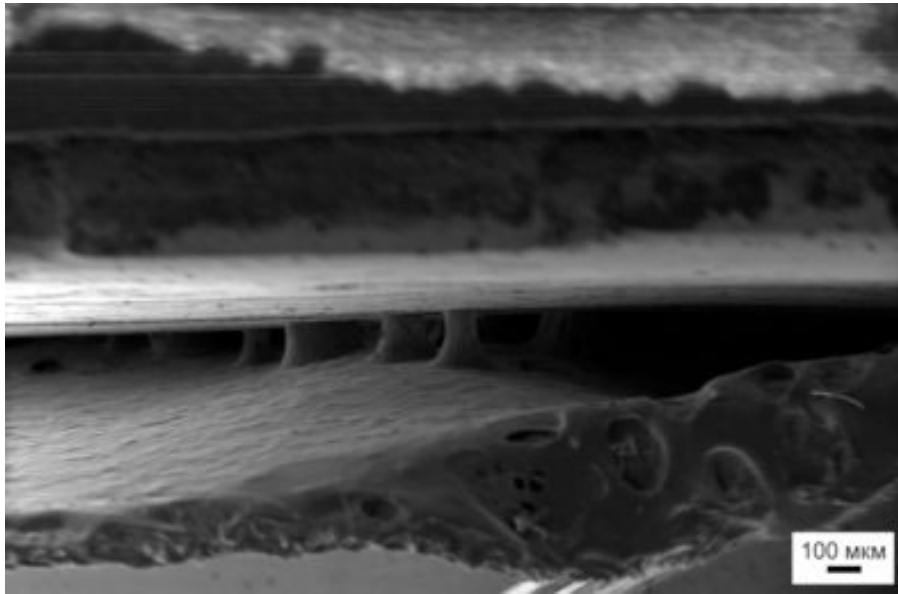




**Ячейки памяти. Границы блоков выделены стрелочками. Линиями обозначены отдельные ячейки. Для справки, «толщина» ячейки (т.е. расстояние между двумя светлыми точками на нижнем изображении) около 60 нм.**

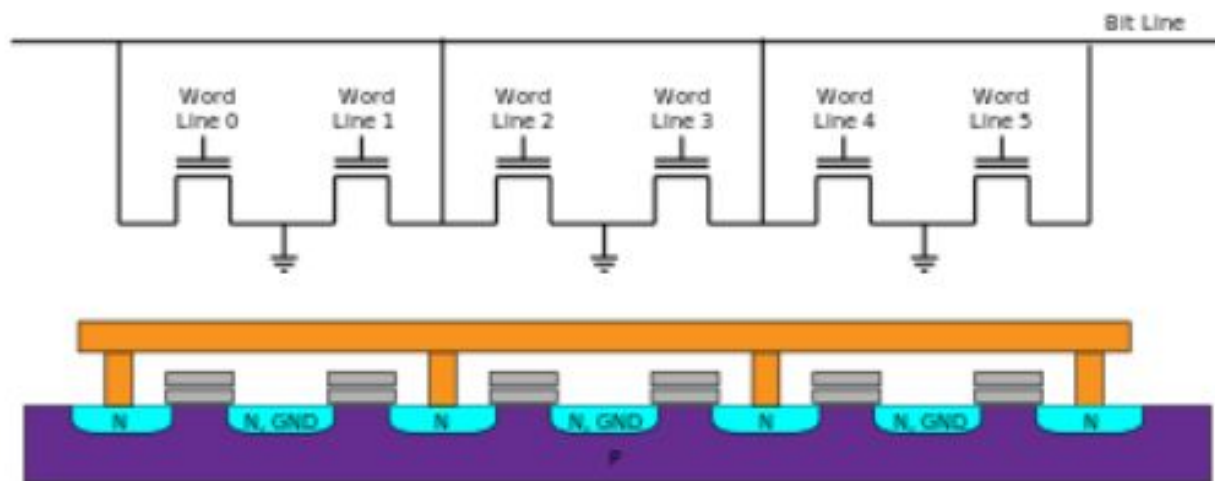






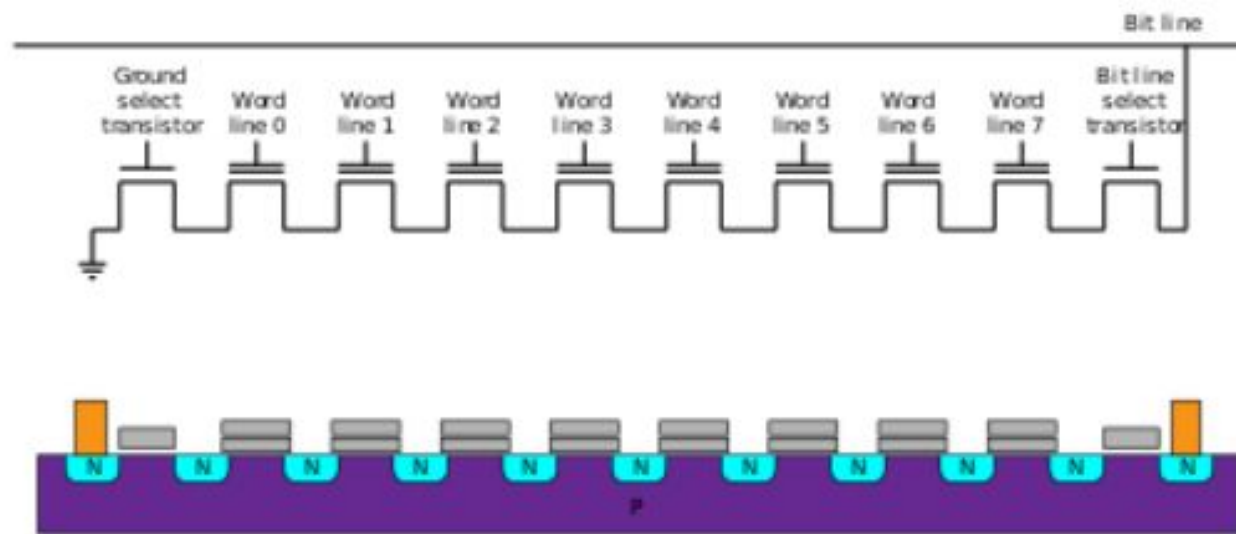
**Углеродный скотч, на котором были закреплены исследуемые образцы. Думаю, что и обычный скотч выглядит похожим образом**

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



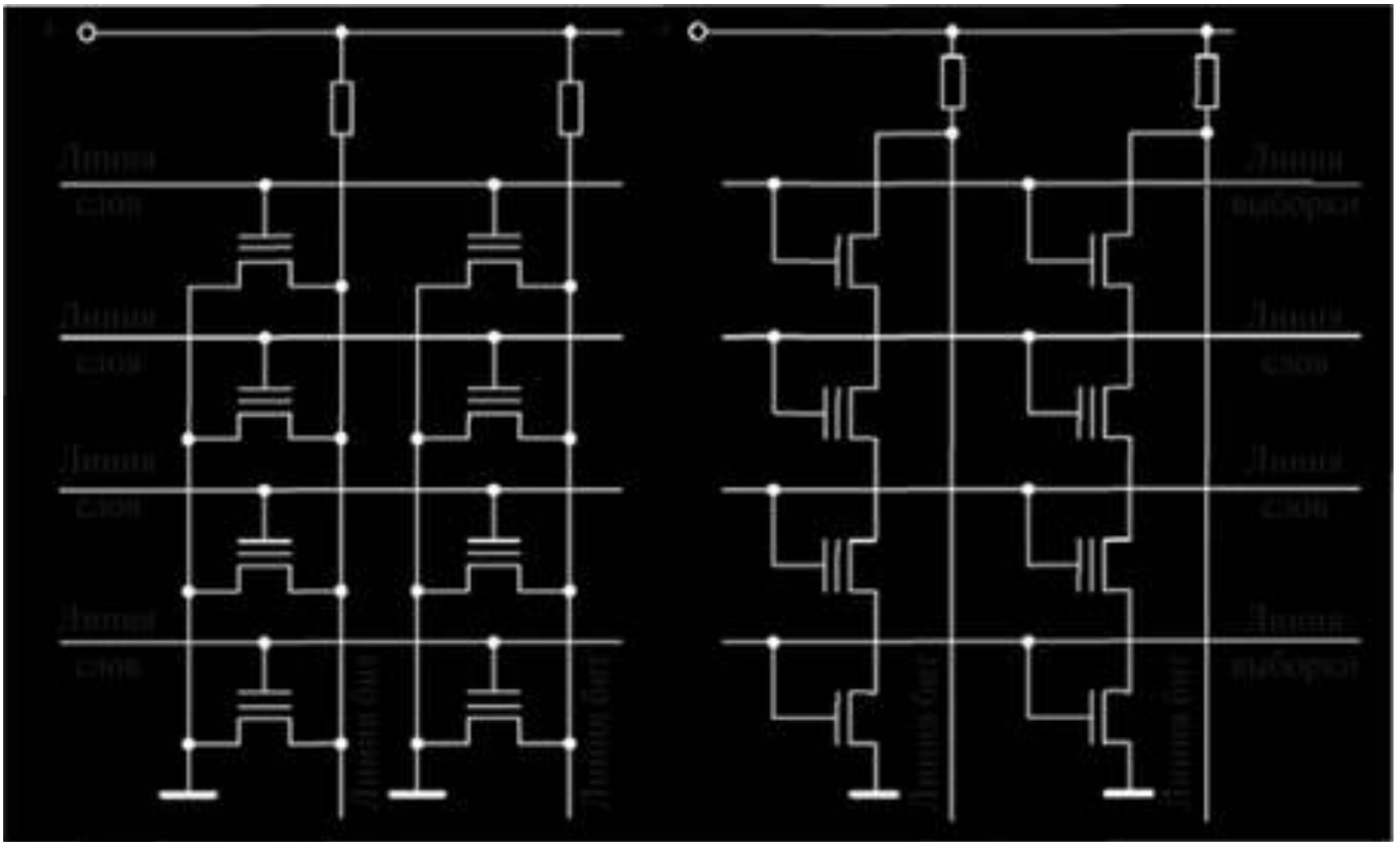
Компоновка шести ячеек  
NOR flash





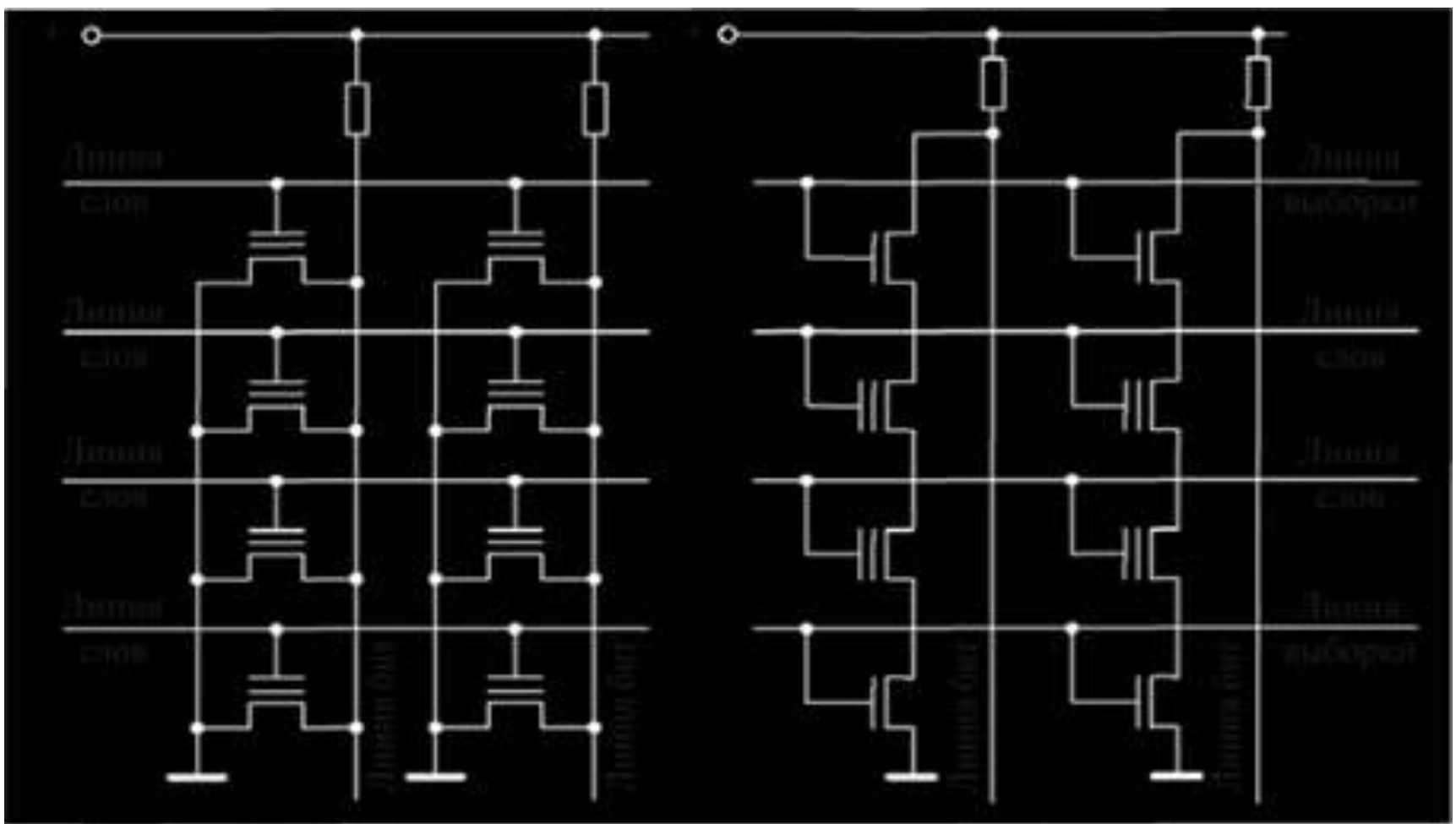
Структура одного столбца  
NAND flash с 8 ячейками



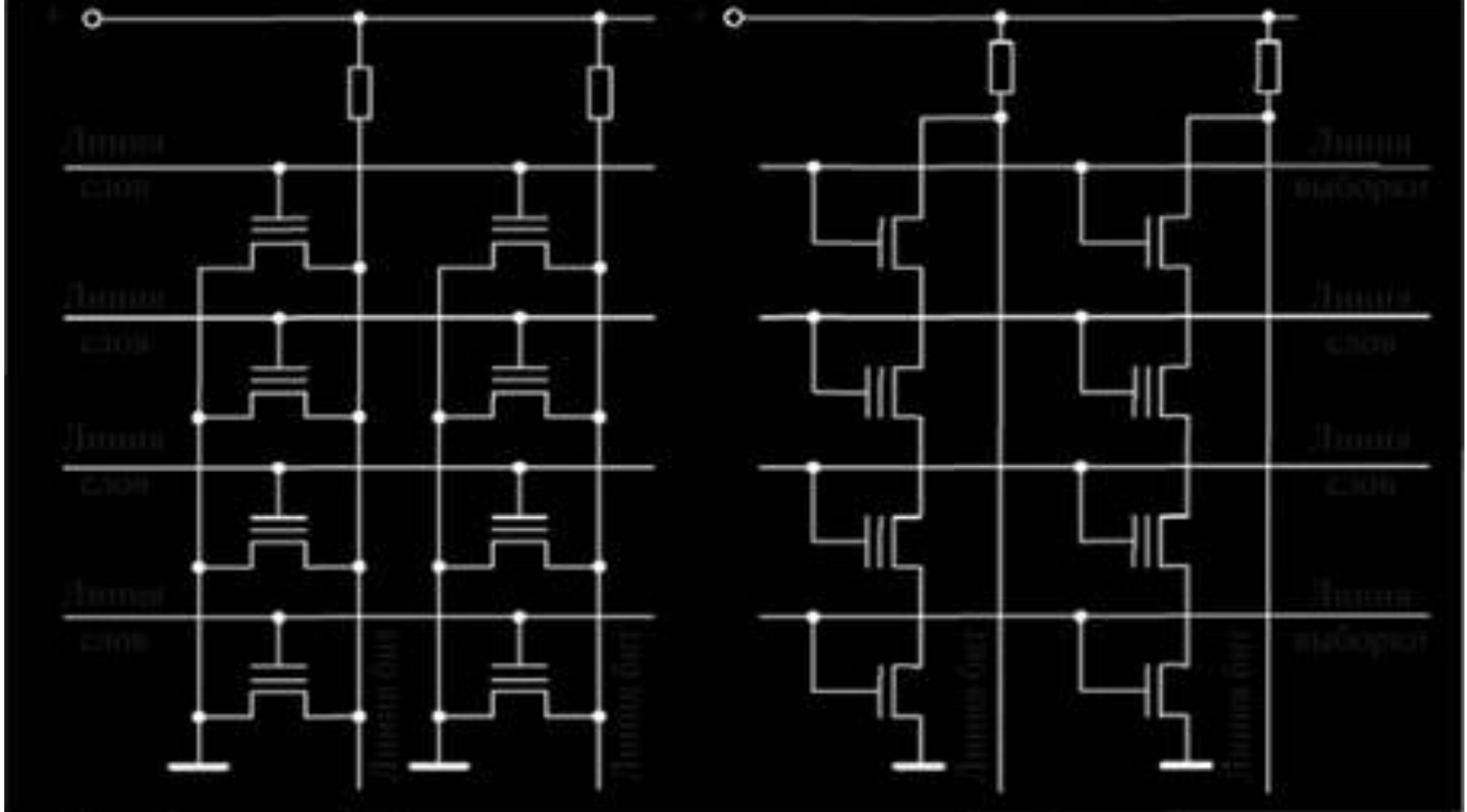


**NOR**

**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.