Технологии электронных схем

Часть 4

Электронные микросхемы

Основой электронных технологий в настоящее время являются **полупроводники (semiconductors)**

— вещества, электропроводность которых увеличивается с ростом температуры и является промежуточной между проводимостью металлов и изоляторов.

Полупроводники

Наиболее часто используемыми в электронике полупроводниками являются кремний и германий. На их основе путем внедрения примесей в определенных точках кристаллов создаются разнообразные полупроводниковые элементы, к которым относятся:

- проводники, коммутирующие активные элементы;
- вентили, выполняющие логические операции;
- транзисторы (полупроводниковые триоды),

предназначенные для усиления, генерирования и преобразования электрического тока;

Полупроводники

- **резисторы**, обеспечивающие режимы работы активных элементов;
- **приборы с зарядовой связью (ПЗС)**, предназначенные для кратковременного хранения электрического заряда и используемые в светочувствительных матрицах видеокамер;
- **диоды** и др.

Технологий построения логических элементов:

В настоящее время используется несколько технологий построения логических элементов:

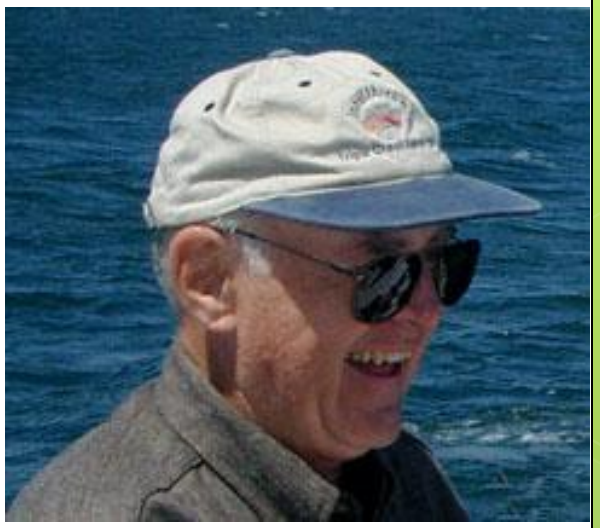
- транзисторно-транзисторная логика (TTL);
- логика на основе комплементарных МОП-транзисторов (КМОП, CMOS);
- логика на основе сочетания комплементарных МОП- и биполярных транзисторов (BiCMOS).

Некоторые полезные правила

- При положительной логике напряжение высокого уровня соответствует логической «1», а при отрицательной логике — «О».

- В большинстве современных персональных компьютеров напряжение питания составляет 3,3 В (в более ранних версиях, до Pentium — 5 В), то **выходная «1» задается напряжением 3,3 В.**

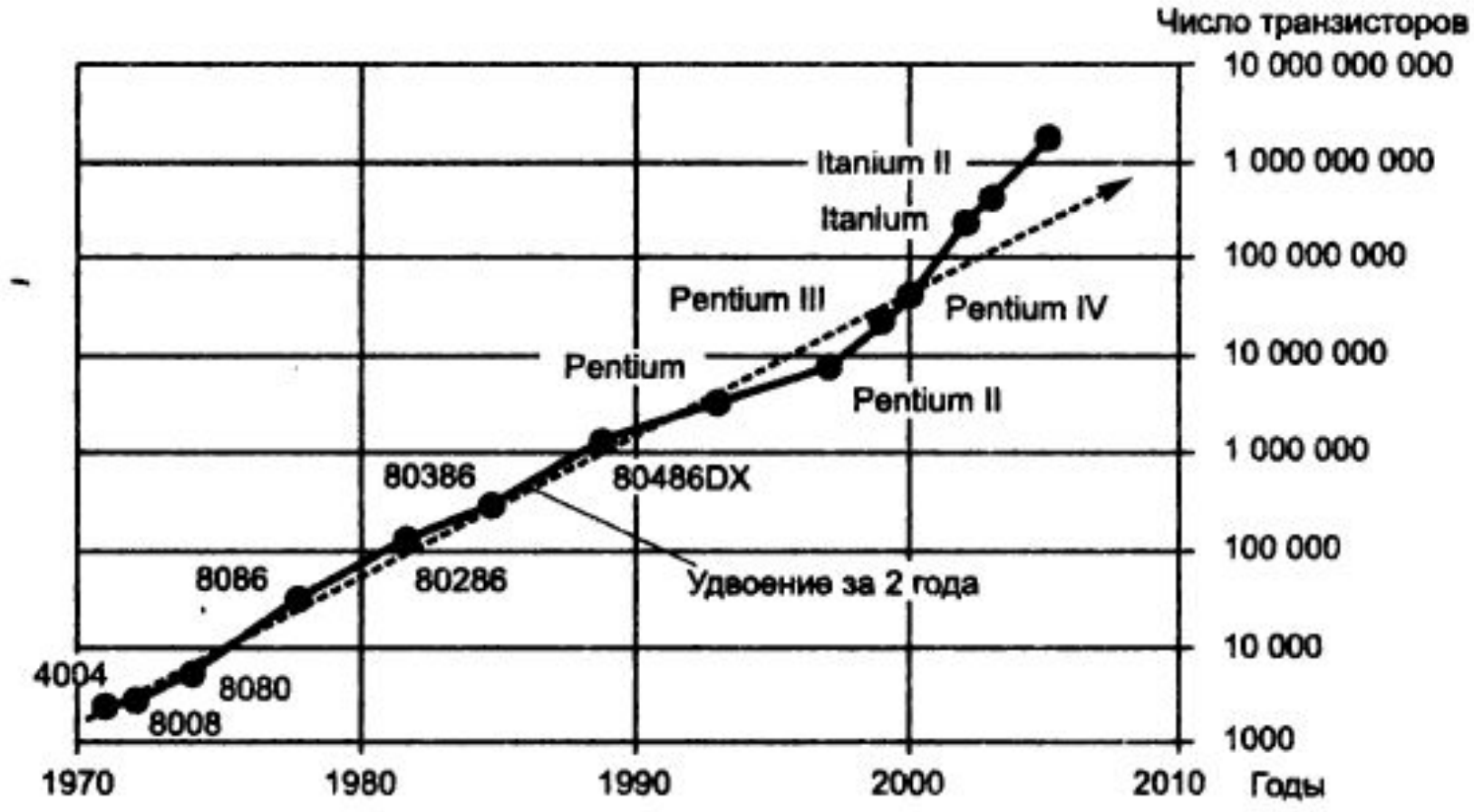
Закон Мура



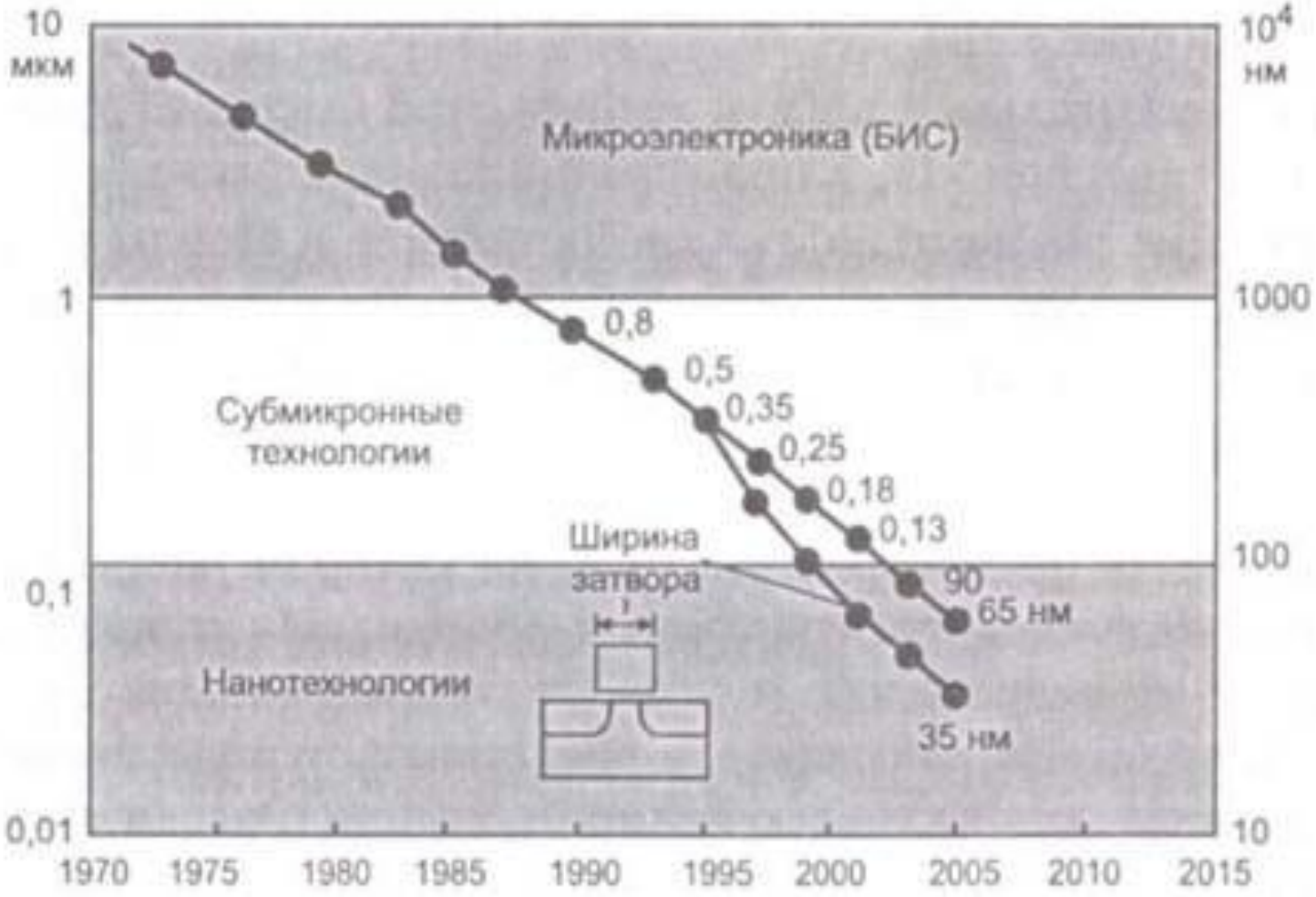
эмпирическое наблюдение, изначально сделанное Гордоном Муром, согласно которому:

Количество транзисторов, размещаемых на кристалле интегральной схемы, удваивается каждые 24 месяца

Закон Мура


Число транзисторов
10 000 000 000
1 000 000 000
100 000 000
10 000 000
1 000 000
100 000
10 000
1000
Itanium II
Itanium
Pentium III
Pentium IV
Pentium
Pentium II
80386
80486DX
8086
80286
Удвоение за 2 года
4004
8080
8008
1970
1980
1990
2000
2010
Годы

Динамика изменения схемных элементов

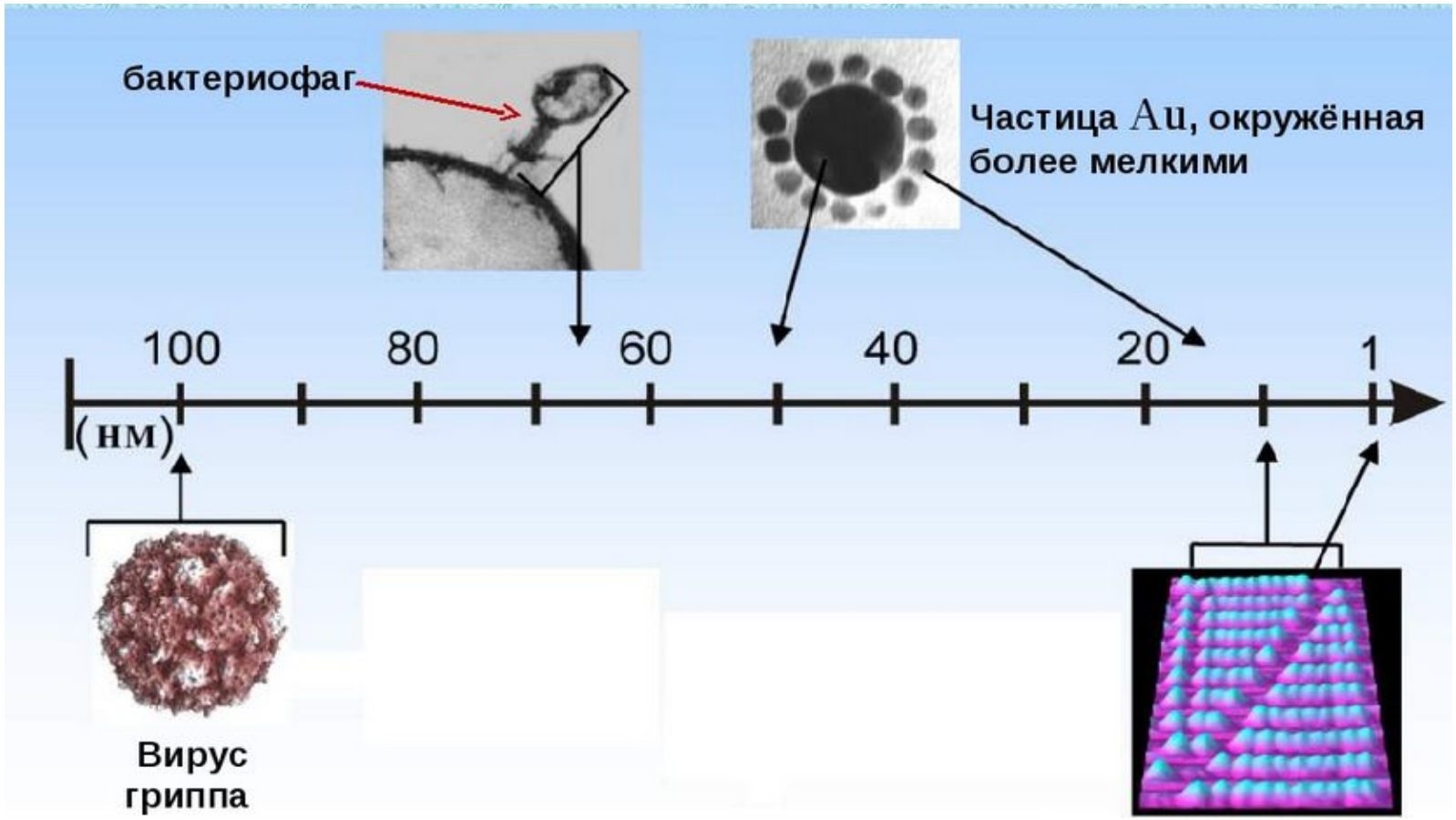


Технологии электронных схем

Ключевыми выражениями при описании микросхемных элементов являются такие, как «технология 130 нм», «технологический процесс 0,5 мкм» и т. д.

Это означает, что **размеры транзисторов или других элементов (узлов, node) соответственно не превышают 130 нанометров (1 нм = 10^{-9} м), либо же 0,5 микрон (1 мкм = 10^{-6}).**

Для сравнения…



Микропроцессоры

Микропроцесор (Microprocessor) — процессор, выполненный в одной либо нескольких взаимосвязанных интегральных схемах.

Процессор полностью собирается на одном чипе из кремния.

Электронные цепи создаются в несколько слоев, состоящих из различных веществ, например, диоксид кремния может играть роль изолятора, а поликремний — проводника.

Технология создания процессоров

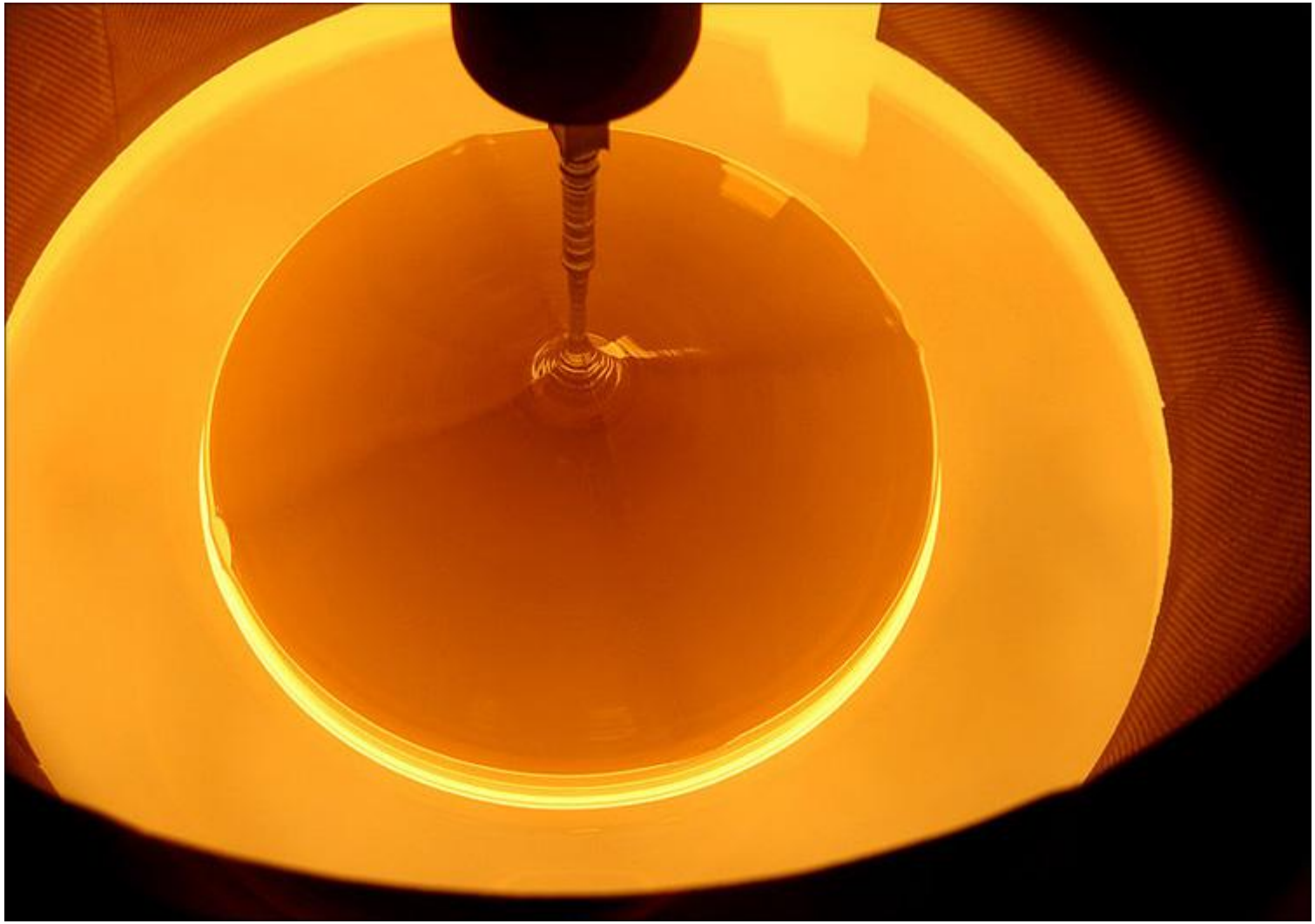
Технология микропроцессоров в простейшем случае включает следующие обязательные этапы производства:

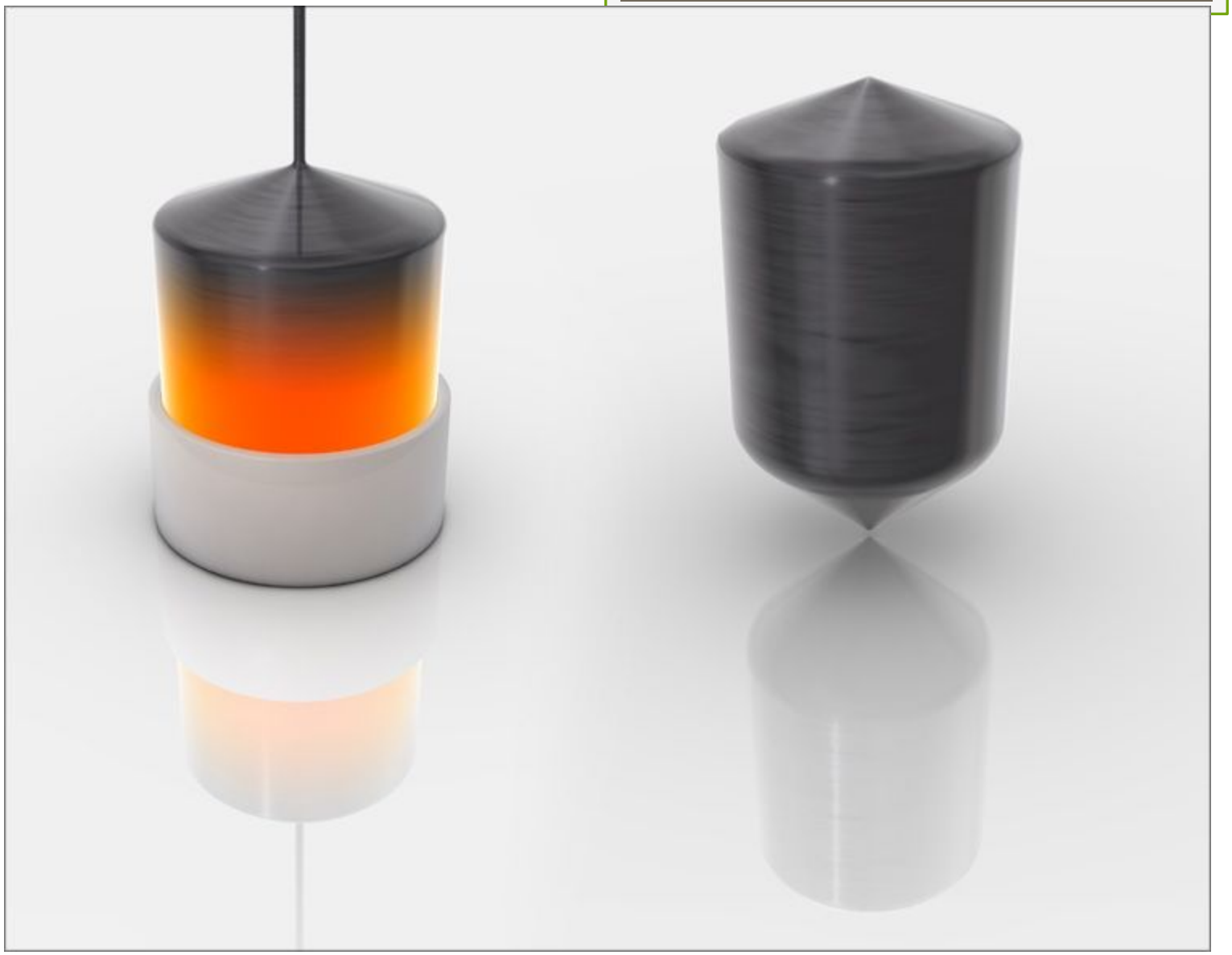
1. **выращивание кремниевых заготовок и получение из них пластин;**
2. **шлифование кремниевых пластин;**
3. **нанесение защитной пленки диэлектрика (Si02);**
4. **нанесение фоторезиста;**
5. **литографический процесс;**
6. **травление;**
7. **диффузию;**
8. **металлизацию**.

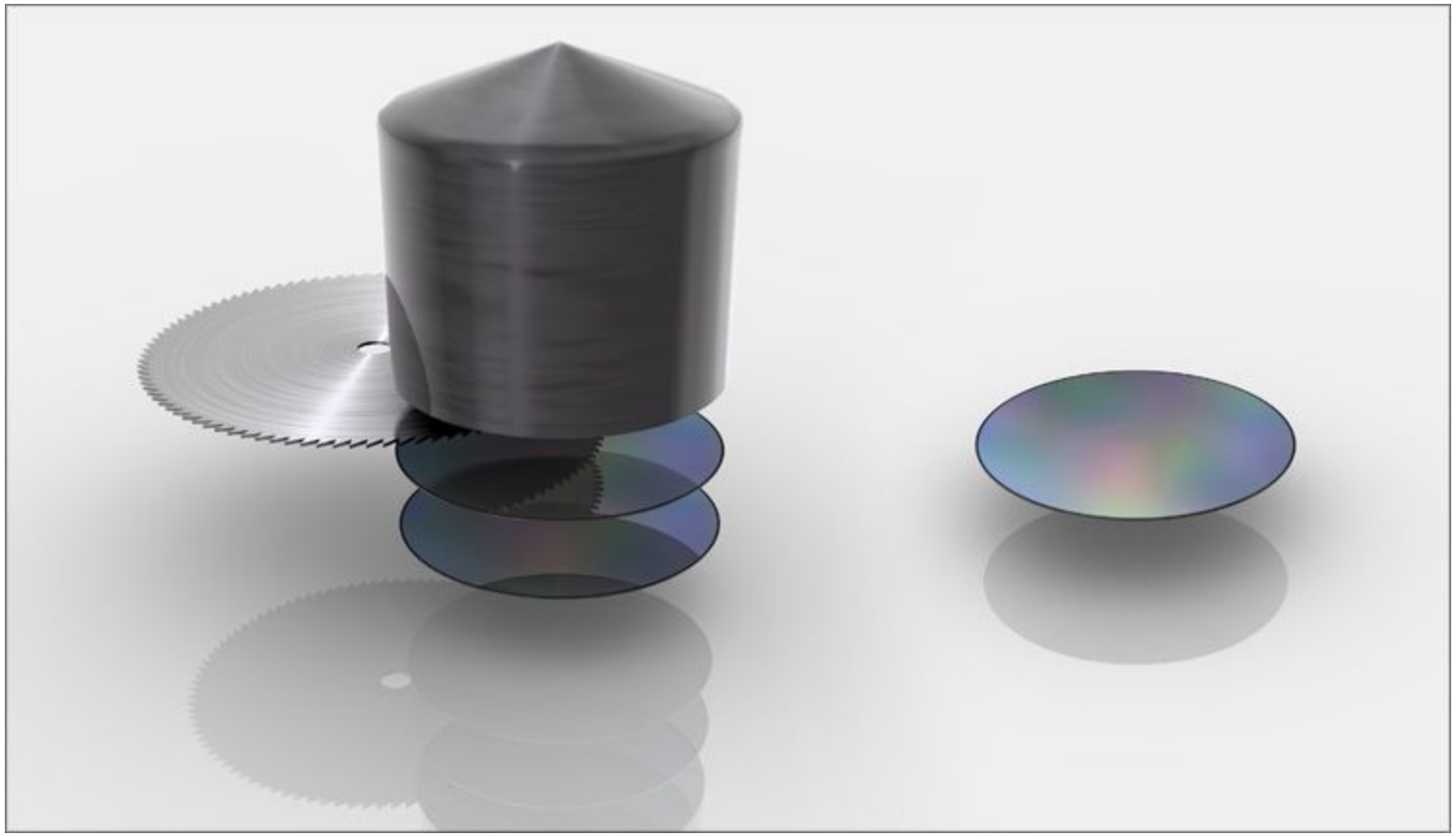
просмотр фильма.

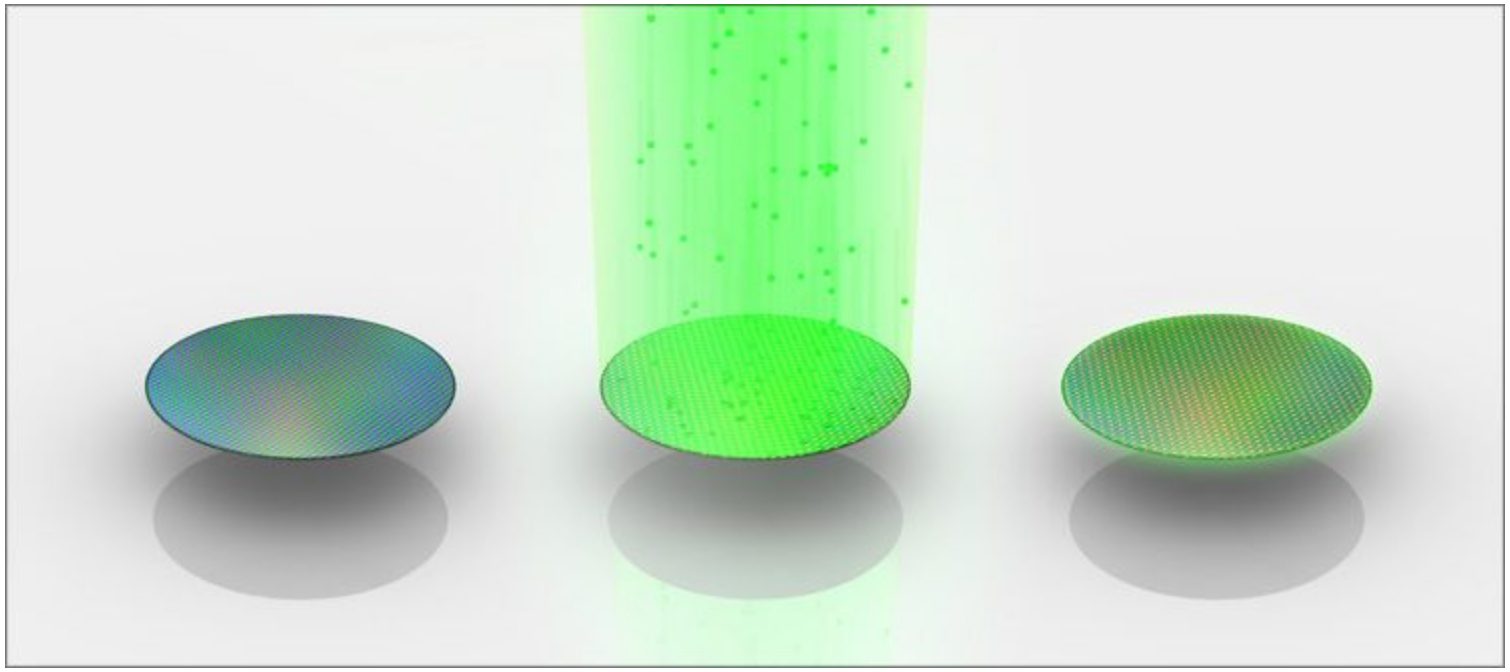
Все перечисленные этапы используются для того, чтобы на кремниевой основе создать сложную структуру полупроводниковых планарных транзисторов (CMOS-транзисторов) и связать их должным образом между собой.

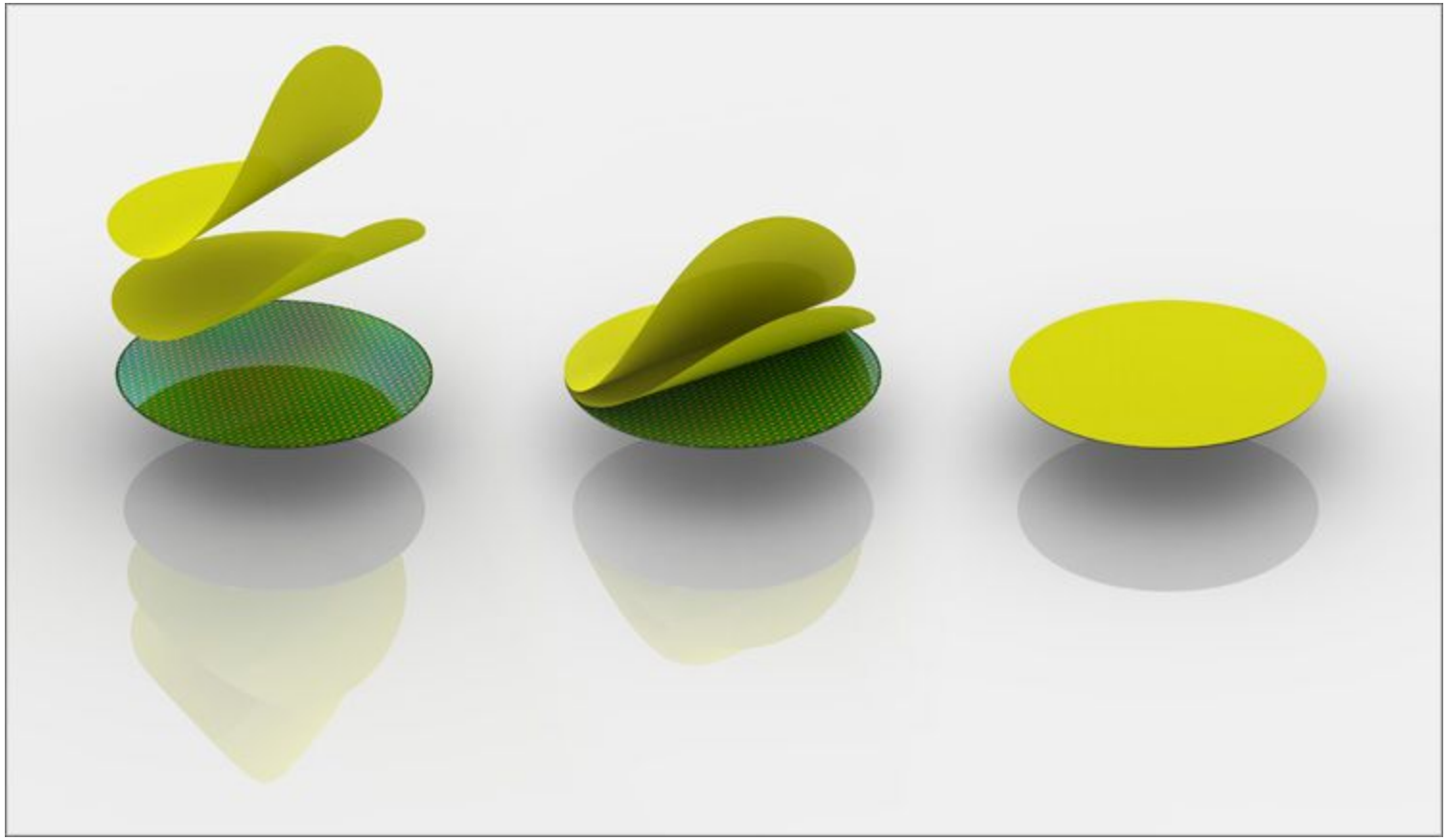
https://habr.com/company/intel/blog/110234/

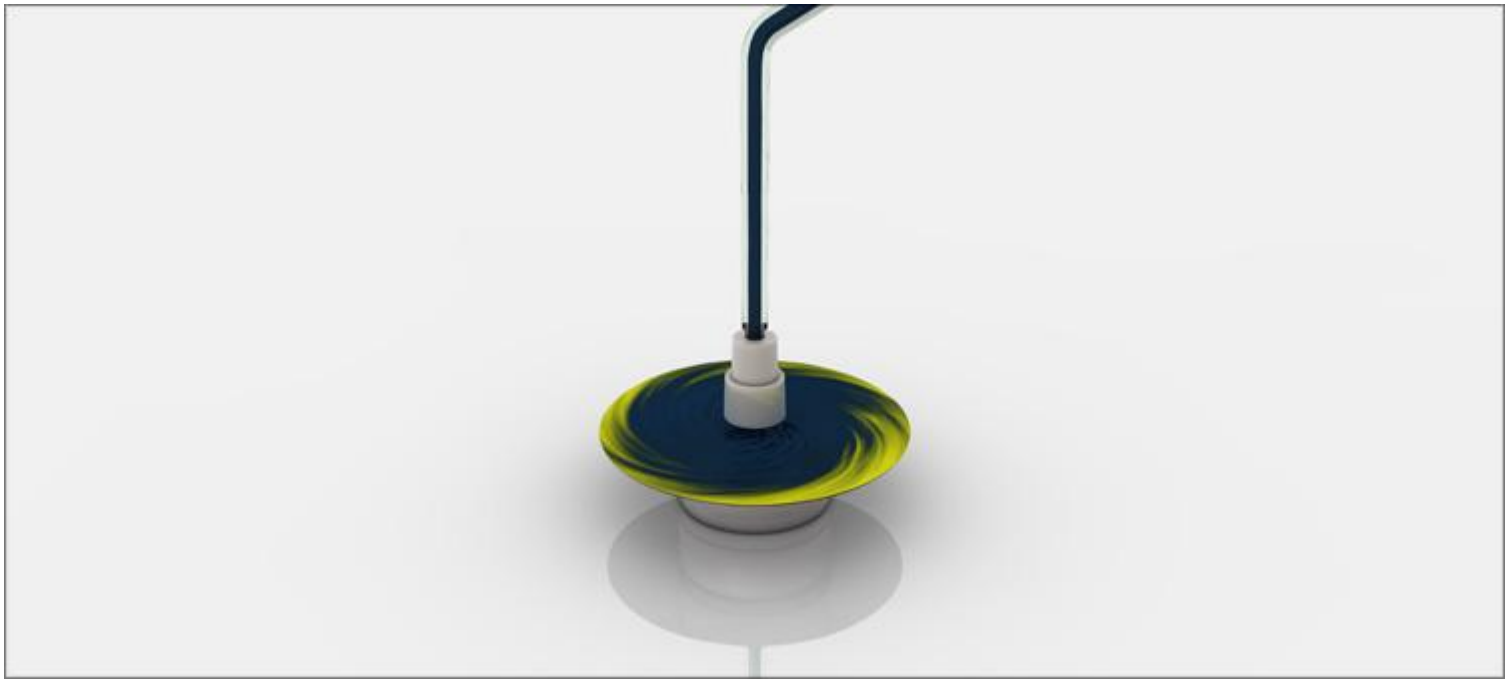


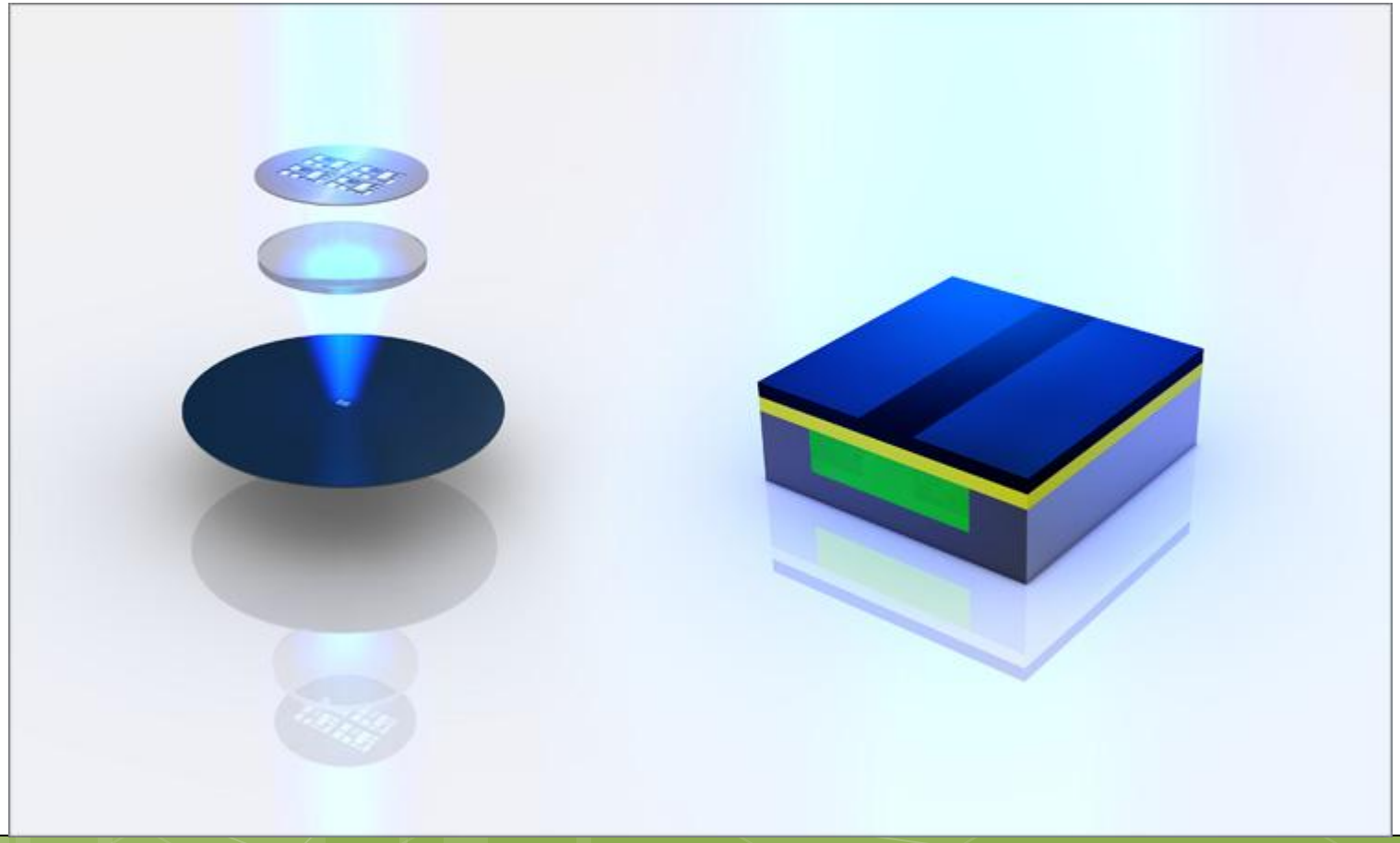


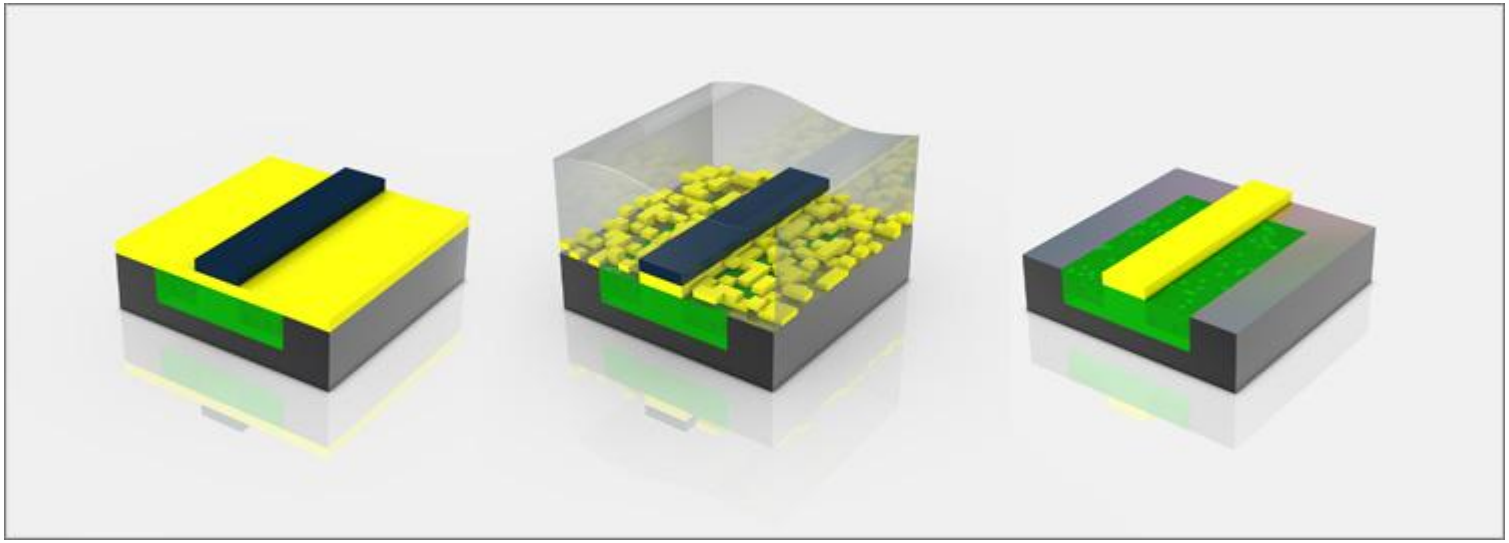


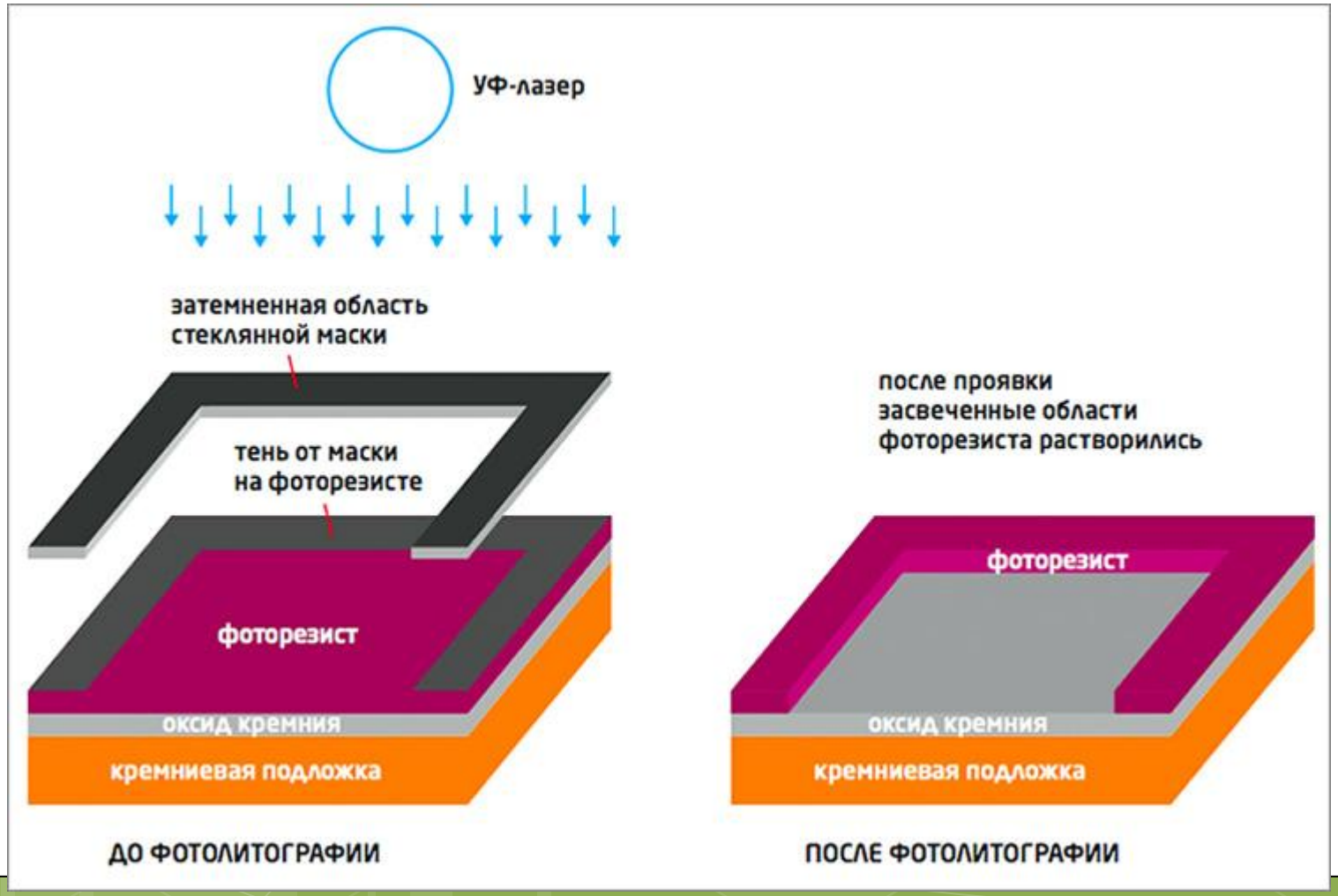











УФ-лазер
затемненная область
стеклянной маски
тень от маски
на фоторезисте
фоторезист
оксид кремния
кремниевая подложка
ДО ФОТОЛИТОГРАФИИ
после проявки
засвеченные области
фоторезиста растворились
фоторезист
оксид кремния
кремниевая подложка
ПОСЛЕ ФОТОЛИТОГРАФИИ

Транзистор

ТРАНЗИСТОР -

полупроводниковый прибор, предназначенный для усиления электрического тока и управления им.

Транзистор представляет собой простейшее устройство, размещающееся на поверхности кремниевой пластины и функционирующее как электронный ключ .

Обычно транзистор содержит три вывода —

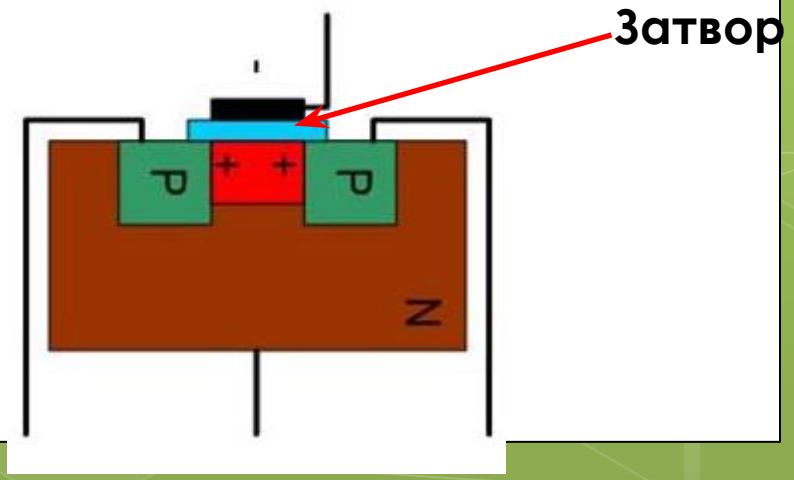
источник (эмиттер), сток (коллектор) и затвор (база).

Работа транзистора в процессоре

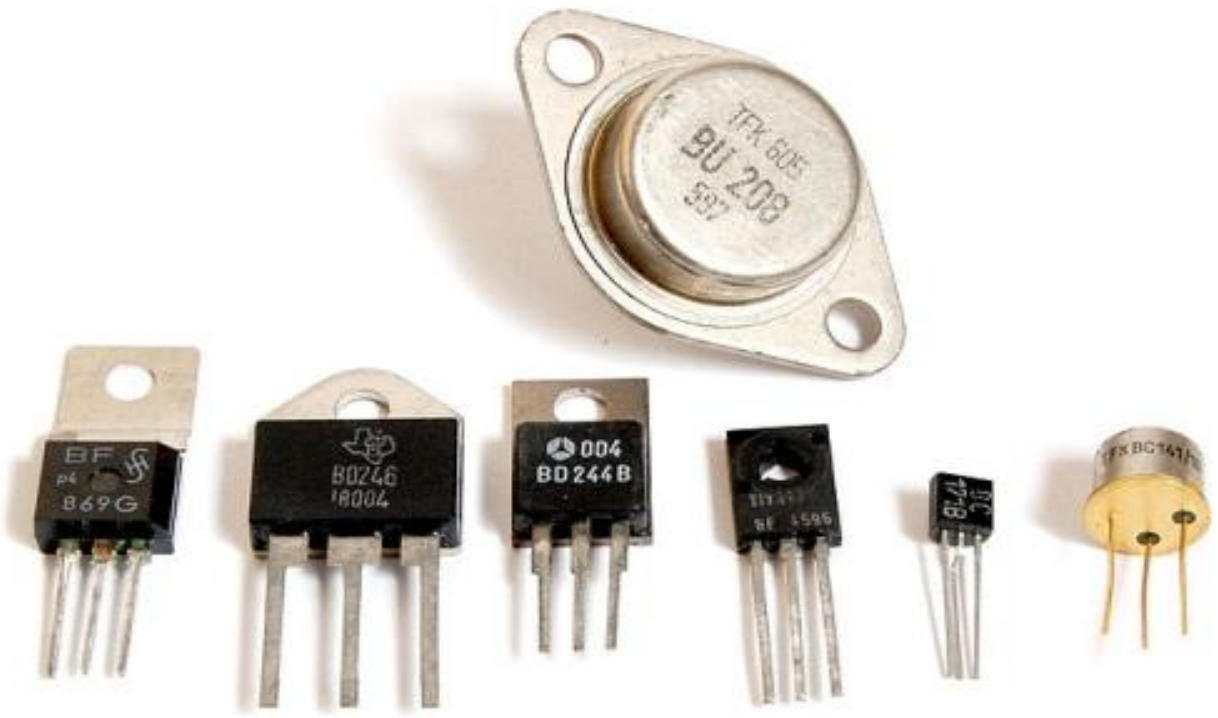
Если в полупроводнике n-типа с отрицательными носителями заряда имеются две области p-типа с положительными носителями заряда, то проводимостью между этими областями можно управлять при помощи изолированного электрода.

Если на этом электроде создать отрицательный заряд, то за счет электростатической индукции в полупроводнике возникает область повышенной концентрации положительных зарядов, обеспечивающая проводимость между областями p-типа. Такой транзистор называется p-канальным и открыт тогда, когда на управляющем электроде присутствует отрицательный по отношению к подложке потенциал.

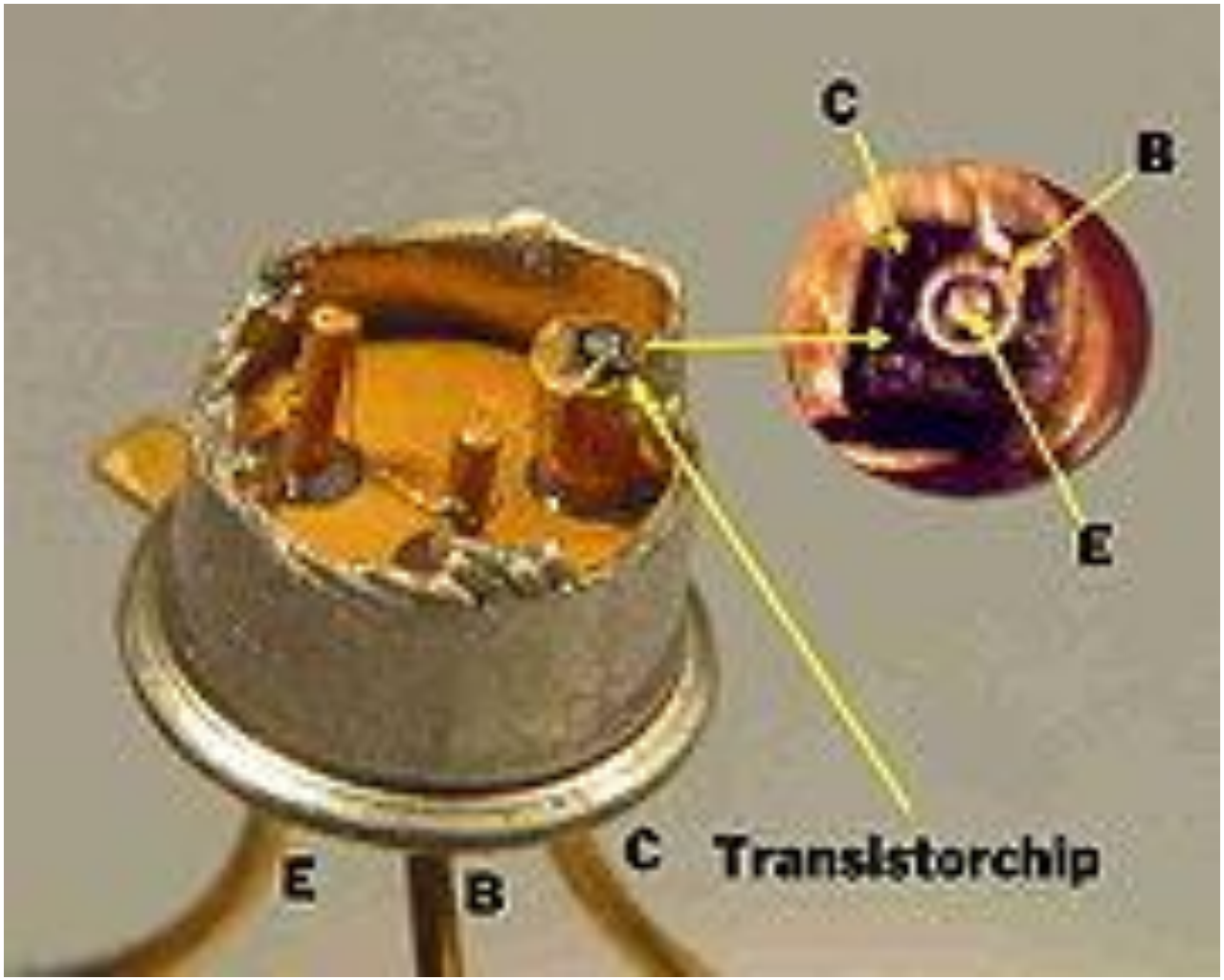
Электромагнитная индукция — явление возникновения электрического тока в замкнутом контуре при изменении магнитного потока, проходящего через него.



Транзисторы



Транзистор (в разрезе)



Транзистор

Источник и сток образуются путем **внедрения** в поверхность кремния определенных примесей, а затвор содержит материал, именуемый полисиликоном. Ниже затвора расположен слой диэлектрика, изготовленного из диоксида кремния

Данная структура получила название **«кремний-на-изоляторе»** (siliconon- insulator — SOI).

Диэлектрико-металлические затворы транзисторов

Использование затвора из диэлектриков с высокой диэлектрической постоянной (High-k Gate Dielectrics) и металлических электродов затворов транзисторов (Metal Gate Electrodes) было впервые представлено в процессоре Intel Penryn (технология 45 нм) и позволило уменьшить размеры транзисторов и снизить энергопотребление.

В обычном транзисторе снижение толщины слоя диоксида кремния необходимо для уменьшения размера и увеличения плотности размещения транзисторов на кристалле. Однако при достижении определенного предела возникает утечка тока под воздействием **«туннельного эффекта» (электроны покидают транзистор и рассеиваются)**, что понижает надежность и увеличивает рассеяние мощности. Поэтому уменьшение размеров ниже данного предела становится нецелесообразным.

Диэлектрико-металлические затворы транзисторов

Диэлектрик (high-k dielectric или материал с высокой диэлектрической постоянной) в новой технологии замещает слой диоксида кремния в транзисторе и позволяет снизить токи утечки в технологии 45 нм в 5 раз по сравнению с технологией 65 нм.

Диэлектрико-металлические затворы транзисторов

Относительная легкость использования оксидов кремния в транзисторах ограничивала в течение многих лет применение других материалов при производстве микропроцессоров. Аналогично, традиционная технология использования поликремния для затвора существенно проще, чем внедрение других, возможно более эффективных веществ в процесс производства.

А как выглядят транзисторы в процессоре?

Диэлектрико-металлические затворы транзисторов

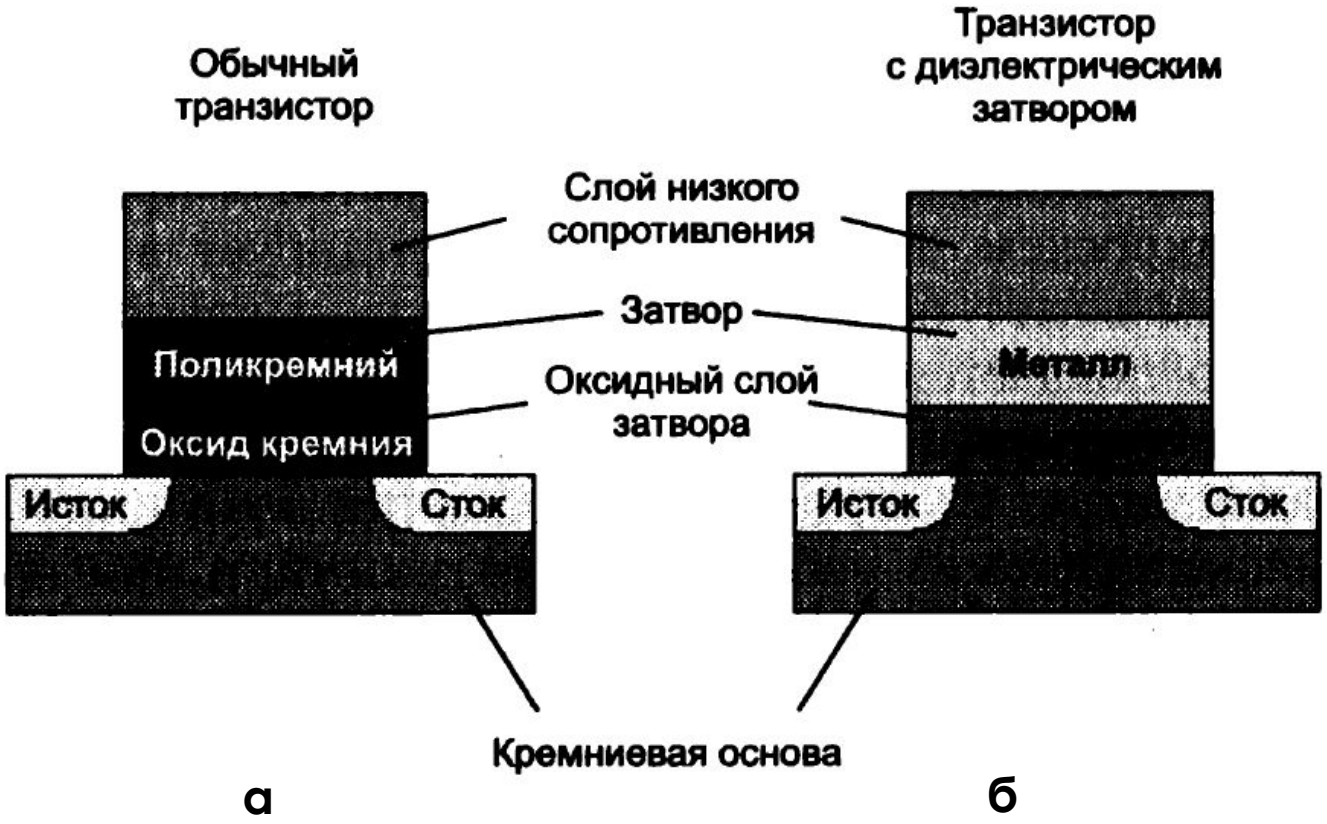


Рис. Обычный транзистор *(а)*; транзистор с диэлектрическим затвором *(б)*

Технология медных проводников

Транзисторы на поверхности чипа -- сложная комбинация из кремния, металлов и микродобавок, точно расположенных, чтобы образовать миллионы крохотных переключателей. Поскольку создавались все меньшие и быстрые транзисторы, упакованные все плотнее, их соединение между собой стало превращаться в проблему.

Для установления соединений длительное время использовался алюминий, однако к середине 1990-х гг. стало очевидным, что скоро будут достигнуты технологические и физические пределы существующей технологии.

Относительно высокое удельное сопротивление алюминия при уменьшении диаметра проводников приводит к потерям и перегреву схем.

Однако длительное время никому не удавалось создать конкурентоспособный чип с медными проводниками.

Преимущества медных соединений:

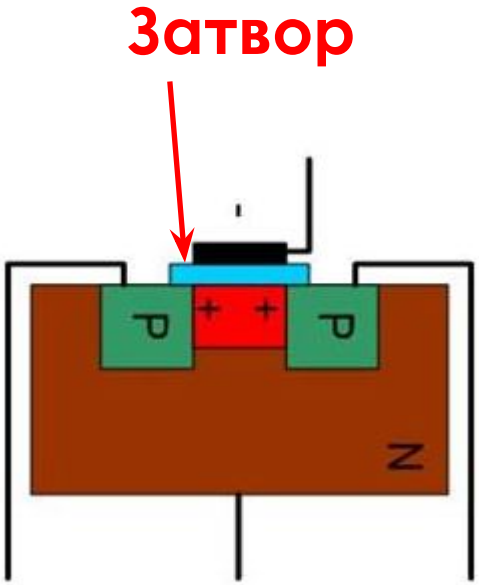
1. **Меньшая удельная проводимость,**
2. **Способны выдерживать значительно большую плотность тока, чем алюминиевые,**
3. **Обладают более высокой устойчивостью к разрушению под воздействием тока.**

Технологический процесс 65 нм.

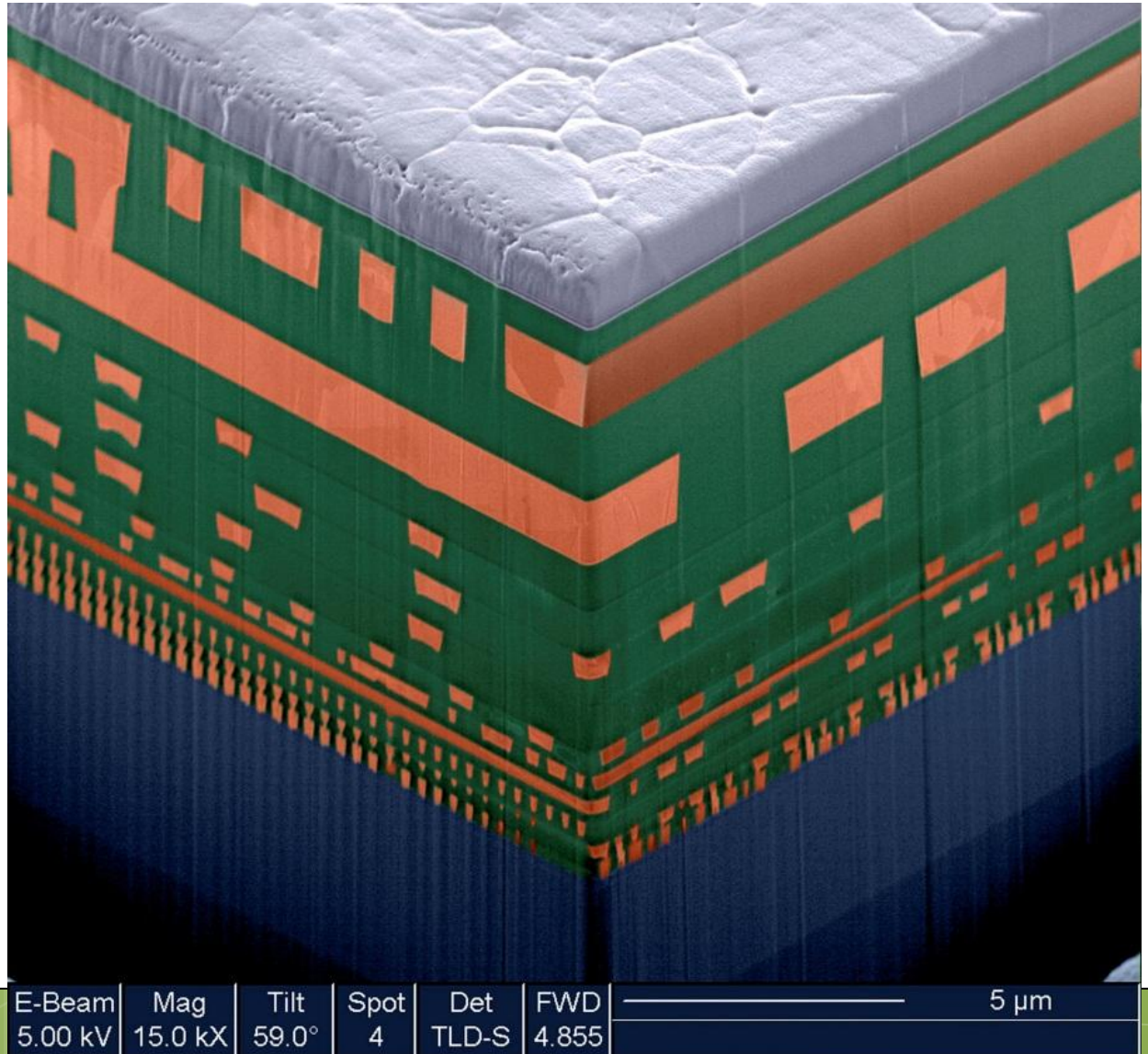
Intel довела данную технологию до стадии промышленного производства к концу 2005 г.

В 65-нм процессе Intel использует УФ-литографию, комбинируемую с технологией фазового сдвига.

При этом удалось уменьшить до 35 нм эффективную ширину затвора транзисторов, что приблизительно на 30 % меньше, чем при производстве по технологии 90 нм.



Процессор в разрезе



Процеессор Эльбрус

- 1 канал IO-link (16 ГБ/с)
- PCI Express 2.0 x20
- 3 * Gigabit Ethernet
- 8 * SATA 3.0
- 8 * USB 2.0
- 32 * GPIO
- ...
- Технология 65 нм
- Энергопотребление 12 Вт

Получены первые инженерные образцы

Технологический процесс 65 нм.

- Остались прежними в новом процессе используемые для создания транзисторов материалы.
- Дополнительные усилия были направлены на борьбу с токами утечки.
- Увеличение числа слоев медных соединений.

Технологический процесс 45 нм.

Техпроцесс, соответствующий уровню технологии, достигнутому к годам ведущими компаниями-производителями микросхем.

Для микроэлектронной промышленности стал революционным, так как это был первый техпроцесс, использующий технологию high-k/metal gate, для замены физически себя исчерпавших SiO.

Технологический процесс 45 нм.

Особенности:

- Изменены одна из фундаментальных характеристик — материалы, применяемые в производстве. Вместо используемого с 1960-х гг. оксида кремния в качестве диэлектрика взят силицид гафния — изолятор с высокой диэлектрической проницаемостью.

- Затвор транзистора выполнен из металла вместо поликристаллического кремния. Благодаря этому удалось решить ключевую проблему — миниатюризация транзисторов привела к невозможности дальнейшего эффективного использования оксида кремния в качестве диэлектрика.

- Существенно (в 5—10 раз) были снижены токи утечек.

Технологический процесс 45 нм.

По технологиям 65 и 45 нм. Исполняют не только процессоры и но и платы оперативной памяти.

Процесс 45 нм не является технологическим пределом — в настоящее время появились образцы изделий, выпущенных по технологиям 32 и даже 22 нм.

Адальше…

Технология 7 нм.

Завод Intel Fab 42 Строительство завода Intel под названием **Fab 42** в американском штате Аризона началось в середине 2011 года, а в эксплуатацию планировалось сдать в 2013 году.

По заявлению Intel, он стал бы самым современным заводом по массовому выпуску компьютерных процессоров, используя 14-нанометровую технологию на основе 300-миллиметровых кремниевых пластин. Завод также стал бы первым массовым производством, совместимым с 450-мм пластинами. В стройку планируется вложить более $5 млрд.

На момент запуска Fab 42 станет, по ожиданиям, одним из самых передовых в мире заводов по выпуску полупроводниковой продукции в больших объёмах.

На завершение работ отводится ещё 3–4 года. Планируется освоение 7 нм техпроцесса.

«Замороженный» завода Техонологии 7 нм

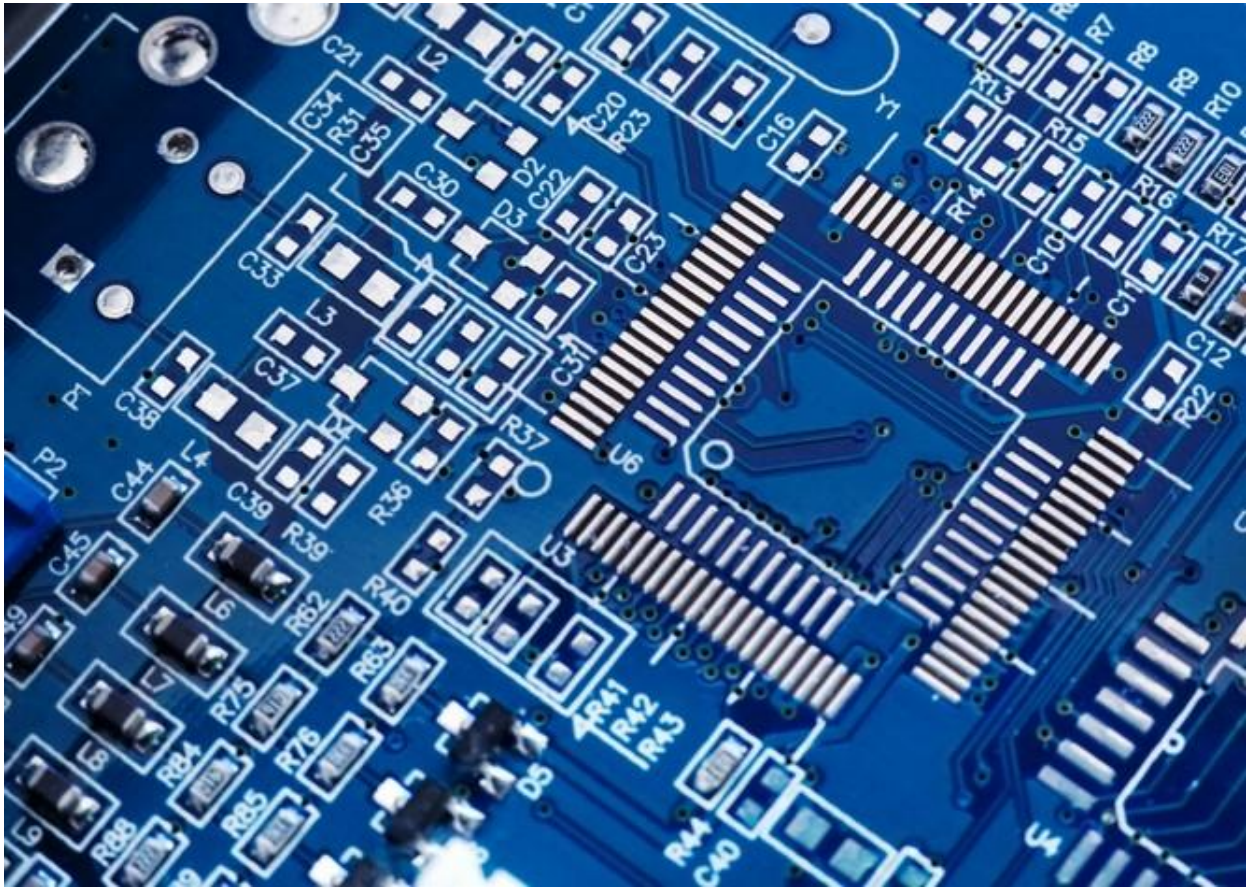
Печатные платы

Печатные плата **или *printed circuit board*, — изоляционная пластина, на которой устанавливаются и соединяются друг с другом электронные элементы и приборы меньшей степени интеграции**

Печатная плата изготавливается из пластмассы, гетинакса, текстолита либо другого изолятора (керамика). На плате с одной либо обеих сторон размещаются интегральные схемы, резисторы, диоды и другие полупроводниковые приборы.

Для их соединения на поверхности платы наносятся тонкие электропроводящие полоски.

Печатные платы перестают быть только плоскими. Происходит переход от двух измерений к криволинейным поверхностям и созданию печатных дорожек на геометрически изогнутых формах.

Для решения задач трассировки соединений на печатных платах применяются средства автоматизированного проектирования (САПР) — программы-трассировщики.

Печатные платы