

Лекция 5

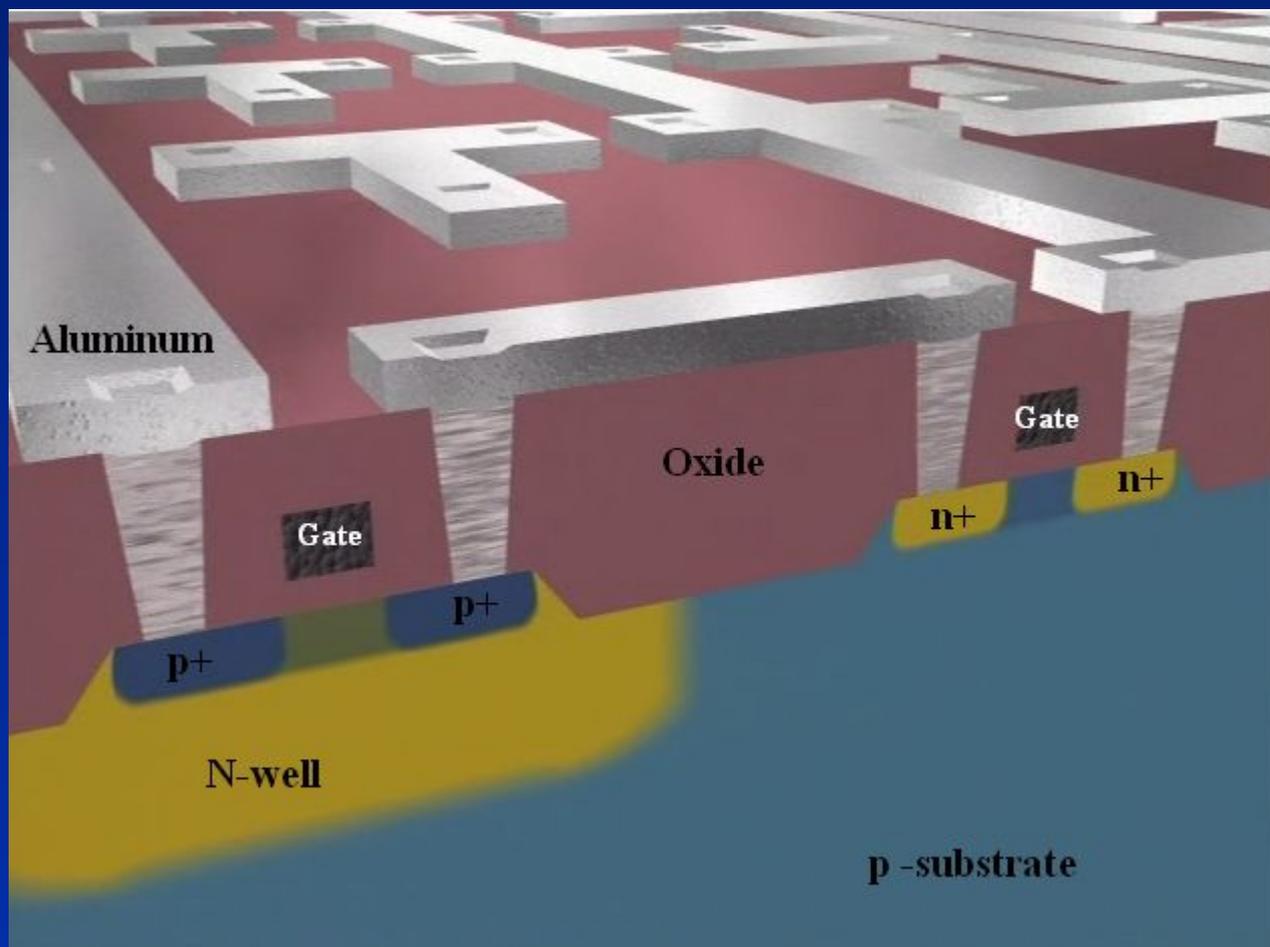
Технология производства ИС

- **Маршрут формирования КМОП ИС**
- **Основные технологические операции производства ИС**
- **Фотолитография**

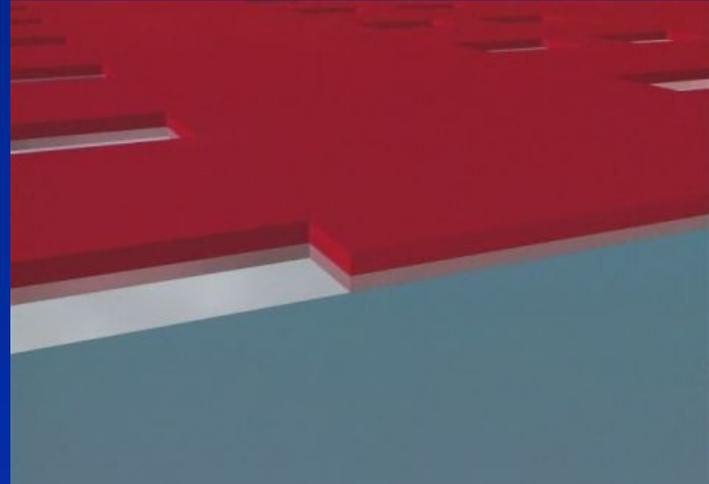
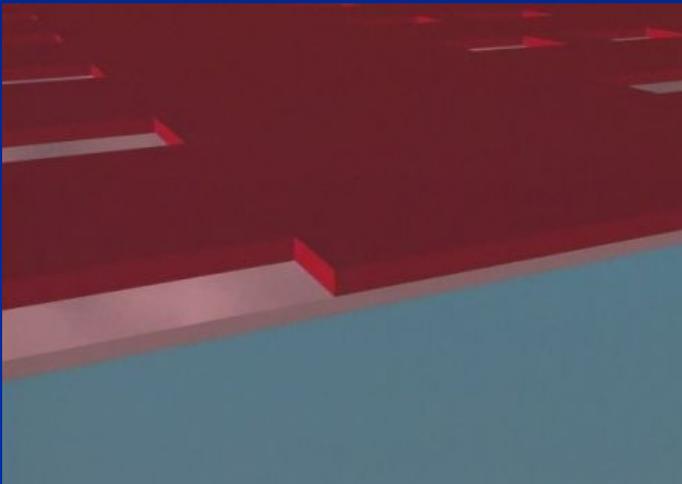
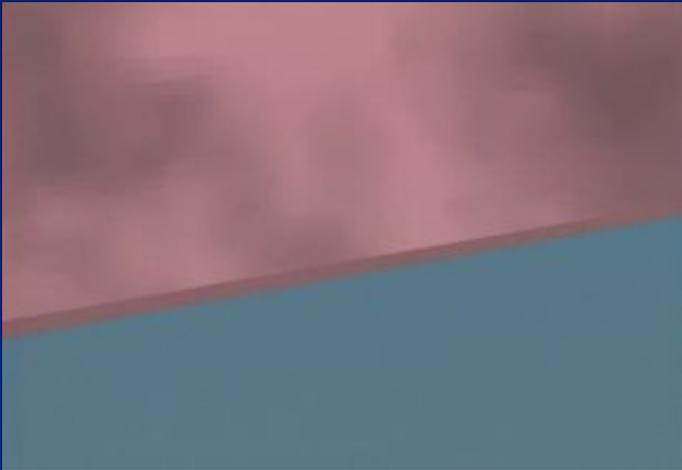
Преимущества КМОП ИС над биполярными ИС

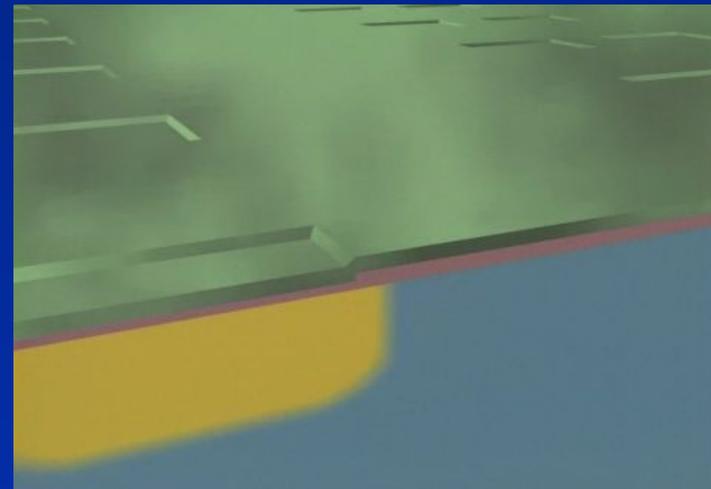
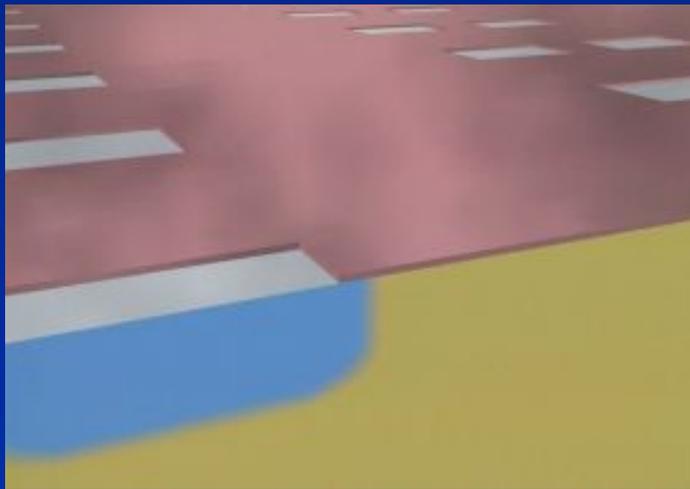
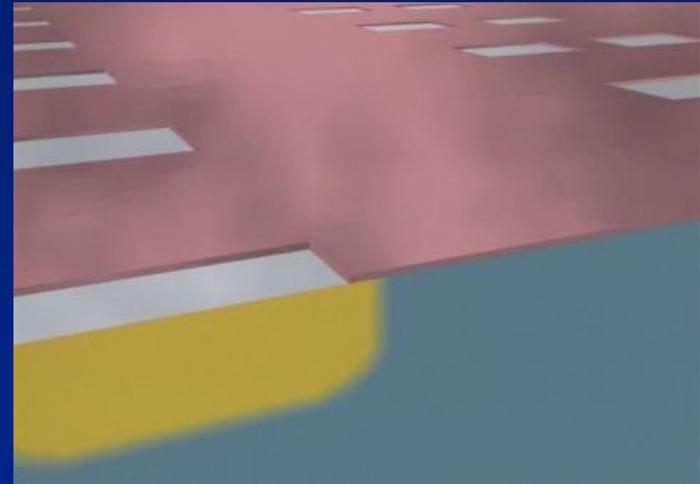
- Малые размеры и площадь
- Упрощенная изоляция
- Низкая потребляемая и рассеиваемая мощность
- Устойчивость к перегрузкам
- Высокое входное сопротивление
- Помехоустойчивость
- Низкая себестоимость производства

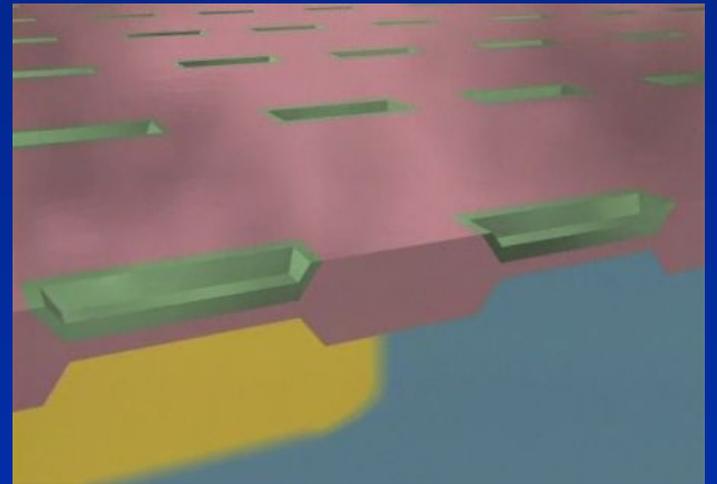
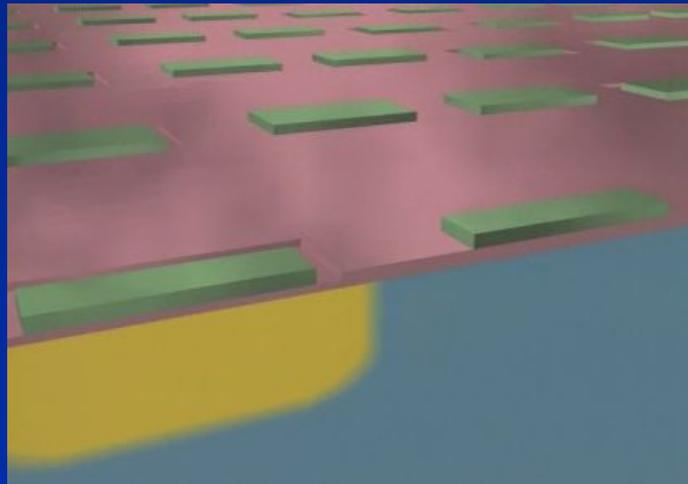
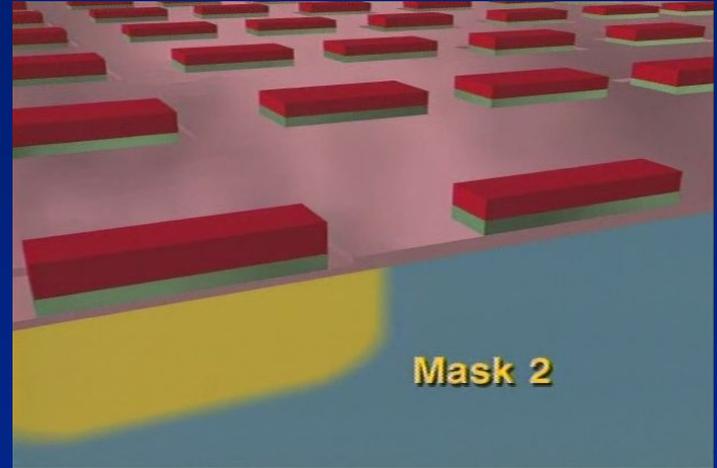
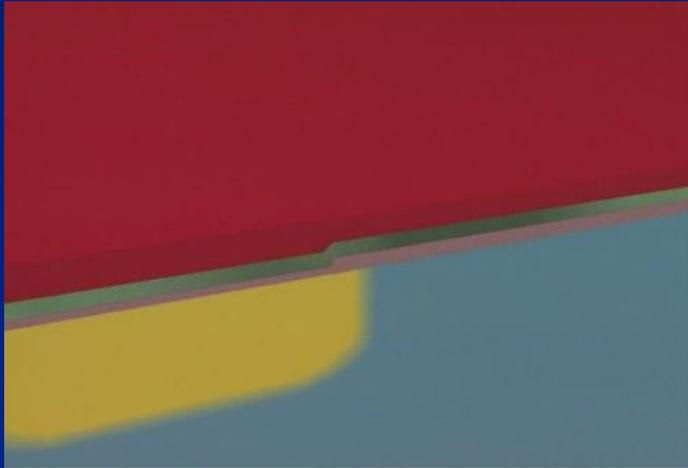
КМОП структура

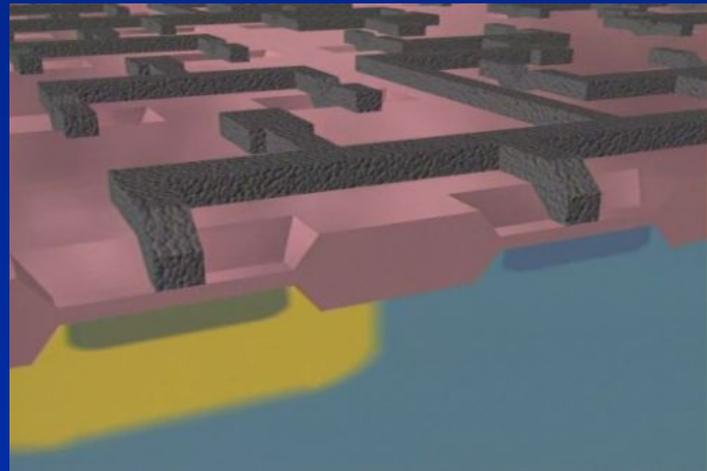
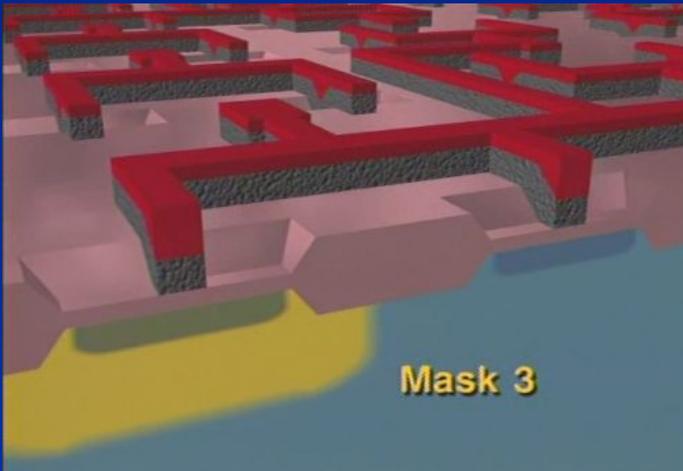
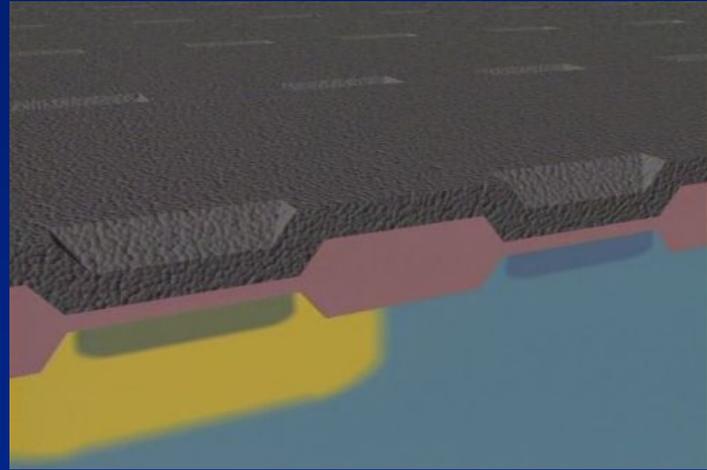
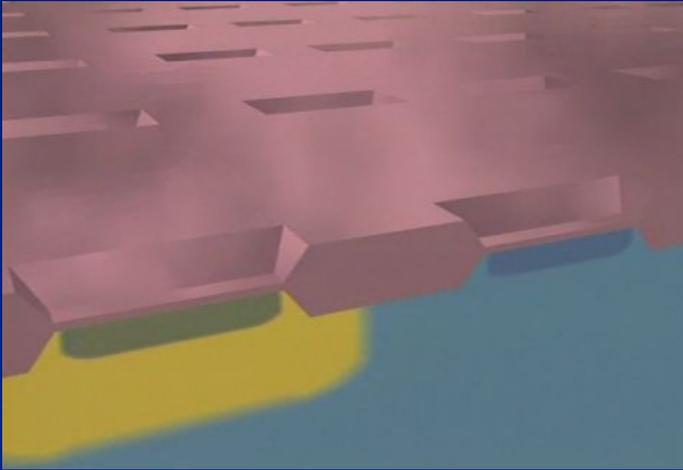


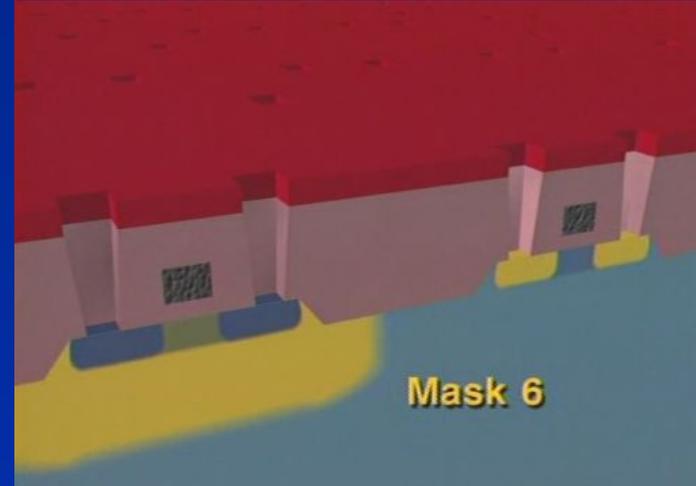
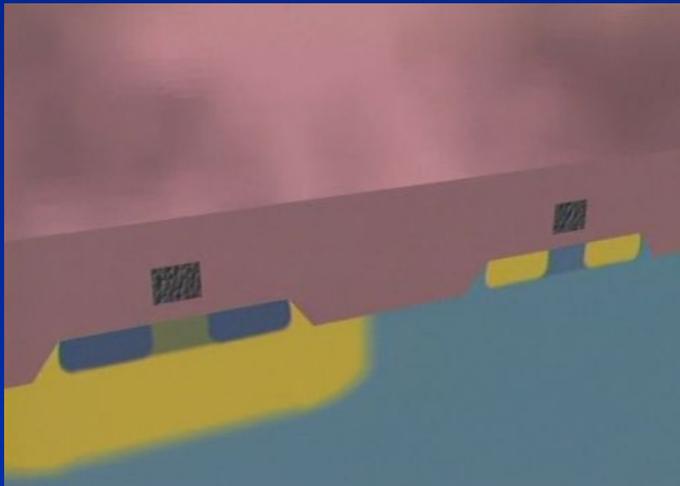
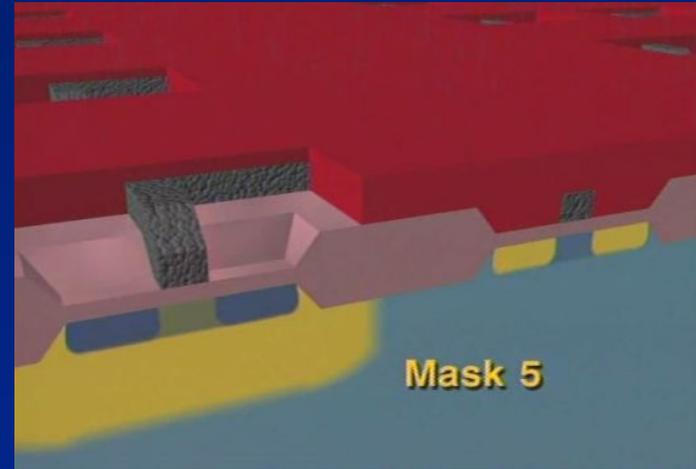
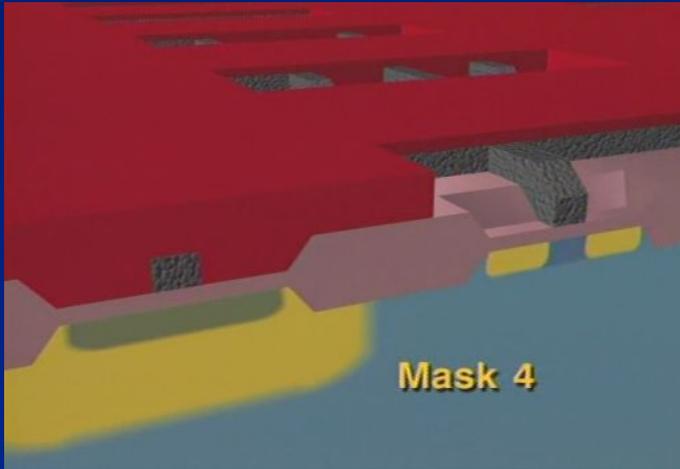
КМОП процесс

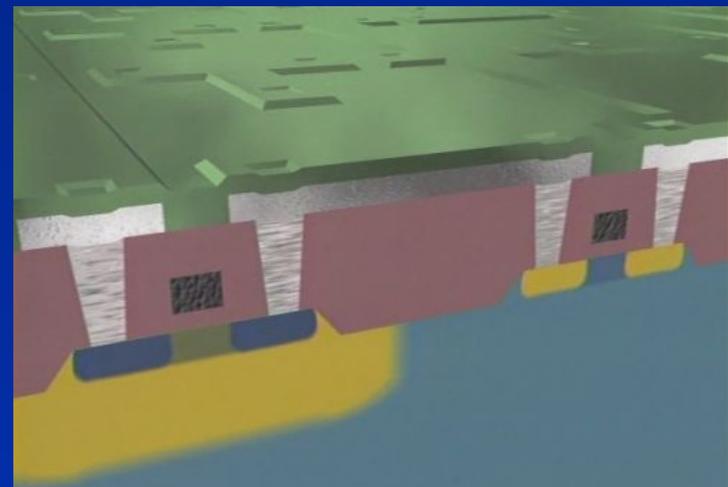
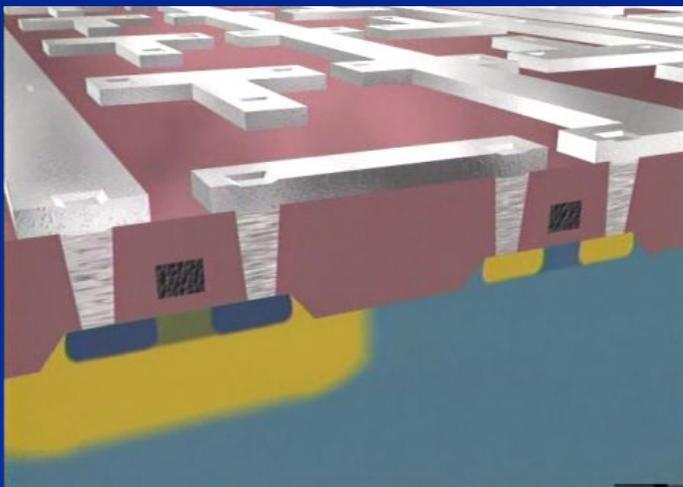
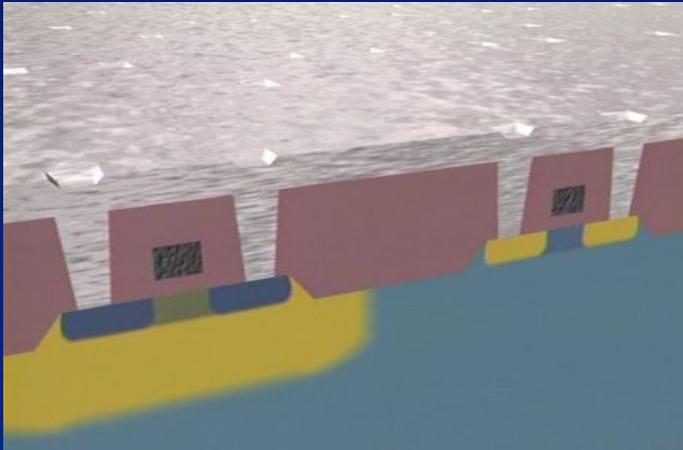










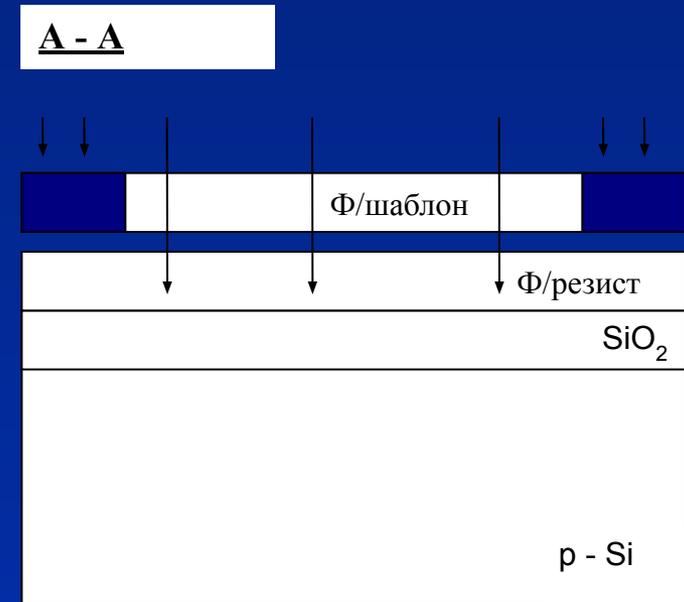
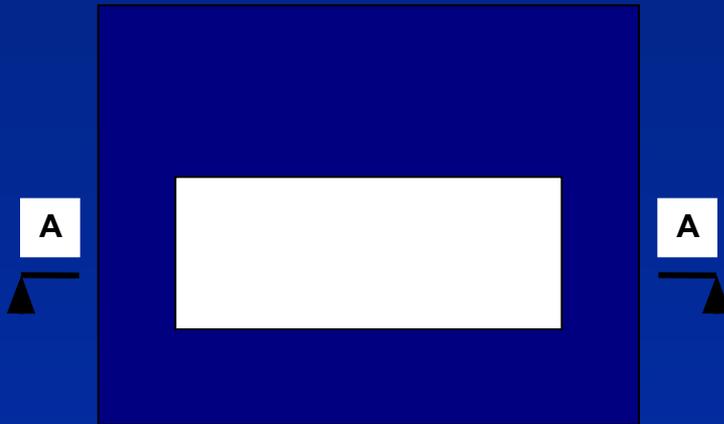


Базовые операции технологического маршрута создания *n*-МОП – транзистора

Исходный материал – подложка *p*-типа

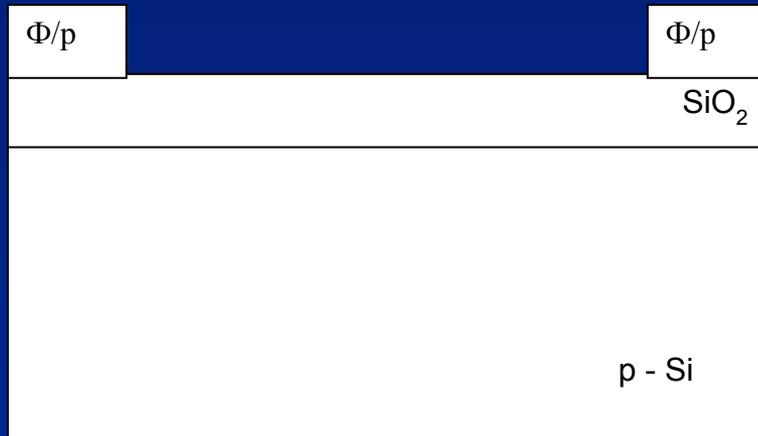
1. Формирование маскирующего слоя SiO_2
(осаждение)

2. Фотолитография 1, шаблон N^+ -слоя (тонкий окисел)



- а) Нанесение фоторезиста
- б) Совмещение фотошаблона
- в) Экспонирование

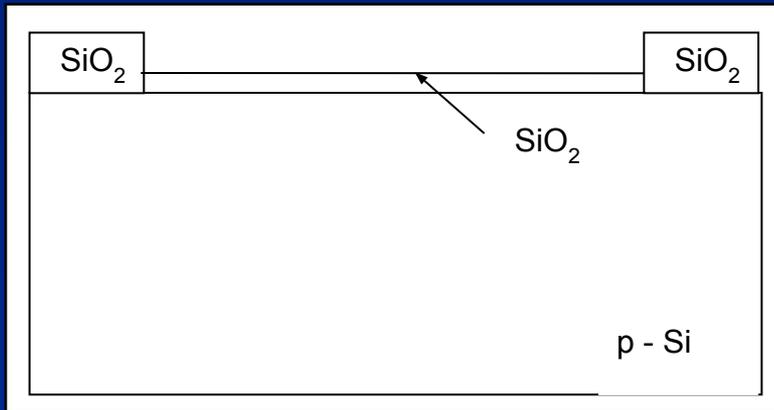
г) Проявление



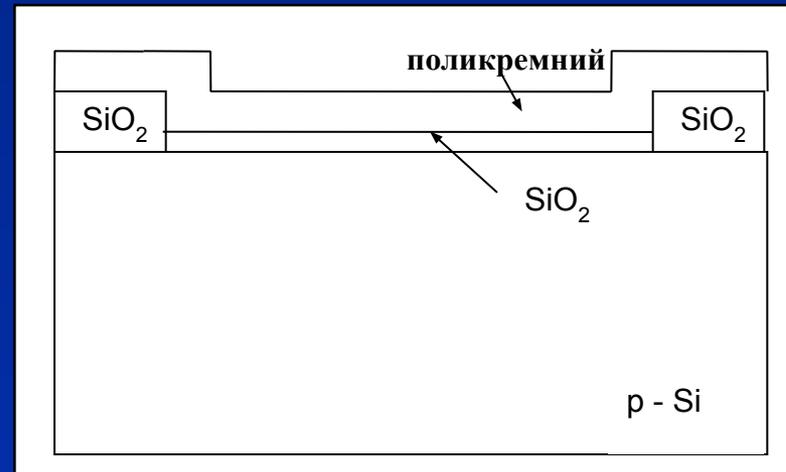
д) Формирование рельефа в маскирующем слое (травление)



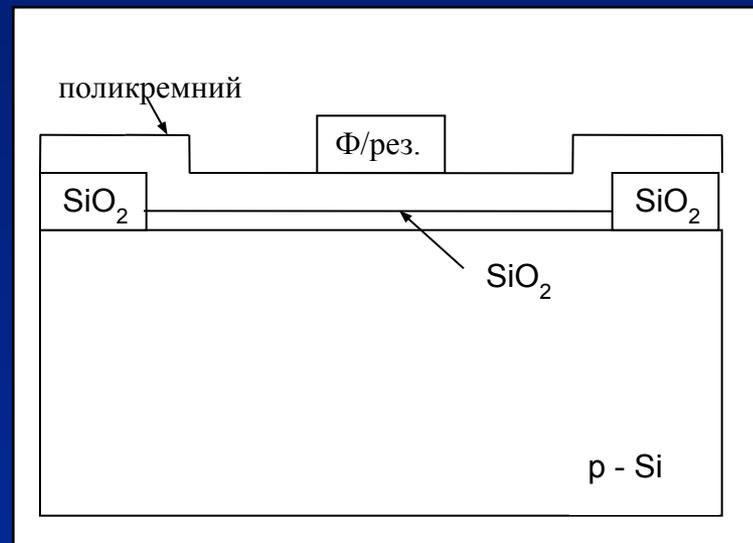
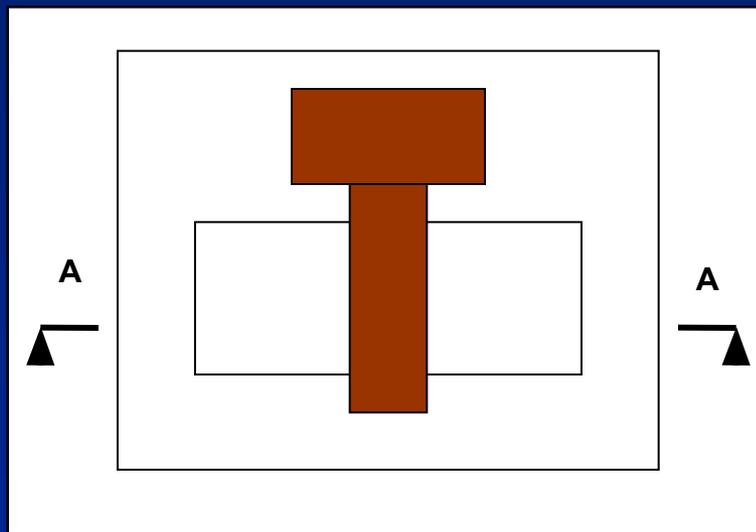
3. Подзатворное окисление (отжиг в окисляющей среде)



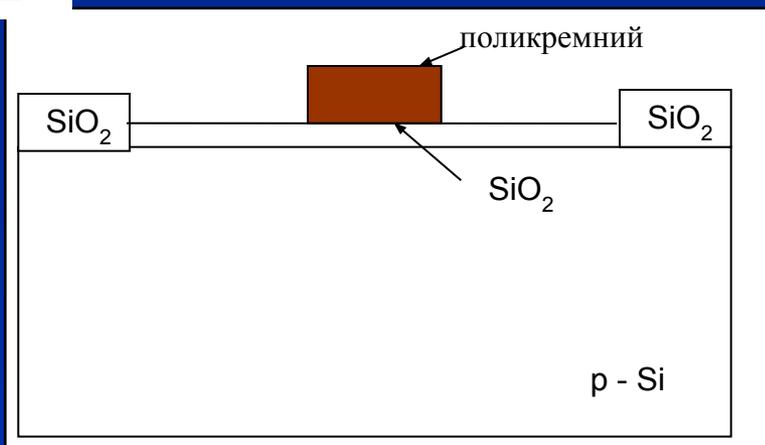
4. Осаждение поликремния



5. Фотолитография 2, шаблон поликремния

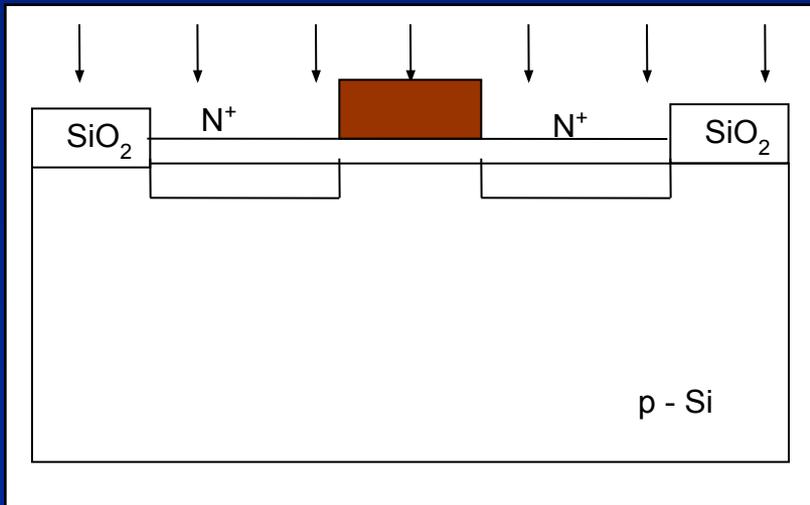


A - A

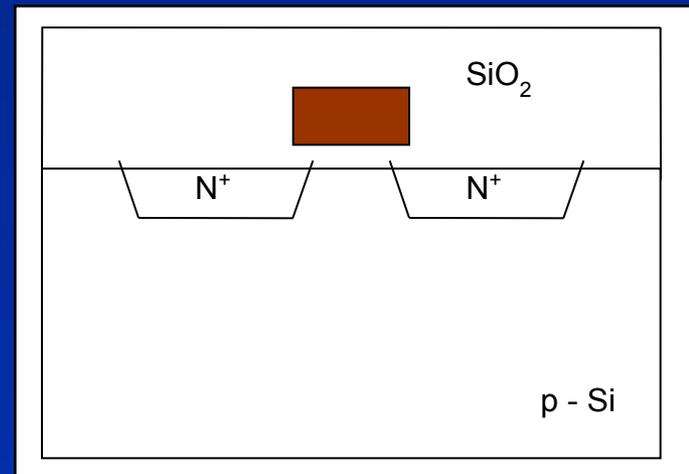


6. Легирование и термический отжиг N^+ -слоя

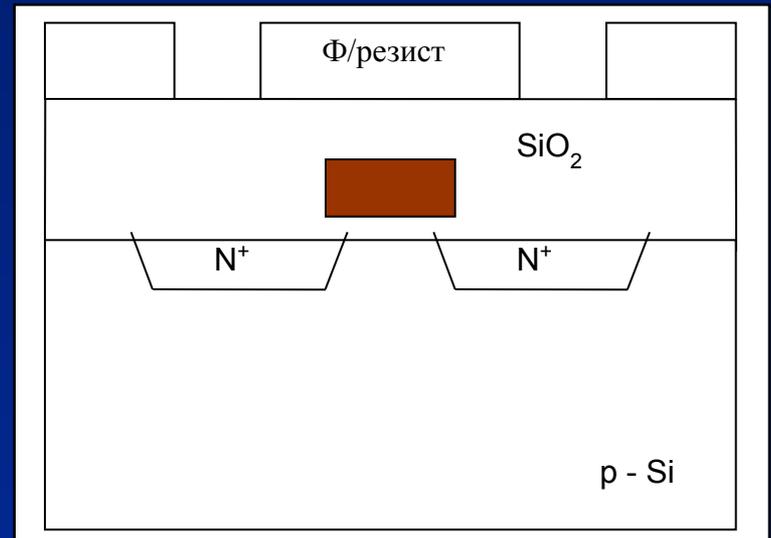
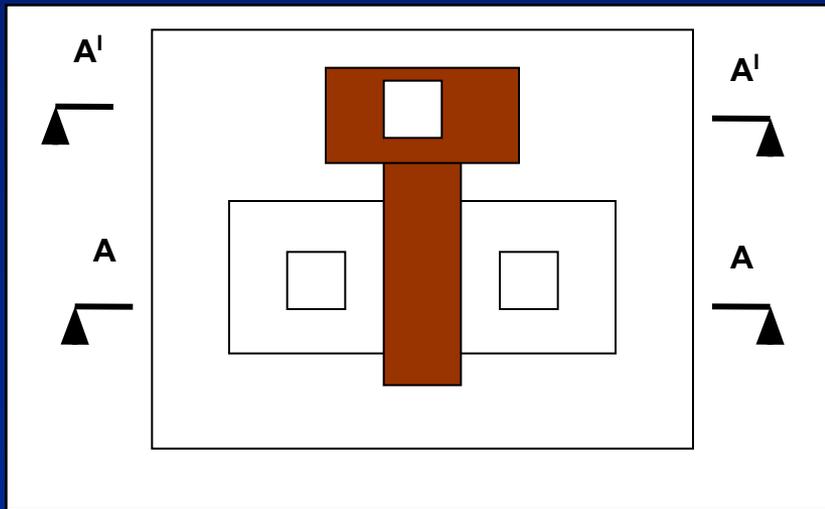
P (As)



7. Осаждение маскирующего окисла

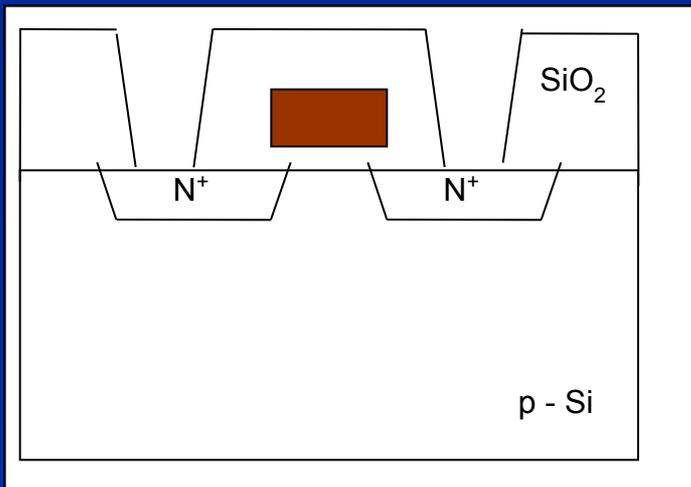


8. Фотолитография 3, шаблон контактных окон

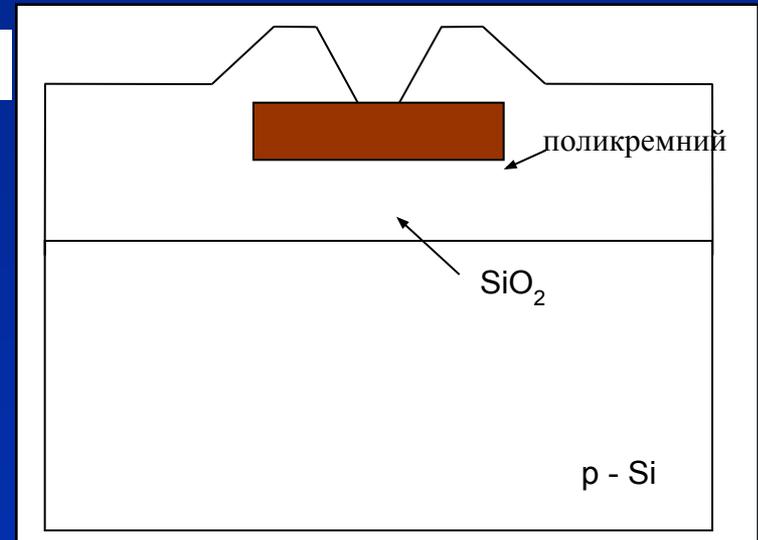


9. Вскрытие контактных окон

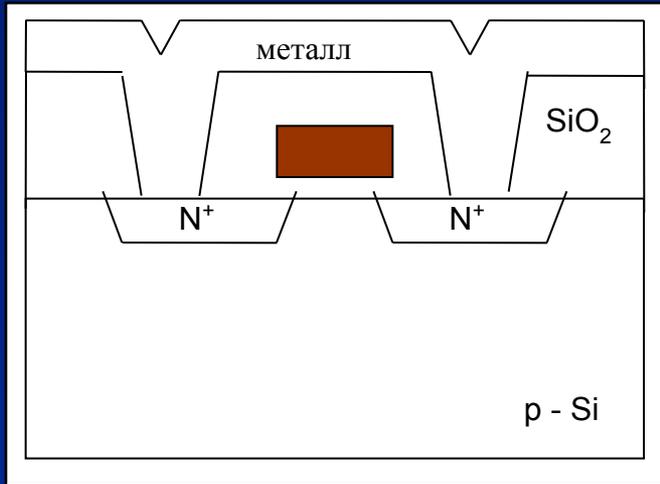
A - A



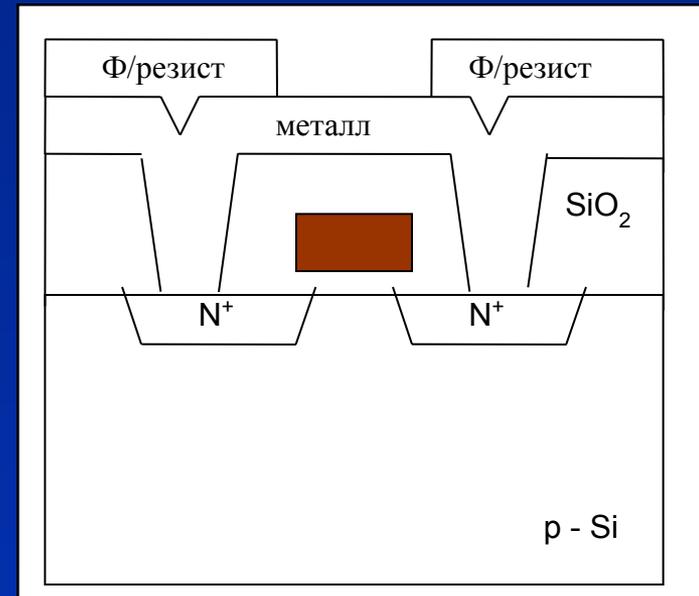
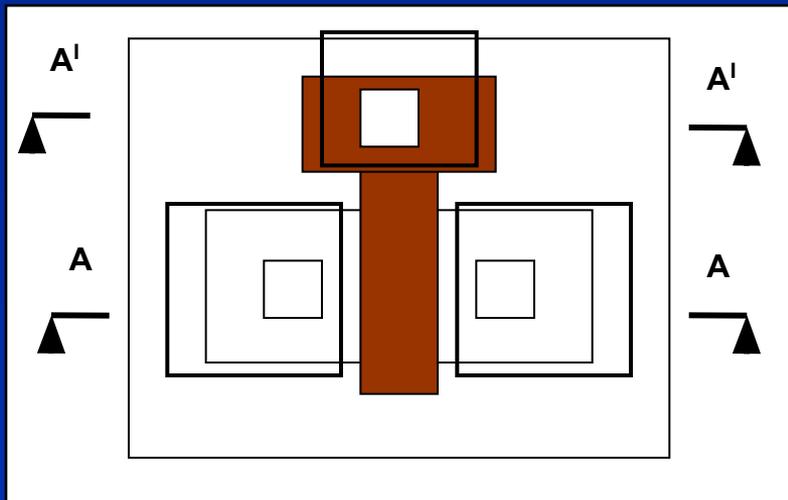
A' - A'



10. Осаждение металла

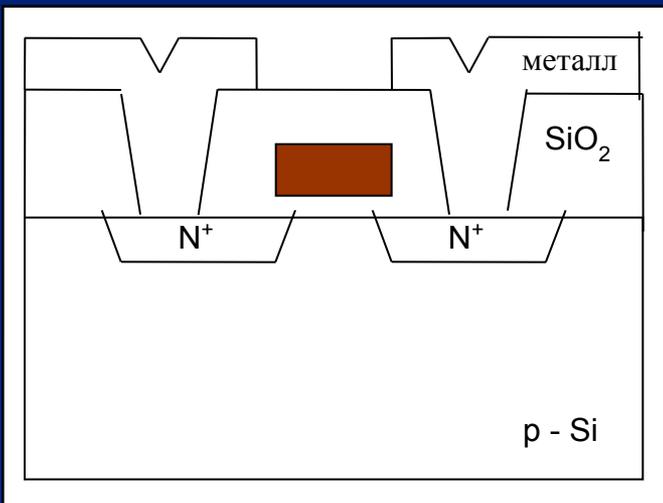


11. Фотолитография 4, шаблон металлизации

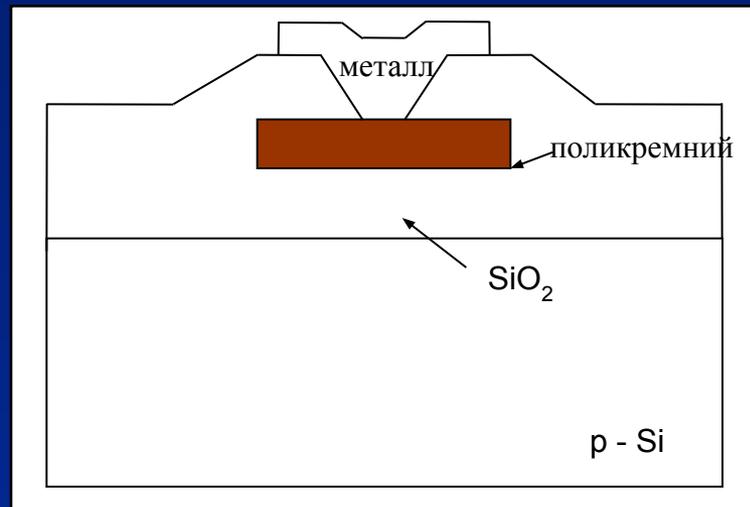


12. Формирование разводки в слое Металл 1 (травление)

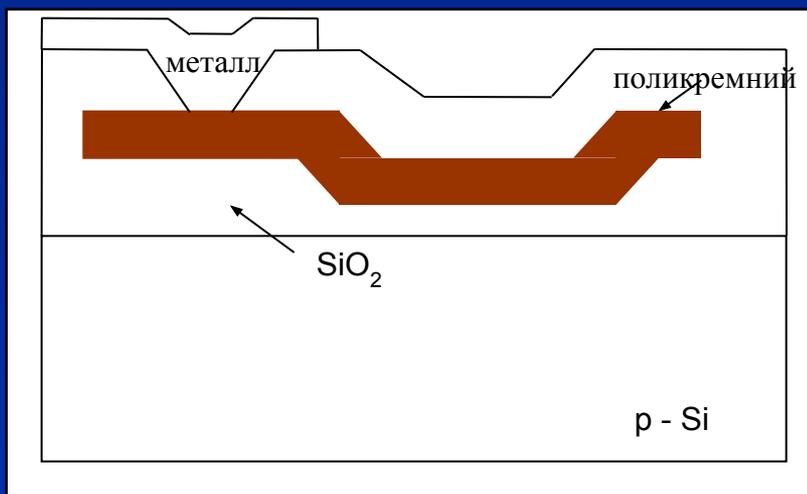
A - A



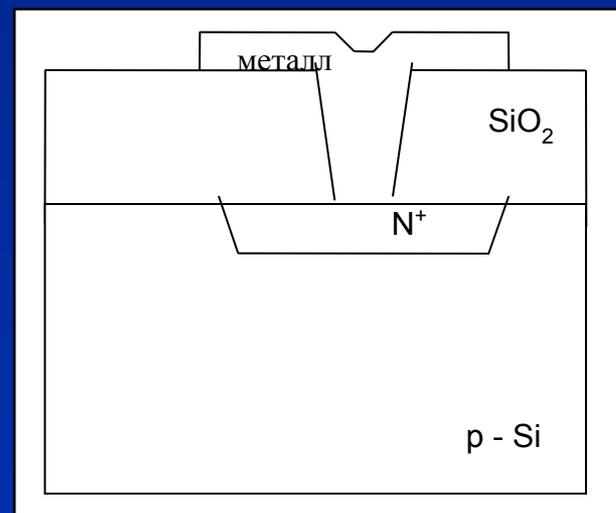
A^I - A^I



B - B



B^I - B^I



Основные технологические операции

- **Фотолитография**
- **Осаждение**
- **Ионное легирование**
- **Отжиг**
- **Травление**

Любая интегральная структура формируется с помощью одних и тех же многократно повторяющихся технологических операций

Литография

Литография (от греческого *lithos* – камень, *grapho* – пишу, рисую) – технологический процесс, предназначенный для формирования на кремниевой подложке топологического рисунка микросхемы с помощью чувствительных к излучению покрытий.

По типу излучения литография делится на:

- **оптическую (фотолитографию)** – длина волны от **200** до **450** нм
- **рентгеновскую** – длина волны от **0.5** до **1.5** нм
- **электронную** – длина волны **0.01** нм

Самая распространенная – **фотолитография**.

Чем меньше длина волны, тем меньшие размеры элементов можно получить.

Определения

Фотошаблон – стеклянная пластина со сформированным на ее поверхности рисунком элементов схем из материала, не пропускающего электромагнитное излучение.

Фоторезист – полимерный светочувствительный материал, который наносится на обрабатываемый материал с целью получить соответствующее фотошаблону расположение окон для доступа травящих или иных веществ к поверхности обрабатываемого материала.

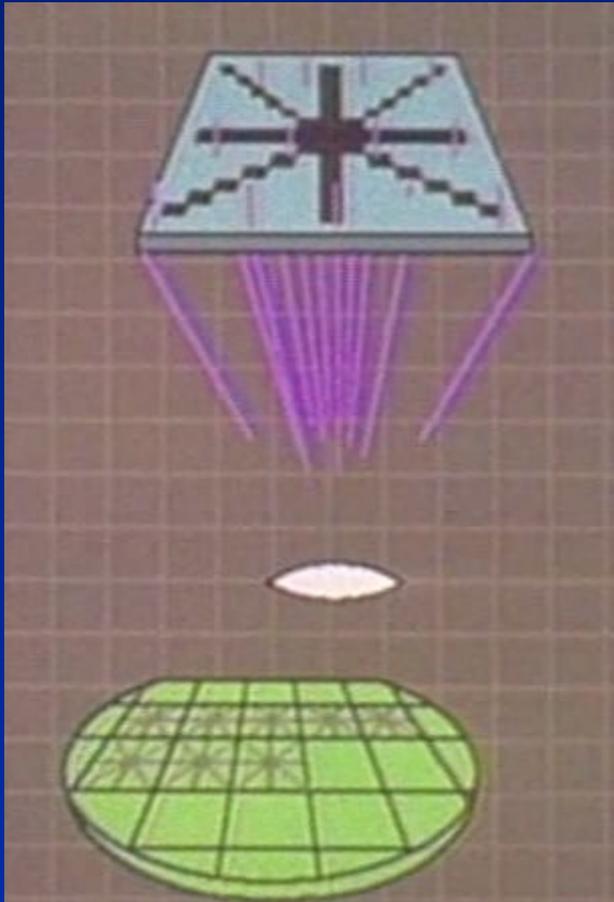
Определения

Экспонирование – процесс облучения светочувствительного материала (фоторезиста) электромагнитным излучением. Воздействие либо разрушает фоторезист, или, наоборот, вызывает его полимеризацию и понижает его растворимость в специальном растворителе.

Проявление фоторезиста – процесс удаления слоя фоторезиста из тех областей, где он не нужен.

Селективность процесса травления говорит о различных скоростях травления в разных направлениях

Суть метода фотолитографии

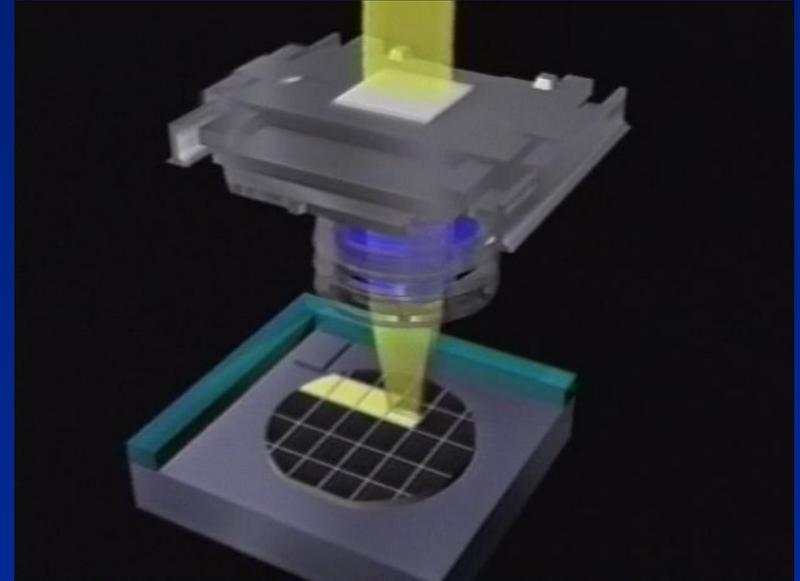
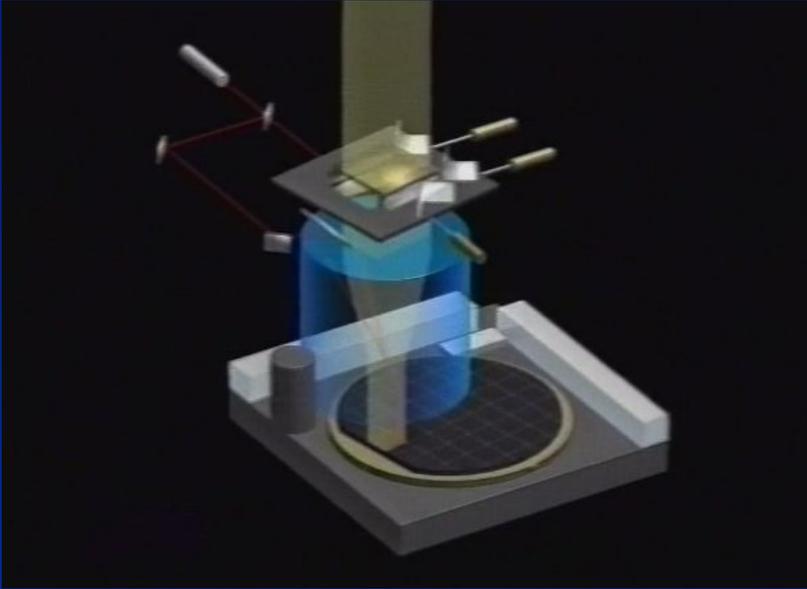


На стеклянную пластину наносят топологический рисунок, непрозрачный для излучения (это фотошаблон). При экспонировании рисунок фотошаблона передается на слой фоторезиста, чтобы после проявления воплотиться в виде защитного рельефа. Передача рисунка с фотошаблона на фоторезист осуществляется либо при непосредственном контакте (контактная фотолитография), либо проецированием его в различных (от 1:1 до 10:1) масштабах через высококачественный объектив (проекционная фотолитография).

Установка фотолитографии

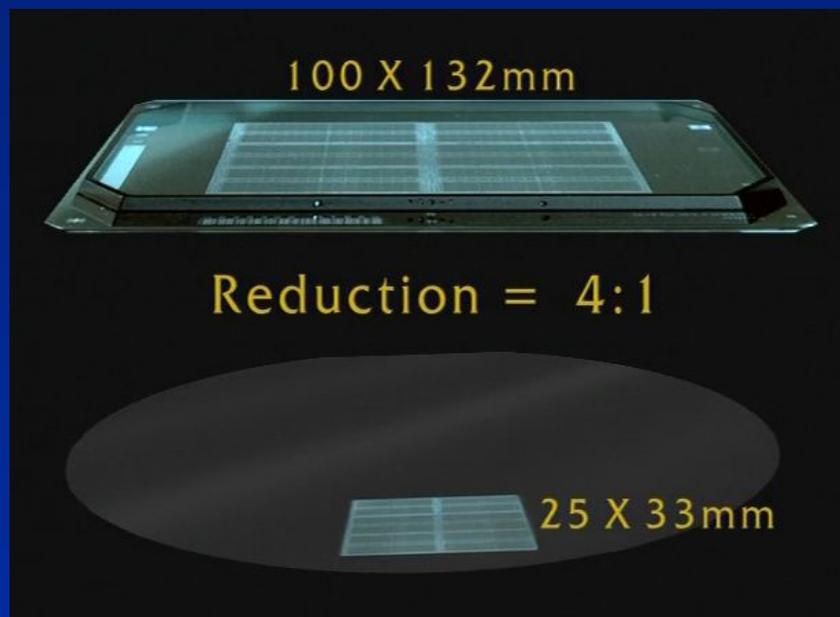


Фотоповторитель



Стол фотоповторителя перемещается на нужный шаг, обеспечивая многократный перенос изображения на фотошаблон.

Проецирование в масштабе 4 : 1



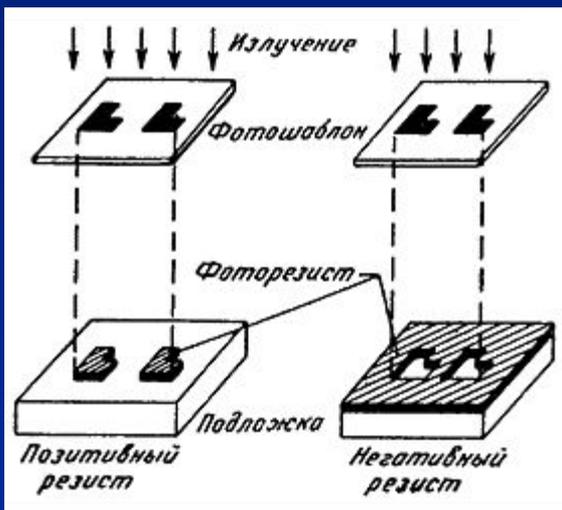
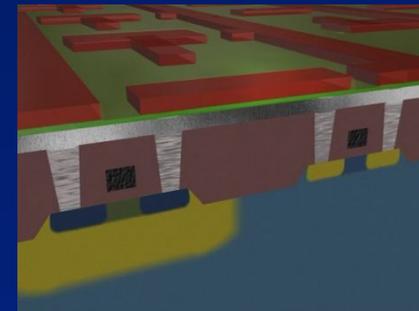
Метки, по которым
совмещают фотошаблон
с пластиной



Основные достоинства фотолитографии

- **Гибкость**, т. е. простой переход от одной конфигурации к другой путем смены фотошаблонов.
- **Точность и высокая разрешающая способность.**
- **Высокая производительность**, обусловленная групповым характером обработки, когда на пластине одновременно формируются от десятка до нескольких тысяч структур будущей ИМС.
- **Универсальность**, т. е. совместимость с другими технологическими процессами.

Фоторезисты — материалы, чувствительные к излучению. Фоторезисты делятся на 2 класса:



Негативные — неэкспонированные участки вымываются, а экспонированные образуют рельеф (маску) заданной конфигурации.

Позитивные — экспонированные участки вымываются, а неэкспонированные образуют рельеф (маску) заданной конфигурации.

При последующей обработке происходит травление в «окнах», образованных засвеченными (позитивный фоторезист) или незасвеченными (негативный фоторезист) участками фоторезиста.

Основные свойства фоторезистов

Экспозиция – количество света, попадающего на светочувствительный фотоматериал за определенный промежуток времени.

Светочувствительность – величина, обратная экспозиции, требуемой для перевода фоторезиста в растворимое или нерастворимое состояние под воздействием света.

Разрешающая способность – минимальный размер рисунка, который может быть получен с помощью системы экспонирования.

Стойкость к воздействию агрессивных факторов.

Стабильность эксплуатационных свойств фоторезисторов во времени выражается сроком службы при определенных условиях хранения и использования.

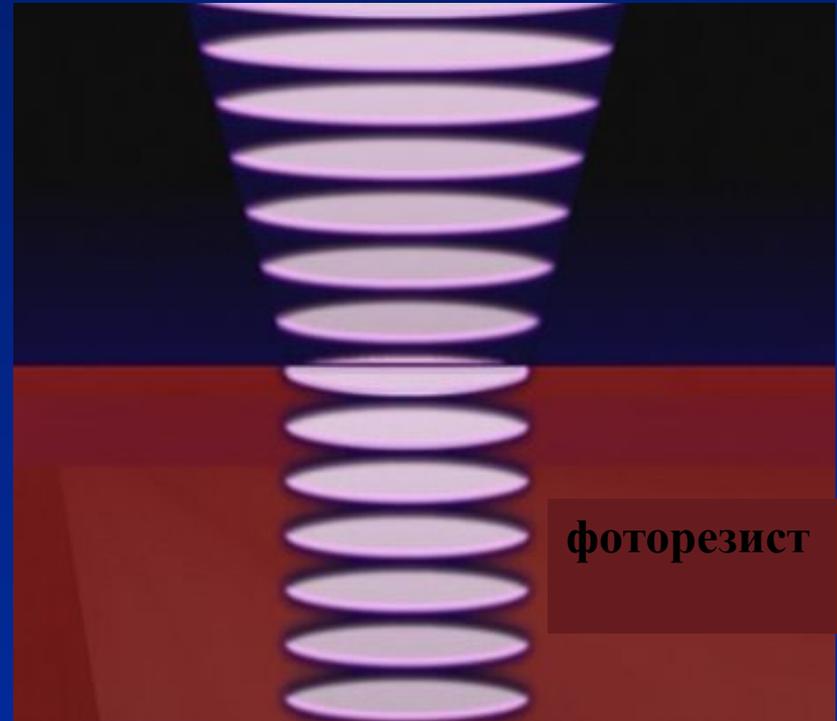
Экспозиция и светочувствительность

Экспозиция

$$H = E * t,$$

где E – интенсивность излучения (мощность на единицу площади),
 t – время экспонирования, сек.

Светочувствительность – $1/H$.



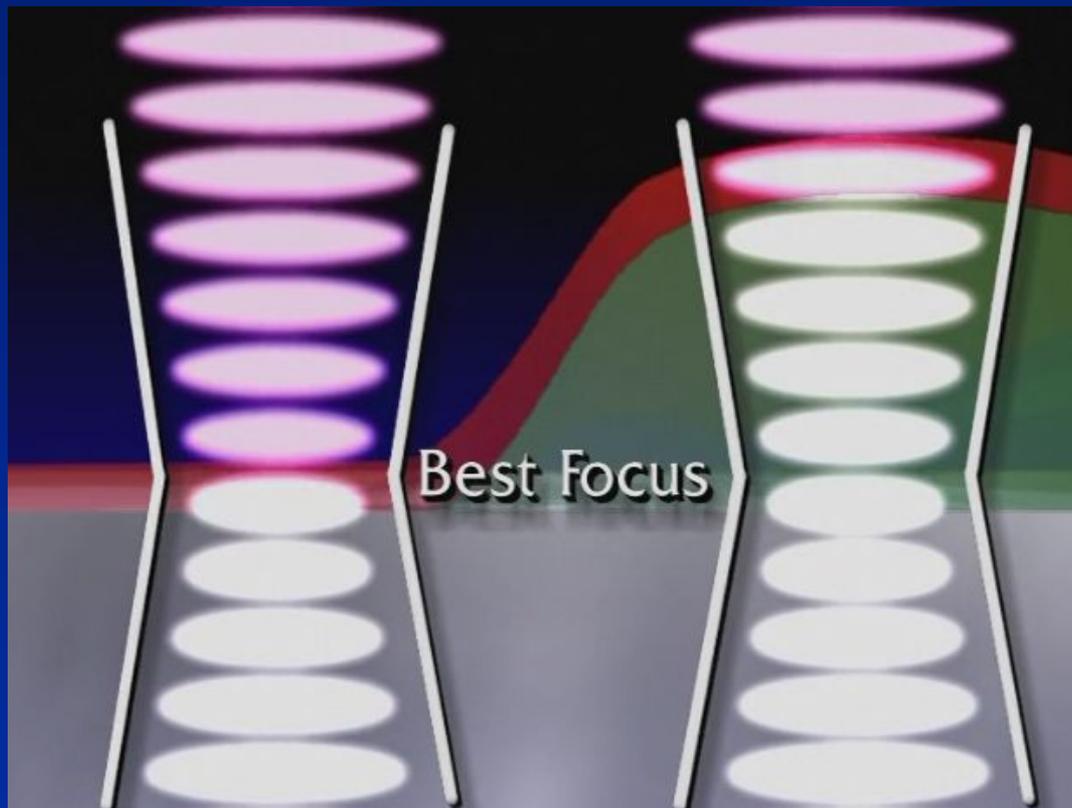
Свет проникает на всю глубину фоторезиста и отражается в обратную сторону. Оба потока участвуют в процессе проявления фоторезиста. Необходимо правильно подобрать мощность излучения и время воздействия.

Разрешающая способность

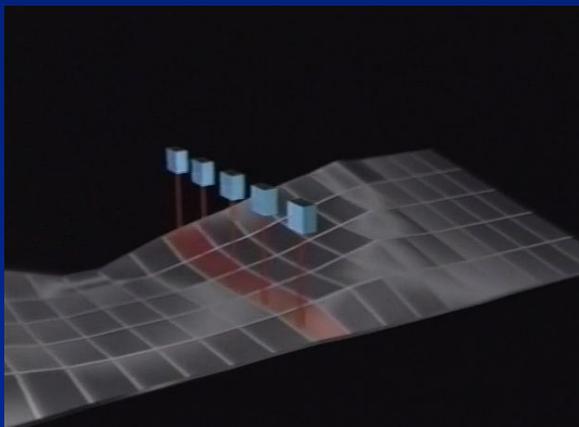
Разрешающая способность зависит от многих технологических факторов, а также от свойств фоторезиста и источника излучения:

- свойств и толщины фоторезиста;
- свойств и качества фотошаблонов;
- длины волны излучения;
- времени экспонирования;
- фокусировки;
- селективности;
- обработки поверхности подложки.

Фокусировка



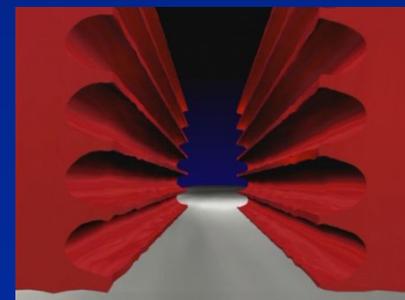
Искажение рисунка при фотолитографии



Изгиб подложки может приводить к значительным искажениям рисунка



Дифракция светового потока (на краю рисунка световой поток расширяется и заходит в область геометрической тени)



Интерференция светового потока (наложение волн)

Литература:

- 1. Королев М.А., Ревелева М.А. Технология и конструкции интегральных микросхем. ч.1. 2000 М; МИЭТ.
- 2. Королев М.А., Крупкина Т.Ю., Ревелева М.А. Технология, конструкции и методы моделирования кремниевых интегральных микросхем: в 2 ч. / под общей ред. Чаплыгина Ю.А. – Ч. 1: Технологические процессы изготовления кремниевых интегральных схем и их моделирование. – 397 с. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 2007

Фотолитография – photolithography

Осаждение – deposition

Легирование – doping

Отжиг – diffusion

Травление – etch

Светочувствительность – light sensitivity

Разрешающая способность – resolution

Селективность – selectivity

Экспонирование – exposure

Интенсивность воздействия – exposure latitude

Время экспонирования (продолжительность) – exposure range

Проявление – development

Фоторезист – photoresist (mask)

Фокусировка – focus latitude