

# Лекция 5

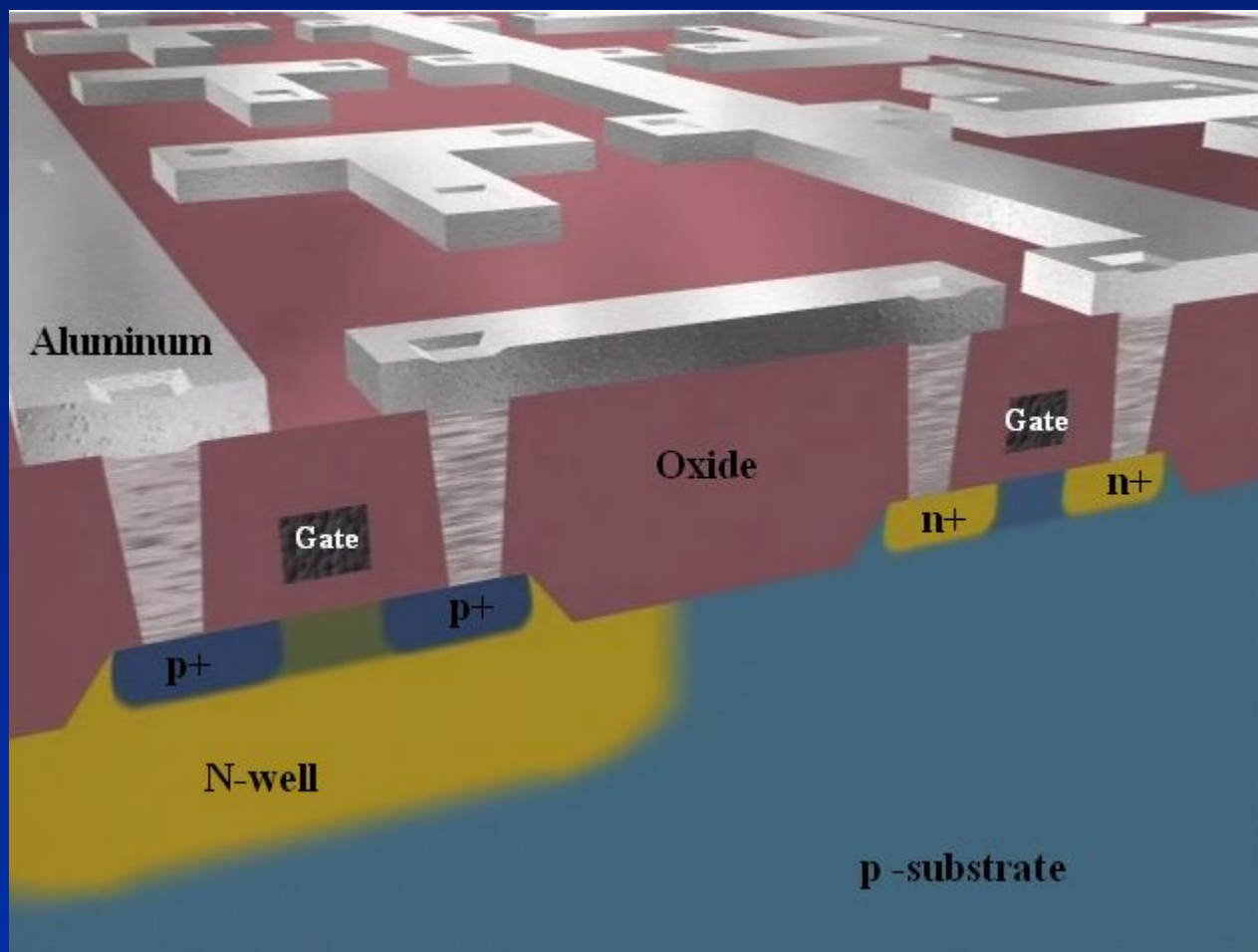
## Технология производства ИС

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

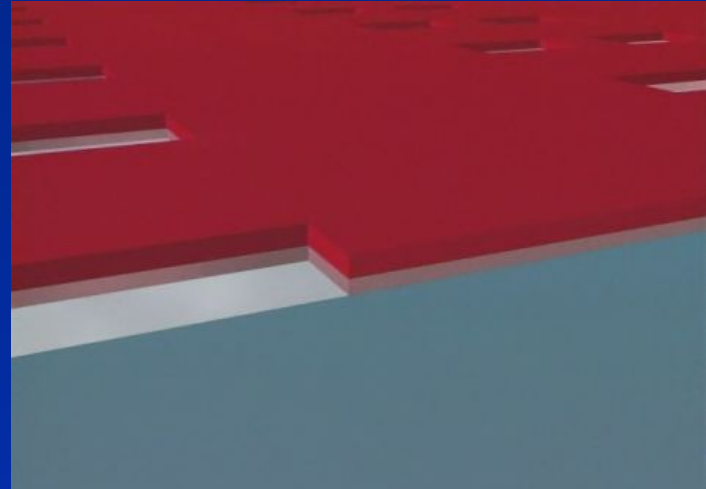
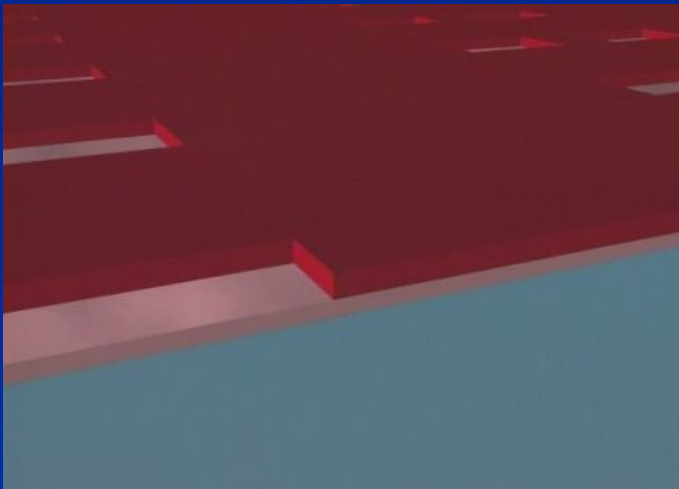
# Преимущества КМОП ИС над биполярными ИС

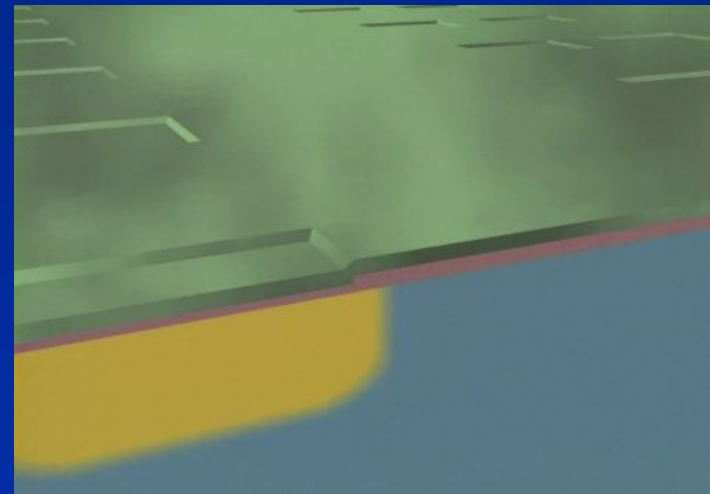
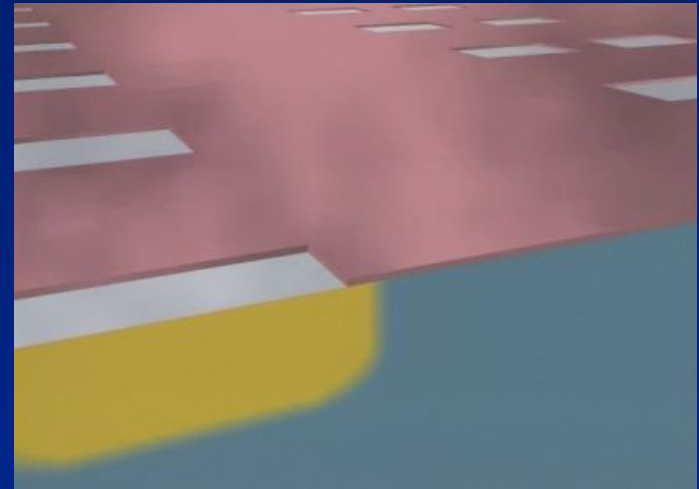
- Малые размеры и площадь
- Упрощенная изоляция
- Низкая потребляемая и рассеиваемая мощность
- Устойчивость к перегрузкам
- Высокое входное сопротивление
- Помехоустойчивость
- Низкая себестоимость производства

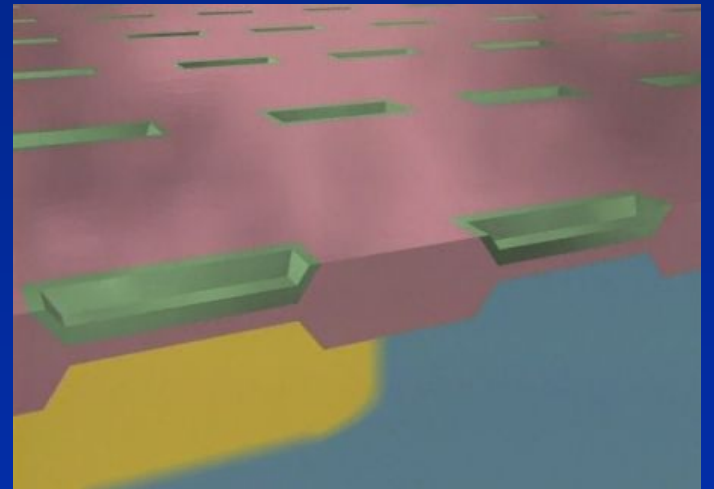
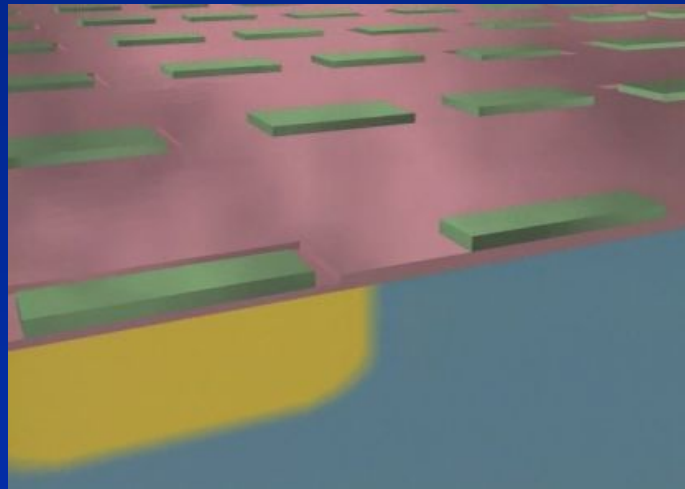
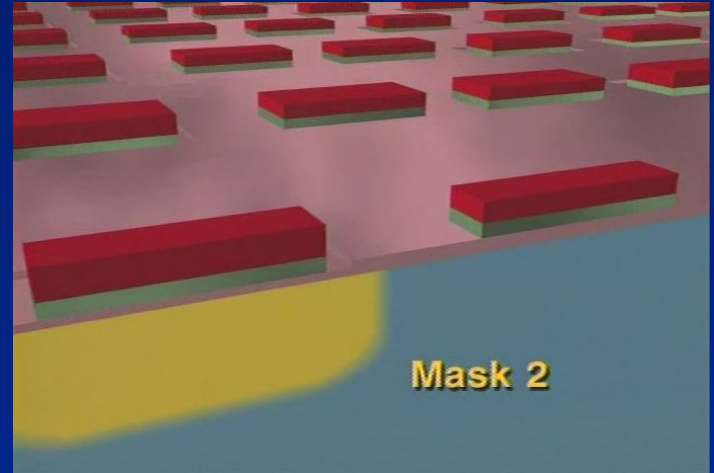
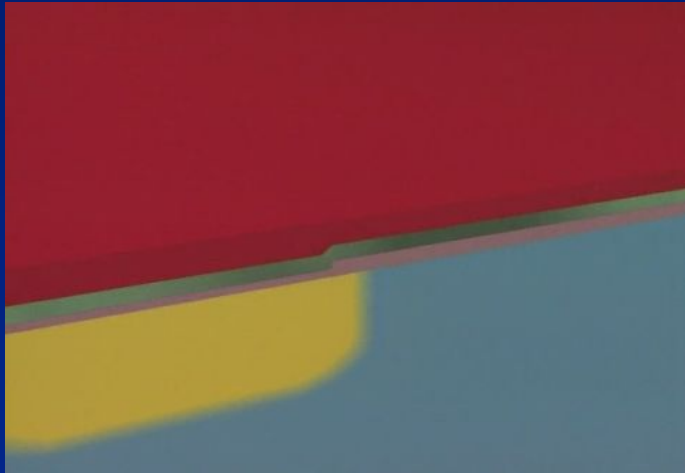
# КМОП структура

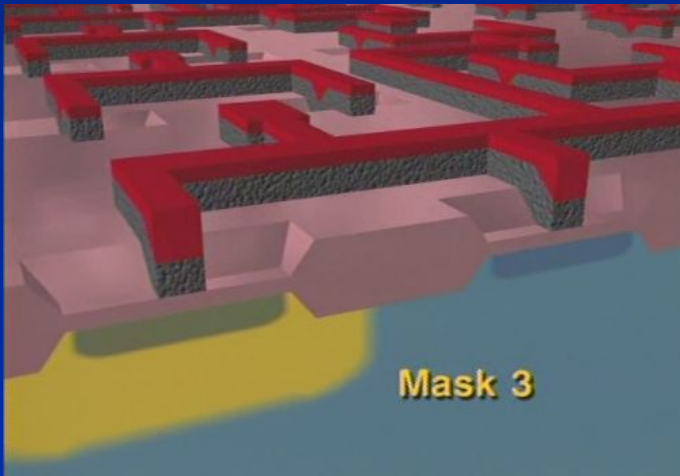
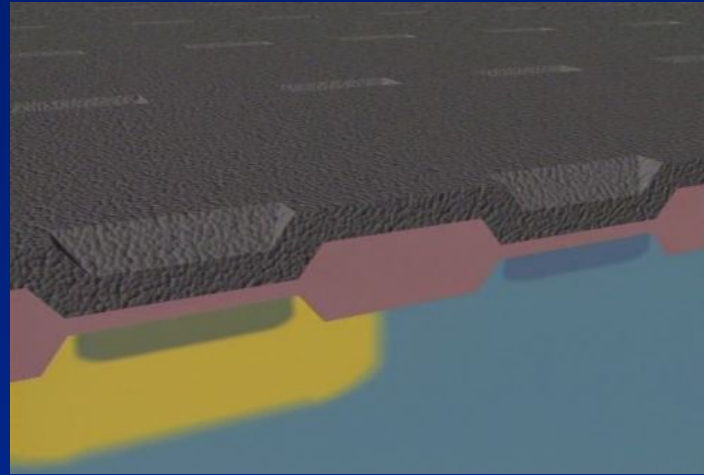
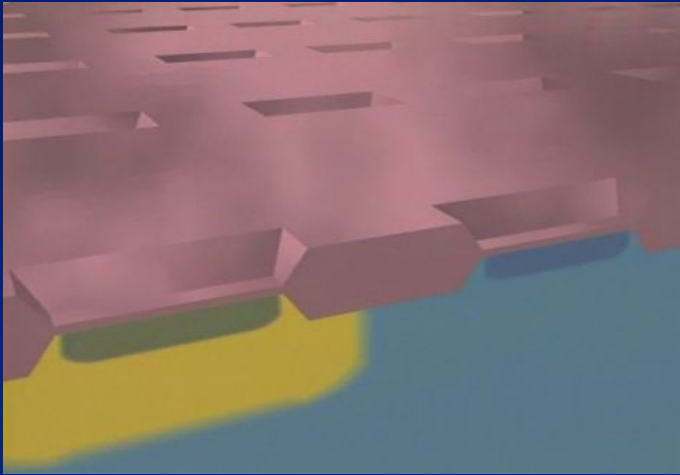


# КМОП процесс

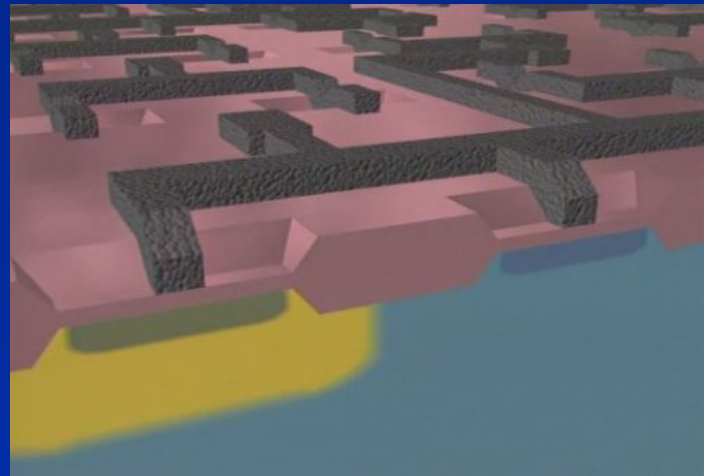


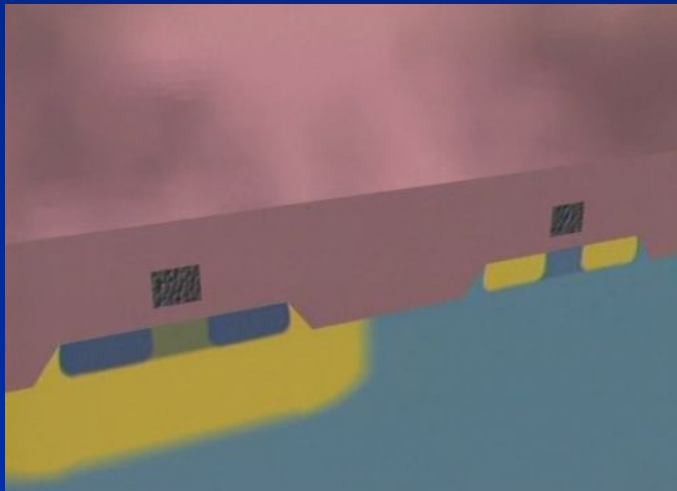
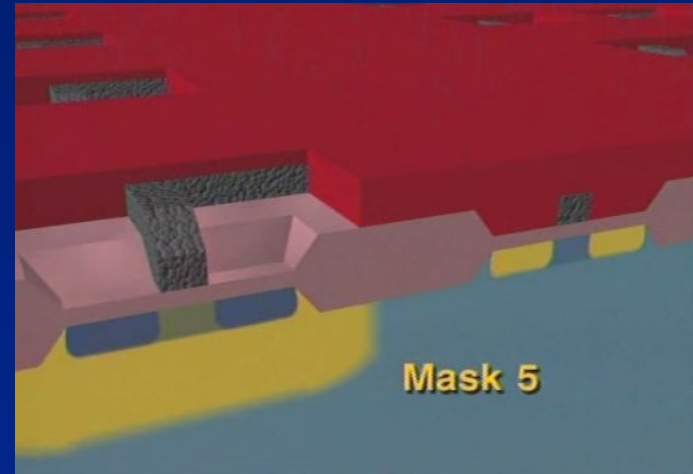




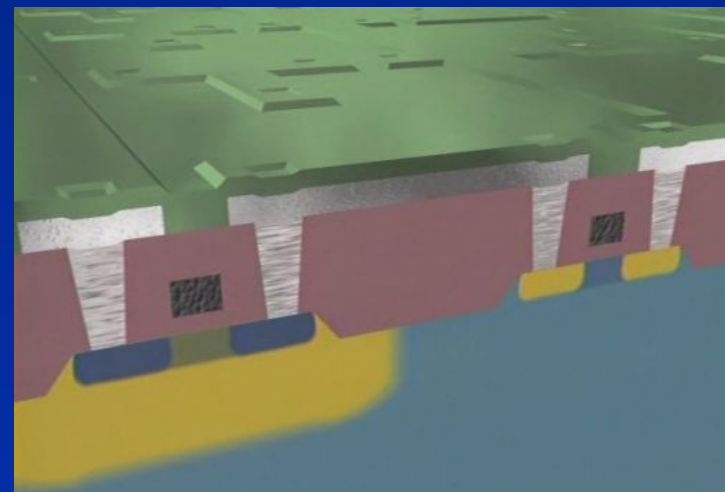
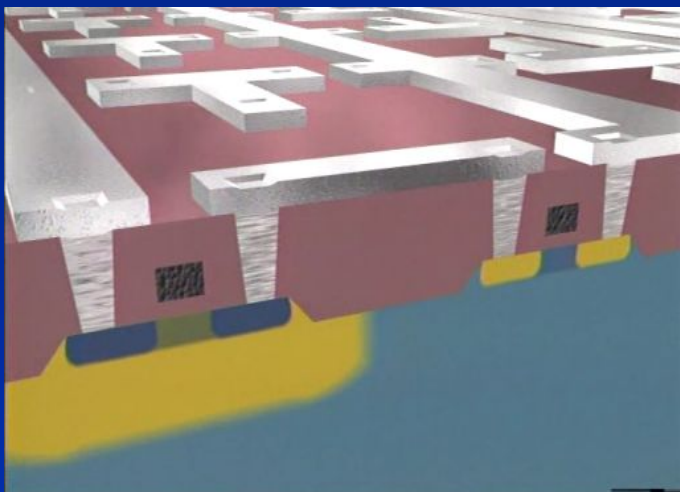
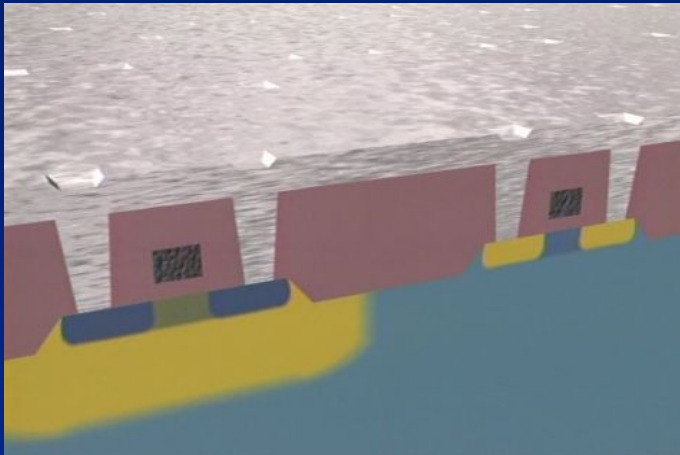


Mask 3







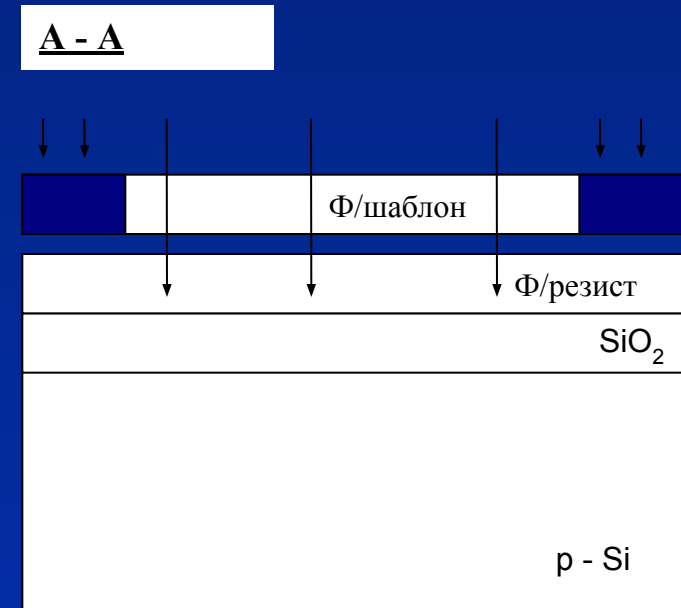
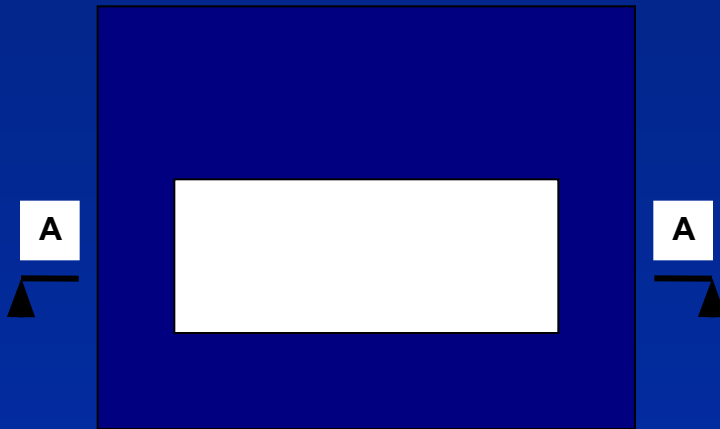


# Базовые операции технологического маршрута создания *n*-МОП – транзистора

Исходный материал – подложка *p*-типа

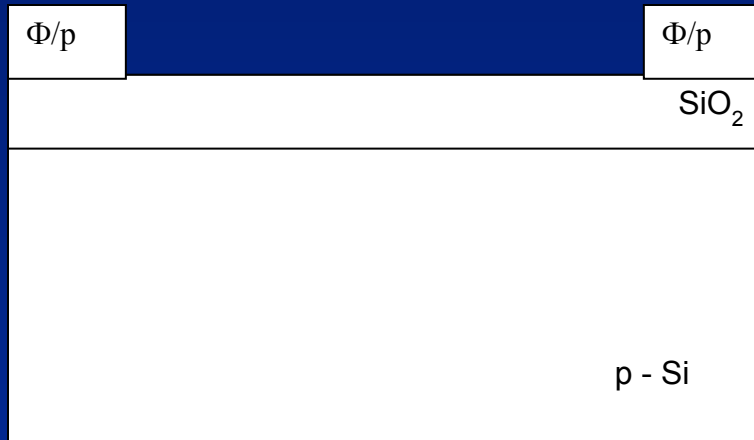
1. Формирование маскирующего слоя  $\text{SiO}_2$   
(осаждение)

2. Фотолитография 1, шаблон  $\text{N}^+$ -слоя (тонкий окисел)



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

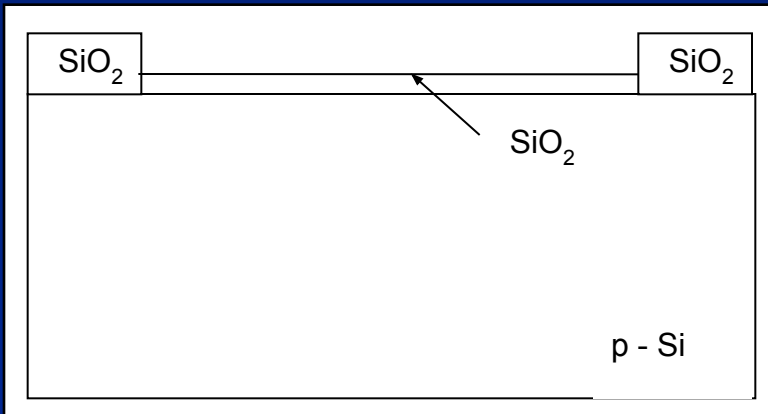
## г) Проявление



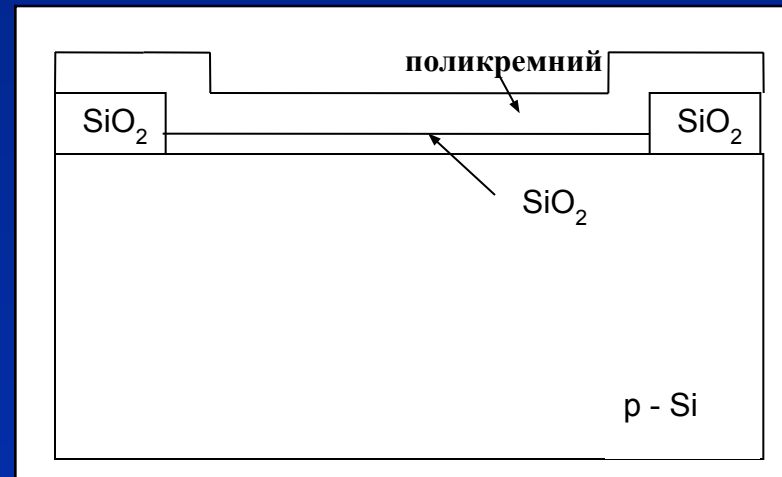
## д) Формирование рельефа в маскирующем слое (травление)



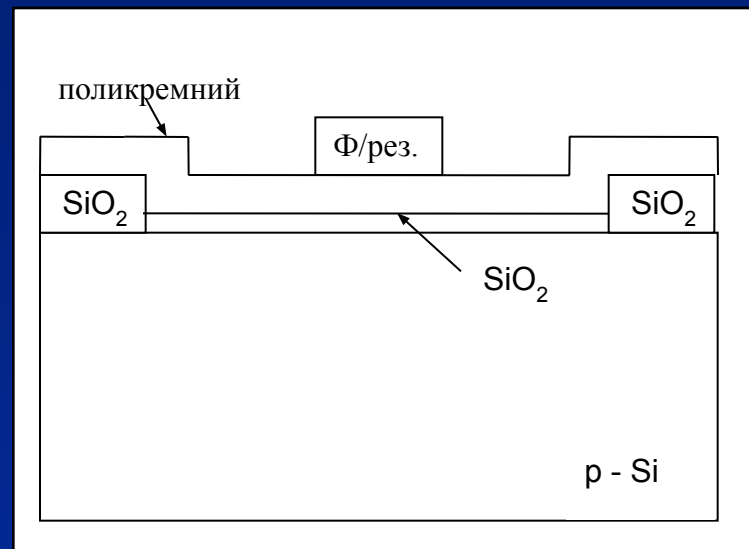
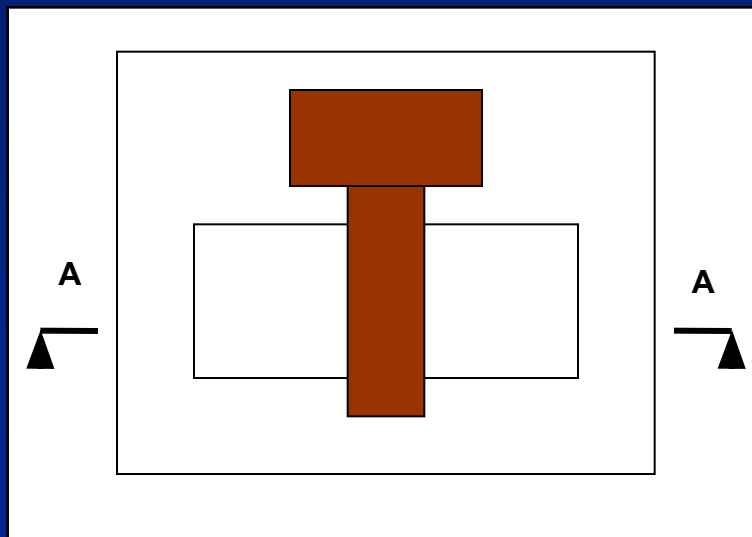
### 3. Подзатворное окисление (отжиг в окисляющей среде)



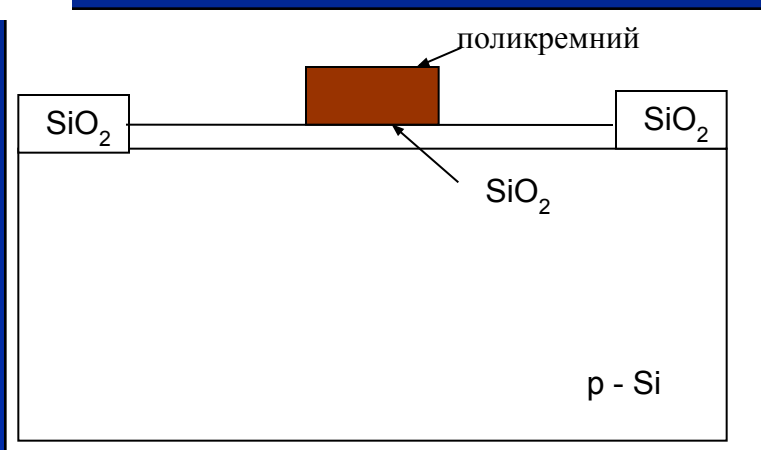
### 4. Осаждение поликремния



## 5. Фотолитография 2, шаблон поликремния

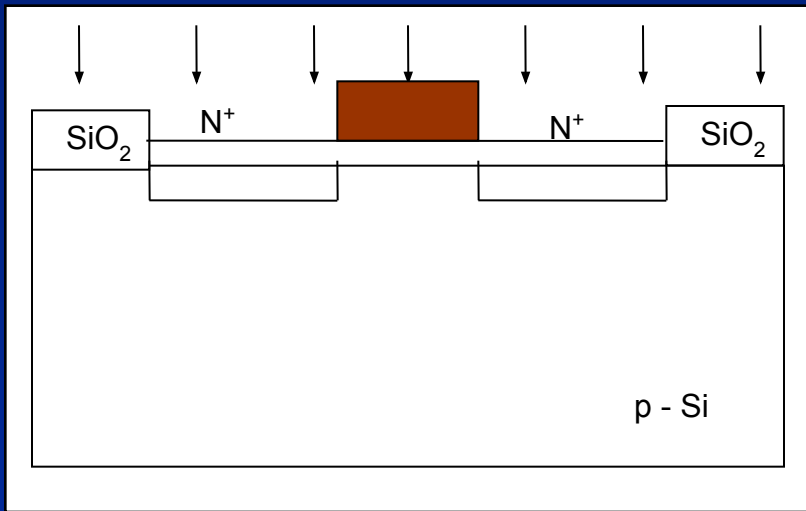


**A - A**

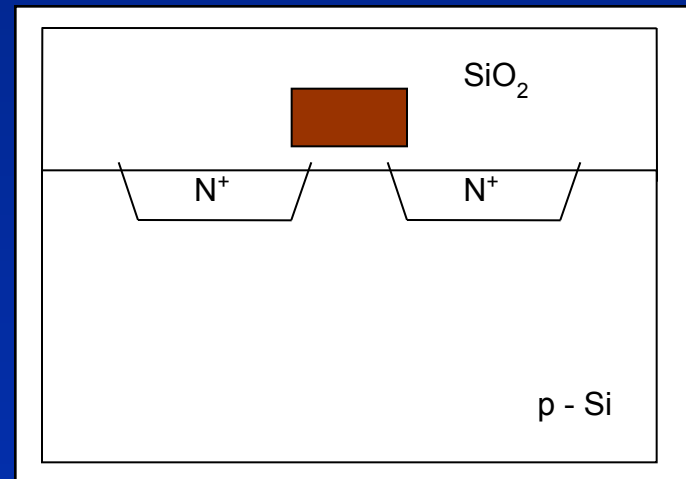


## 6. Легирование и термический отжиг $N^+$ -слоя

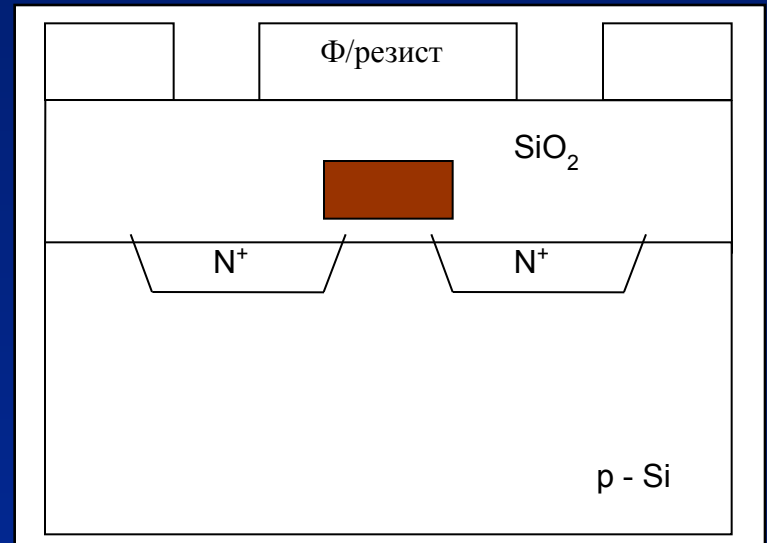
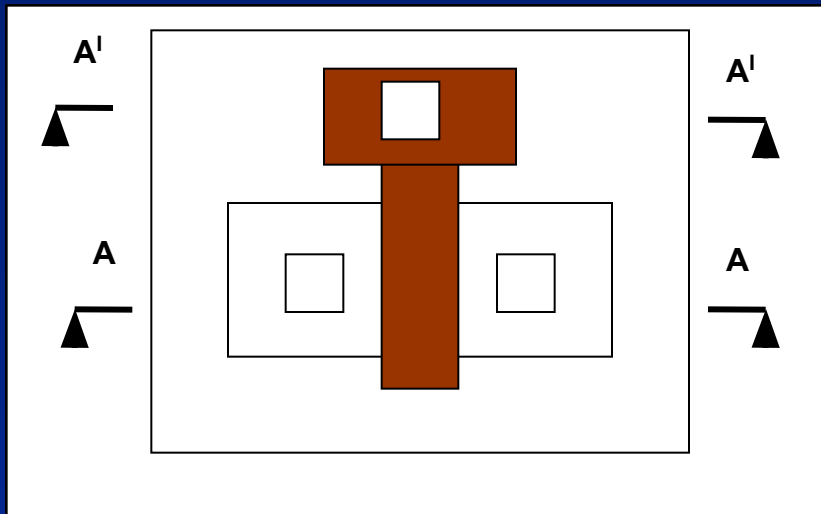
P (As)



## 7. Осаждение маскирующего окисла

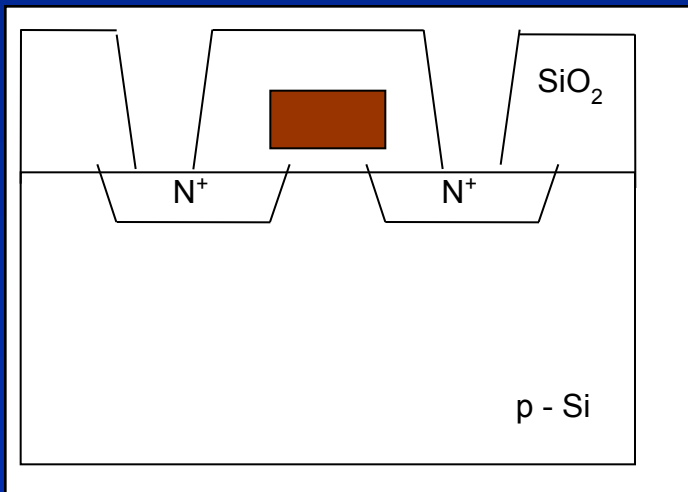


## 8. Фотолитография 3, шаблон контактных окон

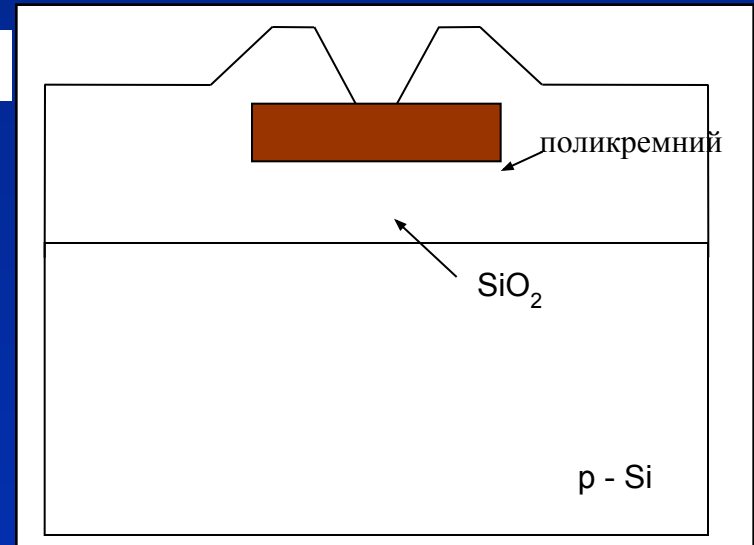


## 9. Вскрытие контактных окон

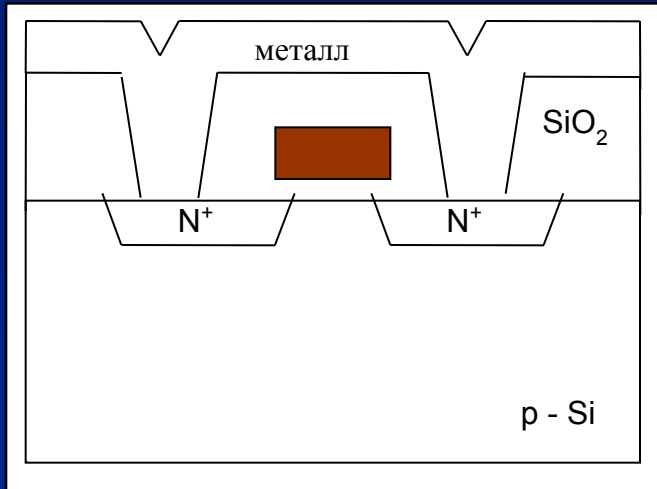
A-A



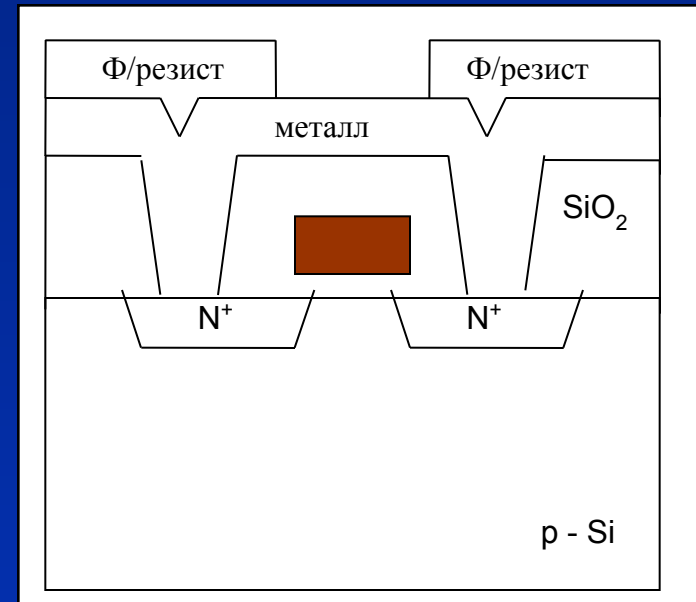
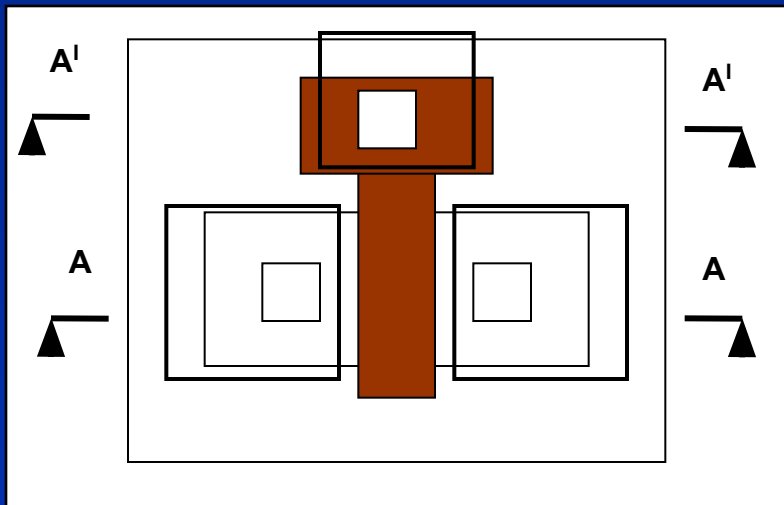
A'-A'



## 10. Осаждение металла



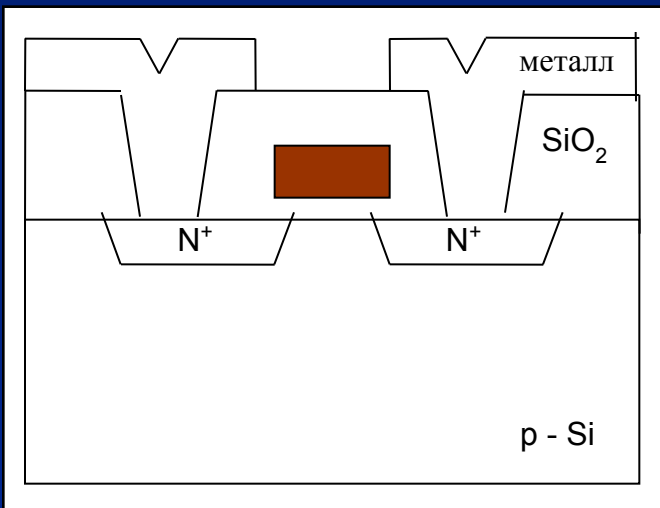
## 11. Фотолитография 4, шаблон металлизации



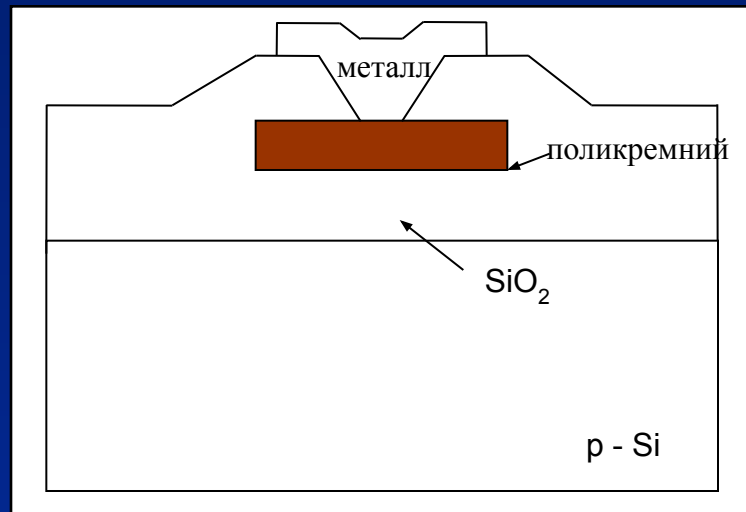


## 12. Формирование разводки в слое Металл 1 (травление)

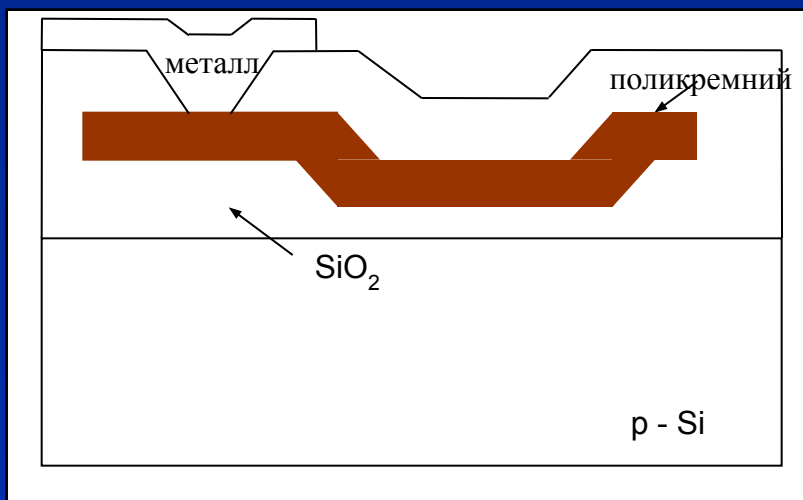
**A - A**



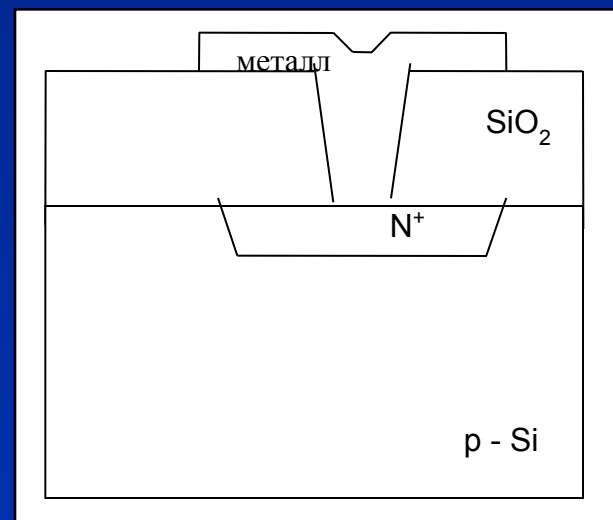
**A<sup>I</sup> - A<sup>I</sup>**



**B - B**



**B<sup>I</sup> - B<sup>I</sup>**



# 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.

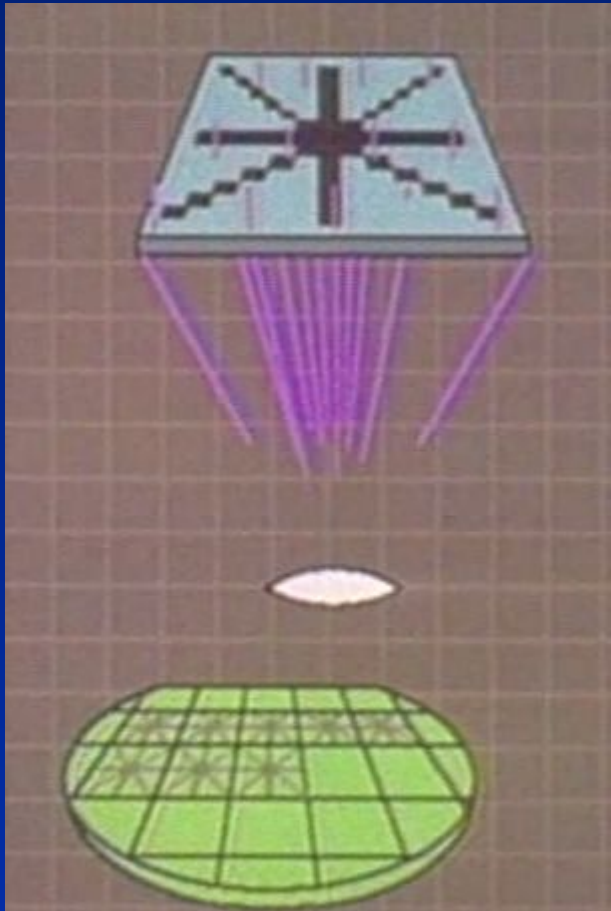
# Определения

**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

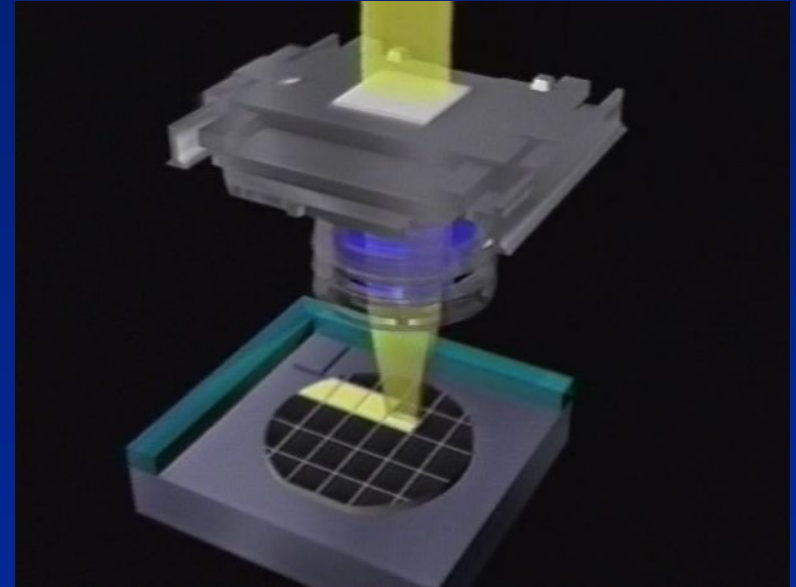
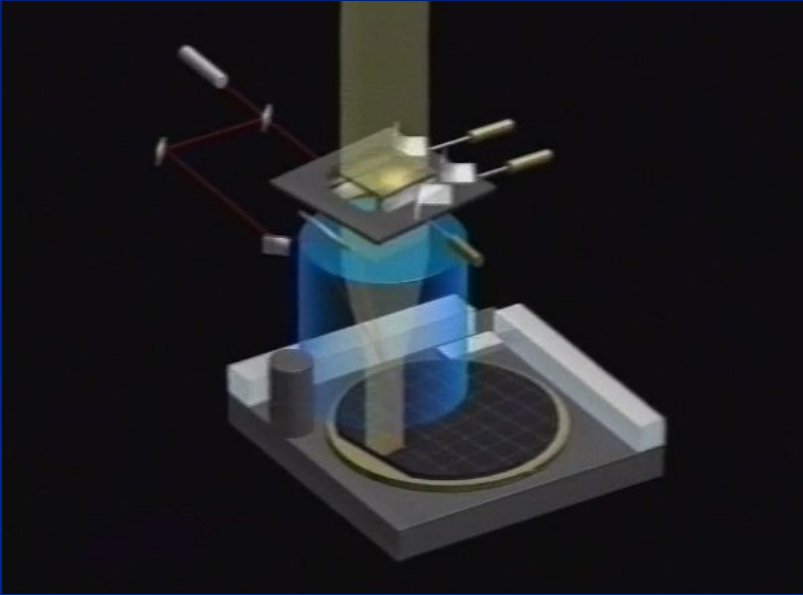


На стеклянную пластину наносят топологический рисунок, непрозрачный для излучения (это фотошаблон). При экспонировании рисунок фотошаблона передается на слой фоторезиста, чтобы после проявления воплотиться в виде защитного рельефа. Передача рисунка с фотошаблона на фоторезист осуществляется либо при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

# Установка фотолитографии



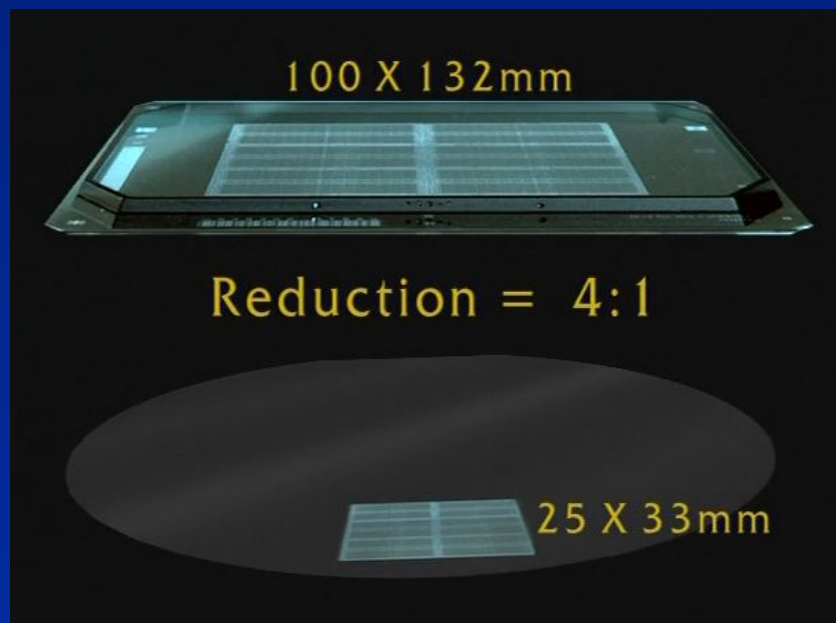
# Фотоповторитель



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



## Проецирование в масштабе 4 : 1



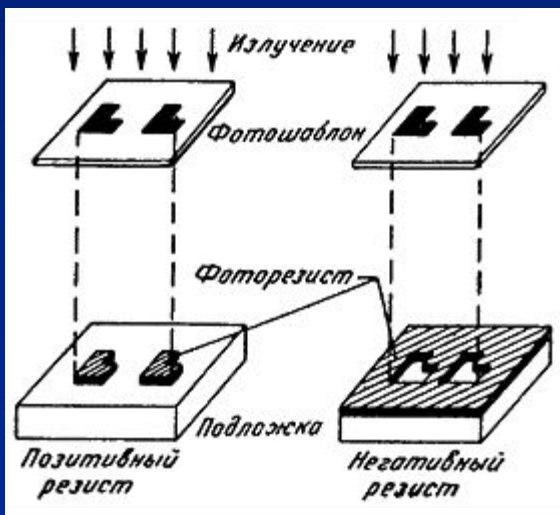
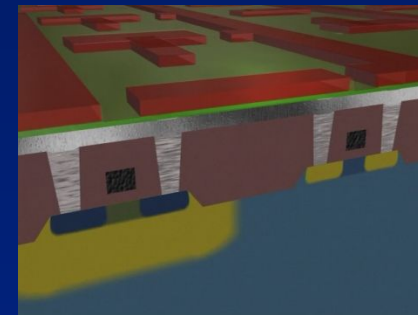
Метки, по которым  
совмещают фотошаблон  
с пластиной



# 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.

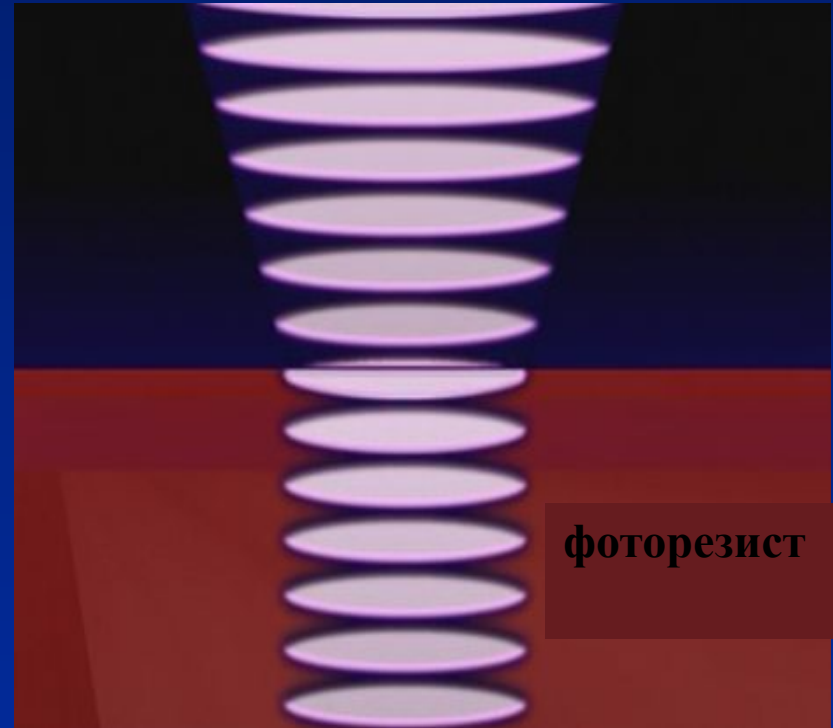
# Экспозиция и светочувствительность

## Экспозиция

$$H = E * t,$$

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

Светочувствительность –  $1/H$ .



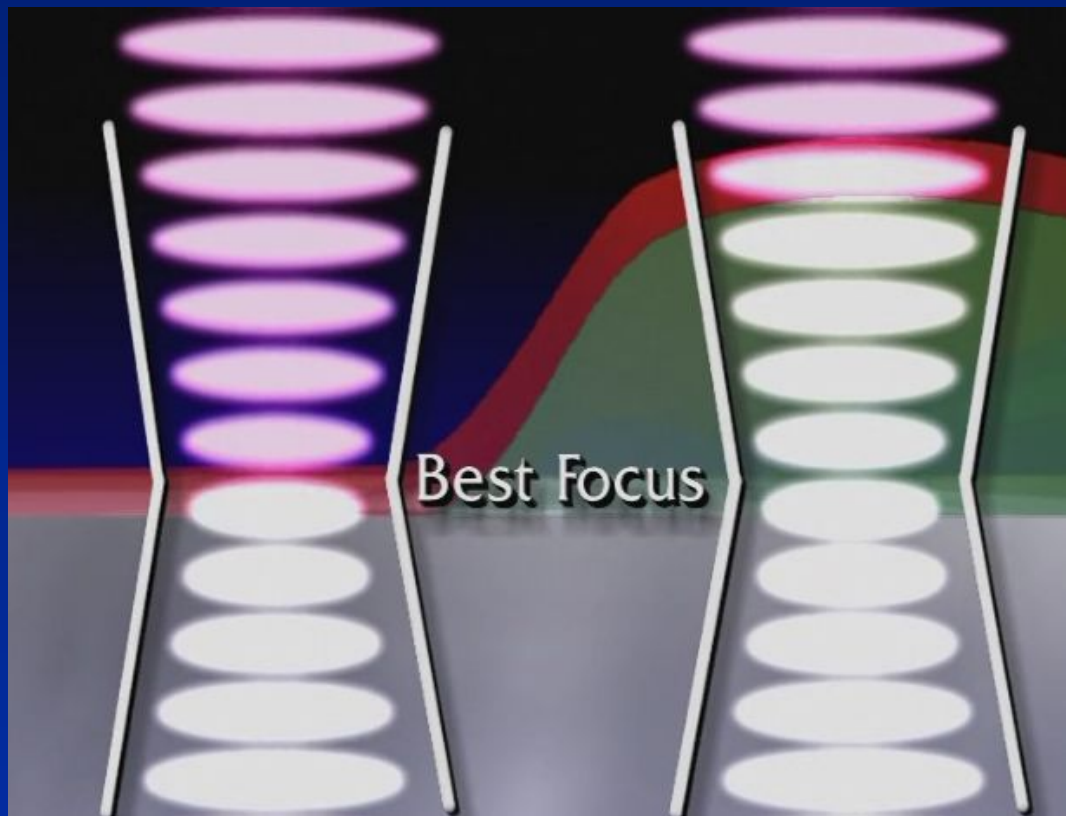
Свет проникает на всю глубину фоторезиста и отражается в обратную сторону. Оба потока участвуют в процессе проявления фоторезиста. Необходимо правильно подобрать мощность излучения и время воздействия.

# Разрешающая способность

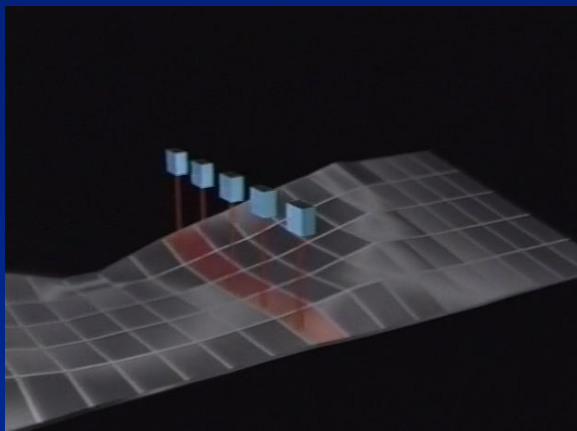
Разрешающая способность зависит от многих технологических факторов, а также от свойств фоторезиста и источника излучения:

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

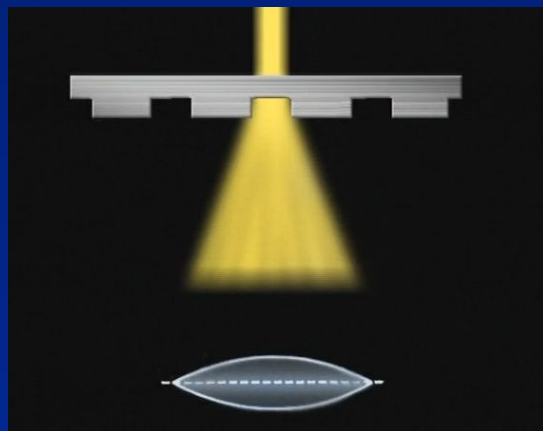
# Фокусировка



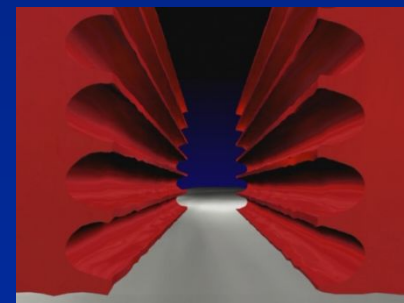
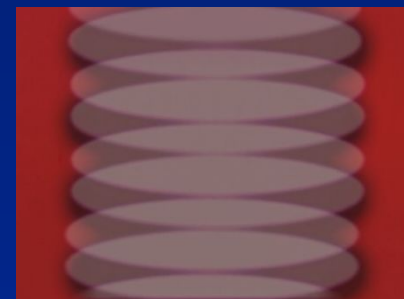
# Искажение рисунка при фотолитографии



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