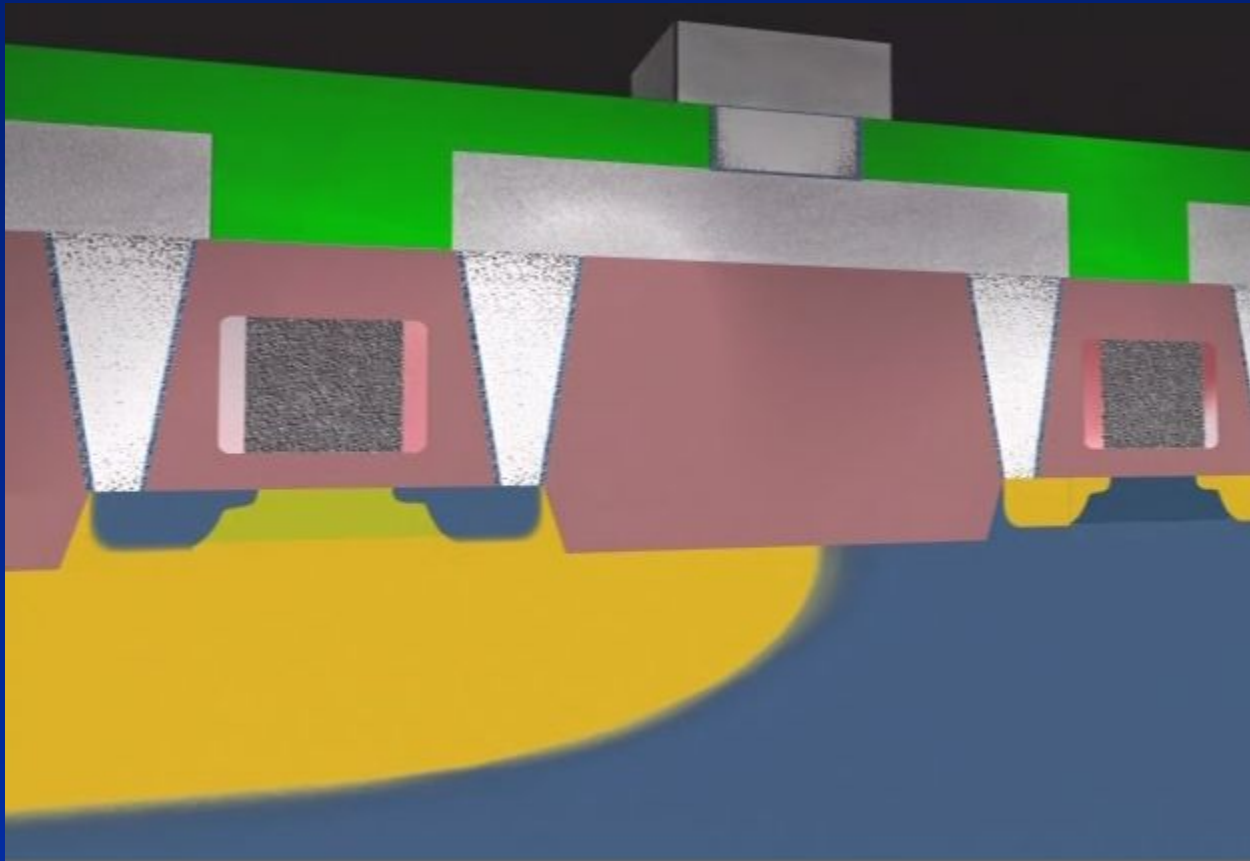


# Лекция 6

## Основные технологические операции производства ИС. Осаждение и травление.

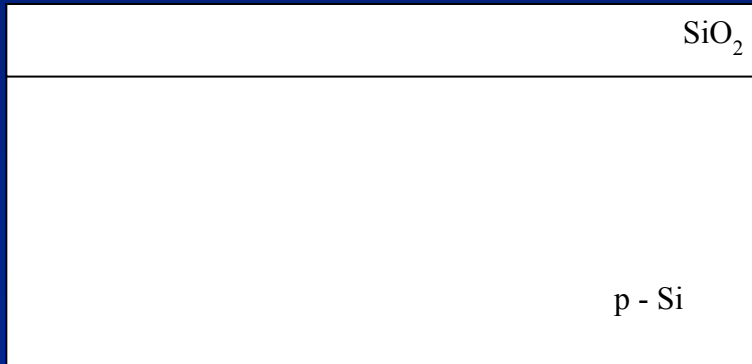
- Фотолитография
- **ОСАЖДЕНИЕ**
- **ТРАВЛЕНИЕ**
- Ионное легирование
- Отжиг

# КМОП-структура



# Основные технологические операции создания МОП – транзистора

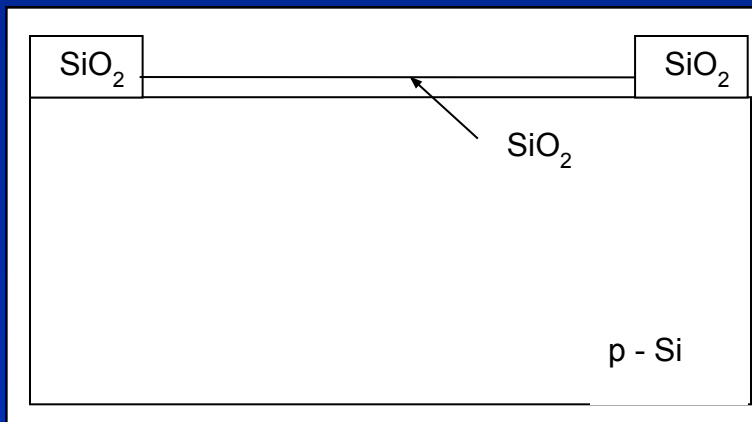
1. Формирование маскирующего слоя окисла  $\text{SiO}_2$  (осаждение)



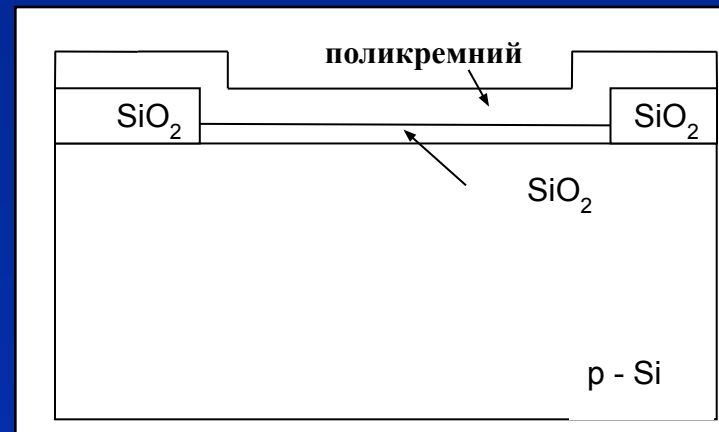
2. Формирование рельефа в маскирующем слое (фотолитография, травление)



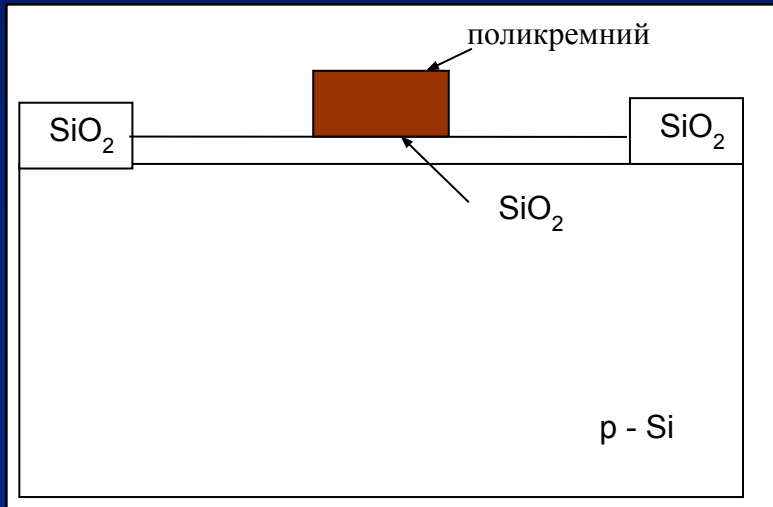
3. Подзатворное окисление (отжиг в окисляющей среде)



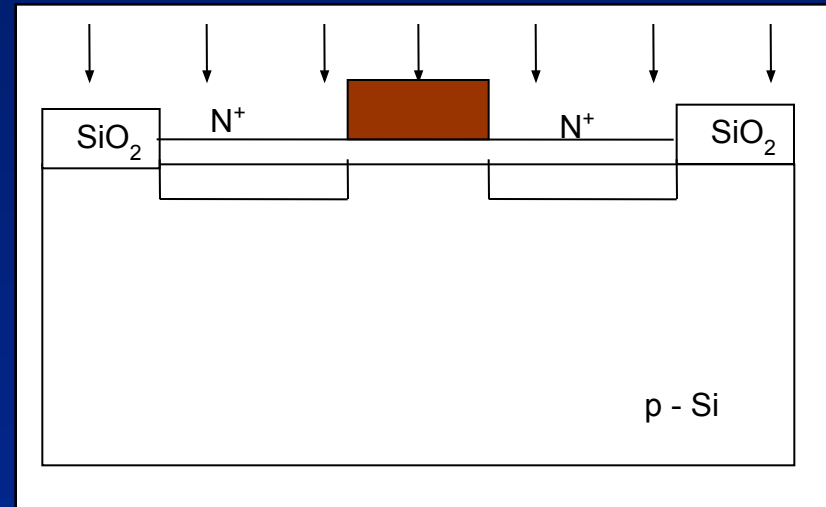
4. Осаждение поликремния



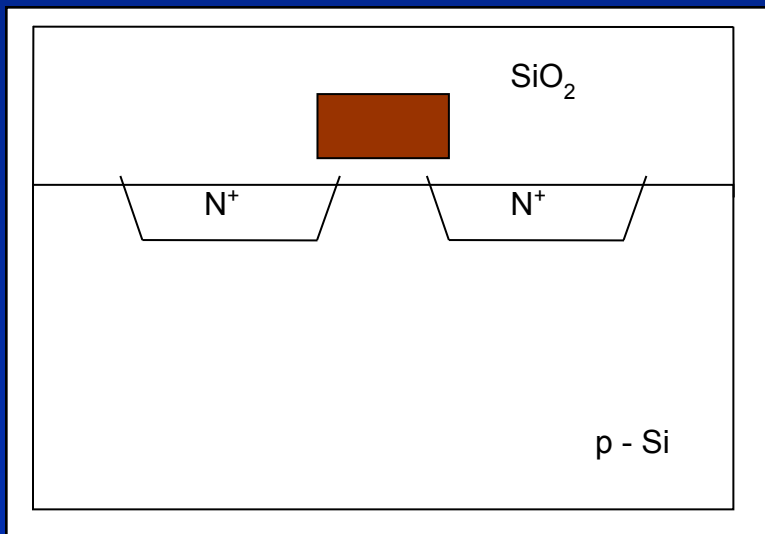
## 5. Формирование поликремниевого затвора (фотолитография, травление)



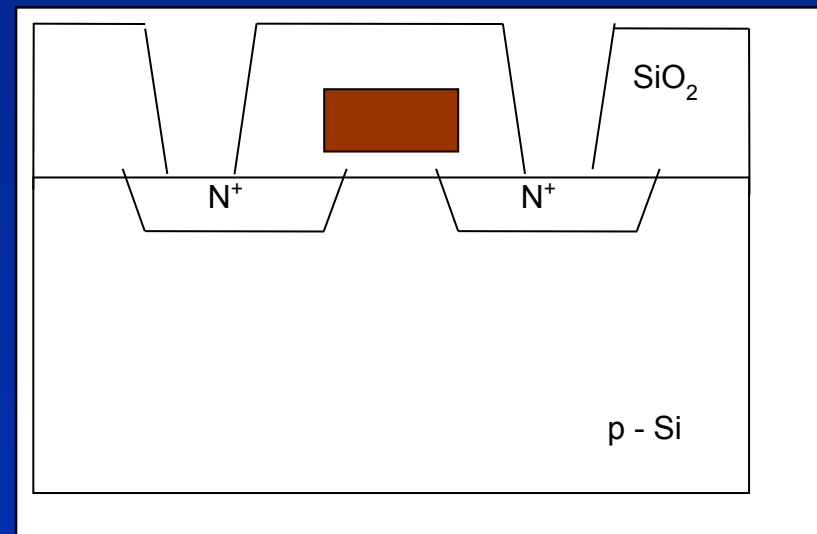
## 6. Легирование и термический отжиг $\text{N}^+$ -слоя



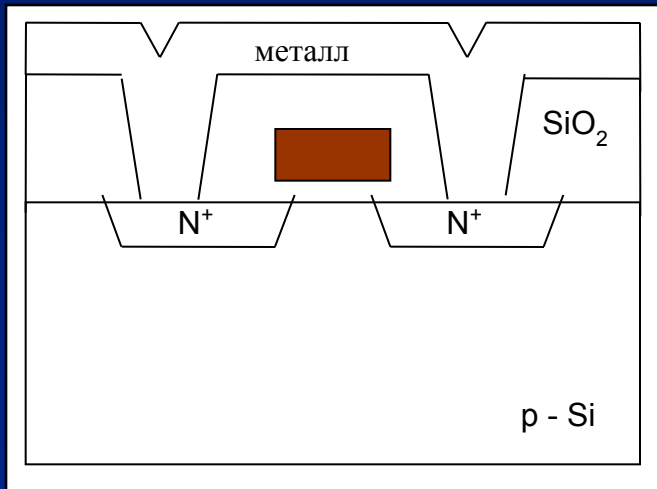
## 7. Осаждение маскирующего окисла



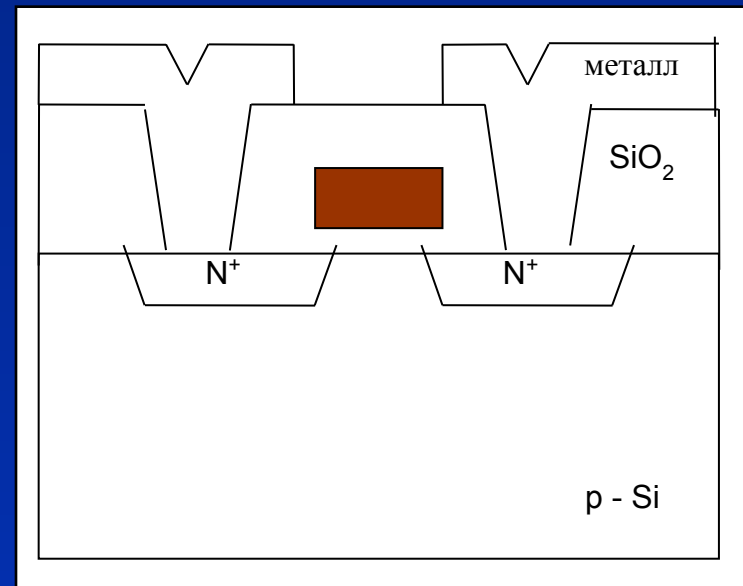
## 9. Травление контактных окон



## 10. Осаждение металла



## 11. Формирование разводки в слое Металл 1 (фотолитография, травление)



**В технологическом процессе создания МОП-транзисторов осаждение используется для формирования следующих слоев:**

- **Оксида кремния (окисла,  $\text{SiO}_2$ )**
- **Нитрида кремния ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )**
- **Поликремния ( $\text{Si}^*$ )**
- **Металла**
- **Фоторезиста и др.**

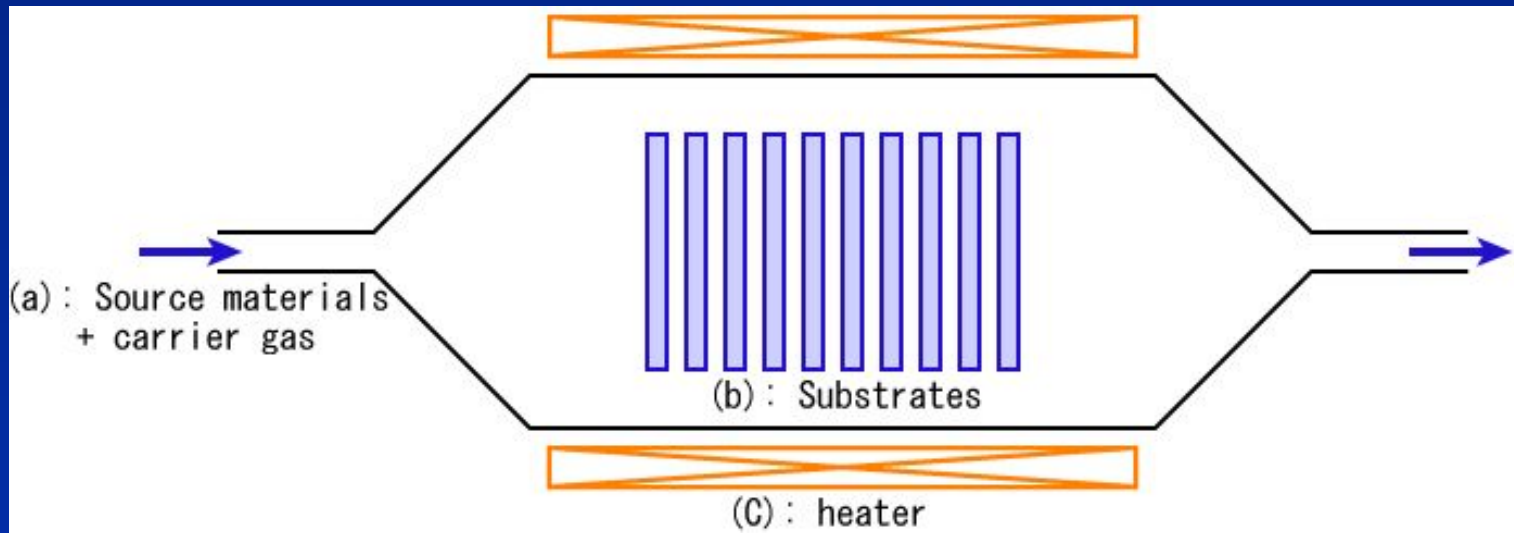
**Основными методами осаждения являются:**

- **Осаждение из парогазовых смесей**  
*(CVD- chemical vapor deposition).*
- **Плазмохимическое осаждение**  
*(PD - plasma deposition).*

**Осаждение из парогазовых смесей может происходить при атмосферном или пониженном давлении**

# CVD - метод

**В CVD-процессе подложки, как правило, помещаются в пары одного или нескольких веществ, которые, вступая в реакцию и/или разлагаясь, производят на поверхности подложки необходимое вещество. Часто образуется также газообразный продукт реакции, выносимый из камеры с потоком газа.**





# Достоинства CVD - метода

- Простота метода.
- Хорошая технологическая совместимость с другими процессами создания полупроводниковых микросхем.
- Сравнительно невысокая температура, благодаря чему отсутствует нежелательная разгонка примесей в пластинах.

Скорость осаждения определяется температурой и концентрацией реагирующих газов в потоке нейтрального газа-носителя.

# PD - метод

Ионно-плазменные процессы используют плазму, генерируемую в электрическом и магнитном полях.

**Плазма** – ионизированный газ, в котором часть атомов потеряла по одному или по несколько принадлежащих им электронов и превратились в положительные ионы. В общем случае, плазма представляет собой смесь трех компонентов: свободных электронов, положительных ионов и нейтральных атомов.



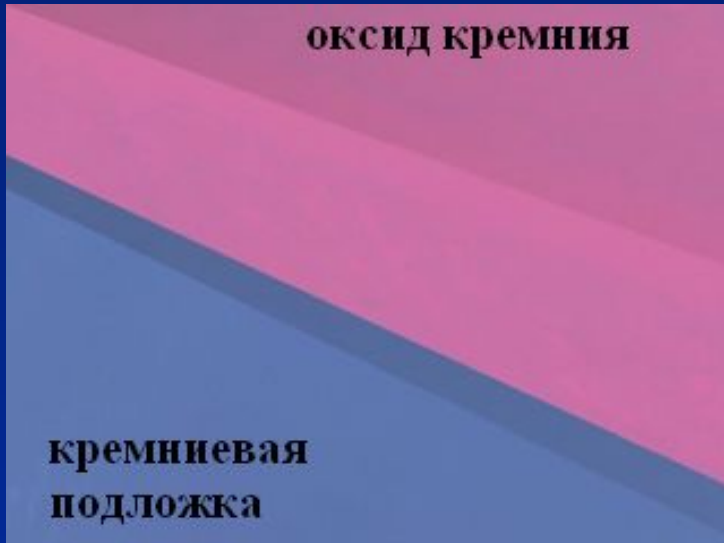
# Суть PD - метода

Процесс производится в вакуумной камере, заполненной инертным газом, в котором возбуждается газовый разряд.

Возникающие положительные ионы бомбардируют распыляемый материал (мишень), выбивая из него атомы или молекулы, которые осаждаются на подложке. Скорость и время распыления регулируются напряжением на электродах.

Процесс позволяет получать равномерные и точно воспроизводимые по толщине пленки.

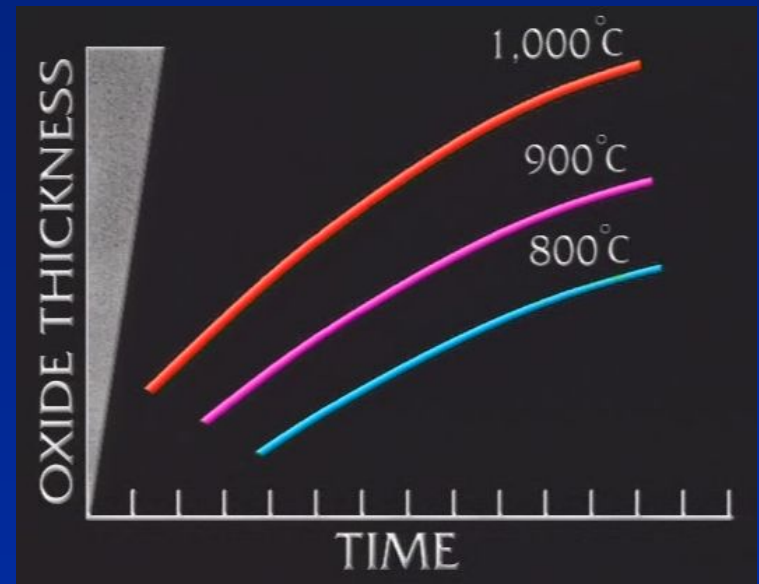
# Осаждение оксида кремния



Методы осаждения:  
CVD и PD



Основные параметры процесса:  
время и температура



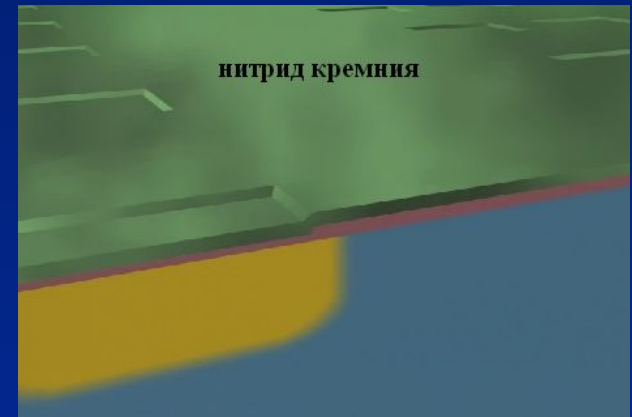
# Осаждение нитрида кремния

Нитрид кремния широко используется в качестве маски, например для создания диэлектрической изоляции между элементами схем. Он также служит защитой от воздействия внешней среды.

Химическая реакция, с помощью которой получают нитрид кремния



Характеристики пленок нитрида кремния сильно зависят от температуры осаждения и соотношения концентраций реагентов.



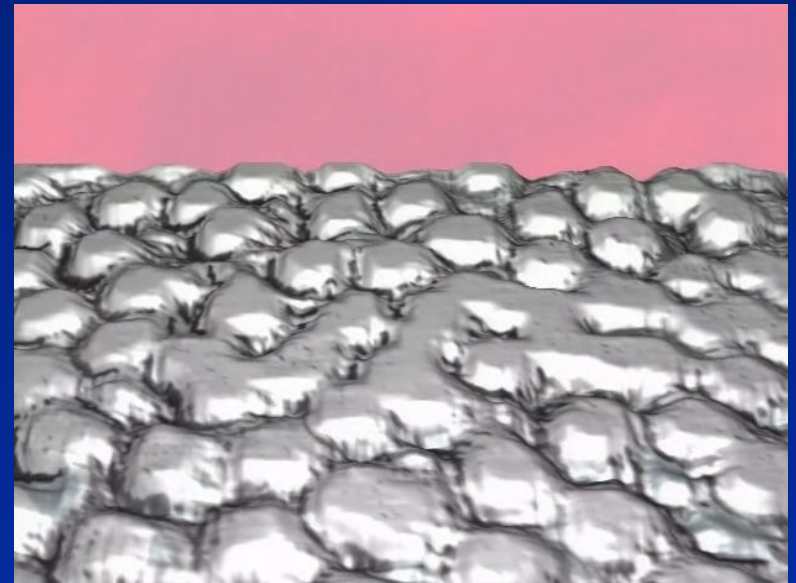
Метод осаждения:  
CVD при пониженном давлении

# Осаждение поликристаллического кремния (поликремния)

Поликристаллический кремний осаждают для формирования затворов МОП-транзисторов

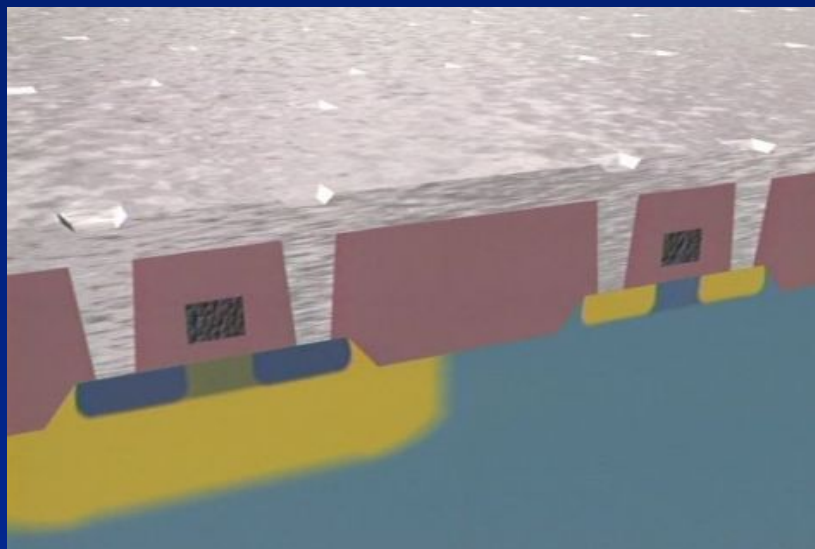


Метод осаждения – CVD при пониженном давлении.



Поликремний сильно легируют для увеличения его проводимости.

# Осаждение металлов



CVD-процесс широко используют для нанесения металлов.  
В целом, для металла M, реакция выглядит так:



Метод осаждения – CVD при пониженном давлении.

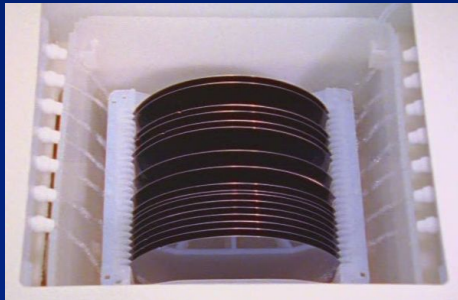
# Травление

*Травление (etch, unpatented etch) – удаление поверхностного слоя. Используется для получения максимально ровной поверхности пластин и удаления слоев с поверхности.*

*Локальное травление или травление по маске (patented etch) используется для получения необходимого рельефа поверхности, формирования рисунка слоев, а также масок.*



# Основные виды травления



**Жидкостное травление**  
*(wet etch).*

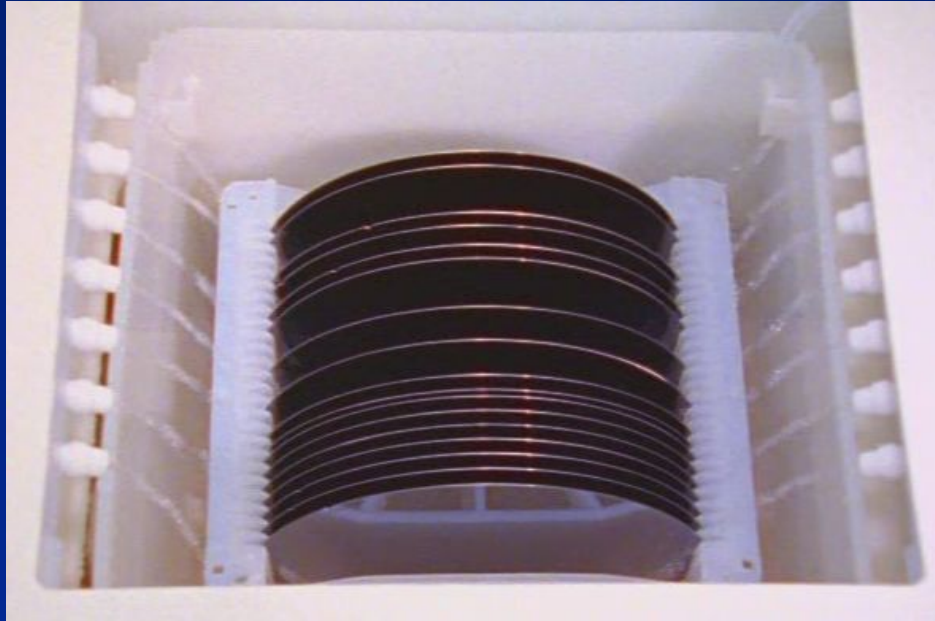


**Сухое травление**  
*(dry etch).*



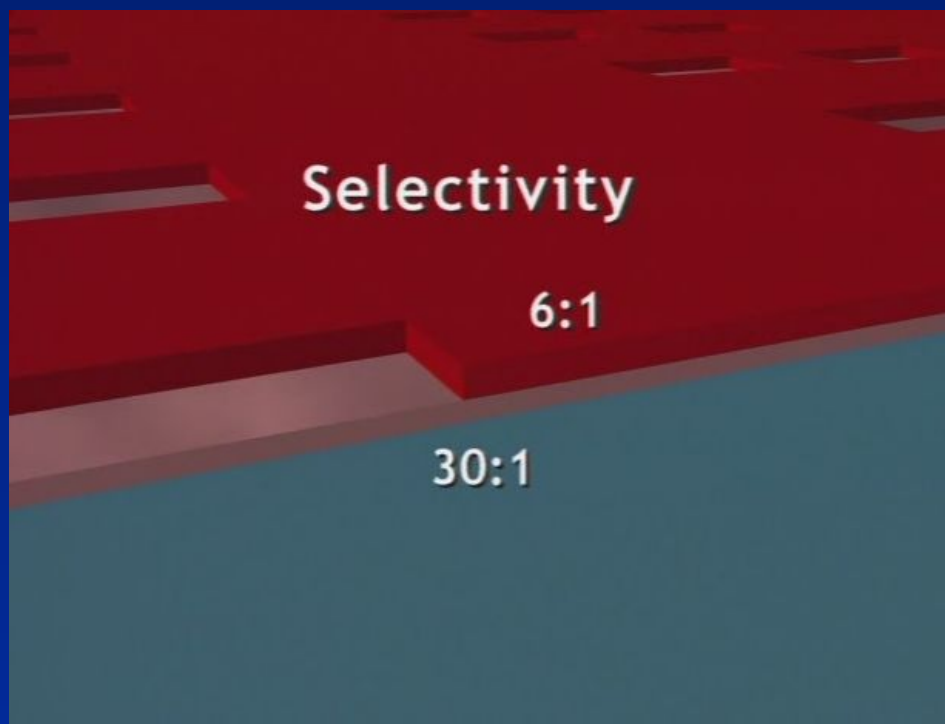
**Химико-механическая полировка**  
**(планаризация)**  
*(Chemical Mechanical Polishing (Planarization)).*

# Жидкостное травление



В основе лежит химическая реакция жидкого травителя (кислоты) и твердого тела, в результате которой образуется растворимое соединение. Подбором химического состава, концентрации и температуры травителя обеспечивают заданную скорость травления и толщину удаляемого слоя.

# Селективность жидкостного травления



Жидкостное травление обладает высокой селективностью (избирательностью), оцениваемой отношением скоростей травления требуемого слоя (например, оксида кремния) и других слоев (например, фоторезиста).

# Изотропность жидкостного травления



При жидкостном травлении скорость процесса в вертикальном и горизонтальном направлении близки. В результате протравливания структуры в горизонтальном направлении (под маску) вытравленная область не соответствует по размерам маске.

# Сухое травление

Производят в вакуумной установке в плазме газового разряда.

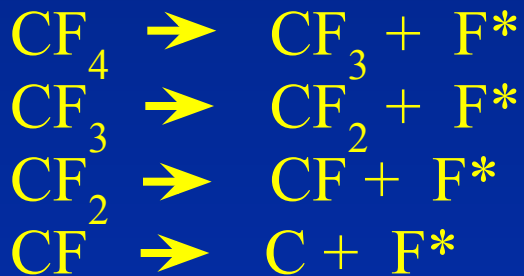
Наиболее распространенная разновидность – **плазмо-химическое травление (ПХТ)**.

При ПХТ удаление материалов осуществляется за счет химических реакций, которые происходят между поверхностными атомами материалов и химически активными частицами (радикалами), образующимися в плазме.

Радикалы – это незаряженные частицы, имеющие неспаренные электроны.

# Процесс ПХТ

Под действием электрического поля электроны в вакууме приобретают значительную энергию и передают ее путем столкновений нейтральным атомам и молекулам. При этом электрон может оторваться от атома или молекулы, в результате чего образуется радикал (например  $F^*$ ).



# Процесс ПХТ

При ПХТ можно выделить следующие стадии:

- доставка молекул активного газа в зону разряда;
- превращение молекул газа в радикалы под воздействием электронов разряда;
- осаждение радикалов на поверхности материалов;
- химическая реакция радикалов с поверхностными атомами;
- удаление продуктов реакции с поверхности материала;
- отвод продуктов реакции из плазмохимического реактора.

# Химическая реакция радикалов с поверхностными атомами

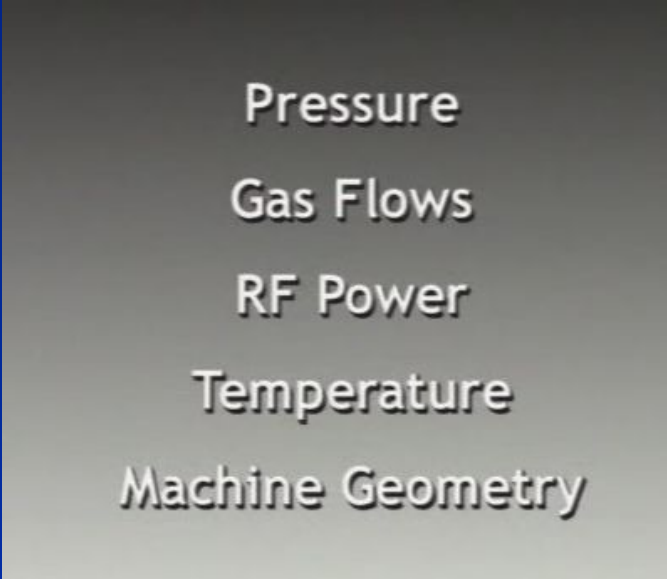




# Параметры процесса ПХТ

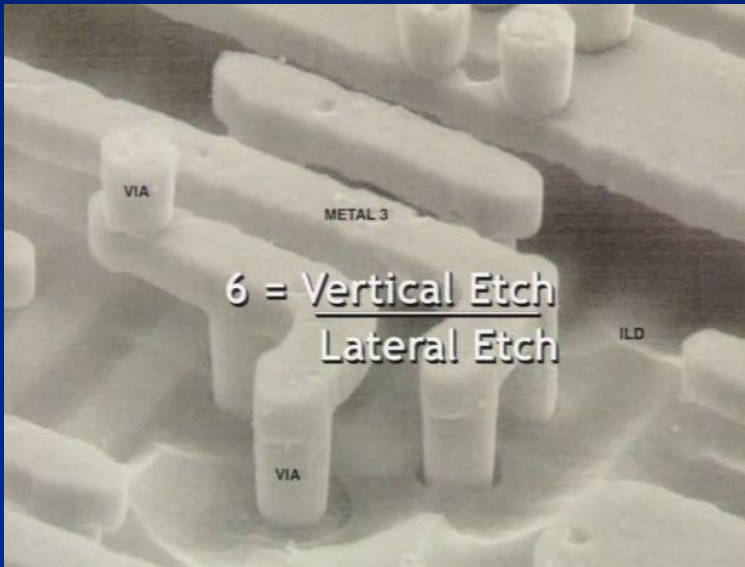
Наиболее важными параметрами процесса ПХТ являются:

- давление в камере;
- концентрация реакционных газов;
- подводимая мощность;
- температура поверхности;
- параметры установки.



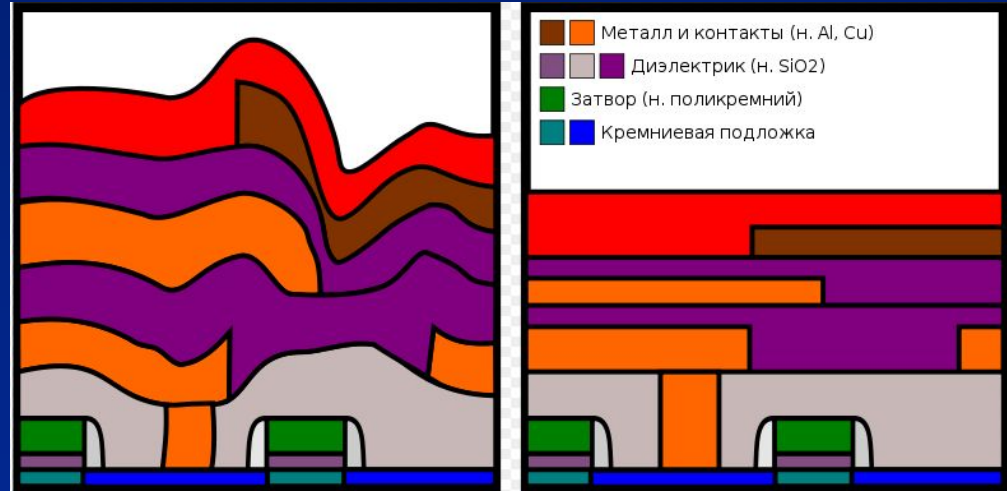
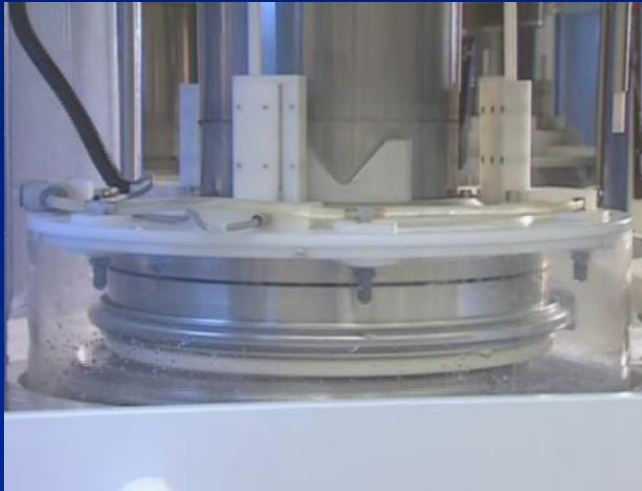
Pressure  
Gas Flows  
RF Power  
Temperature  
Machine Geometry

# Анизотропия процесса сухого травления



Сухое травление идет преимущественно в вертикальном направлении, в котором движутся частицы. Поэтому размер вытравленной области весьма точно соответствует размеру отверстия в маске.

# Химико-механическая планаризация



ХМП - комбинация химических и механических способов планаризации (удаления неровностей с поверхности изготавливаемой пластины). Пластина устанавливается в специальный держатель и вращается вместе с ним. Держатель прижимает пластину к полировочной площадке. Точность обработки на современных установках ХМП составляет порядка нескольких ангстрем. Скорость травления зависит от скорости вращения пластины и того, насколько сильно держатель прижимает пластину.

# 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

*Осаждение* – **deposition**

*Травление* – **etch**

*Осаждение из парогазовых смесей* – **chemical vapor deposition (CVD)**

*Плазмохимическое осаждение* – **plasma deposition (PD)**

*CVD-процесс при пониженном давлении* — **low pressure chemical vapor deposition (LPCVD)**

*Жидкостное травление* – **wet etch**

*Сухое травление* – **dry etch**

*Химико-механическая полировка (планаризация)* – **Chemical Mechanical Polishing (Planarization)**

*Локальное травление (по маске)* – **patented etch**

*Нелокальное травление (без маски)* – **unpatented etch**