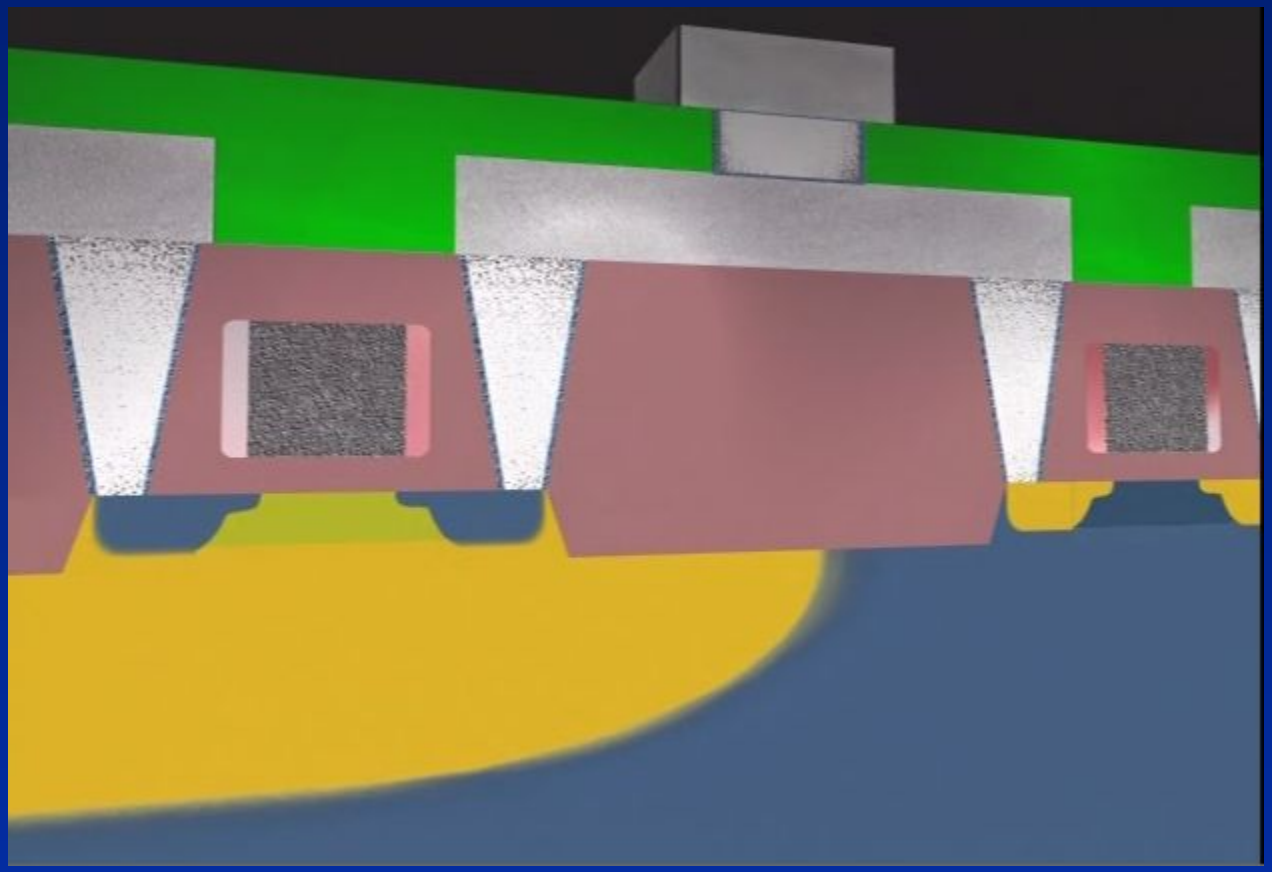
Лекция 6

Основные технологические операции производства ИС. Осаждение и травление.

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

КМОП-структура

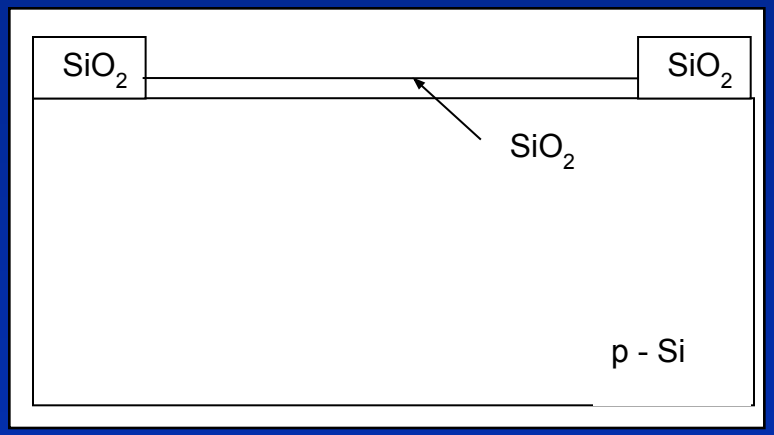


Основные технологические операции создания МОП – транзистора

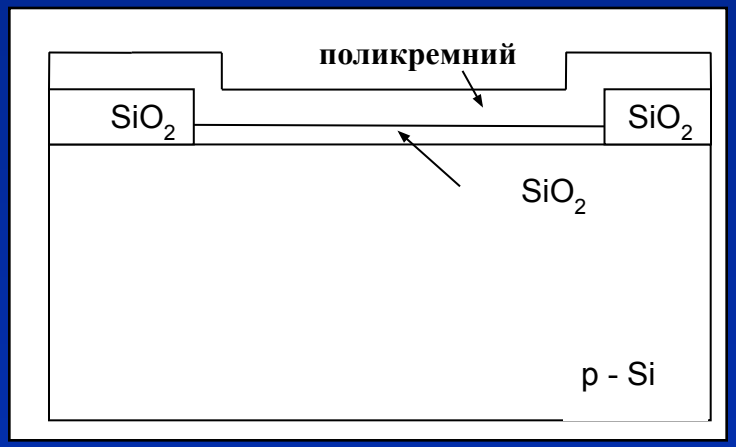
1. Формирование маскирующего слоя окисла SiO_2 (осаждение)

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

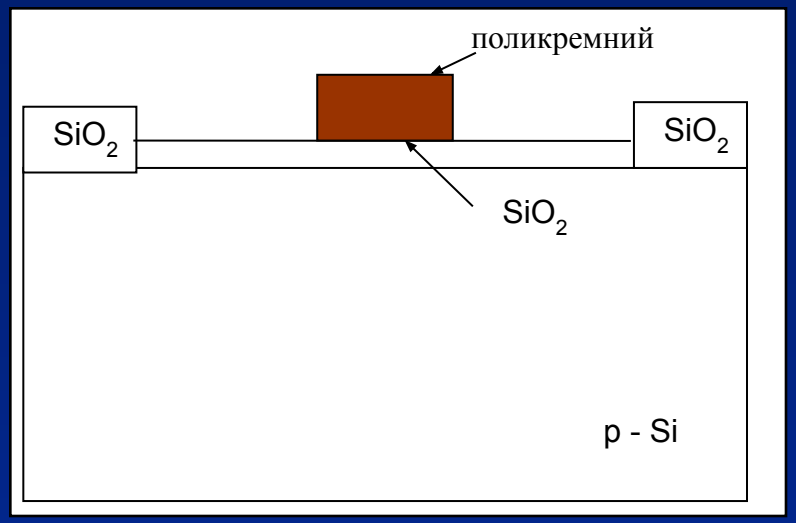
3. Подзатворное окисление (отжиг в окисляющей среде)



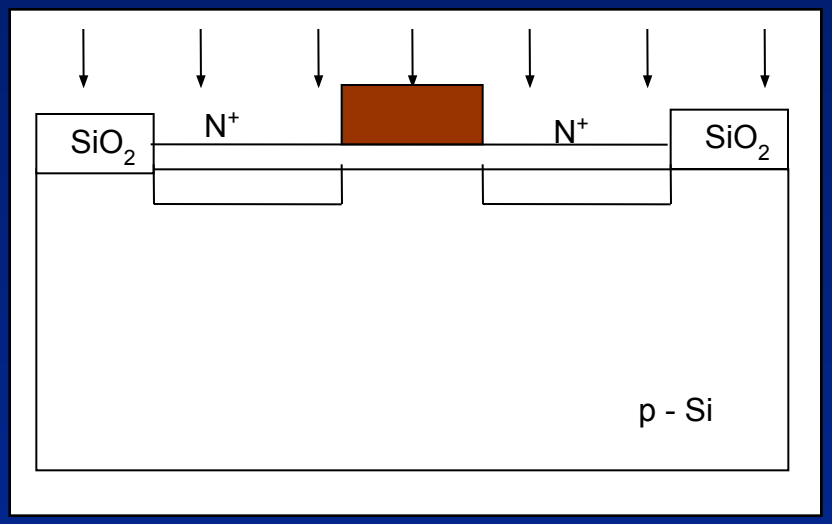
4. Осаждение поликремния



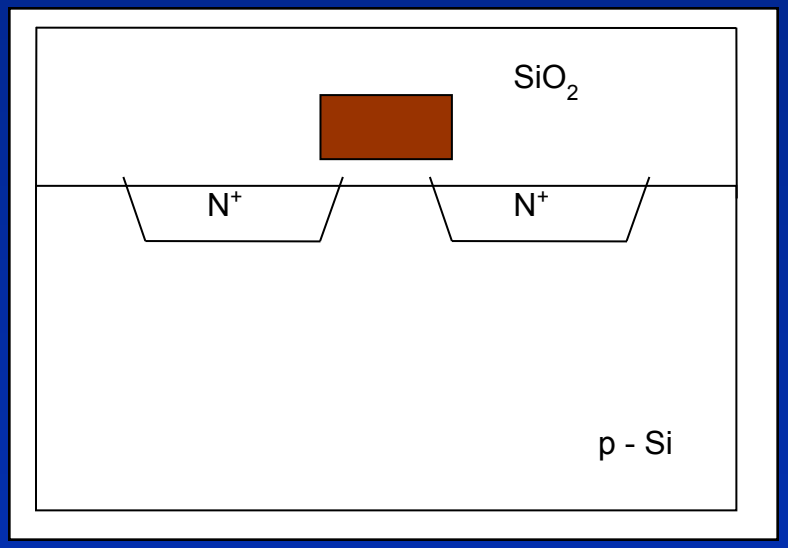
5. Формирование поликремниевого затвора (фотолитография, травление)



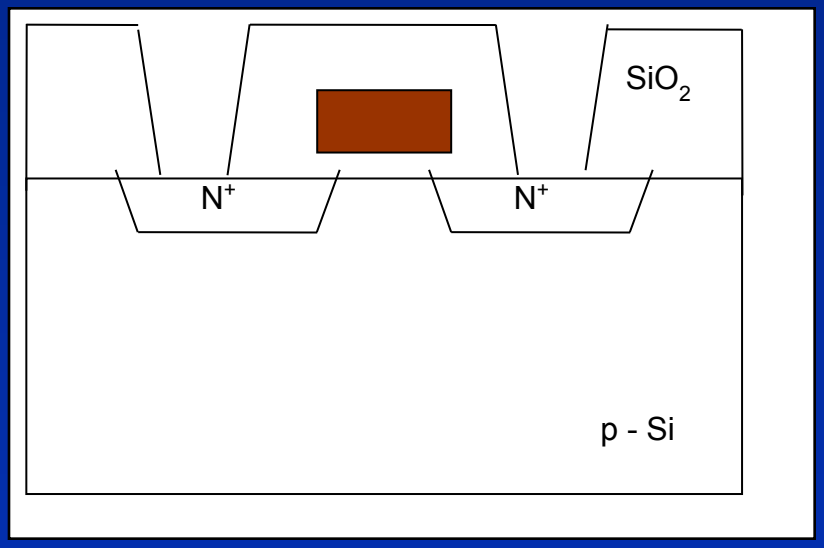
6. Легирование и термический отжиг N^+-слоя



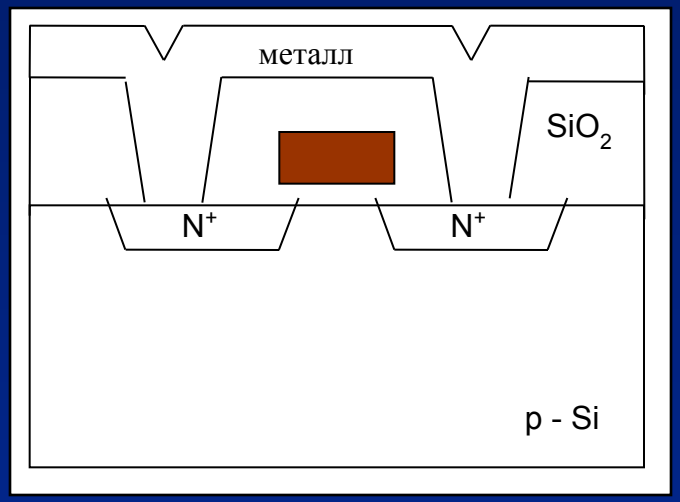
7. Осаждение маскирующего окисла



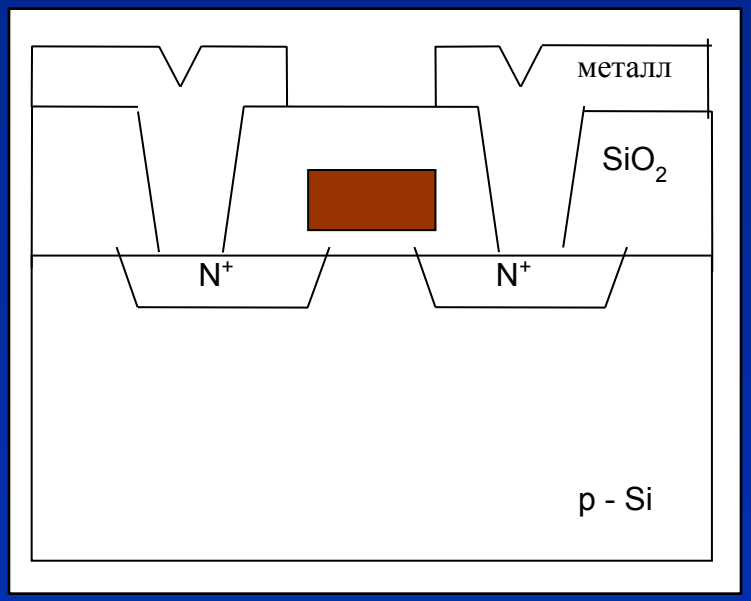
9. Травление контактных окон



10. Осаждение металла



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



В технологическом процессе создания МОП-транзисторов осаждение исполь-зуется для формирования следующих слоев:

- **Оксида кремния (окисла, SiO_2)**
- **Нитрида кремния (Si_3N_4)**
- **Поликремния (Si*)**
- **Металла**
- **Фоторезиста и др.**

Основными методами осаждения являются:

- **Осаждение из парогазовых смесей**

  (CVD- *chemical vapor deposition).*

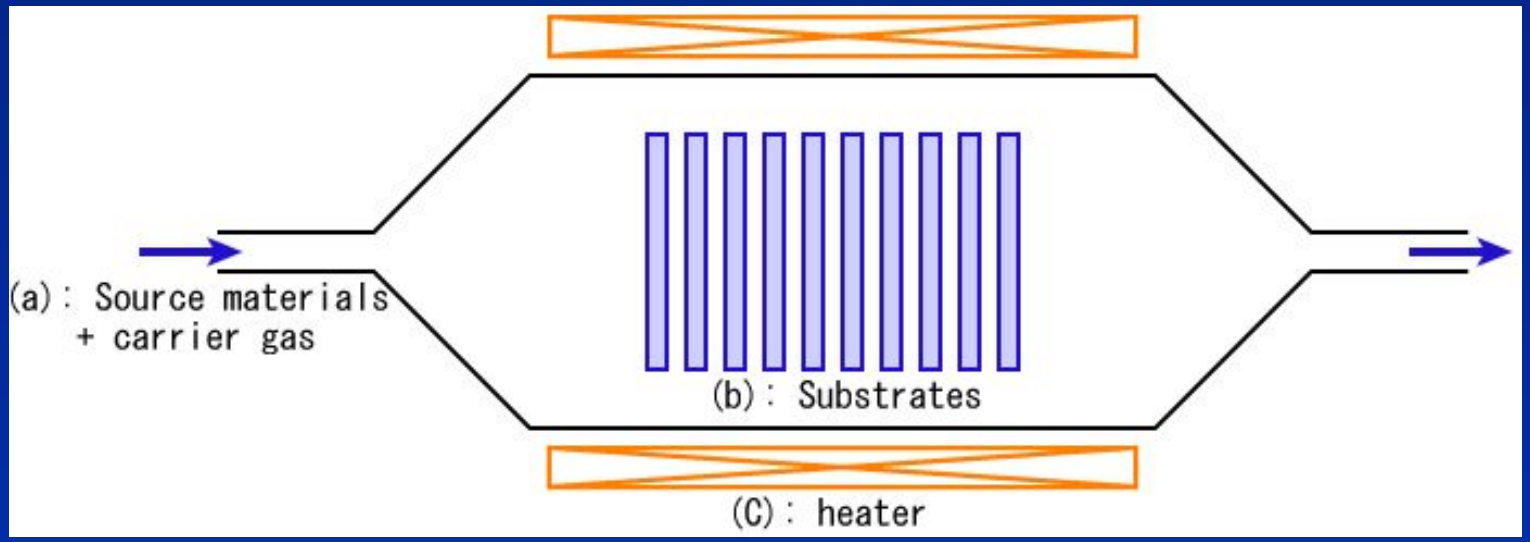
- **Плазмохимическое осаждение**

  (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 осаждение определяется температурой и концентрацией реагирующих газов в потоке нейтрального газа-носителя.

PD - метод

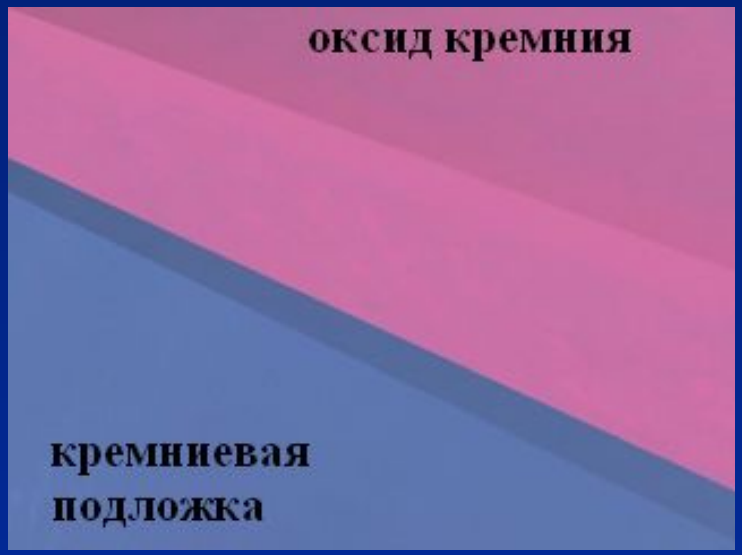
Ионно-плазменные процессы используют плазму, генерируемую в электрическом и магнитном полях.

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

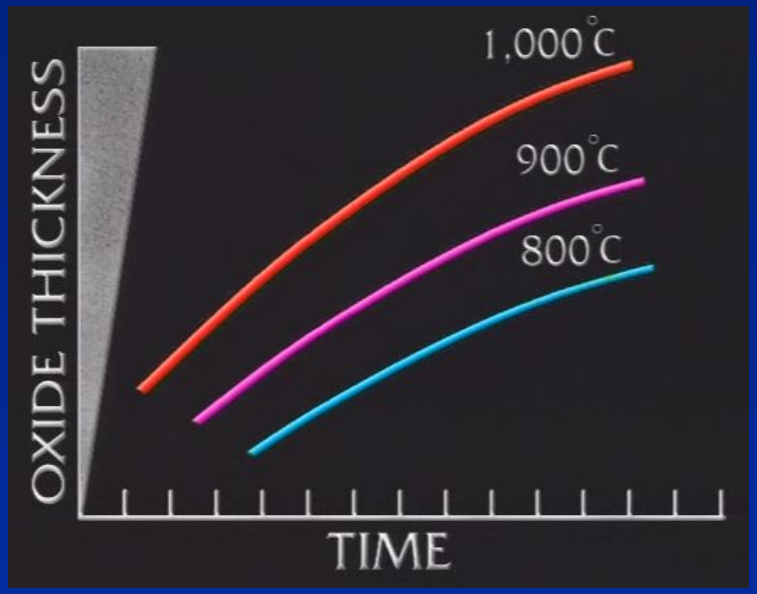
Суть PD - метода

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



Основные параметры процесса: время и температура

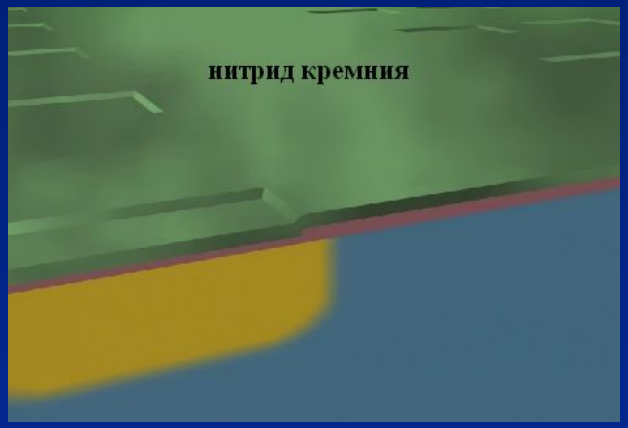


Методы осаждения:
CVD и PD

$$SiH_4 + O_2 \rightarrow SiO_2$$
$$SiCl_2H_2 + 2\,N_2O \rightarrow SiO_2$$

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

$$SiH_2Cl_2 + NH_3 \rightarrow Si_3N_4$$

Метод осаждения: CVD при пониженном давлении

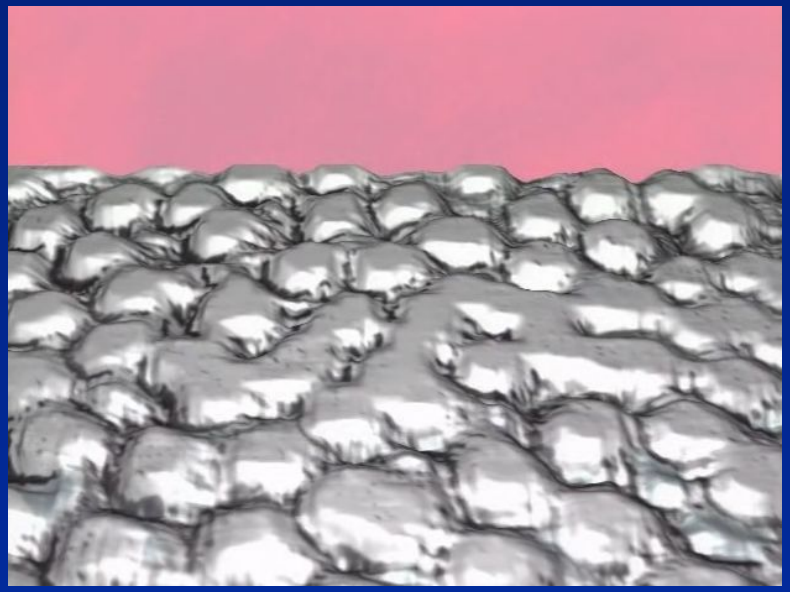
Характеристики пленок нитрида кремния сильно зависят от температуры осаждения и соотношения концентраций реагентов.

Осаждение поликристаллического кремния (поликремния)

Поликристаллический кремний осаждают для формирования затворов МОП-транзисторов

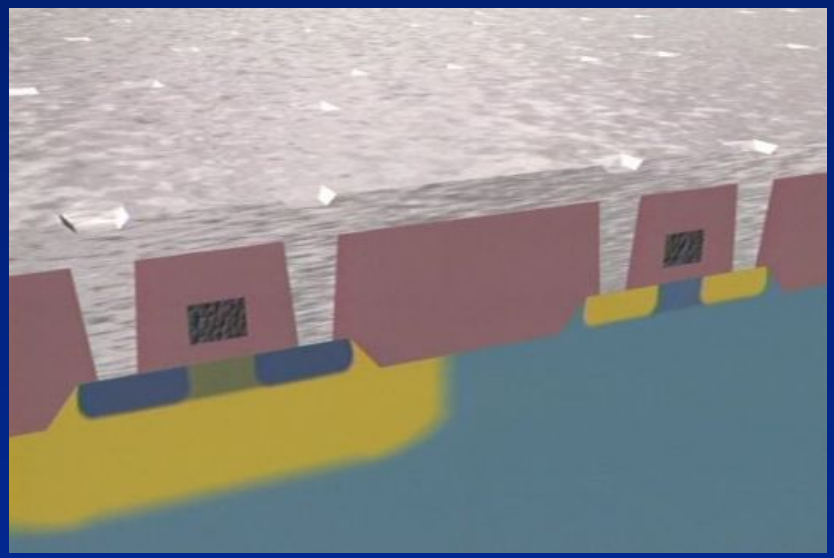
$$SiH_4 \rightarrow Si + H_2$$

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:

$$2\ MCl_5 + 5\ H_2 \rightarrow 2\ M + 10\ HCl$$

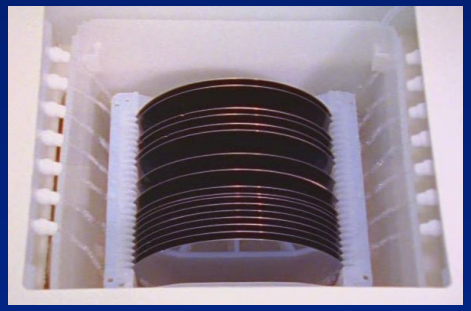
Метод осаждения – CVD при пониженном давлении.

Травление

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

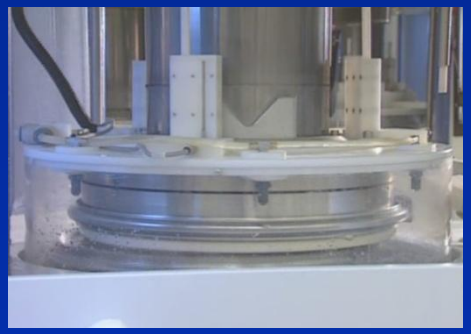
Локальное травление или травление по маске *(patented etch)* ***используется для получения необходимого рельефа поверхности, формирования рисунка слоев, а также масок.***

Основные виды травления



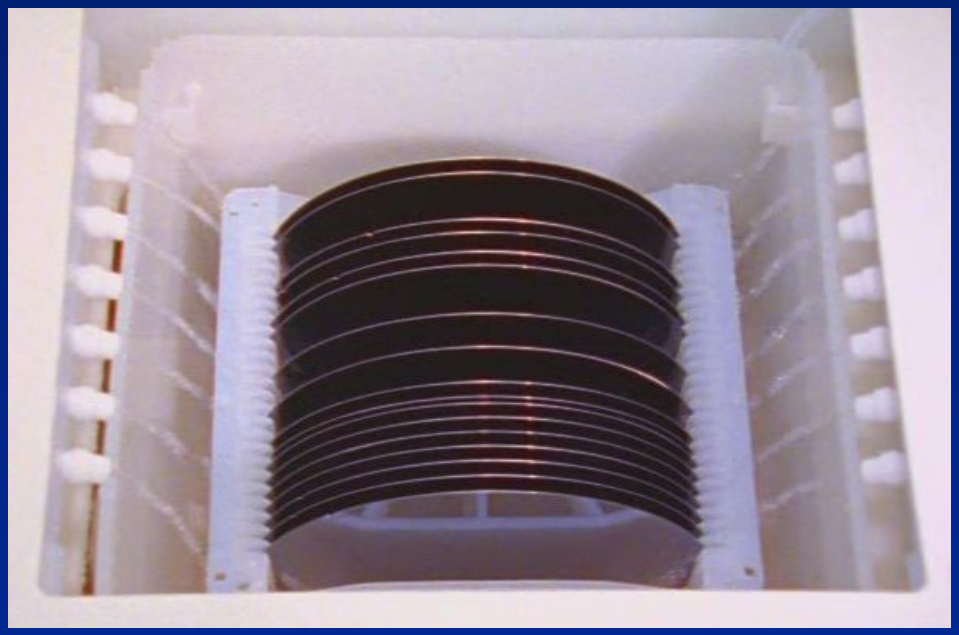
Жидкостное травление
***(wet etch)*.**

Сухое травление
***(dry etch)*.**



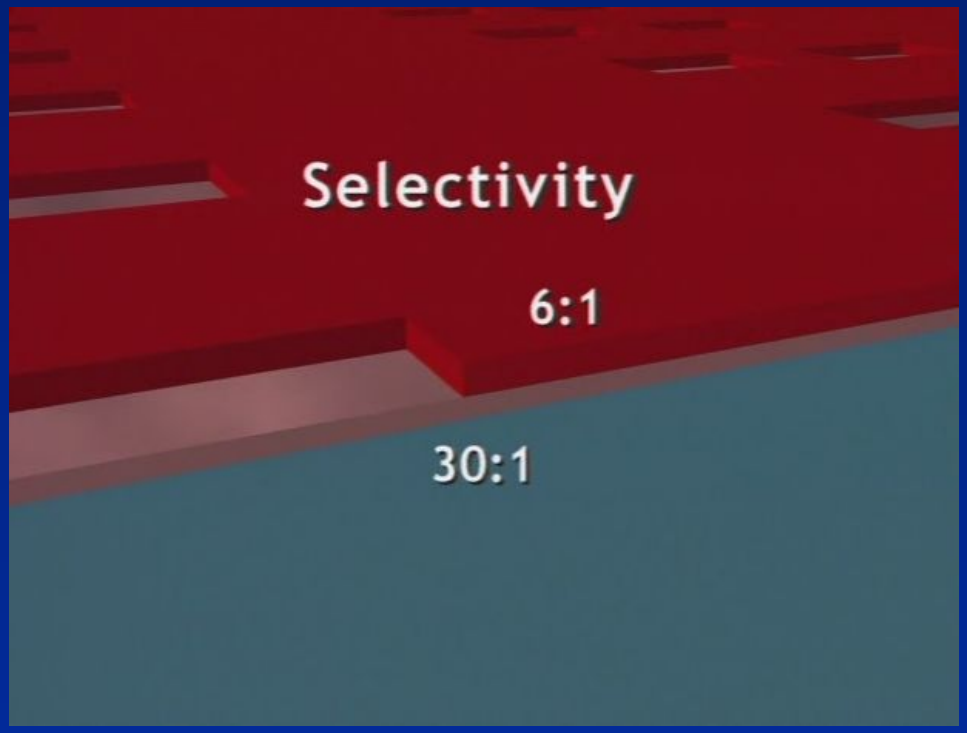
Химико-механическая полировка (планаризация)
(Chemical Mechanical Polishing (Planarization)).

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*).

$$CF_4 \rightarrow CF_3 + F^*$$
$$CF_3 \rightarrow CF_2 + F^*$$
$$CF_2 \rightarrow CF + F^*$$
$$CF \rightarrow C + F^*$$

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

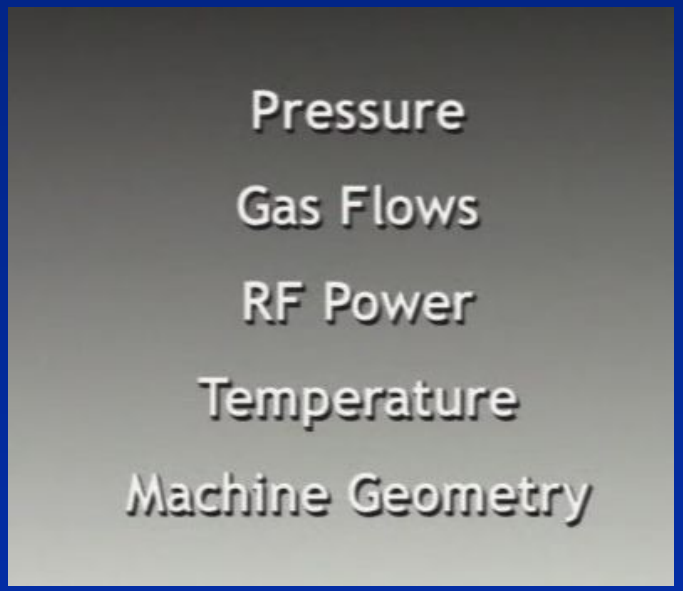
$Si + 4\,F^* \rightarrow SiF_4$ – при травлении кремния

$SiO_2 + 4\,F^* \rightarrow SiF_4 + O_2$ – при травлении окисла

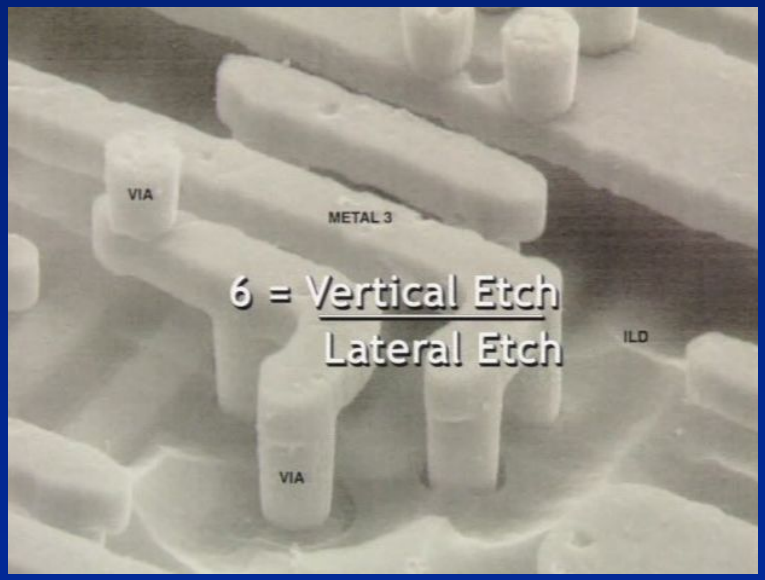
Параметры процесса ПХТ

Наиболее важными параметрами процесса ПХТ являются:

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

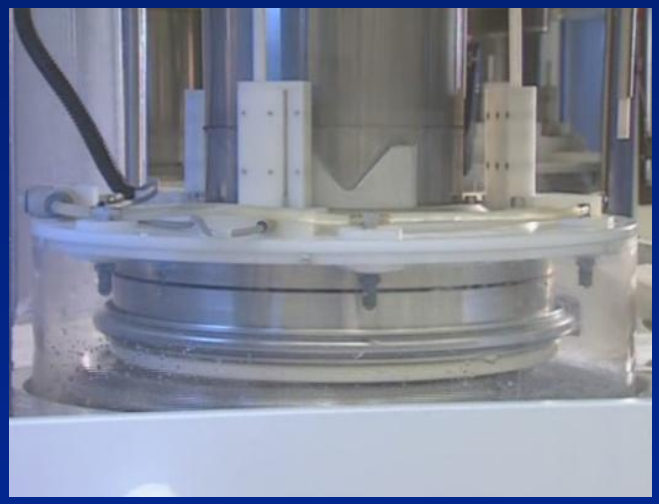


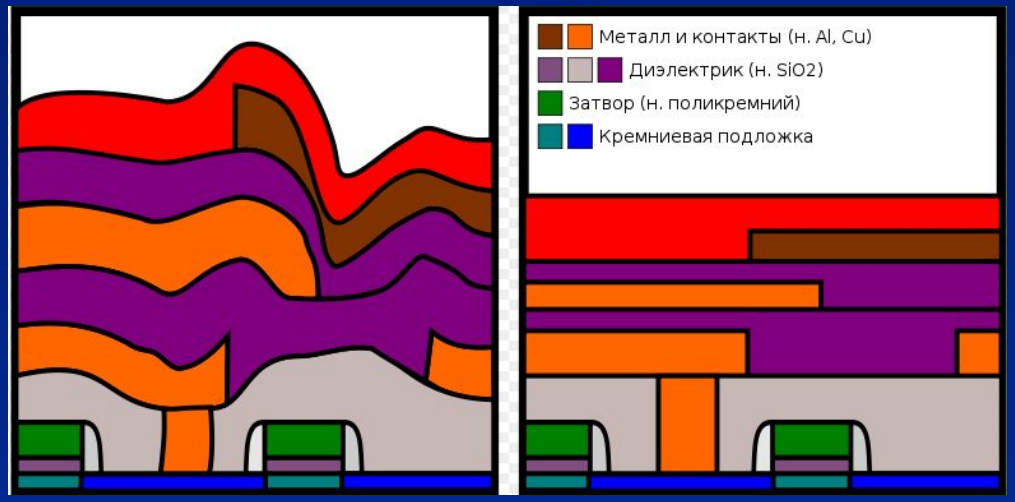
Анизотропия процесса сухого травления



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