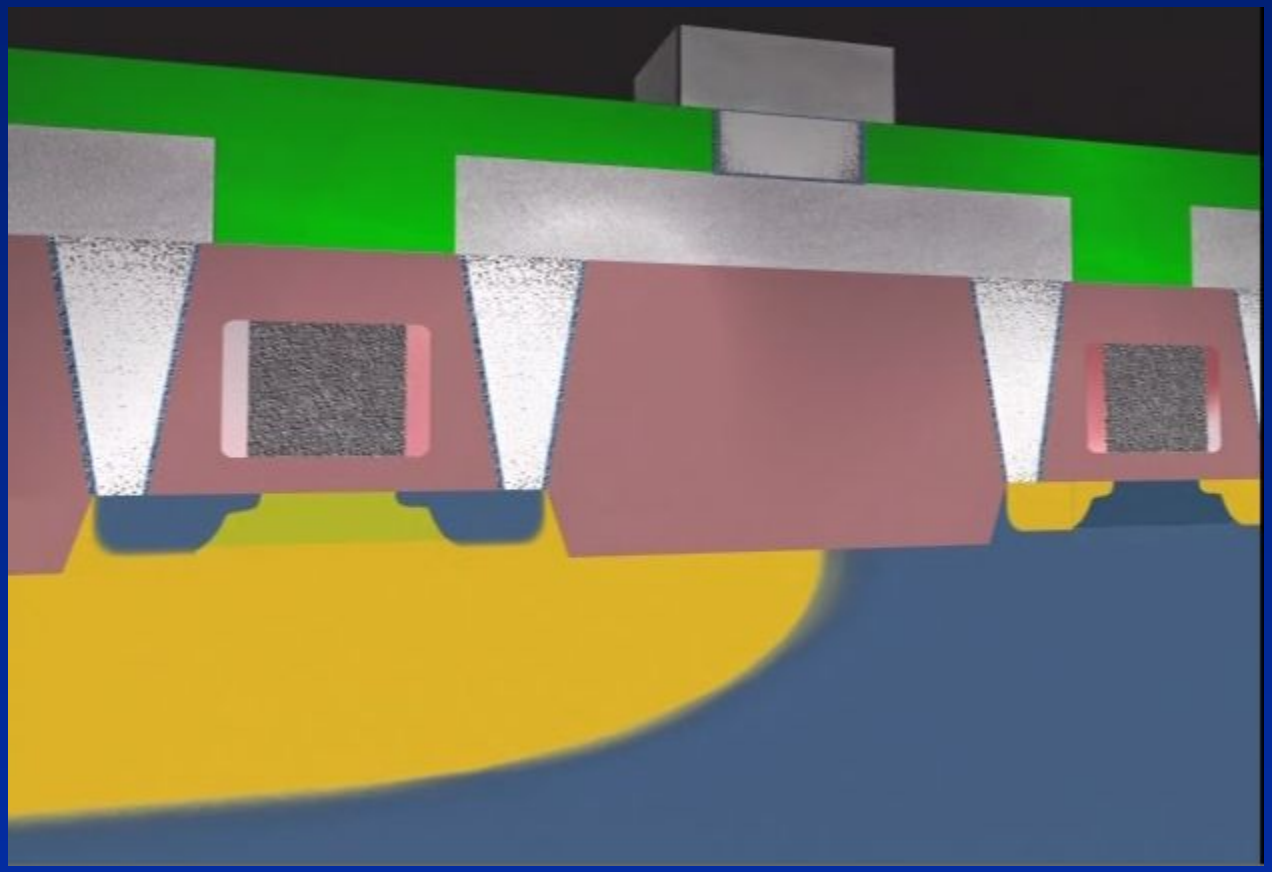
Лекция 7

Основные технологические операции производства ИС. Ионное легирование и отжиг.

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

КМОП-структура

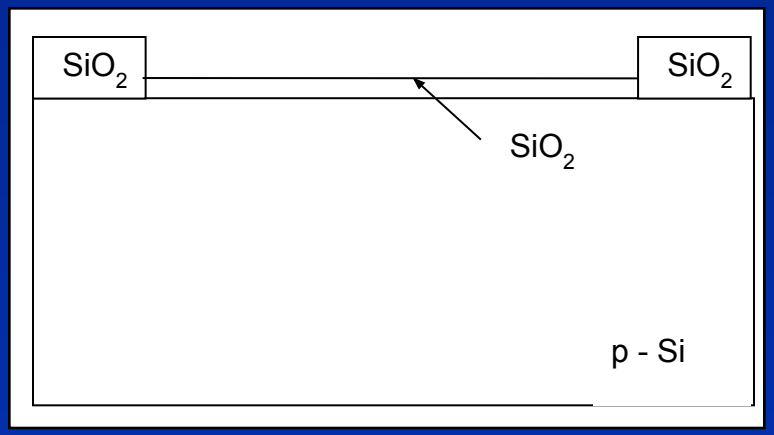


Основные технологические операции создания МОП – транзистора

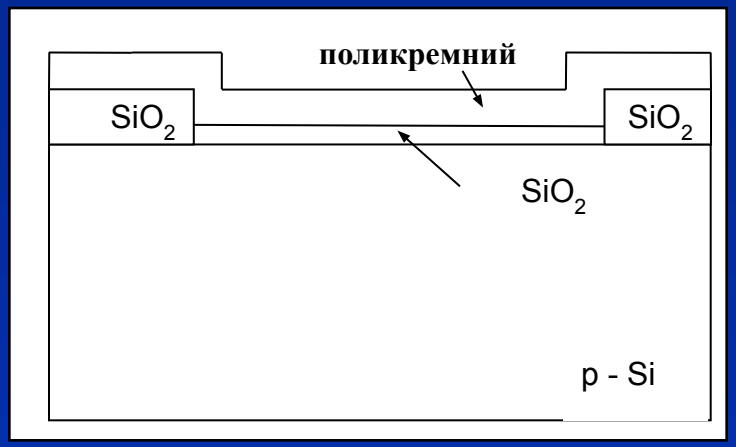
1. Формирование маскирующего слоя окисла SiO_2 (осаждение)

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

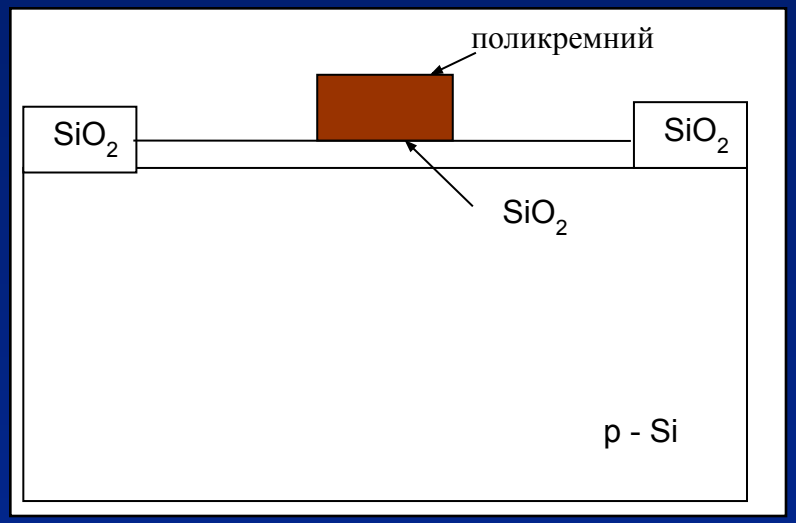
3. Подзатворное окисление (отжиг в окисляющей среде)



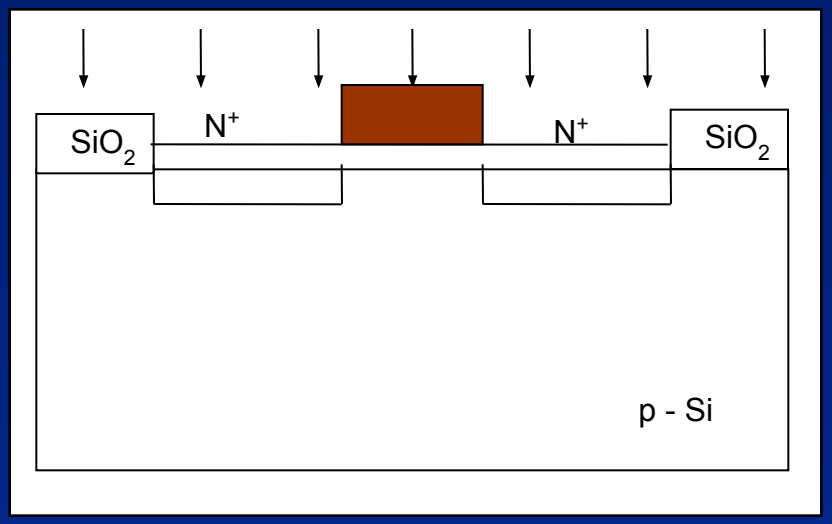
4. Осаждение поликремния



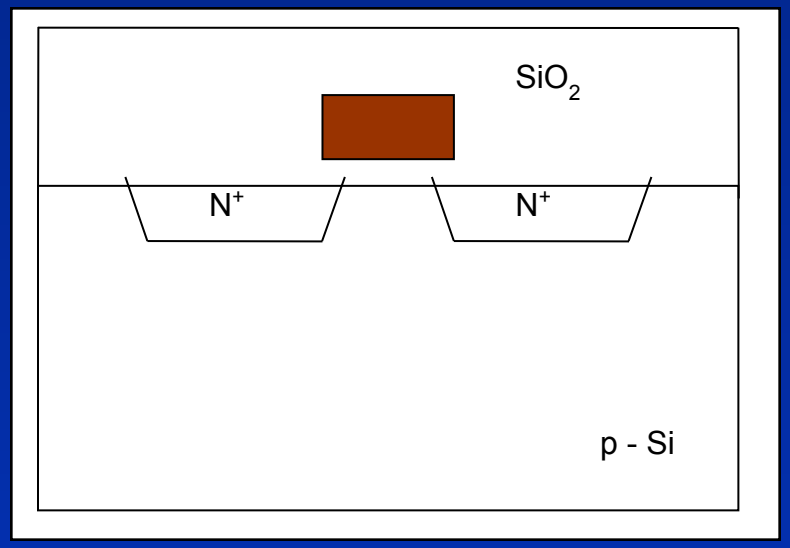
5. Формирование поликремниевого затвора (фотолитография, травление)



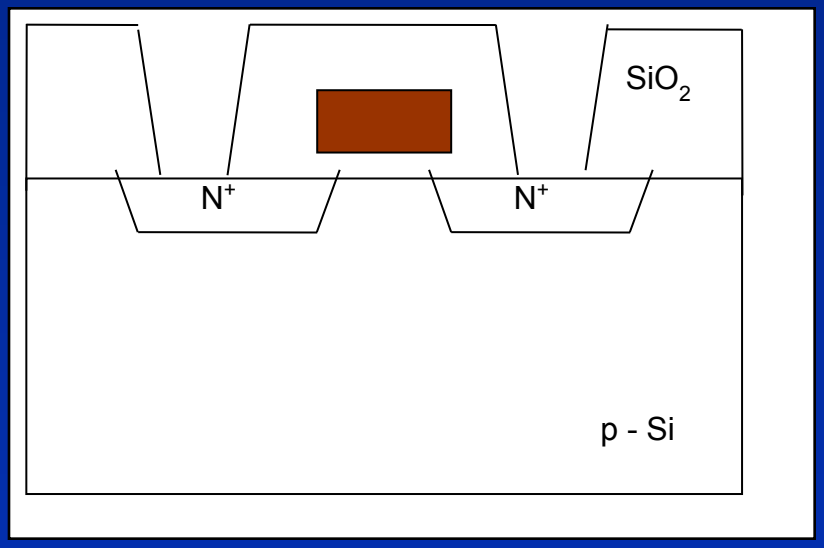
6. Ионное легирование и термический отжиг N^+-слоя



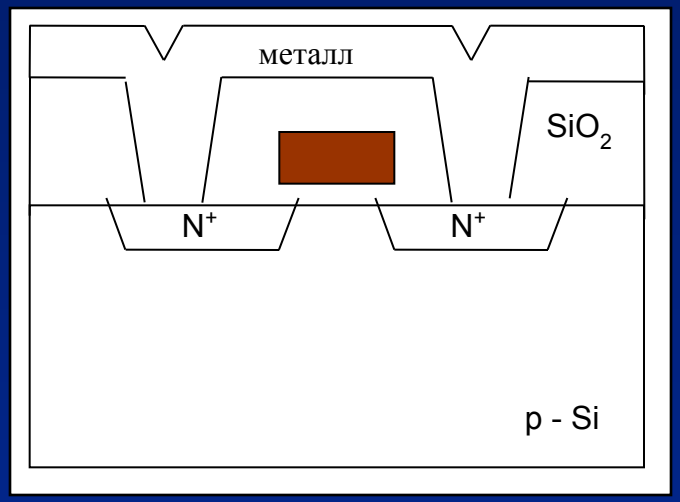
7. Осаждение маскирующего окисла



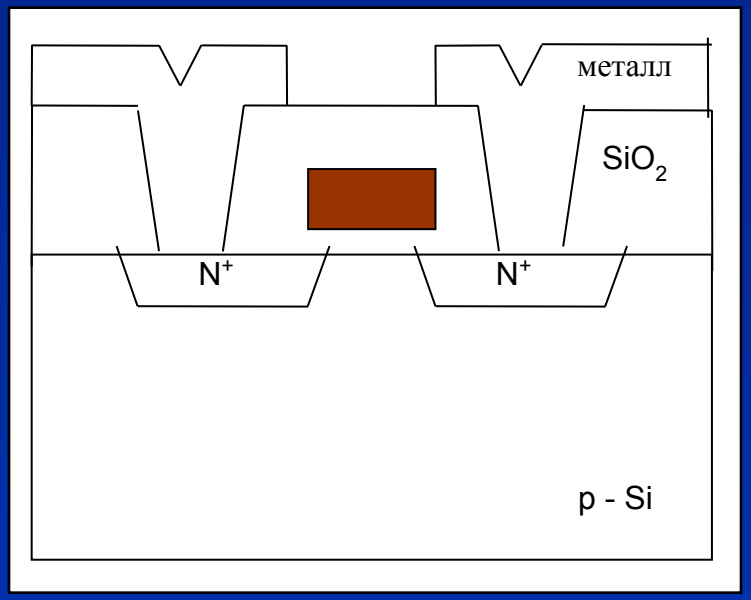
9. Травление контактных окон



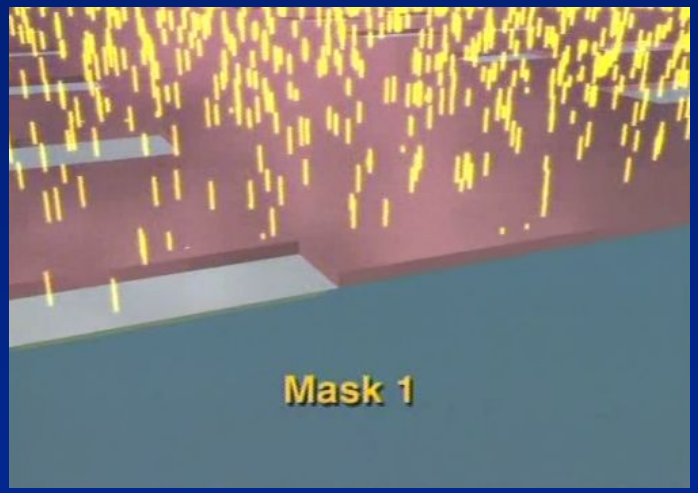
10. Осаждение металла



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

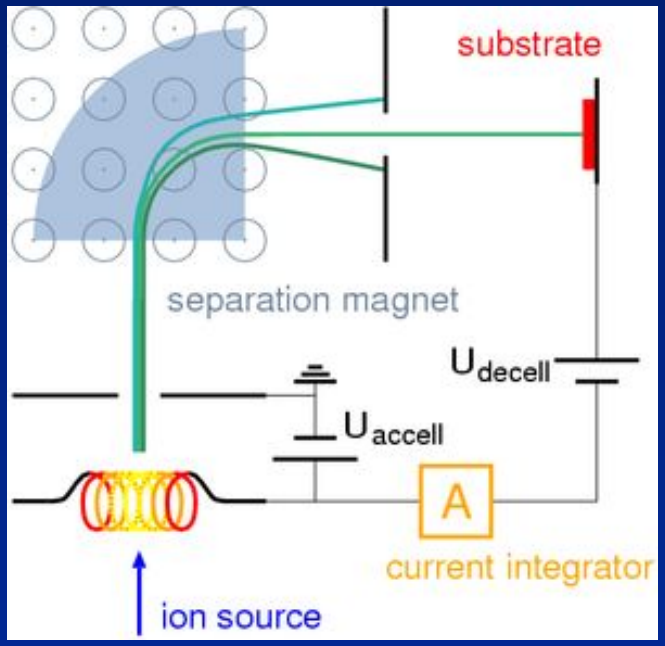


Ионное легирование



Ионное легирование (ионная имплантация) — способ введения атомов примесей в поверхностный слой пластины путем бомбардировки его поверхности пучком ионов с высокой энергией (10—2000 кэВ).

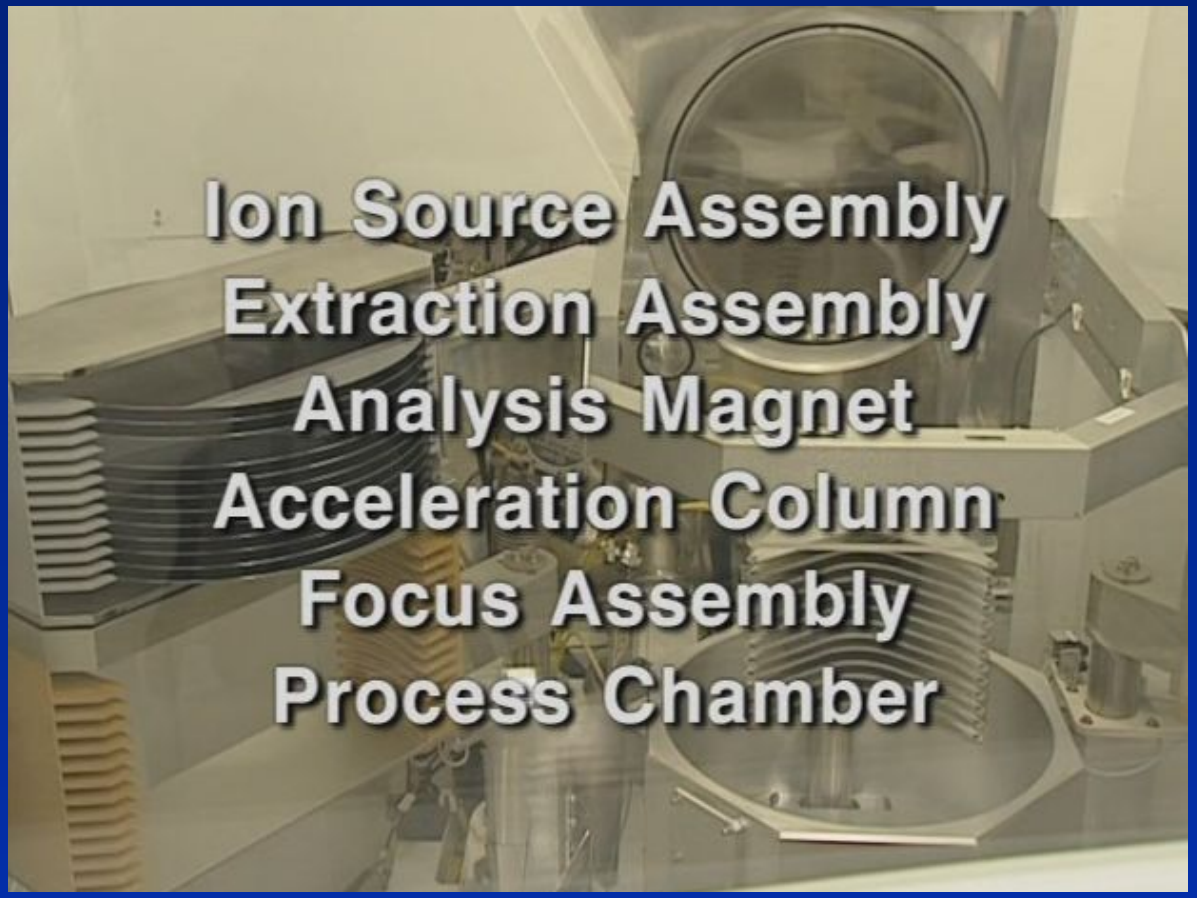
Суть метода



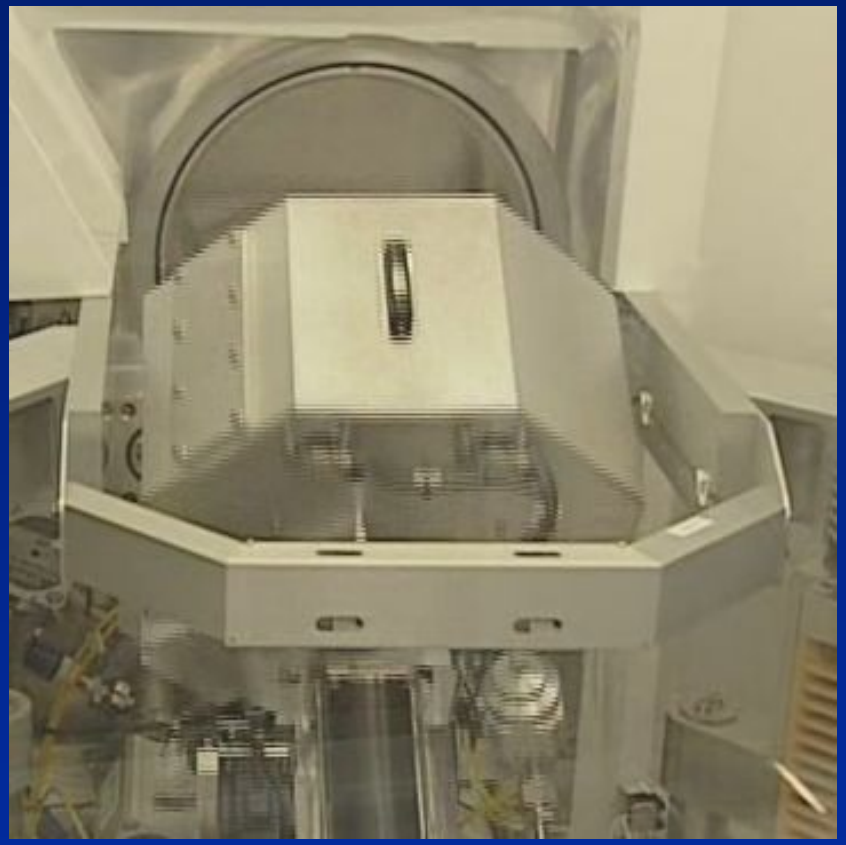
Пары легирующих элементов поступают в ионизационную камеру, где возбуждается электрический разряд. Образовавшиеся ионы (P+, As+ и др.) вытягиваются из камеры с помощью экстрагирующего электрода и поступают в магнитный масс-сепаратор, где происходит сортировка ионов по массам.

Далее отобранные по массе ионы ускоряются в электрическом поле и фокусируются в пучок.
Система сканирования обеспечивает перемещение пучка, что позволяет последовательно облучать всю поверхность пластины.

Элементы установки для ионной имплантации

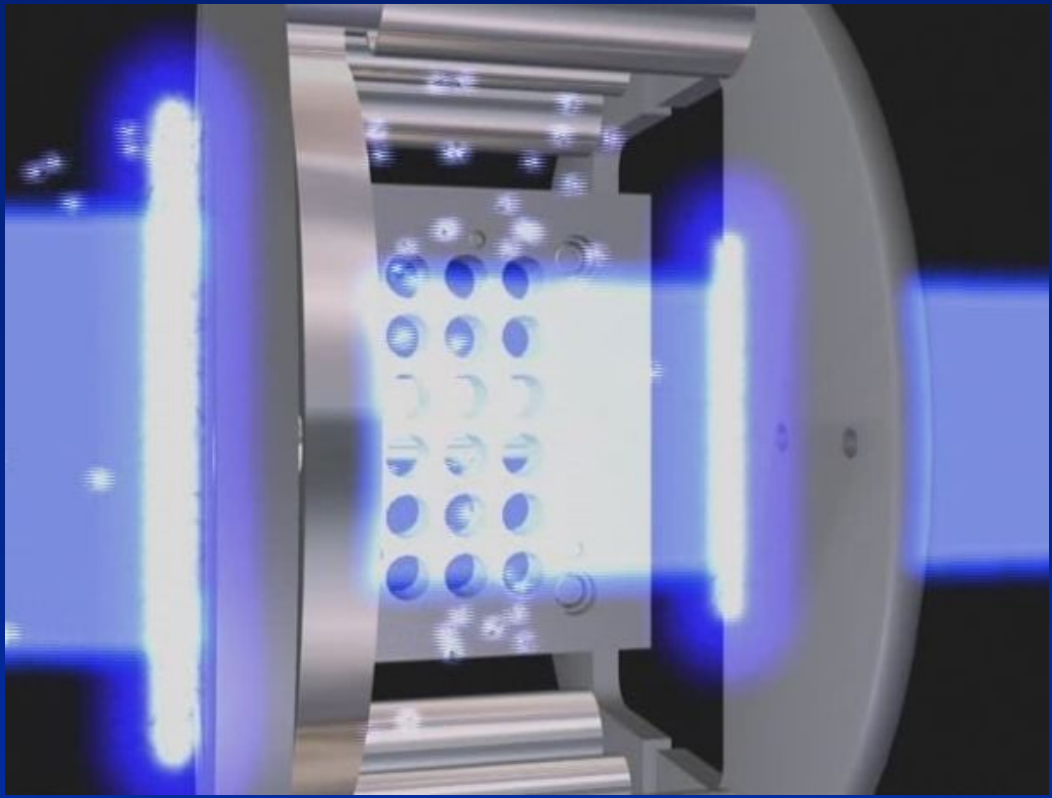


Ion Source Assembly



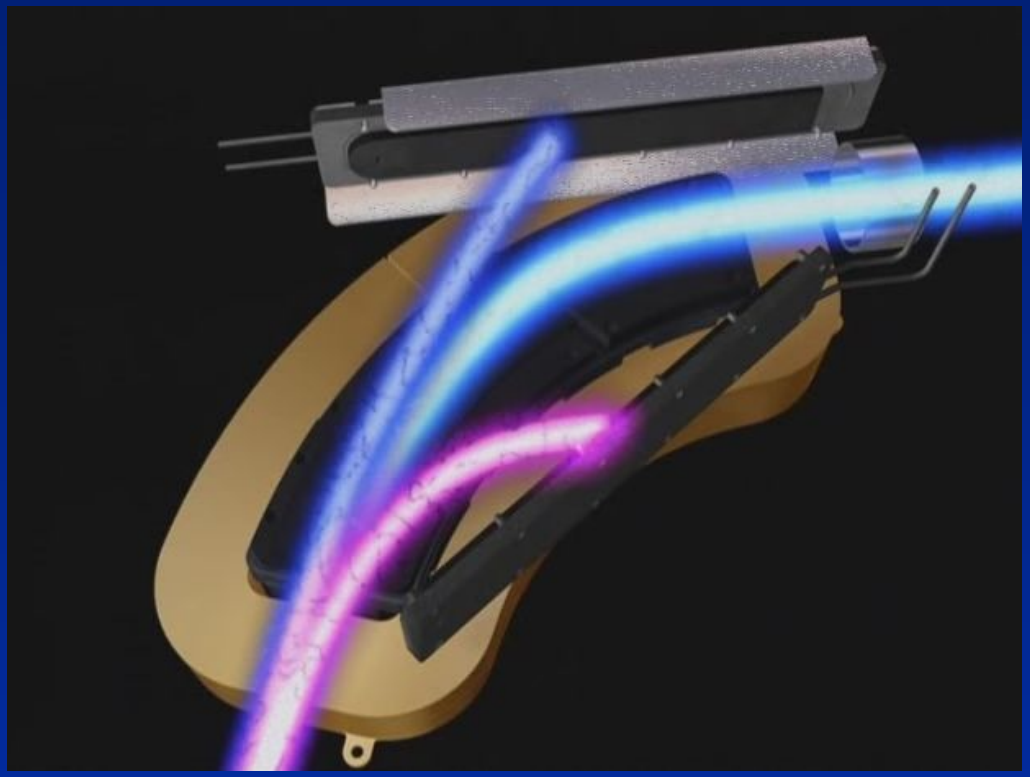
В ионном источнике ионизируются газообразные исходные вещества

Extraction Assembly



Вытягивание ионов из ионизационной камеры с помощью экстрагирующего электрода

Analysis Magnet

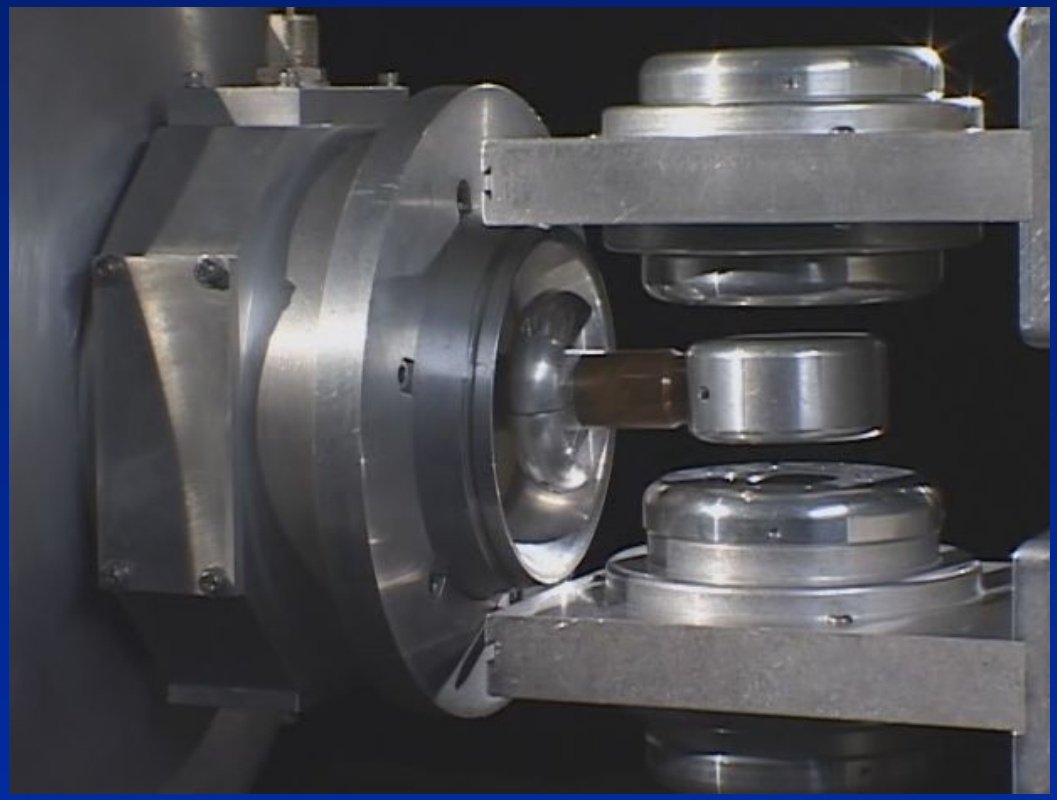


В магнитном масс-сепараторе происходит отбор частиц с нужной массой

Acceleration Column

В ускорители происходит ускорение ионов в электрическом поле

Focus Assembly



Фокусировка ионного пучка с помощью системы линз

Process Chamber

Пластины устанавливаются в камере для образцов, где можно регулировать угол падения пучка ионов. Для обеспечения однородности легирования образцы перемещаются (вращаются).

Основные характеристики процесса

Т.о. суть процесса ионного легирования заключается в формировании пучков ионов с одинаковой массой и зарядом, обладающих необходимой заданной **энергией**, и внедрении их в подложку в определенном количестве, называемом **дозой**.

Таким образом, основными характеристиками процесса являются **энергия и доза** пучка ионов.

$E_0 = neU,$

Энергия ионов

Нужная энергия E_0 приобретается ионом под действием разности потенциалов U:

$$E_0 = n * e * U \quad [эВ],$$

где n - кратность ионизации, n = 1, 2, 3; e - заряд электрона.

$E_0 = neU,$

Доза ионов

Доза ионов определяется количеством частиц, бомбардирующих единицу поверхности за данное время:

$$D = j * t \quad [Кл/м^2]$$

где j – плотность ионного потока, t – время облучения.

Физические процессы, протекающие при внедрении ионов в полупроводниковую подложку

Ионы, влетающие в подложку, сталкиваются и взаимодействуют со встречаемыми ими атомами, передавая при каждом столкновении часть своей кинетической энергии ядрам атомов и электронам.

Столкновения могут быть **упругими и неупругими**.

При **упругих** столкновениях внутренняя энергия частиц и импульс остаются неизменными, а меняется кинетическая и потенциальная энергия частиц и направление импульса (характерны для твердых шаров).

При **неупругих** столкновениях происходит изменение внутренней энергии или импульса частиц.

Взаимодействие иона с атомом является упругим, а с его электронной оболочкой – неупругим.

Газы, из которых образуются ионы легирующих примесей B+, P+ и As+

DOPANT	GAS
Boron	BF_3
Phosphorous	PH_3
Arsenic	AsH_3

Достоинства метода

- Большая свобода выбора легирующей примеси.
- Относительно невысокая температура процесса.
- Высокая производительность.
- Точность передачи геометрических размеров.
- Хорошая совместимость с другими технологическими процессами.

Недостатки метода

- Сложность оборудования.
- Высокая стоимость процесса.
- Внесение радиационных дефектов кристаллической решетки подложки.
- Необходимость проведения после имплантации высокотемпературного отжига.

Радиационные дефекты кремниевой подложки после ионной имплантации

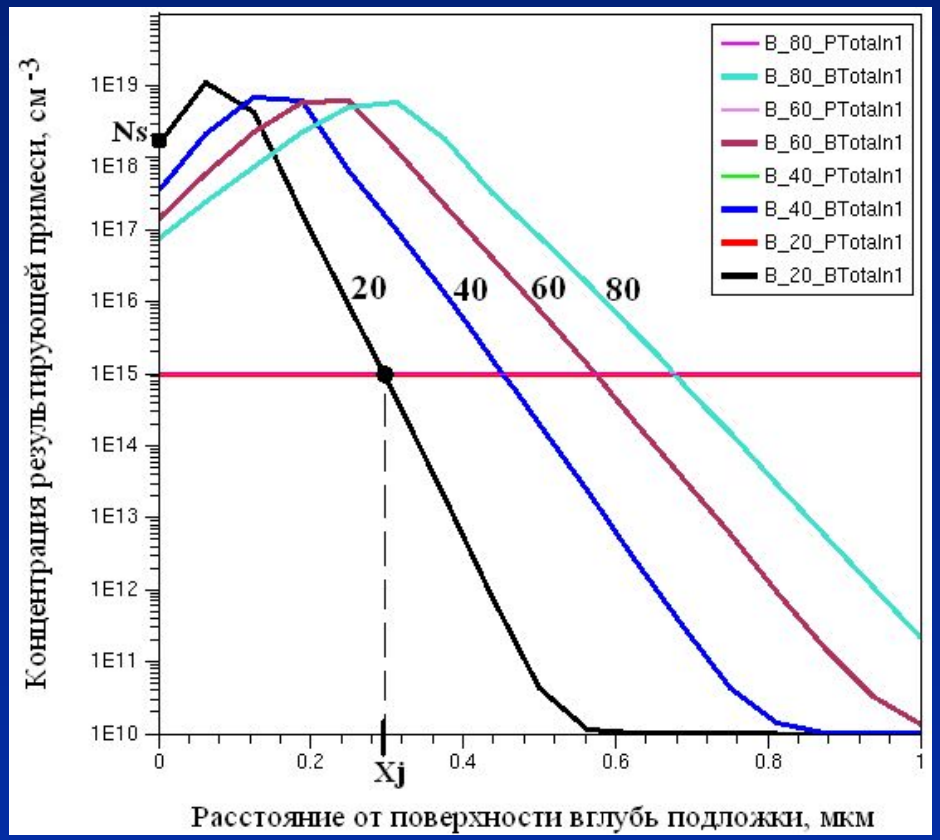
В процессе замедления ион испытывает много столкновений с атомами решетки, выбивая их из узлов. Выбитые атомы, в свою очередь, могут смещать другие атомы.

В результате по направлению движения иона образуется сильно разупорядоченная область (**радиационные дефекты кристаллической решетки кремния**).

Количество дефектов растет с увеличением дозы ионной имплантации.

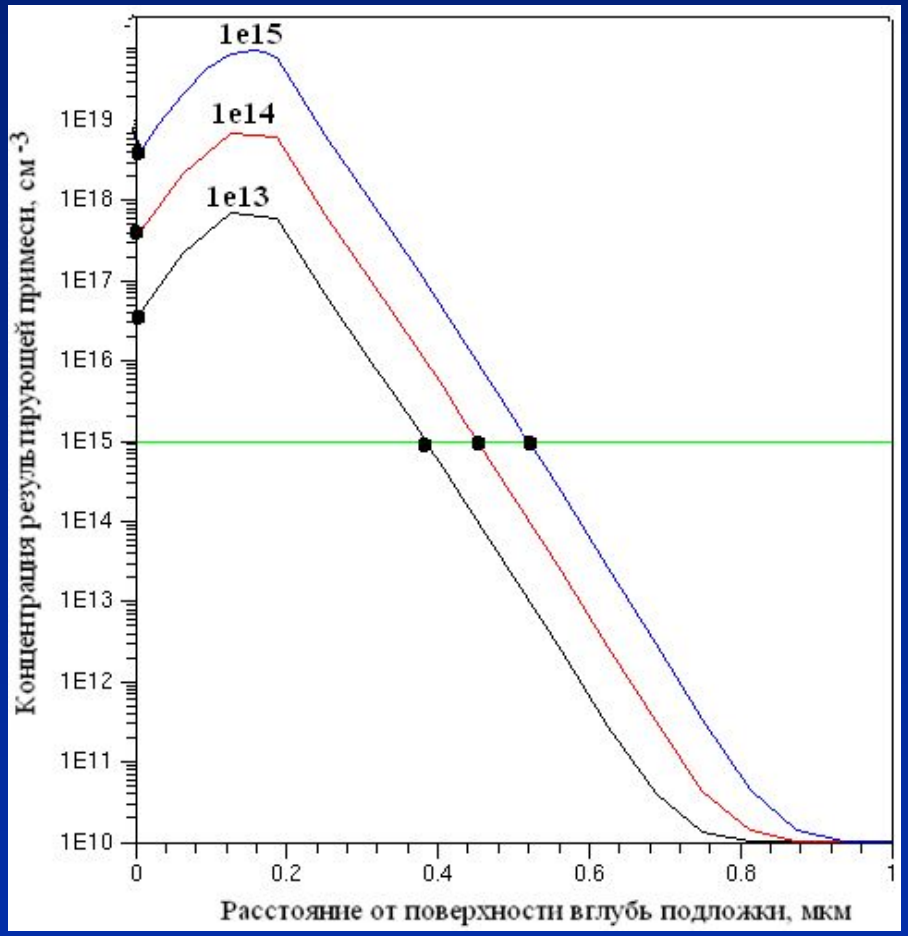
Поэтому после имплантации необходимо проводить **отжиг** полупроводниковых пластин. При отжиге смещенные атомы полупроводника возвращаются в нормальные положения в узлах кристаллической решетки.

Распределение легирующей примеси (P) при разных энергиях

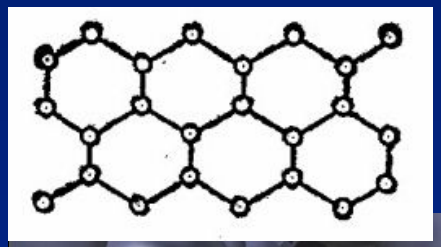


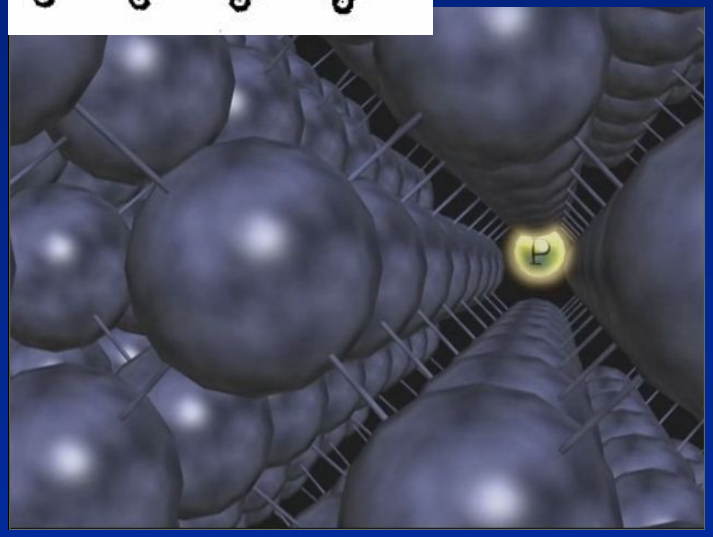
Ns – поверхностная концентрация
Xj – глубина p-n перехода

Распределение легирующей примеси (P) при разных дозах

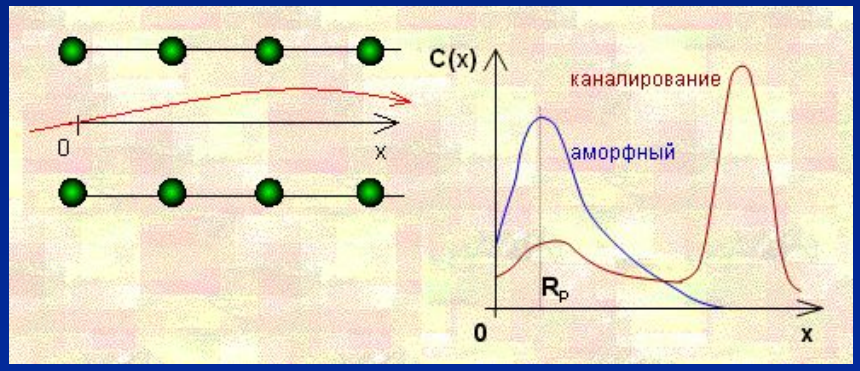


Каналирование

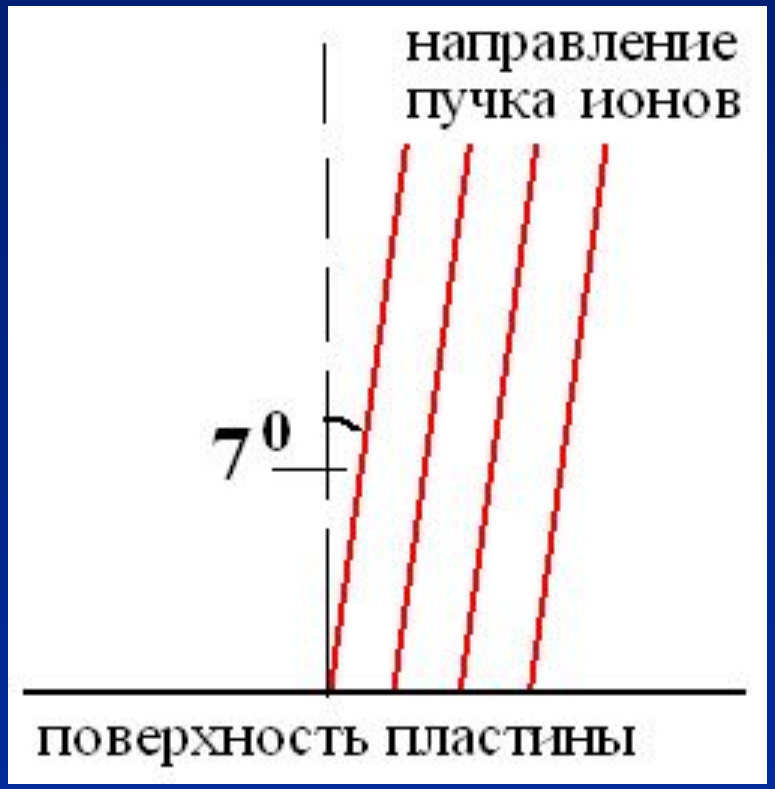




Распределение примеси при каналировании (вдоль плоскости <110>)



Вследствие кристаллической природы кремния ионы могут проникнуть в его структуру значительно глубже, если имплантация производится вдоль главной кристаллической оси или плоскости. В этом случае трудно прогнозировать глубину залегания примеси.



Метод борьбы с каналированием – проводить ионное легирование под углом 7^0 к поверхности пластины.

Отжиг легированных структур

При имплантации большое количество атомов кремния смещается из узлов кристаллической решетки (чем больше доза, тем сильнее повреждения).

Целью отжига является восстановление кристаллической структуры легированных областей кремния и активация внедренной примеси.

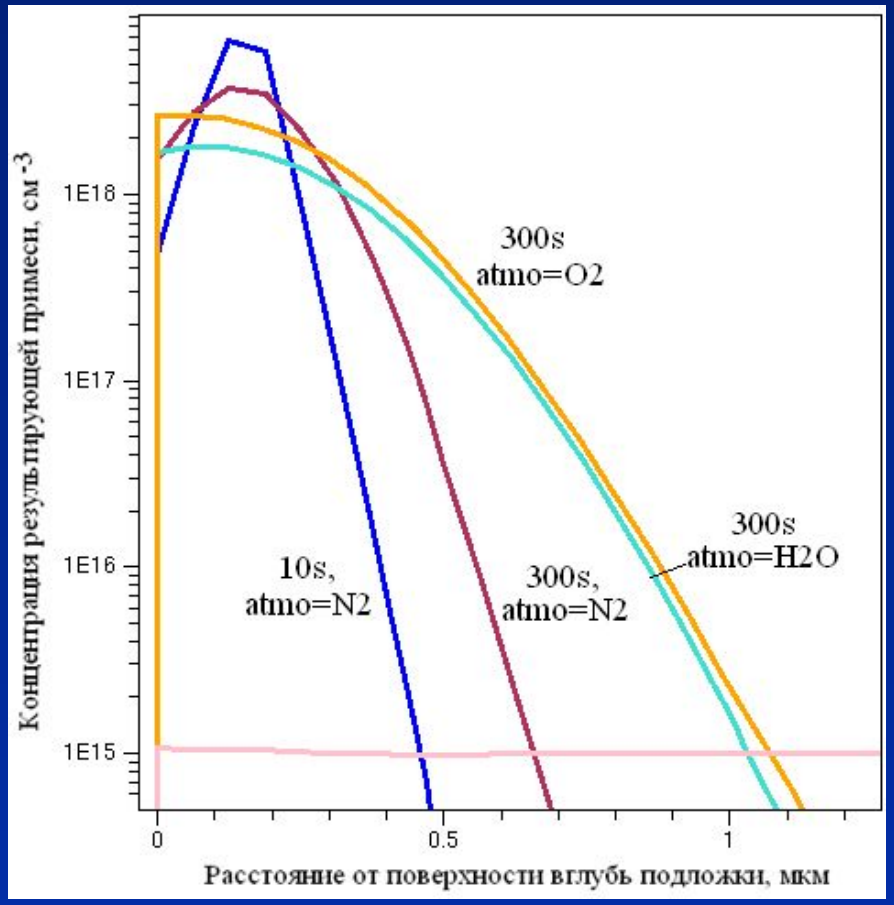
Активация примеси заключается в переходе внедренных ионов примеси в узлы кристаллической решетки, где они способны проявить свои донорные или акцепторные свойства.

Обычно во время отжига имеет место и диффузия примеси (перенос атомов вещества, обусловленный их хаотическим тепловым движением в направлении уменьшения концентрации).

Быстрый термический отжиг

При быстром термическом отжиге пластины нагревают до высоких температур (до 1200 ° С или больше) в течении нескольких секунд с помощью лазера (а не в кварцевой печи). Однако охлаждение пластин должно осуществляться постепенно, чтобы они не раскололись от резкого перепада температур. Быстрый термический отжиг используют для активации примеси после ионной имплантации, термического окисления и др.

Распределение легирующей примеси (P) при разных режимах отжига



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

Легирование – doping

Ионная имплантация – ion implantation

Отжиг – anneal, annealing

Быстрый термический отжиг – rapid thermal annealing (RTA)

Диффузия – diffusion

Радиационные дефекты — radiation-induced defects

Пластина (полупроводниковая) – wafer

Каналирование – channelling