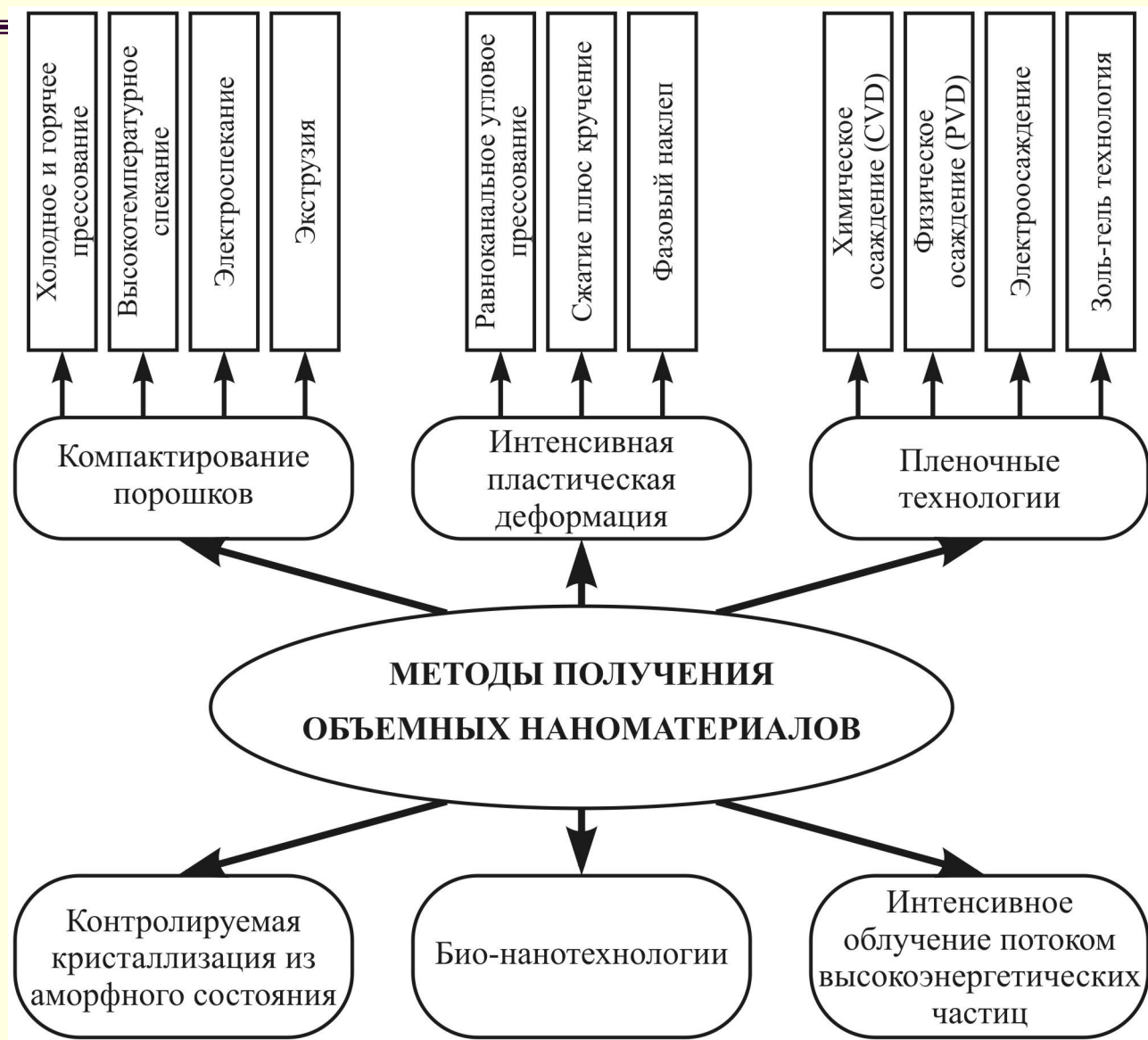


---

# Получение объемных наноматериалов



---

## I. Облучение потоками высокоэнергетических частиц

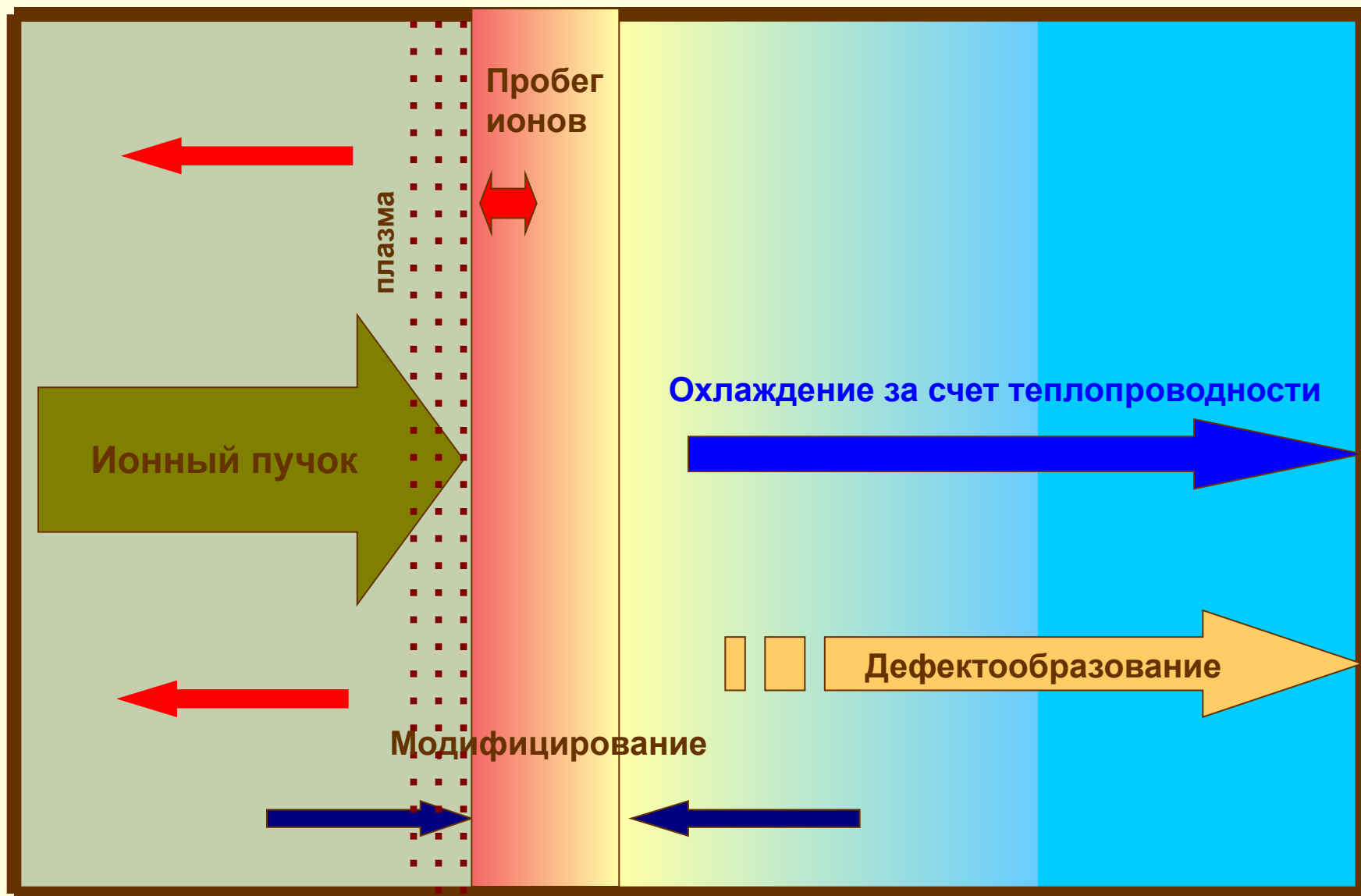
- Радиационно-пучковые технологии. Ионно-лучевые, ионно-плазменные технологии и воздействие concentraц. потоков энергии для модификации материалов.
- Физико-химические процессы при взаимодействии ионов с твердым телом. Методы получения и транспортировки пучков заряженных частиц.
- Имплантация ионов в металлы и полупроводники
- Электронные пучки и их применение
- Мощные ионные пучки и их применение
- Потоки высокотемпературной импульсной плазмы и их применение
- Лазерное излучение и его применение

## II. Пленочные технологии.

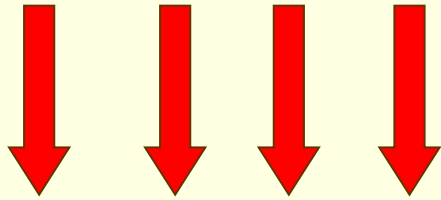
- CVD - химическое осаждение
- PVD - физическое осаждение
- Электроосаждение

- 
- Радиационное воздействие м.б. использовано для модифицирования и создания новых материалов.
  - Радиационная обработка включает следующие задачи:
    - Техника для обработки: создающая потоки ионов, атомов, электронов, плазмы и т.д.
    - Методы обработки: имплантация, распыление, осаждение, перемешивание, нагрев, деформирование, насыщение и др.
    - Регулируемые параметры при обработке: токи, потоки, флюенсы, энергия и вид излучения, масса частиц, температура облучения.
    - Технологические задачи: изменение топографии поверхности, активация поверхности, изменение структуры или химического состава, нанесение или удаление слоя, залечивание дефектов
    - Результат обработки, изменение шероховатости, глубина слоя, структура, состав и фазовое состояние слоев.
    - Эксплуатационные свойства созданные обработкой: износостойкость, коррозионная стойкость, прочность, твердость, термостойкость и др.

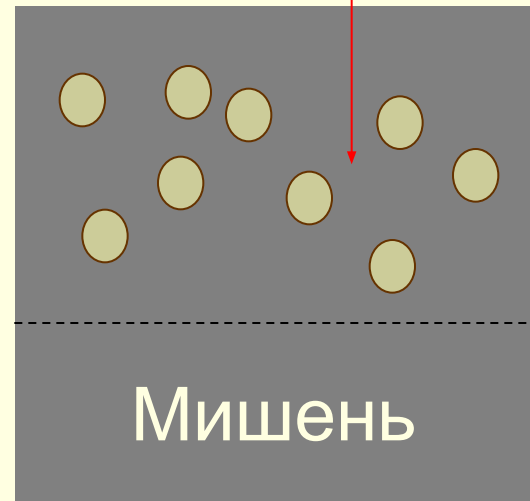
# Механизм воздействия



Металлические ионы



Твердые растворы  
НАНОРАЗМЕРНЫЕ ФАЗЫ  
Интерметаллиды, оксиды, карбиды



} Модифицированный  
слой

- 
- 
- Радиационно-пучковые технологии используют тепловую, кинетическую, электрическую и магнитную составляющую энергии и различные способы подвода к мишени: непрерывный, импульсный, импульсно-периодический, точечный, линейный, поверхностный, квазиобъемный.
  
  - Модификация осуществляется за счет физических процессов:
    - Быстрый нагрев и охлаждение
    - Имплантация атомов/ионов в материал
    - Распыление или испарение поверхностного слоя
    - Плазмообразование на поверхности
    - Дефектообразование в слое материала
    - Осаждение атомов на поверхность
    - Ионное перемешивание в поверхностном слое
    - Термическая и радиационно-стимулированная диффузия
    - Термические и структурные напряжения

- При модифицировании происходят различные структурные и фазовые изменения.
- Наиболее значимыми изменениями являются:
  - Увеличение параметра решетки
  - Разворот плоскостей упаковки атомов
  - Образование аморфных и ультрадисперсных фаз
  - Диспергирование микроструктуры
  - Накопление радиационных дефектов
  - Загрязнение примесями
  - Растворение и образование радиационно-стимулированных фаз
  - Расслоение твердых растворов
  - Создание пересыщенных твердых растворов
  - Радиационно-индуцированная сегрегация
  - Образование слоистых структур
  - Формирование дислокационных субструктур
  - Образование градиентных структурно-фазовых состояний

# Виды радиационных технологий

По носителям энергии и с учетом основного  
модифицирующего фактора

## 1 Ионно-пучковые технологии

моноэнергетические пучки ионов

полиэнергетические пучки ионов

## 2 Ионно-плазменные технологии

## 3 Плазменные технологии

равновесная плазма

неравновесная плазма

## 4 Технологии, основанные на использовании концентрированных потоков энергии

# Виды облучения

## Ионные пучки

Ускоренные ионы (и атомы) в виде моноэнергетических или полиэнергетических пучков являются рабочим телом ионно-пучковых и ионно-плазменных технологий

Используют ионы газовые или твердотельные (металлические)

Параметрами являются: энергия, поток, флюенс

Ионно-пучковые технологии направлены на

1) получение новых материалов: нанесение пленок путем распыления, бомбардировка подложки в процессе нанесения, имплантация в объем материала для создания нового, ионно-пучковая эпитаксия

2) модифицирование материалов (поверхностного слоя): формирование рельефа путем распыления, изменение структуры путем имплантации, изменение элементного и фазового состава.

## Низкотемпературная плазма

Низкотемпературная плазма ( $T \sim 10^4$  K) может быть равновесной ( $T_e \approx T_i \approx T_a$ ) или неравновесной ( $T_e \approx T_i \ll T_a$ ), где  $T_e$ ,  $T_i$ ,  $T_a$  температуры атомов, ионов и электронов соответственно.

Перенос вещества в плазме осуществляется путем диффузии, направленных потоков атомов под действием градиентов температуры. Рабочим телом плазмы является ( $\text{Ar}$ ,  $\text{He}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) и воздух.

Направления:

- 1) Получение/синтез материалов: химический синтез (в том числе органический) веществ, полимеризация мономеров; экстрактивная металлургия, включая восстановление оксидов (или их диссоциацию) металлов в плазме и других газовых смесей; получение ультрадисперсных порошков; плазменная плавка металлов
- 2) Модификация материалов: формирование заданного рельефа (травление или очистка); нанесение покрытий на изделия; синтез химических соединений на поверхности; плазмохимическое насыщение поверхностного слоя азотом, углерода.

---

---

## Ионно-плазменные технологии

Одновременная или последовательная обработка поверхности ионами и плазмой.

Использование ионно-плазменных технологий расширяет возможности обработки по сравнению с ионно-пучковыми технологиями так как позволяет чередовать операции распыления, нанесения покрытий и имплантацию ионов.

Эффективна для получения функциональных покрытий и пленок. Осуществляется ряд операция необходимых для получения прочного сцепления с поверхностью, путем комбинации очистки, напыления ионного перемешивания.

## Концентрированные потоки энергии (КПЭ)

Высокие потоки энергии (десятки и более Дж/см<sup>2</sup>) можно создавать мощными электронными пучками (МЭП), мощными ионными пучками (МИП), лазерным излучением (ЛИ), потоками высокотемпературной импульсной плазмы (ВТИП),

Общим для КПЭ является высокие плотности мощности ( $\sim 10^{12}$  Вт/см<sup>2</sup>), энергии (100 Дж/см<sup>2</sup>), высокие градиенты температуры ( $10^6$ - $10^8$  К/см), высокие скорости нагрева и закали ( $10^9$ - $10^{11}$  К/с).

### Получение материалов

путем испарения мишени и конденсации атомов, инициирования химических реакций на поверхности

### Модифицирование поверхностного слоя

путем сверхбыстрой закали, изменения элементного и фазового состава, формирования заданного рельефа путем оплавления, заглаживания или создания дефектов, объемное ударное упрочнение, удаление ранее нанесенных пленок и покрытий.