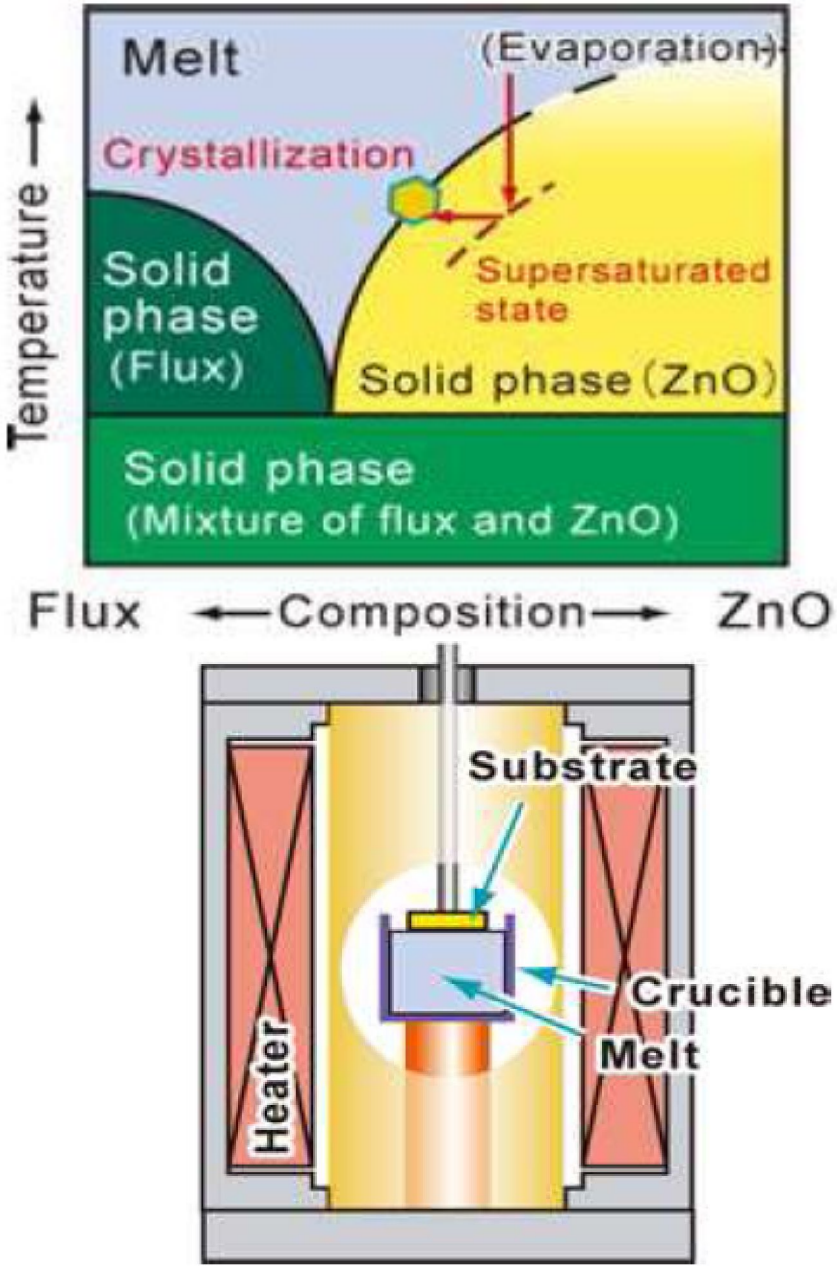
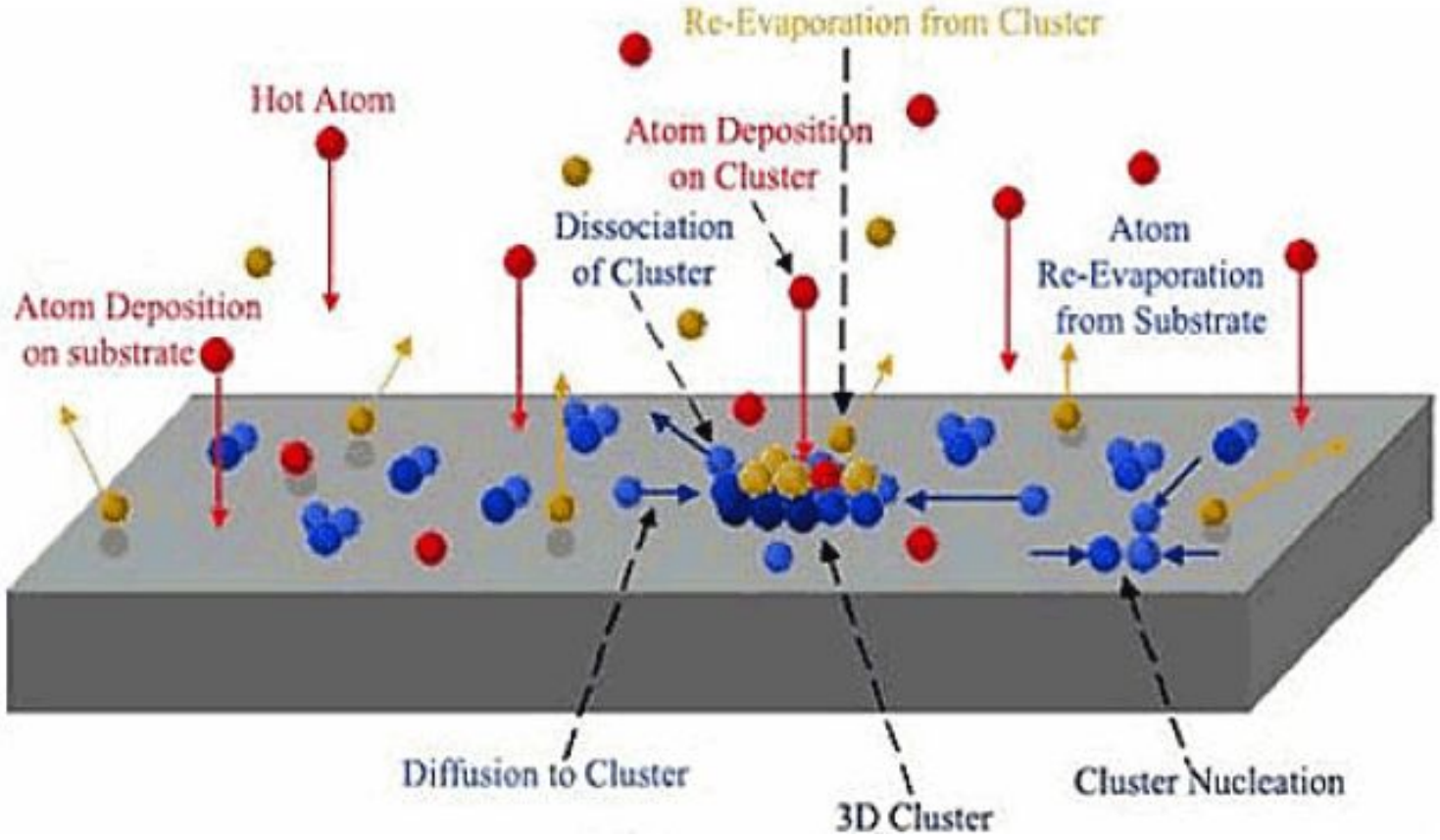
Методы формирования нанослоев

Рост кристаллов

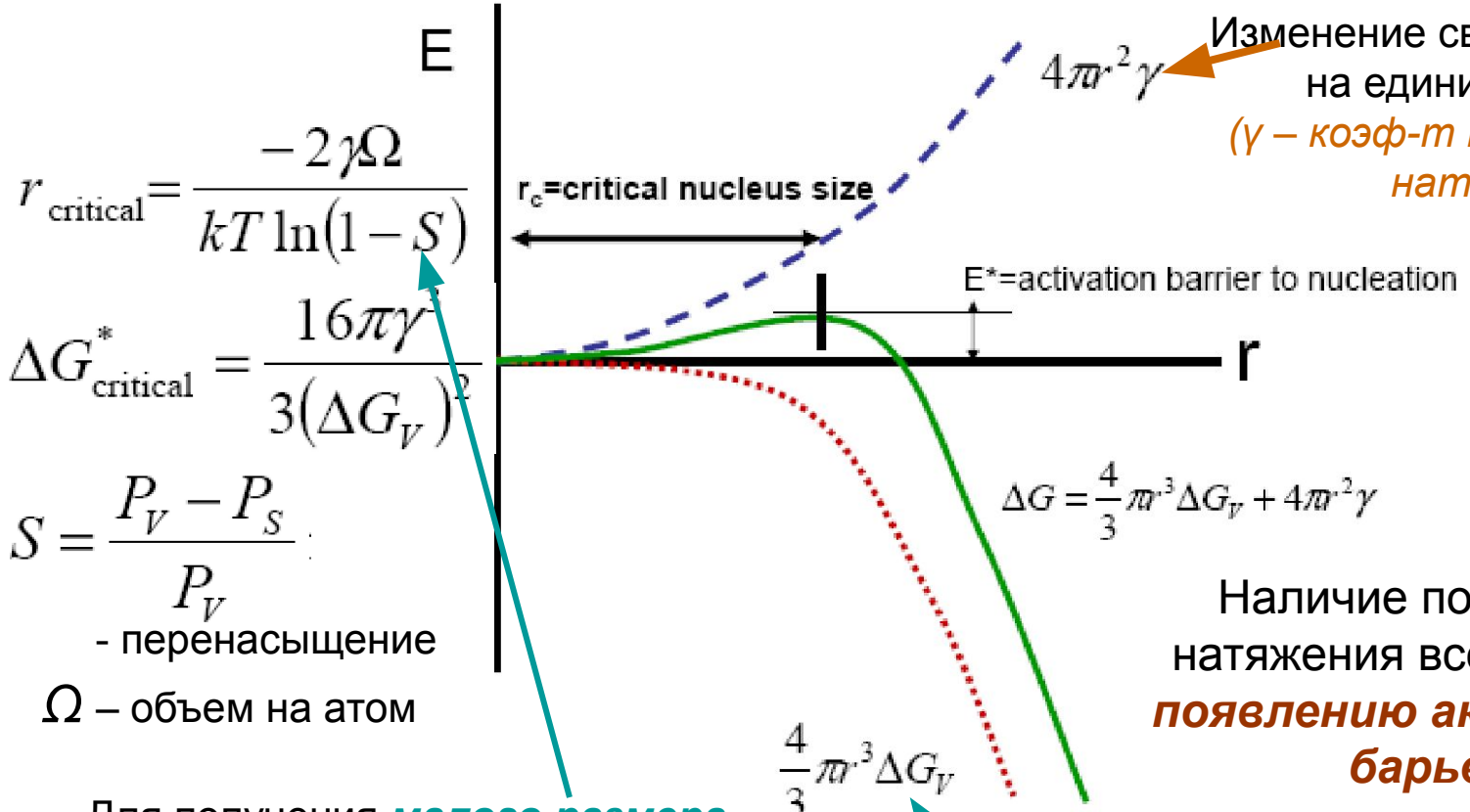
- Физические основы:
- Науки о равновесии в среде или межфазном равновесии
  - Термодинамика
  - Статистическая физика
  - Кинетика
- Эффект равновесия – давления пара над кристаллом
- Кинетический эффект – рост кристалла из пара



Механизмы роста



Наличие поверхностного натяжения всегда приводит к ***появлению активационного барьера*** для зародышеобразования конденсированной фазы (и твердой, и жидкой)



Изменение свободной энергии на единицу площади
(γ – коэф-т поверхностного натяжения)

$$r_{critical} = \frac{-2\gamma\Omega}{kT\ln(1-S)}$$

$$\Delta G^*_{critical} = \frac{16\pi\gamma^3}{3(\Delta G_V)^2}$$

$$S = \frac{P_V - P_S}{P_V}$$

- перенасыщение

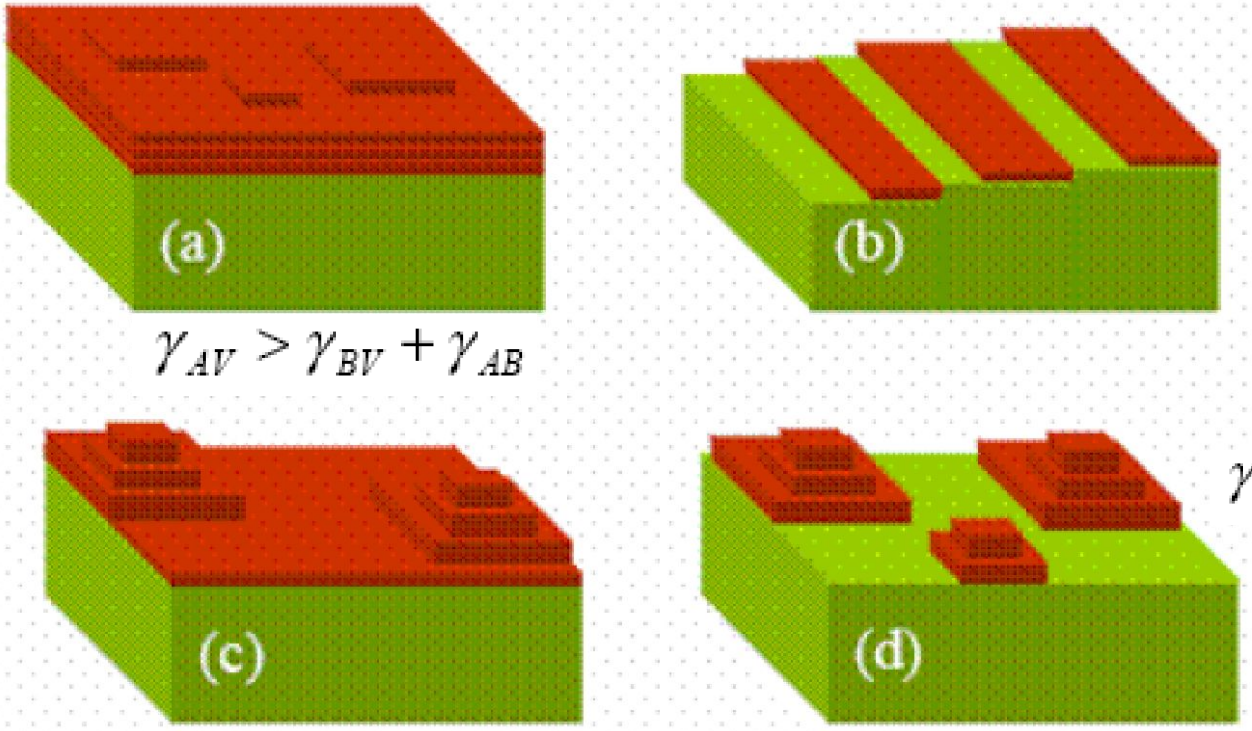
Ω – объем на атом

Для получения ***малого размера зародыша и быстрого зародышеобразования*** нужно ***высокое перенасыщение***

Изменение свободной энергии на единицу объема

Наличие поверхностного натяжения всегда приводит к ***появлению активационного барьера*** для зародышеобразования конденсированной фазы (и твердой, и жидкой)

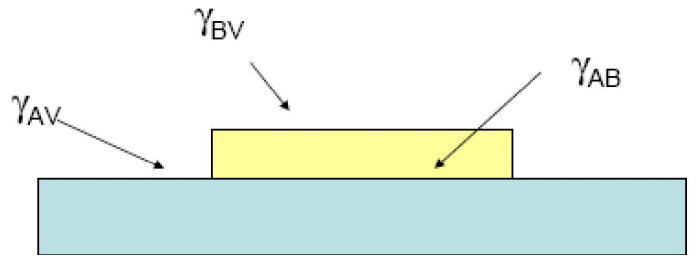
Типы процессов роста материалов на подложках



$\gamma_{AV} > \gamma_{BV} + \gamma_{AB}$

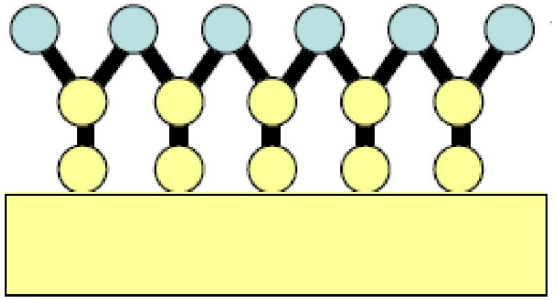
$\gamma_{AV} < \gamma_{BV} + \gamma_{AB}$

(a) Frank-Van der Merwe или послойный рост,
(b) Ступенчатый рост,
(c) Stranski-Krastanov рост,
(d) Volmer-Weber рост.

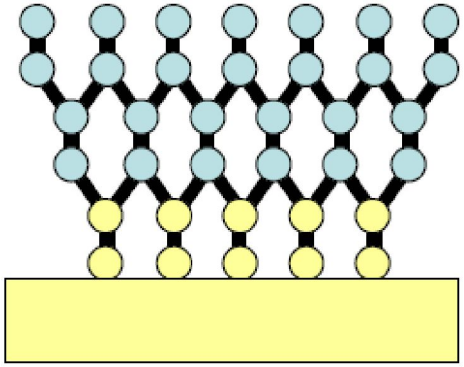


$\Delta G_{\text{interface}} \propto \gamma_{BV} - \gamma_{AV} + \gamma_{AB}$

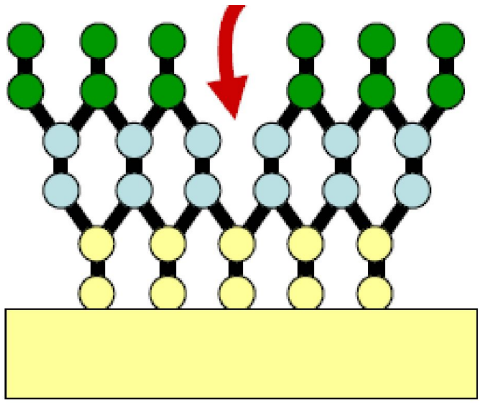
Эпитаксиальная деформация



Период решетки Ge на 4% больше, чем у Si.
При связывании Ge к Si решетка Ge сжимается на 4%



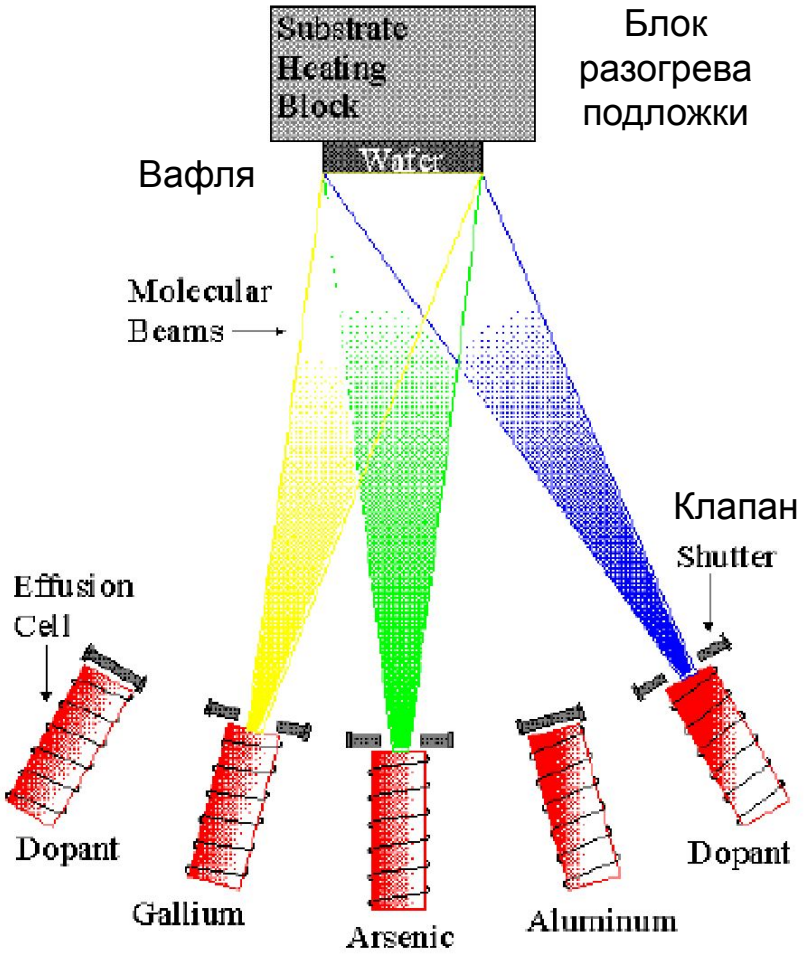
дислокация



$$E_{strain} = \lambda \left(\frac{\Delta a}{a} \right)^2 At$$

- λ – модуль упругости
- Δa - вынужденное изменение периода решетки
- a - начальный период решетки
- A - площадь
- t - толщина

Эпитаксия в молекулярных пучках
Molecular Beam Epitaxy (MBE)

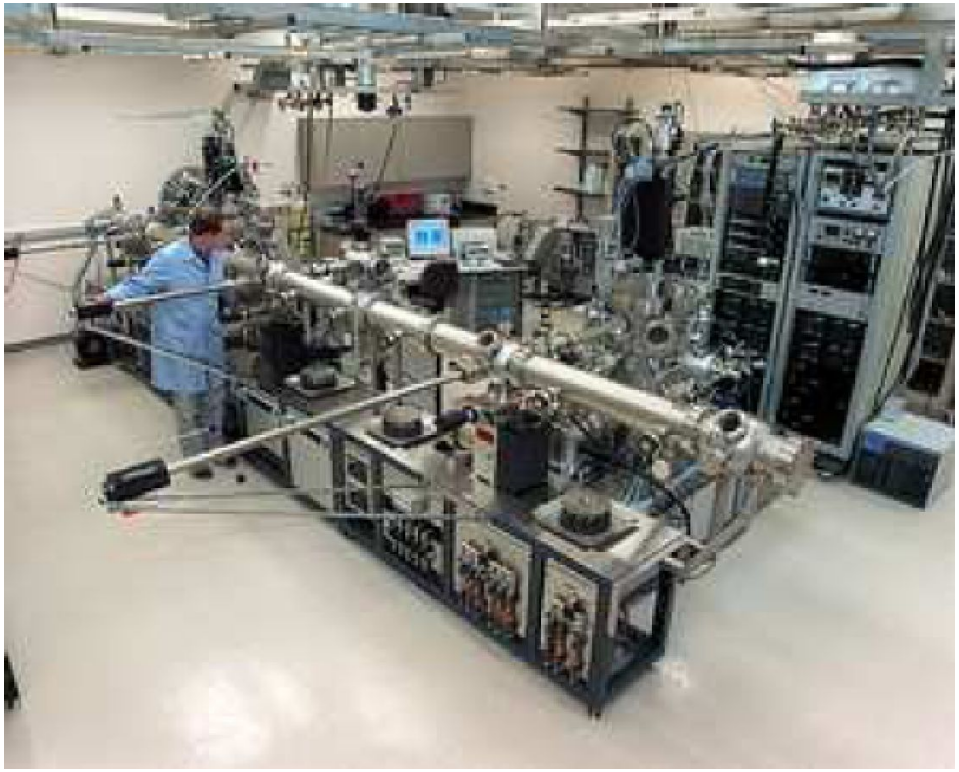


Блок разогрева подложки

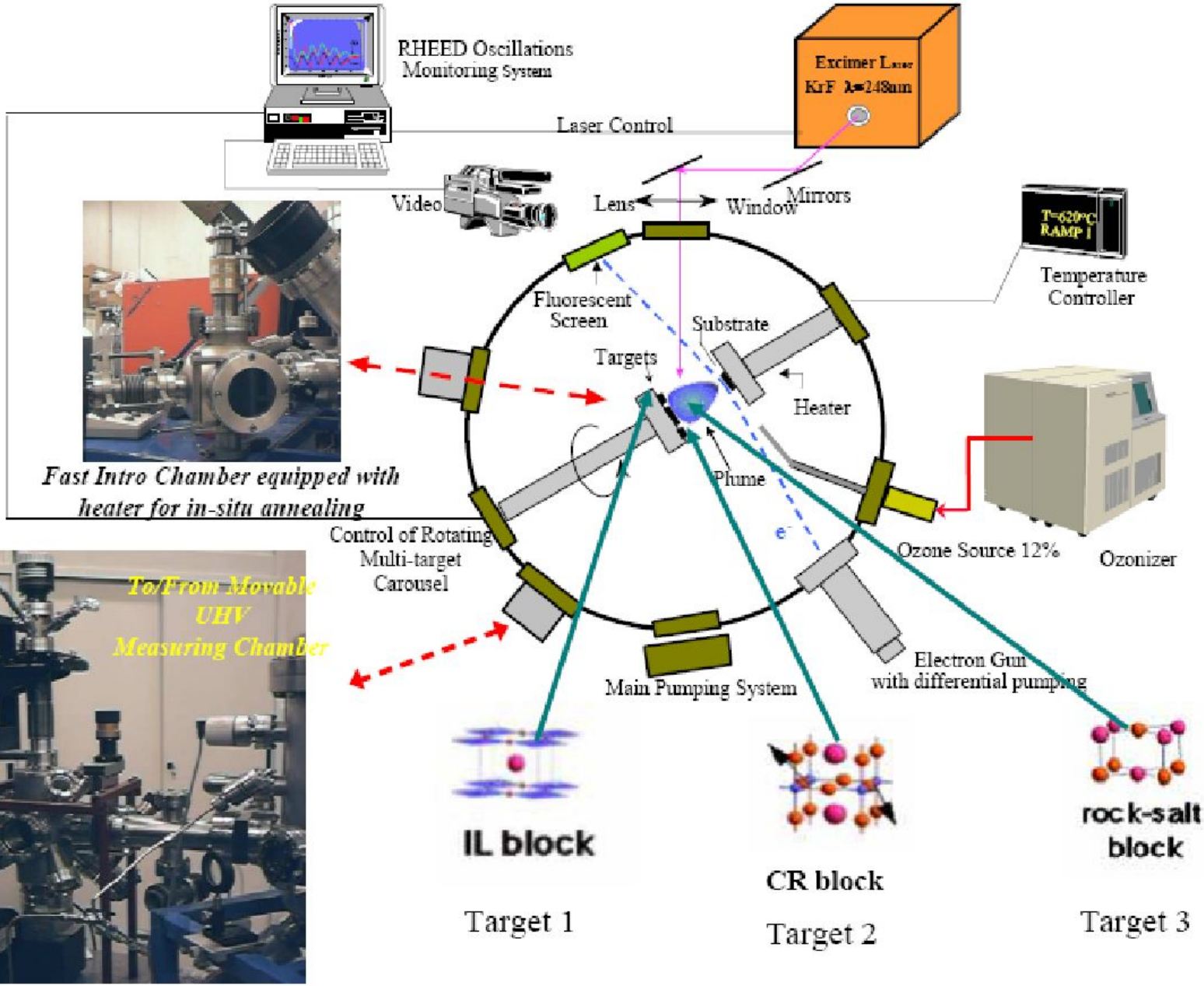
Вафля

Клапан

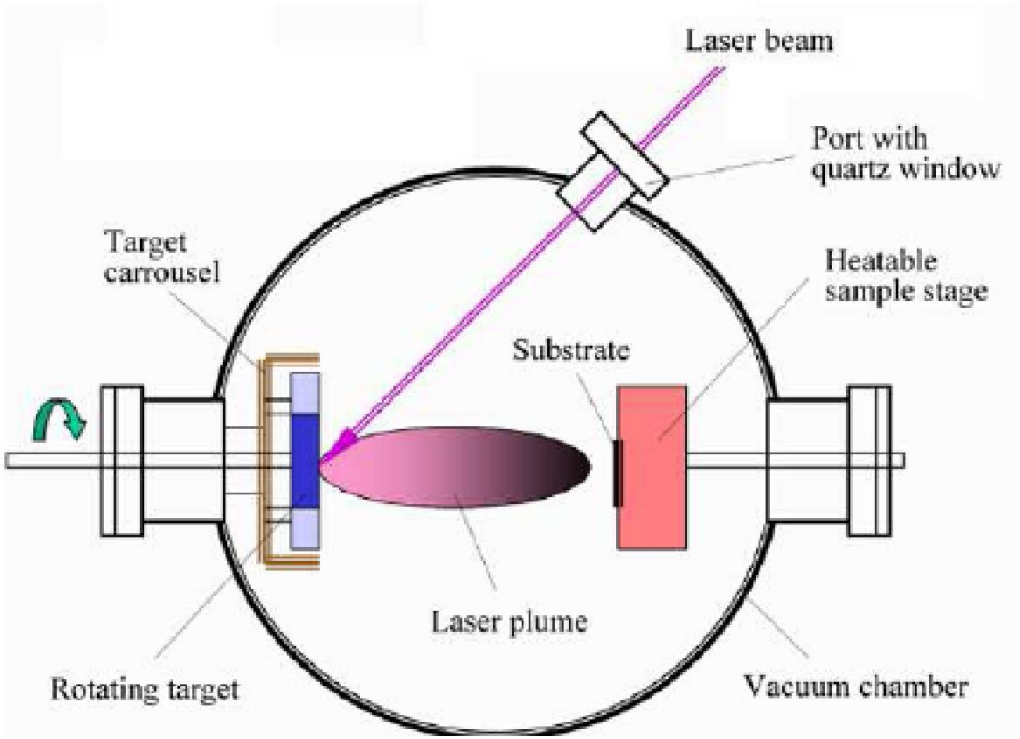
Эффузионная ячейка (испускание)

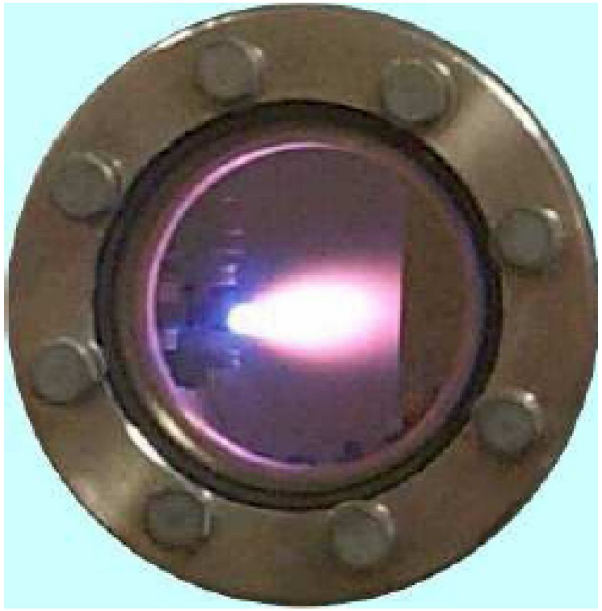


Осаждение импульсным лазером
Pulsed Laser Deposition (PLD)



Геометрия импульсной лазерной абляции





- Импульсный лазер
  - Длительность импульса 30 нс
  - Энергия импульса 0,1-1 Дж
  - Частота импульсов 1-20 Гц
  - Эксимерные лазеры ArF (λ=193 nm), KrF (λ=248 nm)
  - Nd:YAG лазер