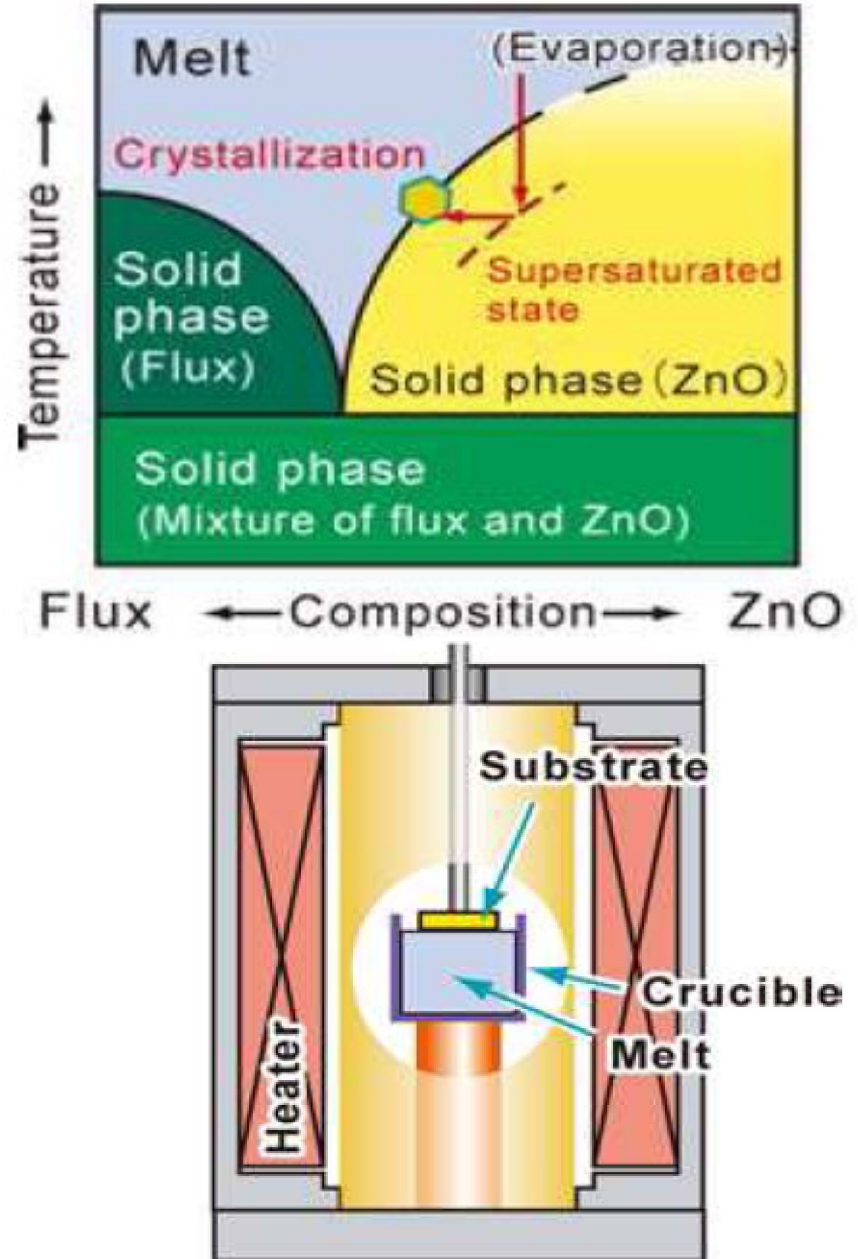


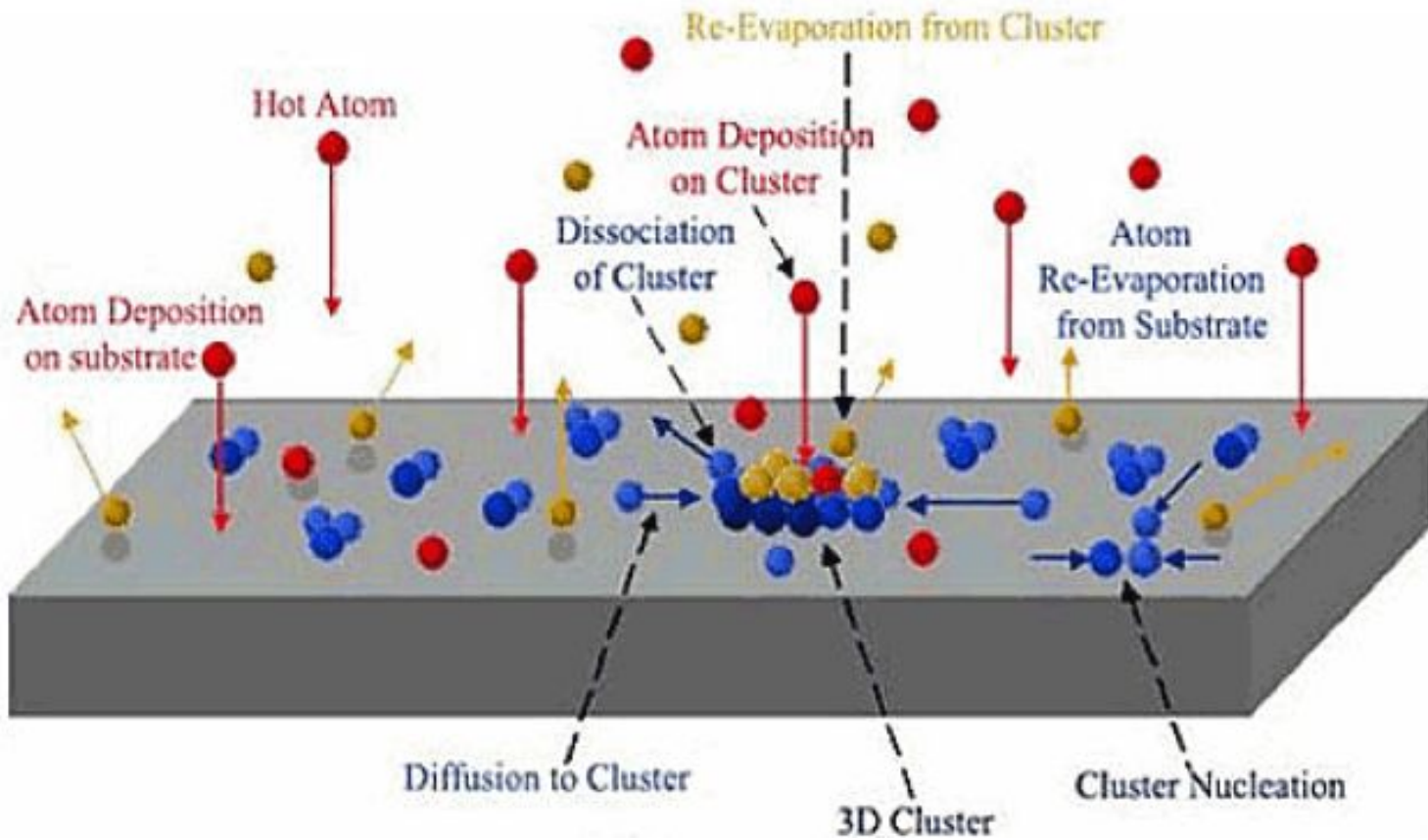
Методы формирования нанослоев

Рост кристаллов

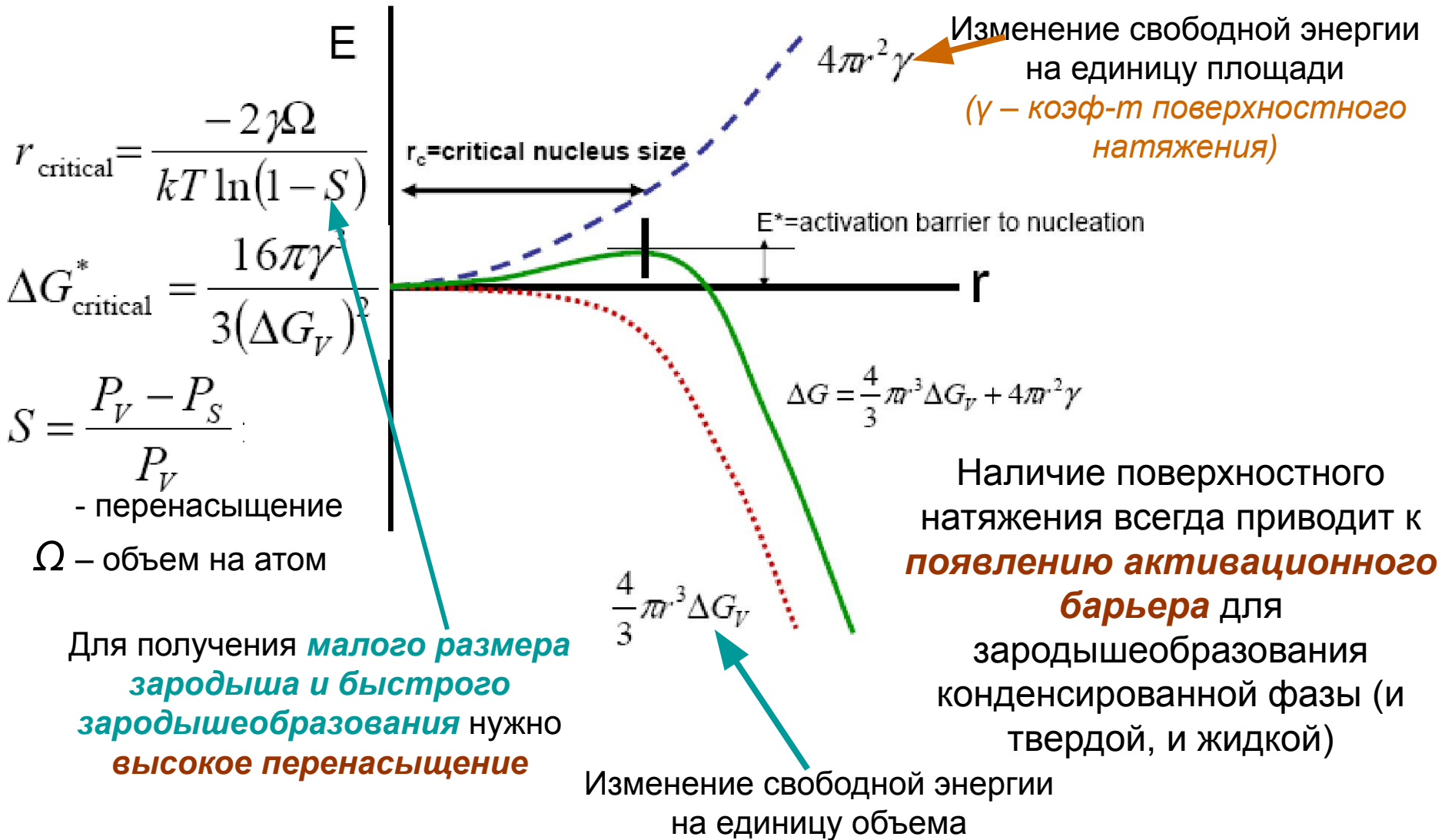
- Физические основы:
- Науки о равновесии в среде или межфазном равновесии
 - Термодинамика
 - Статистическая физика
 - Кинетика
- Эффект равновесия – давления пара над кристаллом
- Кинетический эффект – рост кристалла из пара



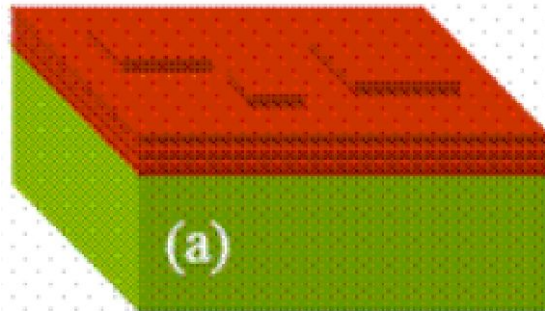
Механизмы роста



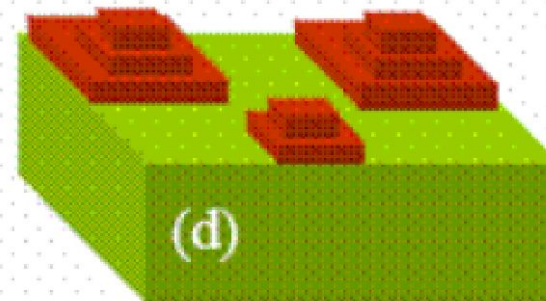
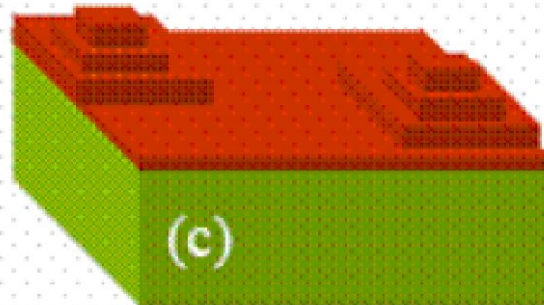
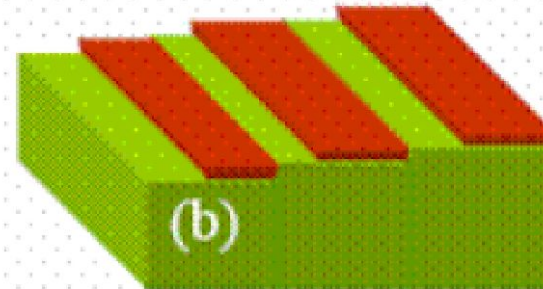
Наличие поверхностного натяжения всегда приводит к **появлению активационного барьера** для зародышеобразования конденсированной фазы (и твердой, и жидкой)



Типы процессов роста материалов на подложках

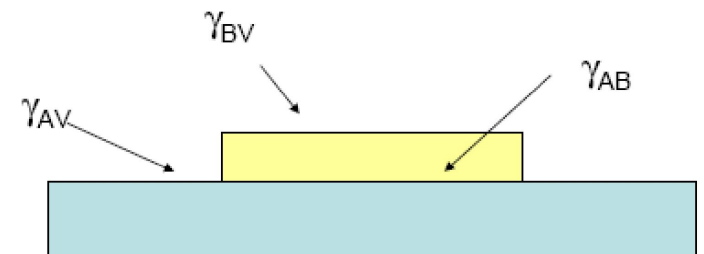


$$\gamma_{AV} > \gamma_{BV} + \gamma_{AB}$$



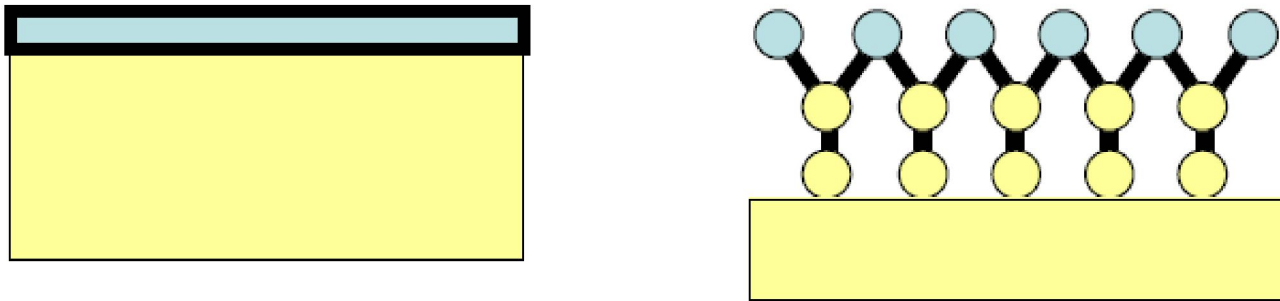
$$\gamma_{AV} < \gamma_{BV} + \gamma_{AB}$$

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

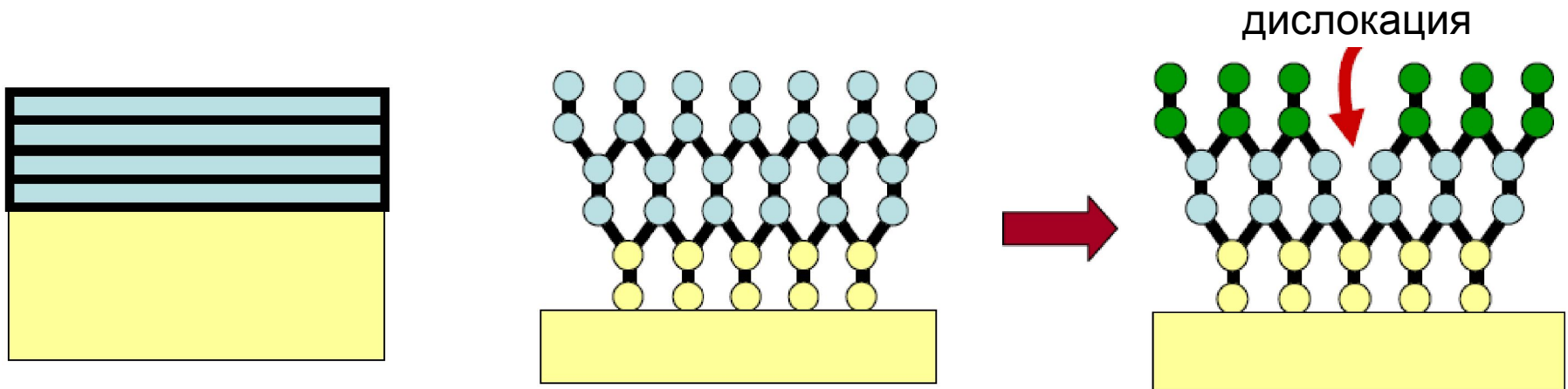


$$\Delta G_{\text{interface}} \propto \gamma_{BV} - \gamma_{AV} + \gamma_{AB}$$

Эпитаксиальная деформация



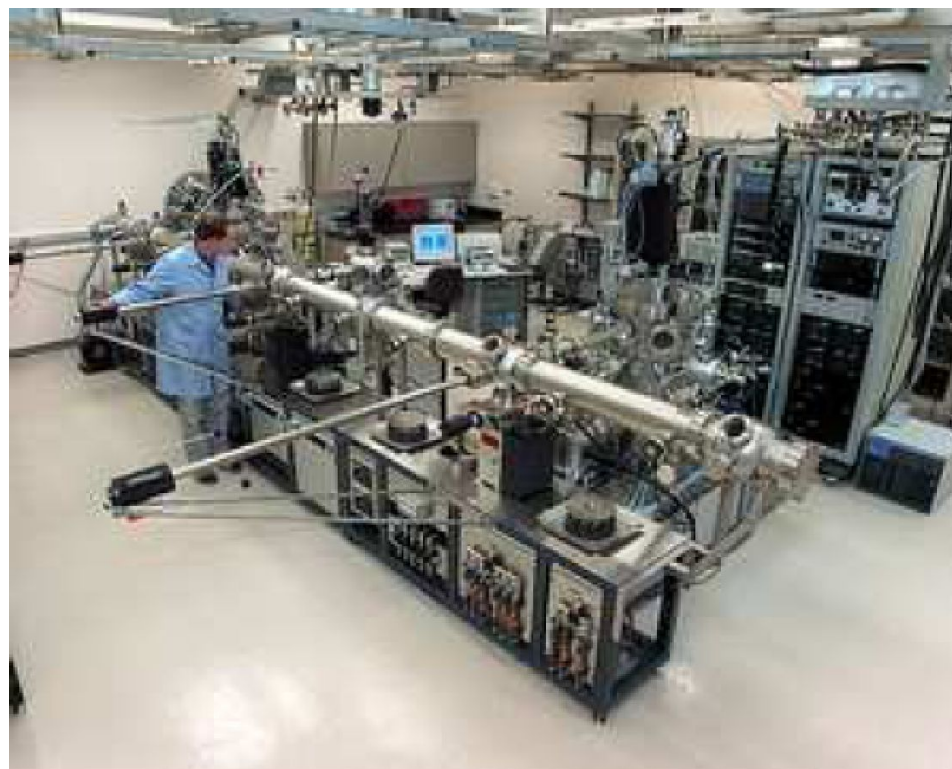
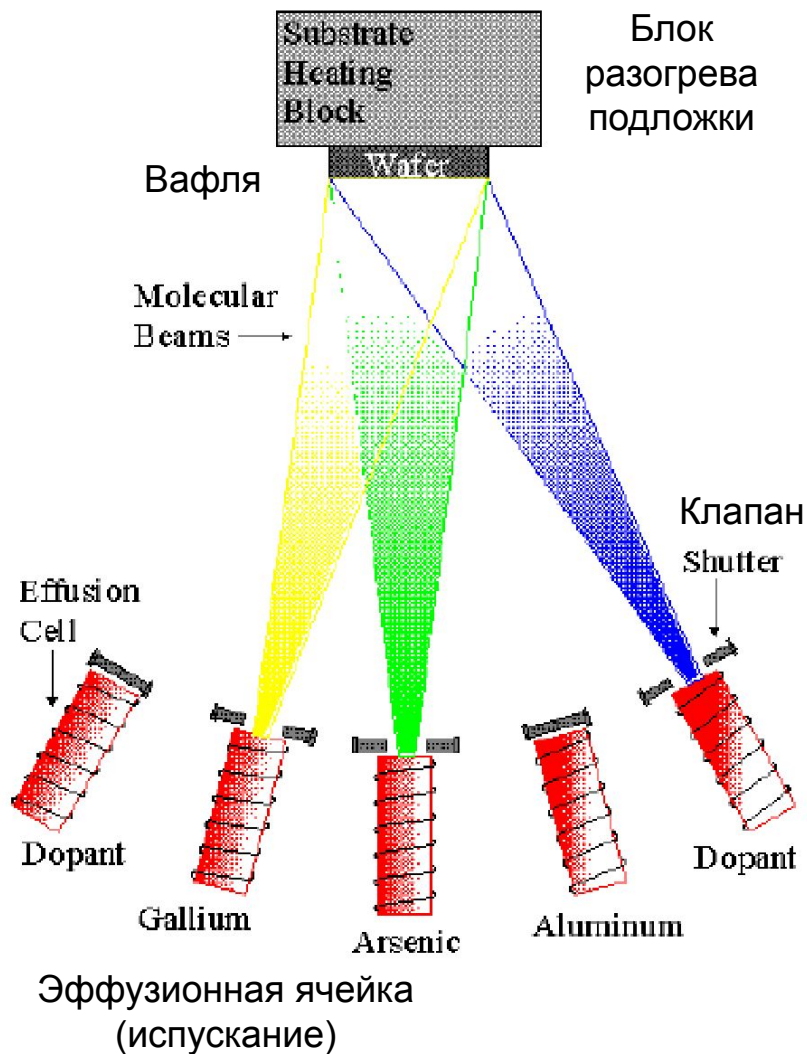
Период решетки Ge на 4% больше, чем у Si.
При связывании Ge к Si решетка Ge сжимается на 4%



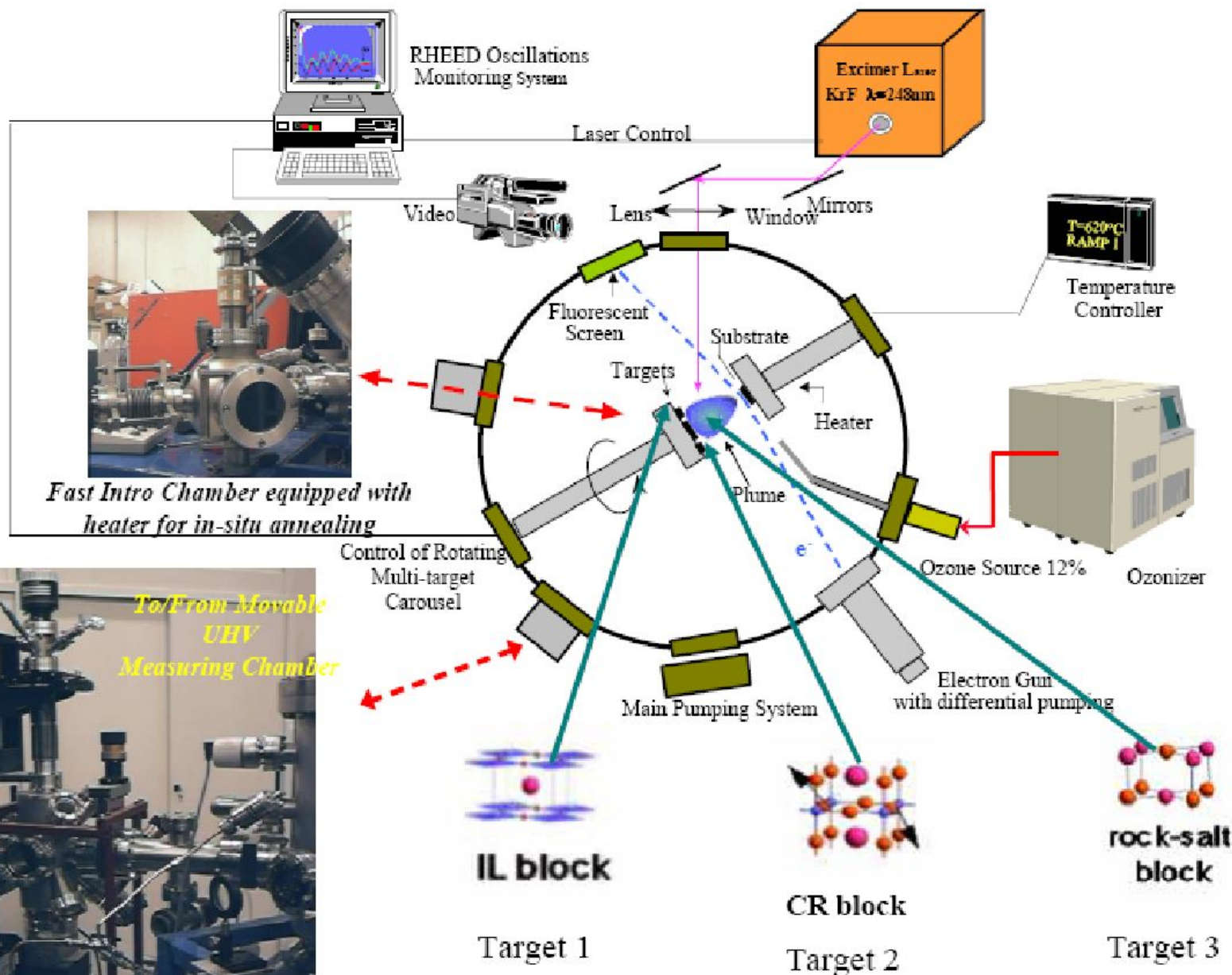
$$E_{strain} = \lambda \left(\frac{\Delta a}{a} \right)^2 At$$

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

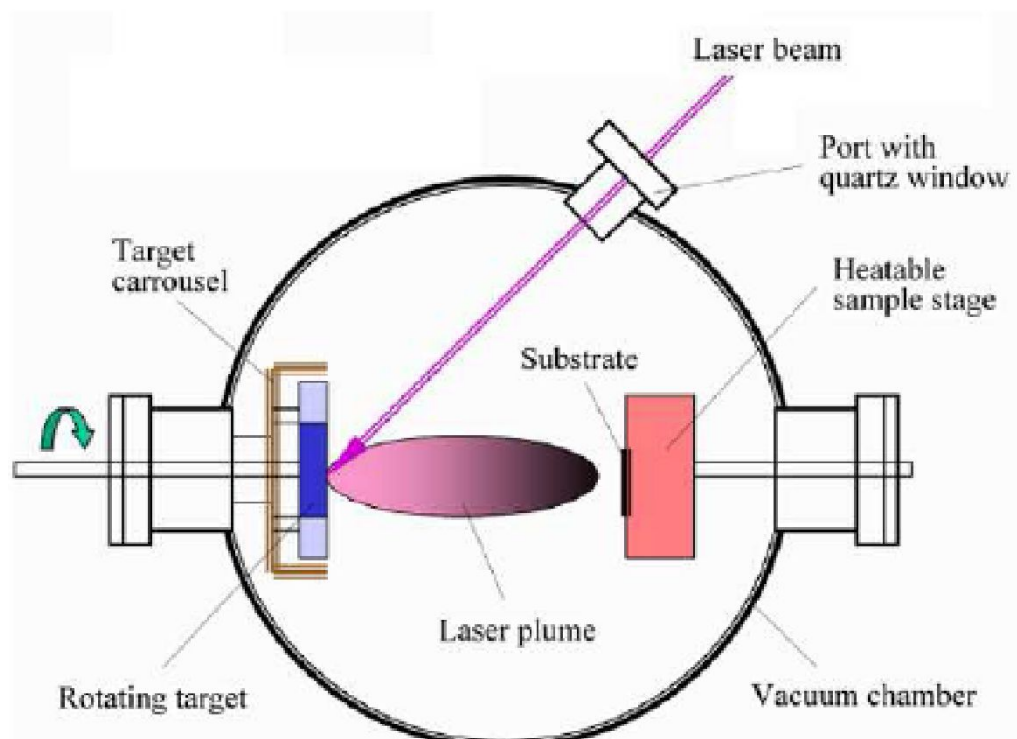
Эпитаксия в молекулярных пучках Molecular Beam Epitaxy (MBE)



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 ($\lambda=193$ nm), KrF ($\lambda=248$ nm)
- Nd:YAG лазер