

# Метод молекулярно-пучковой эпитаксии

Виноградов И.Д. Понур К.А. Шиков А.П.

Радиофизический факультет ННГУ, 430 группа

Научный руководитель: Лобанов Д.Н.

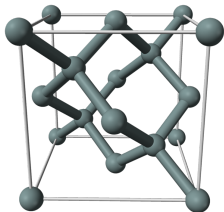
Нижний Новгород, 2018

# Определение эпитаксии

**Эпитаксия** - это закономерное нарастание одного кристаллического материала на другой, т.е. ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого.

## **Авто(гомо)эпитаксия**

Материалы осаждаемого слоя и подложки идентичны



Решетка германия и кремния

## **Гетероэпитаксия**

Материалы осаждаемого слоя и подложки различны

# Область применения

Эпитаксия является одним из базовых процессов технологии изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем.

## Преимущества эпитаксиальной технологии

- 1 Широкая область изменения уровня и профиля легирования
- 2 Возможность изменения типа проводимости выращиваемых эпитаксиальных слоев
- 3 Возможность проведения роста при температурах меньших, чем температура роста монокристалла
- 4 Возможность нанесения слоя как на большие площади, так и локально
- 5 Рост соединений со сложным, контролируемым составом

# Методы эпитаксиального роста

**Жидкофазная:** Монокристаллические слои получают из контактирующей с подложкой перенасыщенных жидких растворов.

**Недостатки:** Сложности контроля параметров получаемых пленок, низкое качество.

**Газофазная:** Вещество, необходимое для роста поступает к подложке в составе химического соединения, с выделением при разложении вещества, необходимого для роста эпитаксиальной пленки.

**Достоинства:** Высокая скорость роста, высокая производительность.

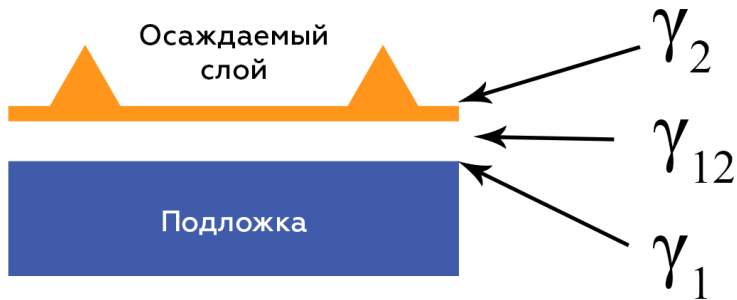
**Недостатки:** Токсичность, зависимость скорости роста от температуры подложки.

**Молекулярно-лучевая:** Хим. элементы, необходимые для роста поступают на подложку в виде молекулярных пучков этих элементов.

**Достоинства:** Возможность роста при пониженных температурах, лучший по сравнению с ГФЭ контроль над составом и толщиной слоев.

**Недостатки:** Низкая производительность, дороговизна (необходим сверхвакуум).

# Механизмы гетероэпитаксиального роста

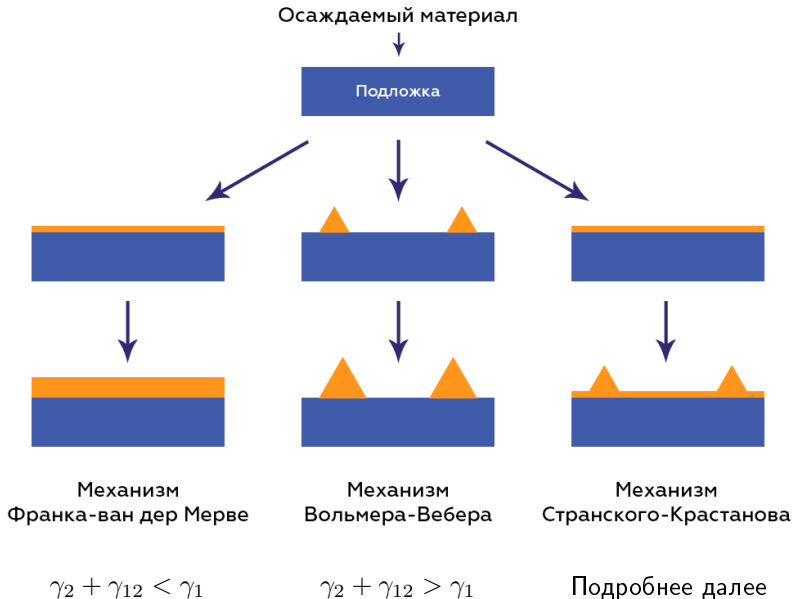


$\gamma_1$  - Энергия поверхности подложки

$\gamma_{12}$  - Энергия границы раздела

$\gamma_2$  - Энергия поверхности осаждаемого материала

# Механизмы гетероэпитаксиального роста



# Механизм Странского-Крастанова

Осаждаемый материал



Механизм  
Странского-Крастанова

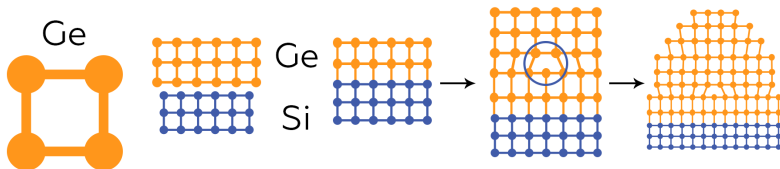
Такой механизм имеет место, когда межатомное расстояние в решетке осаждаемого материала и в решетке подложки имеют рассогласования. На начальных этапах выполняется

$$\gamma_2 + \gamma_{12} < \gamma_1$$

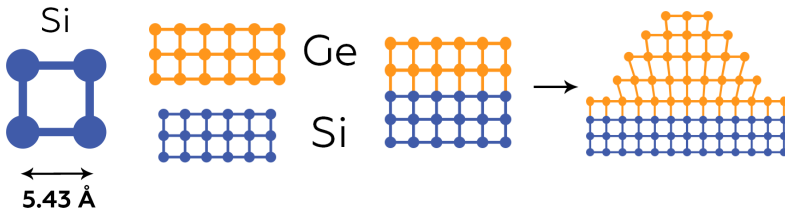
и образуется «смачивающий» слой, приводящий к уменьшению суммарной энергии системы. С определенной толщины энергия упругих напряжений увеличивается, увеличивая общую энергию системы, из-за чего происходит релаксация упругой энергии.

# Механизмы релаксации упругих напряжений

«Классический» рост по механизму  
Странского-Крастанова



«Когерентный» рост по механизму  
Странского-Крастанова

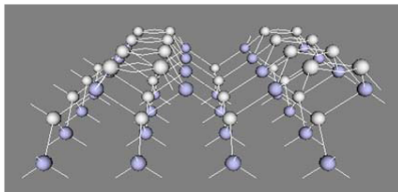
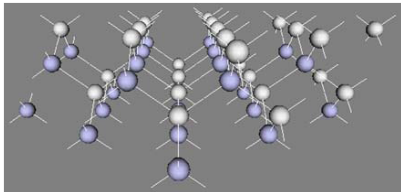


$$\Delta E_{\text{сист}} = \Delta E_{\text{упр}} + \Delta E_{\text{пов}} < 0$$

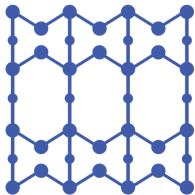


# Реконструкция поверхности Si(001)

Уменьшение энергии системы за счет реконструкции на границе.



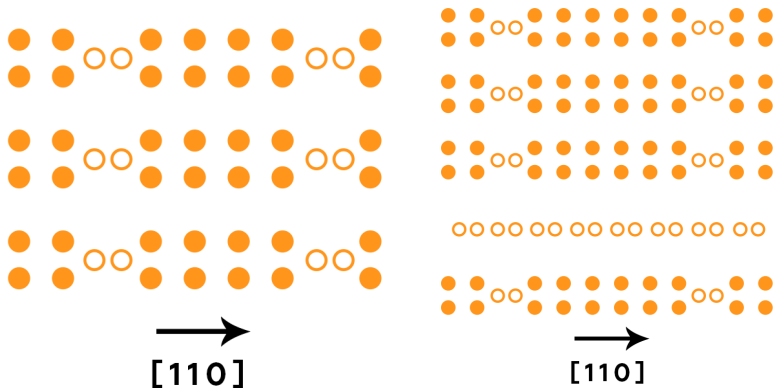
Димер - два близко расположенных атома Si



→  
[110]

Образование димеров уменьшает энергию свободных связей поверхностных атомов. Димеры выстраиваются в цепочки, направление которых в каждом последующем слое меняется на  $90^\circ$

# Реконструкция поверхности Ge на Si(001)



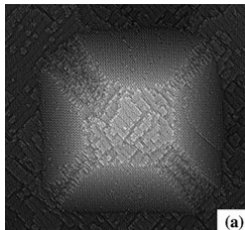
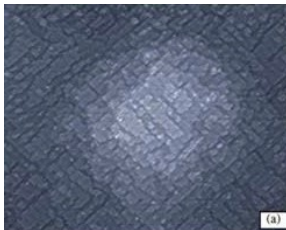
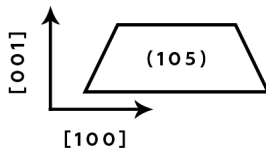
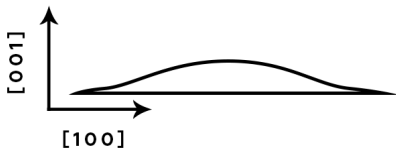
При росте Ge на Si, в результате рассогласования параметров решетки, пленка Ge испытывает упругие напряжения сжатия. Эти напряжения приводят к образованию дивакансий в цепочках димеров.

# Релаксация за счет образования 3D - структур

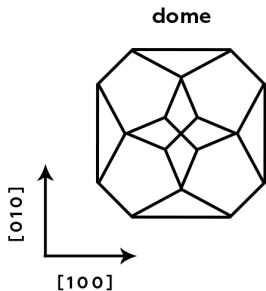
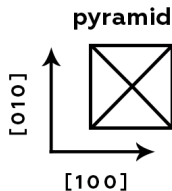
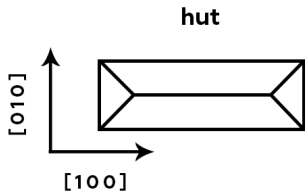
Образования Ge островков происходит возле углублений, образованных пересечениями отсутствующих димеров.

Толщина пленки при которой начинается формирование островков  $d_{кр}$  для Ge, осаждаемого на Si(001), лежит в диапазоне 3-5 монослоев

## prepyramids



# Типы образуемых островков



$L$  — латеральный размер  
 $h$  — высота

**Hut** - островки:

$t_{\text{форм.}} \leq 580^\circ\text{C}$ ,  $L : 15 - 20$  нм,  $h \leq 2$  нм

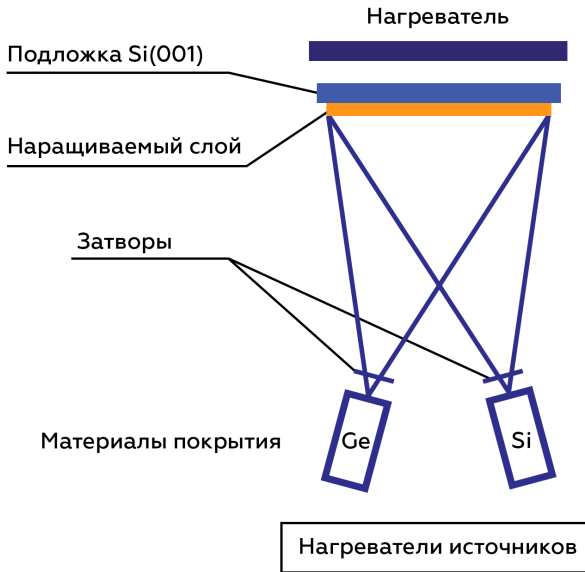
**Pyramid** - островки:

$t_{\text{форм.}}$  любая

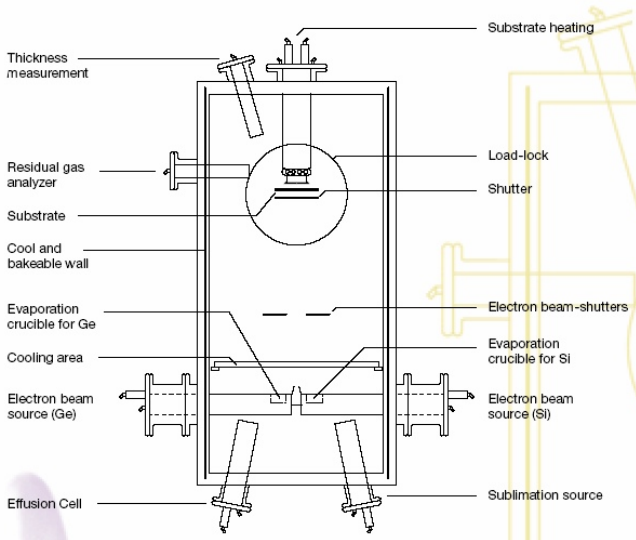
**Dome** - островки:

$t_{\text{форм.}} \geq 580^\circ\text{C}$ ,  $L \geq 60$  нм,  $h \geq 10$  нм

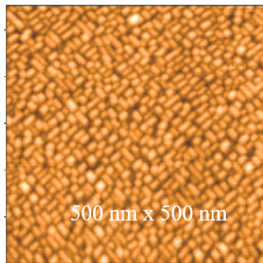
# Молекулярно-пучковая эпитаксия



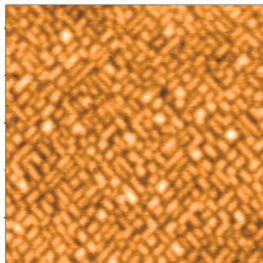
## Molecular Beam Epitaxy System



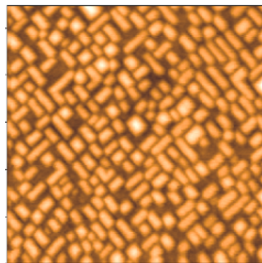
# Плотность поверхностного покрытия



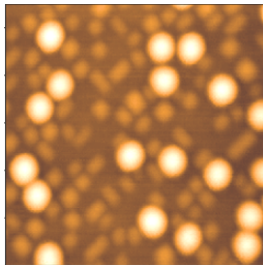
460°C



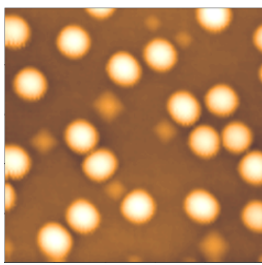
500°C



550°C



580°C



600°C