

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

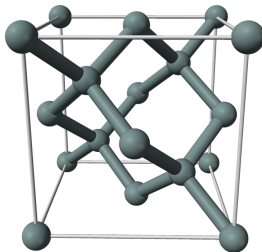
Эпитаксия - это закономерное нарастание одного кристаллического материала на другой, т.е. ориентированный рост одного кристалла на поверхности другого.

Авто(гомо)эпитаксия

Материалы осаждаемого слоя и подложки идентичны

Гетероэпитаксия

Материалы осаждаемого слоя и подложки различны



Решетка германия и кремния

Область применения

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

Преимущества эпитаксиальной технологии

- 1 Возможность изменения типа проводимости выращиваемых эпитаксиальных слоев
- 2 Возможность проведения роста при температурах меньших, чем температура роста монокристалла
- 3 Возможность нанесения слоя как на большие площади, так и локально
- 4 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.

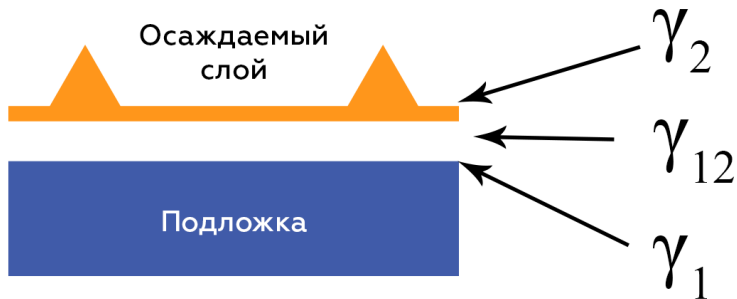
Недостатки: Токсичность, зависимость скорости роста от температуры подложки.

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

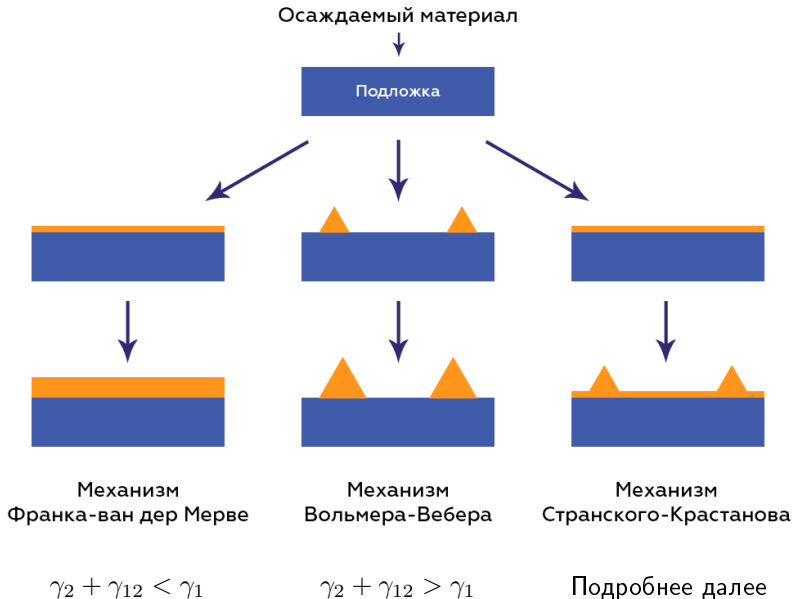


γ_1 - Энергия поверхности подложки

γ_{12} - Энергия границы раздела

γ_2 - Энергия поверхности осаждаемого материала

Механизмы гетероэпитаксиального роста



Механизм Странского-Крастанова

Осаждаемый материал



Механизм
Странского-Крастанова

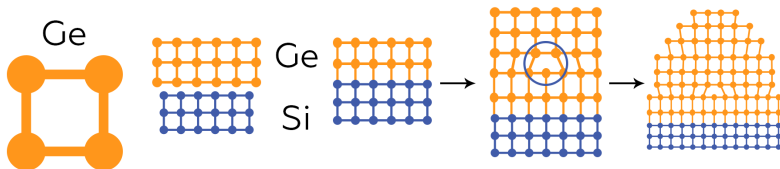
Такой механизм имеет место, когда межатомное расстояние в решетке осаждаемого материала и в решетке подложки имеют рассогласования. На начальных этапах выполняется

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

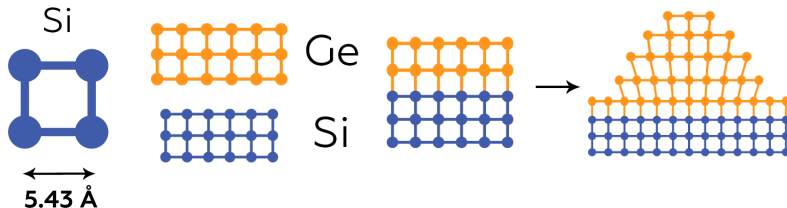
и образуется «смачивающий» слой, приводящий к уменьшению суммарной энергии системы. С определенной толщины энергия упругих напряжений увеличивается, увеличивая общую энергию системы, из-за чего происходит релаксация упругой энергии.

Механизмы релаксации упругих напряжений

«Классический» рост по механизму Странского-Крастанова



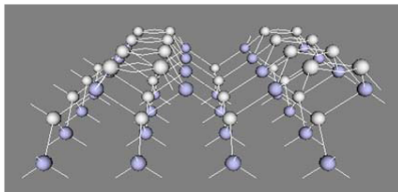
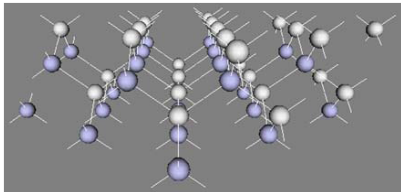
«Когерентный» рост по механизму Странского-Крастанова



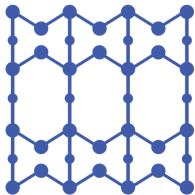
$$\Delta E_{\text{сист}} = \Delta E_{\text{упр}} + \Delta E_{\text{пов}} < 0$$

Реконструкция поверхности Si(001)

Уменьшение энергии системы за счет реконструкции на границе.



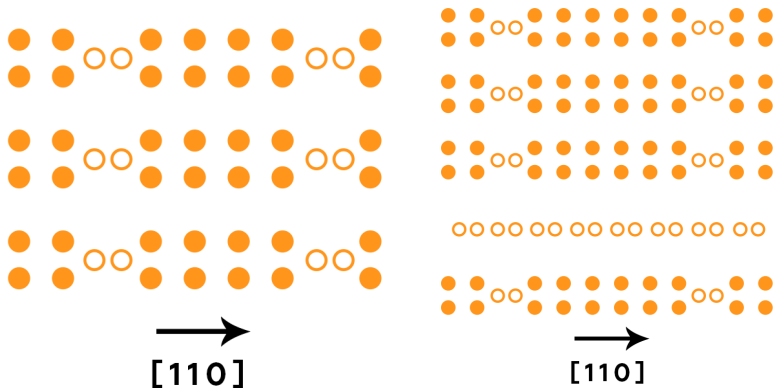
Димер - два близко расположенных атома Si



→
[110]

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

Реконструкция поверхности Ge на Si(001)



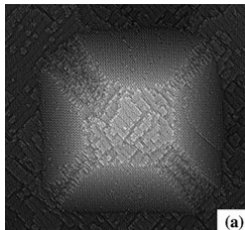
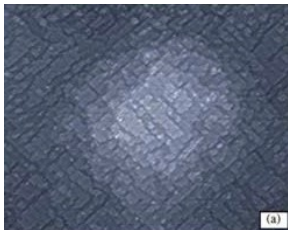
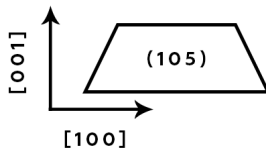
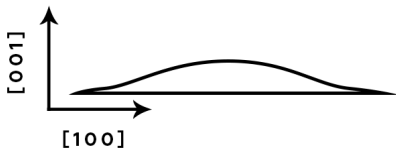
При росте Ge на Si, в результате рассогласования параметров решетки, пленка Ge испытывает упругие напряжения сжатия. Эти напряжения приводят к образованию дивакансий в цепочках димеров.

Релаксация за счет образования 3D - структур

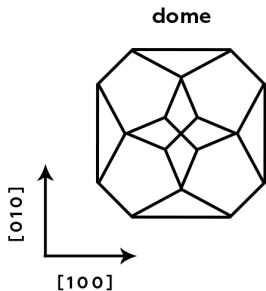
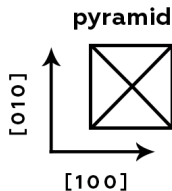
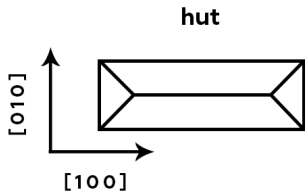
Образования Ge островков происходит возле углублений, образованных пересечениями отсутствующих димеров.

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

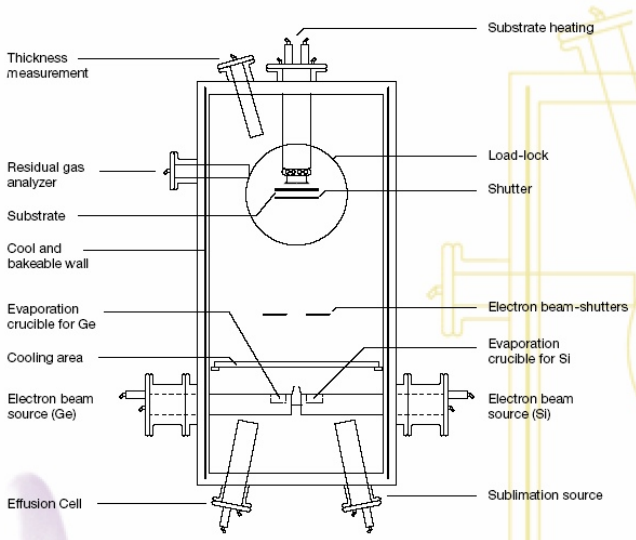
Pyramid - островки:

$t_{\text{форм.}}$ любая

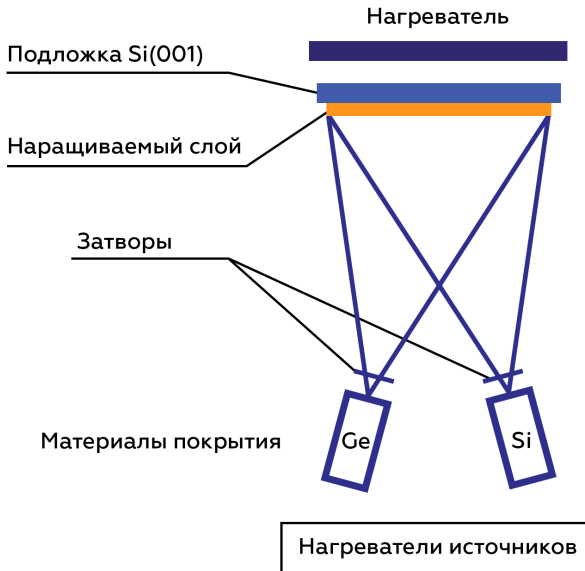
Dome - островки:

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

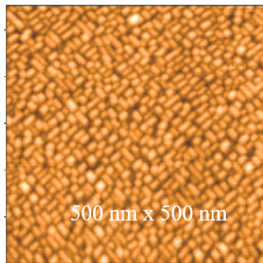
Molecular Beam Epitaxy System



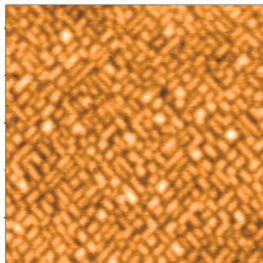
Молекулярно-пучковая эпитаксия



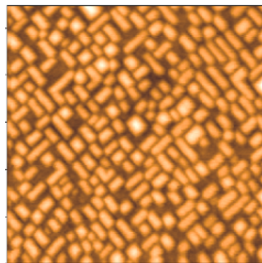
Плотность поверхностного покрытия



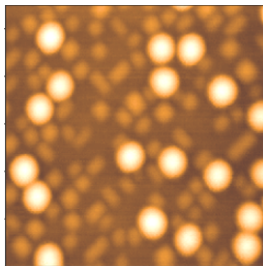
460°C



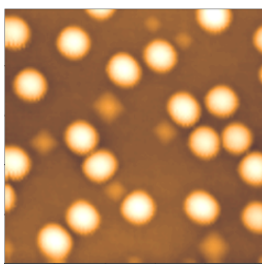
500°C



550°C



580°C



600°C