

## 5.2.Эпитаксия

Наибольший интерес



Эпитаксиальный рост

Эпитаксия



Ориентированное нарастание одного вещества на кристаллической поверхности другого

Требования к подложке



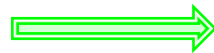
Гладкая и монокристаллическая

Метод



Молекулярно-лучевая эпитаксия (МЛЭ, МВЕ),

Важный фактор



Подбор материалов

Энергия взаимодействия атомов слоя, контактирующего с подложкой, должна быть близка к энергии взаимодействия между слоями адсорбата.

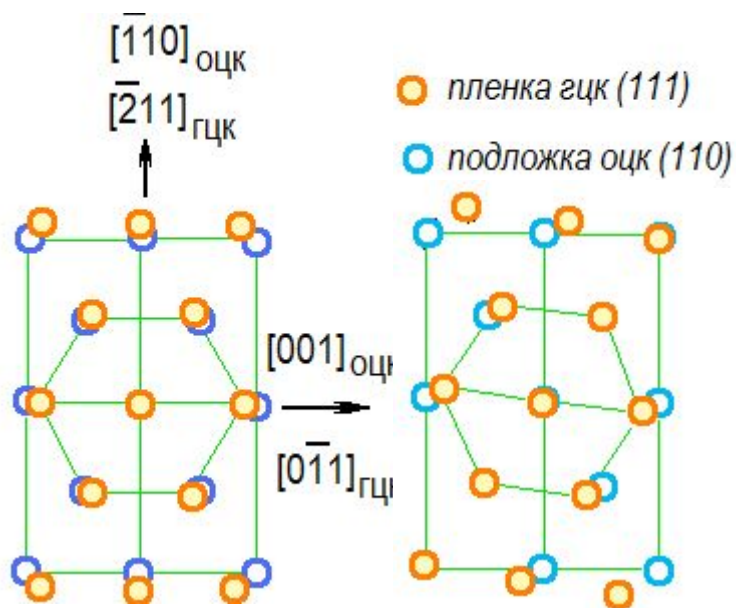
Существенно ориентационное соотношение

Можно исходить из геометрических соображений



Из согласования расположения атомов подложки и пленки

Пусть подложка - грань (011) о.ц.к. кристалла



Пусть подложка - грань (011) о.ц.к. кристалла

Наложим сетку атомов, соответствующую грани (111) г.ц.к. кристалла

Решетки можно согласовать




- Если направление  $[211]_{\text{гцк}}$  кристалла вдоль направления  $[110]_{\text{оцк}}$  и решетку гцк слегка сжать вдоль оси  $y$  и растянуть вдоль оси  $x$ .
- При  $a_f/a_s = 1.0887$  ( $a_f$  и  $a_s$  – постоянные решетки пленки и подложки) поворотом верхнего слоя на  $5.26^\circ$ .

$E \pm$  не зависит от  $a_f/a_s$  при всех углах рассогласования, кроме  $\vartheta=0^\circ$  и  $5,26^\circ$ .

Можно рассчитать энергию взаимодействия пленки с подложкой, воспользовавшись потенциалом 6-12 Леннарда-Джонса,

$E \pm$  не зависит от  $a_f/a_s$  при всех углах рассогласования, кроме  $\vartheta=0^\circ$  и  $5,26^\circ$ .

$\vartheta=0^\circ$   Ориентационное соотношение Нишиямы-Вассермана

$\vartheta=5,26^\circ$   Ориентационное соотношение Курдюмова-Сакса

Не всегда  $a_f/a_s$  соответствует оптимальным значениям



Имеется рассогласование

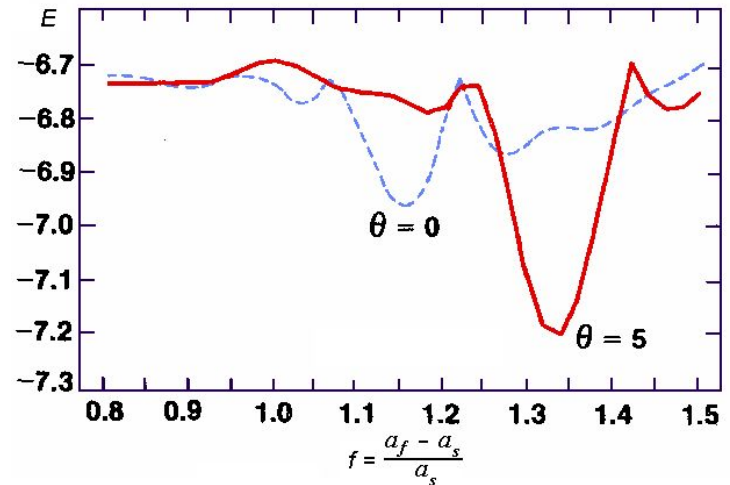
Параметр  $f = (a_f - a_s)/a_s$

При  $f \neq 0$  также возможен эпитаксиальный рост



Деформация пленки, что позволяет согласовать контактирующие слои.

При большом  $f$  возможно появление дефектов – солитонов, дислокаций несоответствия



## Дислокации



Увеличение рассеяния электронов

Понижение подвижности носителей

Вид эпитаксиального роста  
может зависеть от условий

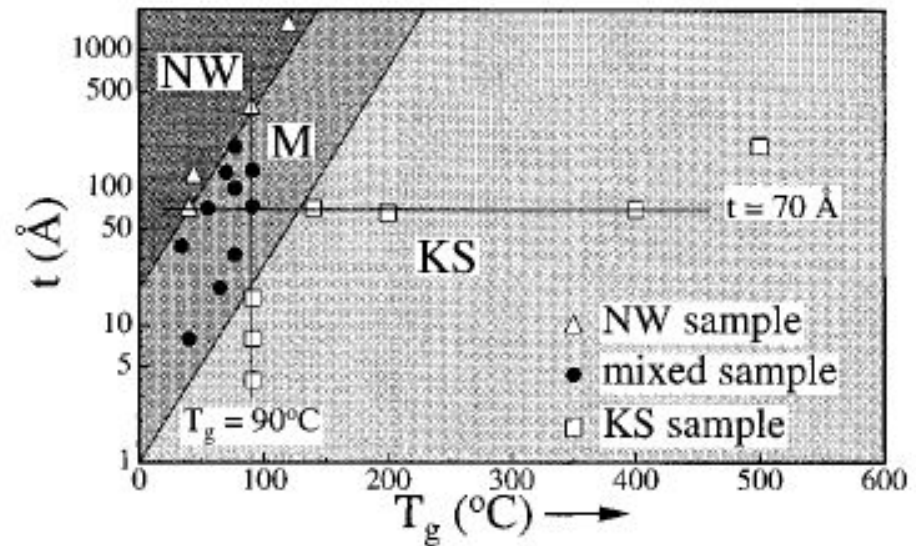


Fig. 2.  $T_g$ - $t$  diagram for Pd(111) on Cr(110) [20]. Depending on growth temperature  $T_g$  and film thickness  $t$ , the Pd film shows either the KS orientation, the NW orientation or a mixture (M) of both. For constant growth temperature we obtain a transition from KS to NW with increasing film thickness (here for example  $T_g = 90^\circ\text{C}$ ). For constant film thickness we observe the NW orientation for low temperatures and the KS orientation for higher temperatures (here for example  $t = 70$  Å).

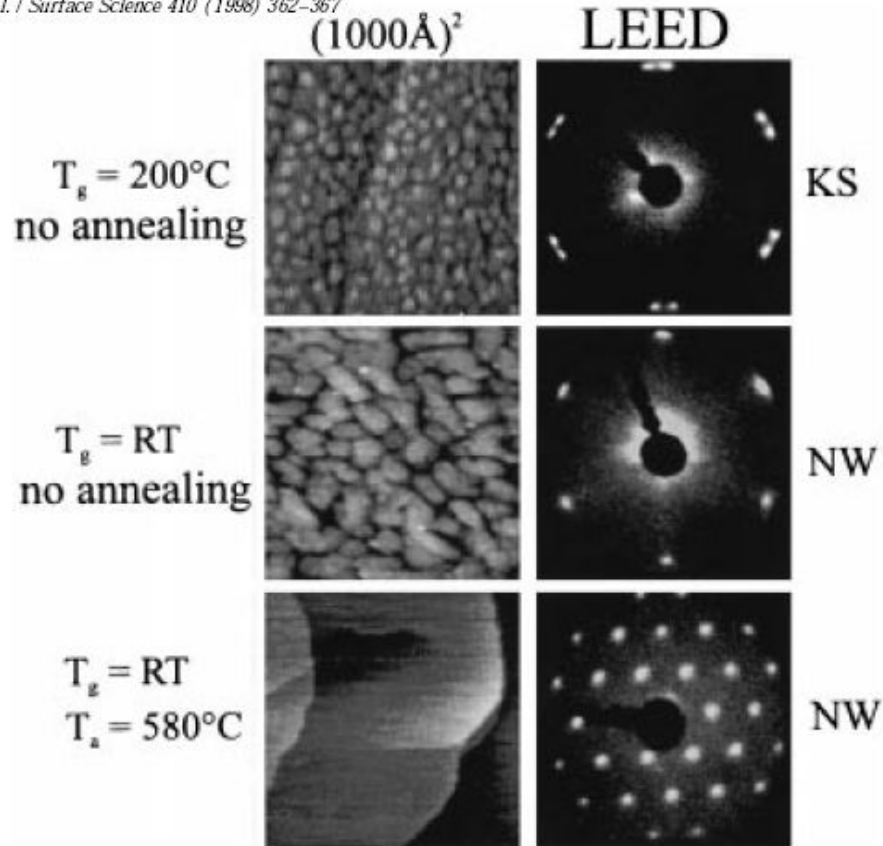
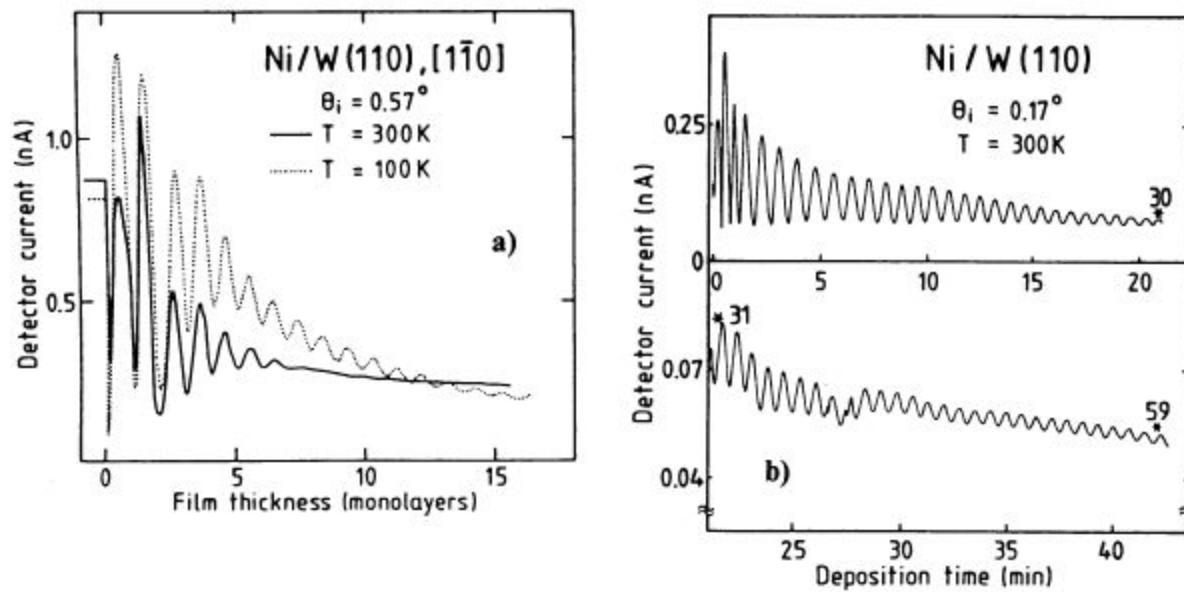


Fig. 5. STM pictures (left) and LEED patterns (right) for three differently prepared Pd films (thickness in all three cases about 70 Å). Top and middle panel show the result of Pd films grown at 200°C and RT, both without subsequent annealing, whereas bottom panel points out the difference to a Pd film grown at RT, but subsequently annealed at 580°C.

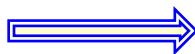


**Figure 11.** RHEED specular beam intensity oscillations during deposition of Ni on W(110) at a pressure of  $8 \times 10^{-11}$  mbar (a) and  $1 \times 10^{-8}$  mbar (b). Deposition rate  $1.2 \text{ monolayers min}^{-1}$  [15, 16].

В некоторых случаях осуществляется рост кристаллов со структурой, не являющейся равновесной в обычных условиях

В некоторых случаях осуществляется рост кристаллов со структурой, не являющейся равновесной в обычных условиях

Олово при комнатной температуре (белое олово)



Объемоцентрированная тетрагональная структура с  $a = 5.83 \text{ \AA}$

Серое олово



Структура алмаза с  $a = 6.49 \text{ \AA}$

Пленка олова на грани (100) *InSb* или *CdTe*



Постоянная решетки равна  $6.48 \text{ \AA}$   
Рассогласование практически отсутствует

Имеет полупроводниковые свойства, которые характерны для серого олова

При толщине  $\geq 0.5 \text{ мкм}$  олово трансформируется в объемную устойчивую фазу.

Если материал верхнего слоя принимает кристаллическую структуру и величину постоянной решетки, отличные от объемного случая, но когерентно подложке, это называют *поверхностным псевдоморфизме*.