

# Лекция 5

Дефекты и наноструктурные материалы.

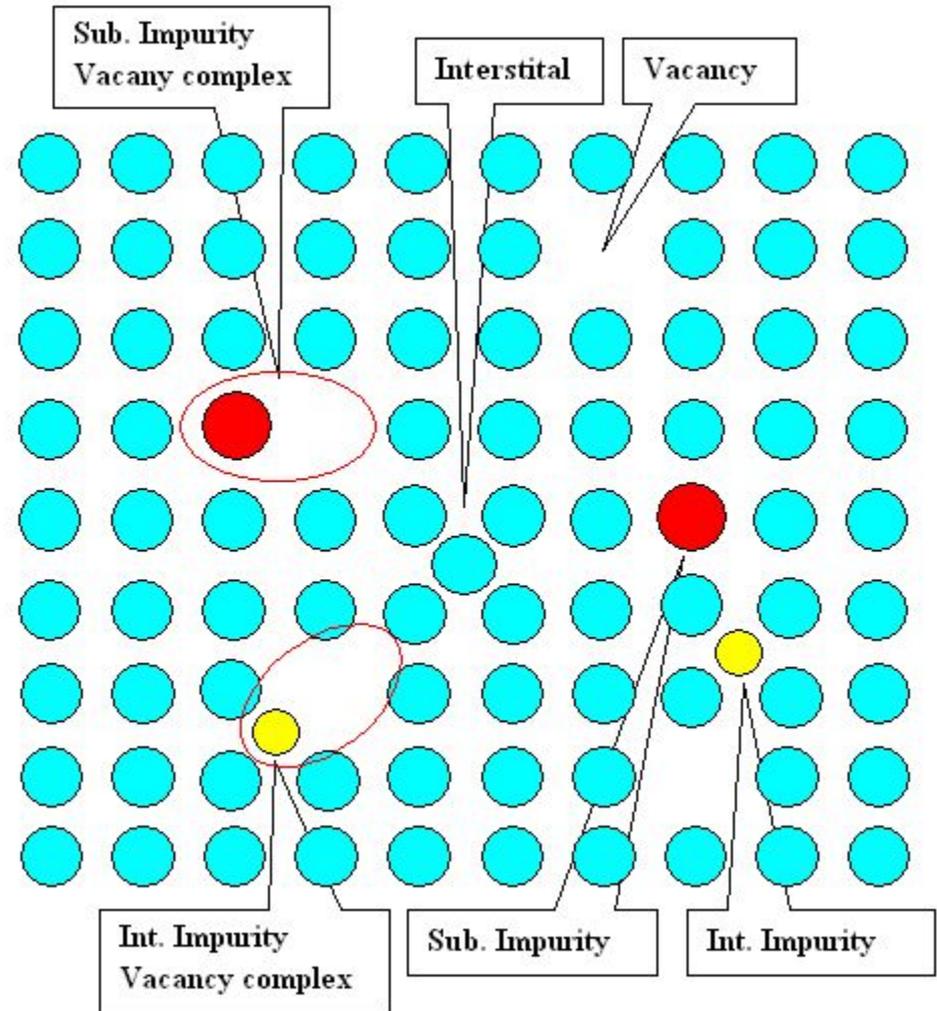
Алексей Янилкин

# План лекции

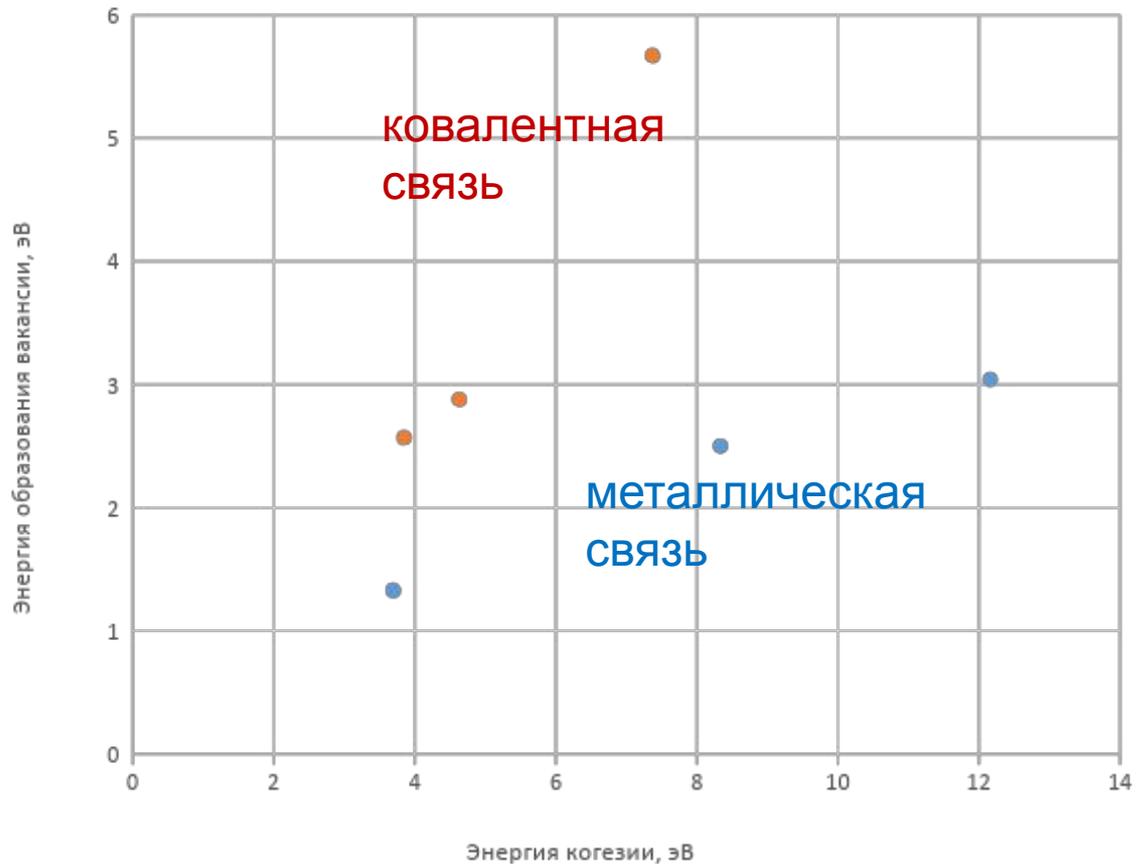
- Дефекты кристаллической решетки
- Влияние наноструктуры на свойства материалов:
  - Механические
  - Электрические
  - Теплопроводность
  - Диффузионные
  - Адсорбционные
  - Радиационная стойкость
- Вопросы
- Список литературы

# Точечные дефекты

- Дефект замещения
- Междоузлия
- Вакансии



# Энергия образования вакансий



# Концентрация точечных дефектов

- 

$$G = H - TS$$

$$H = H_{lattice} + x_{vac}\Delta H_v$$

$$S = S_{lattice} + x_{vac}\Delta S_v$$

$$\Delta S_v = \Delta S_{therm} + \Delta S_{conf}$$

$$\Delta S_{conf} = RT(x_{vac}\ln x_{vac} + (1 - x_{vac})\ln(1 - x_{vac}))$$

Для поиска равновесной концентрации находим минимум энергии Гиббса

$$\frac{\partial G}{\partial x_{vac}} = \Delta H_v + RT \ln \frac{x_{vac}}{1 - x_{vac}} = 0$$

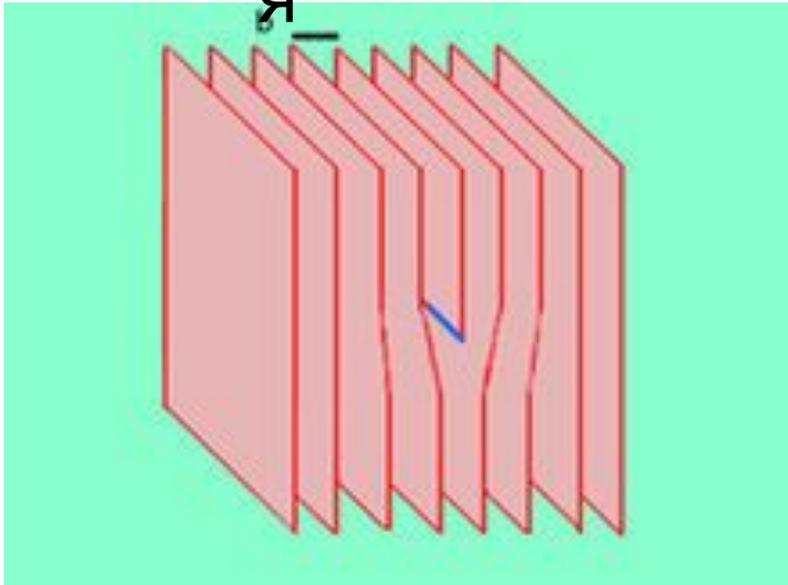
$(x_{vac} \ll 1) \Rightarrow$

$$x_{vac} = e^{-\frac{\Delta H_v}{RT}}$$

# Линейные дефекты: дислокации

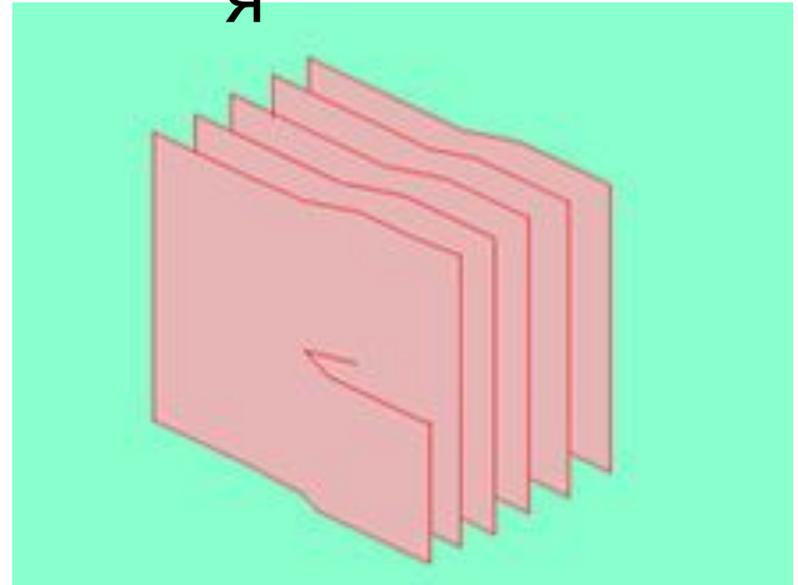
Краева

я

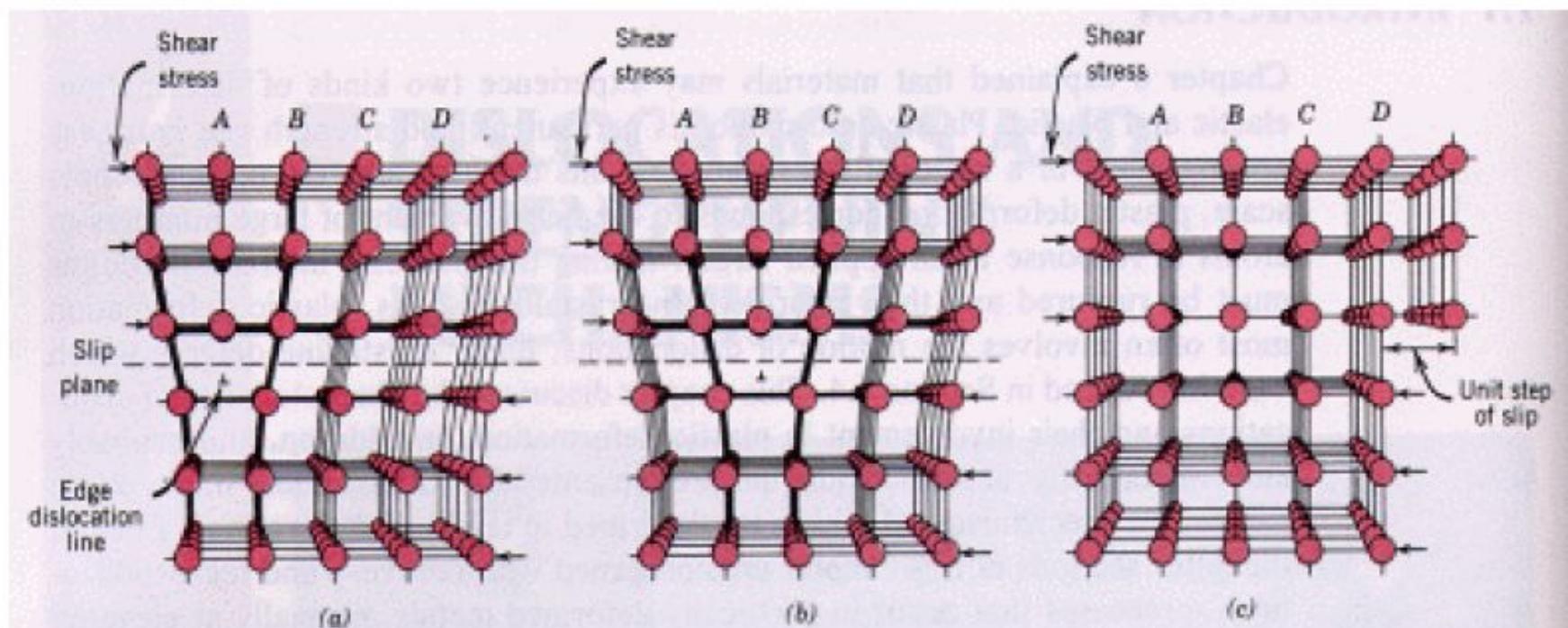


Винтовая

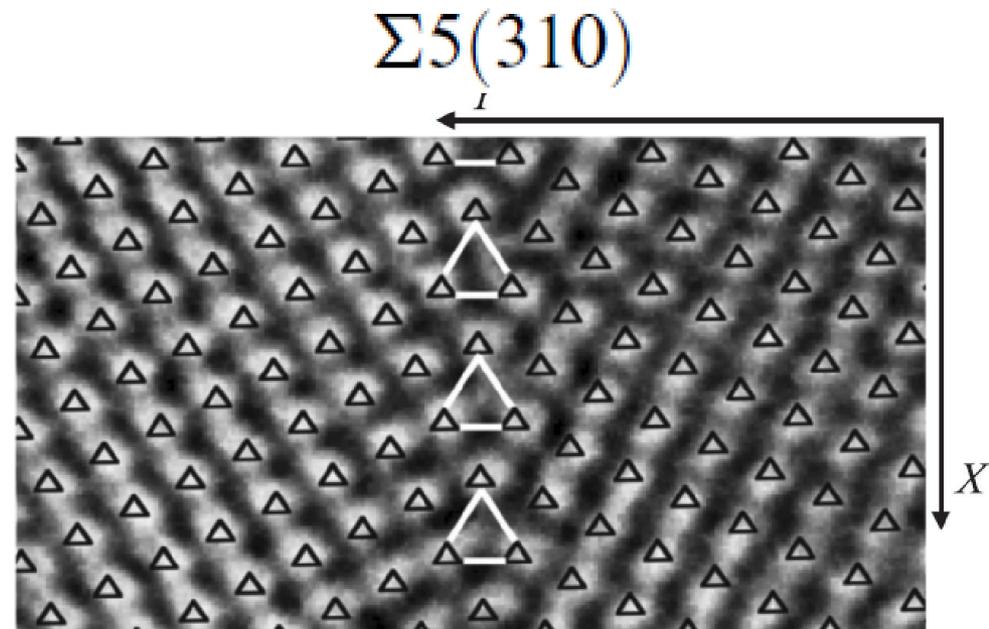
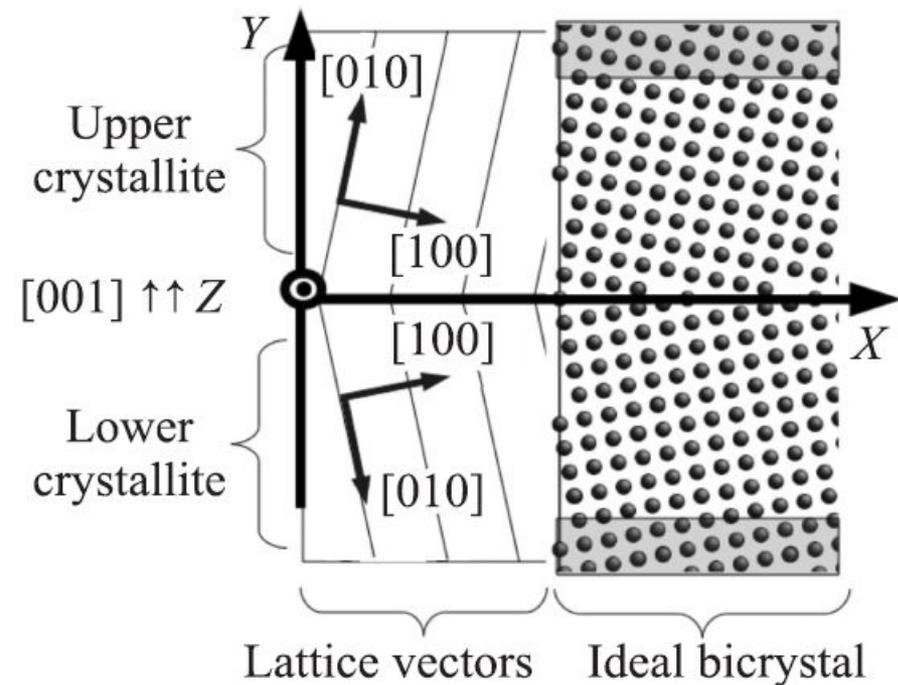
я



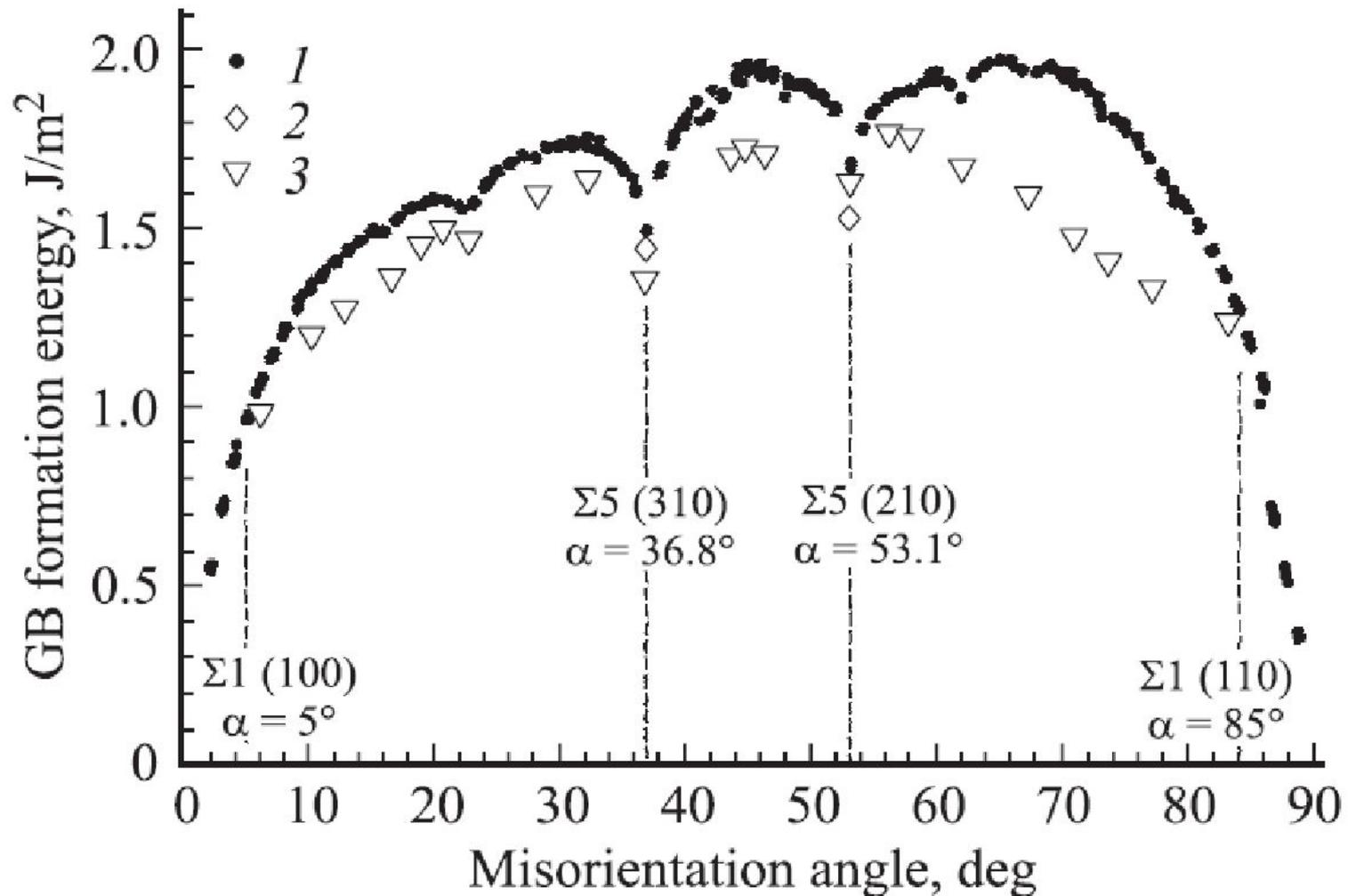
# Скольжение дислокации



# Плоские дефекты: межзеренные границы



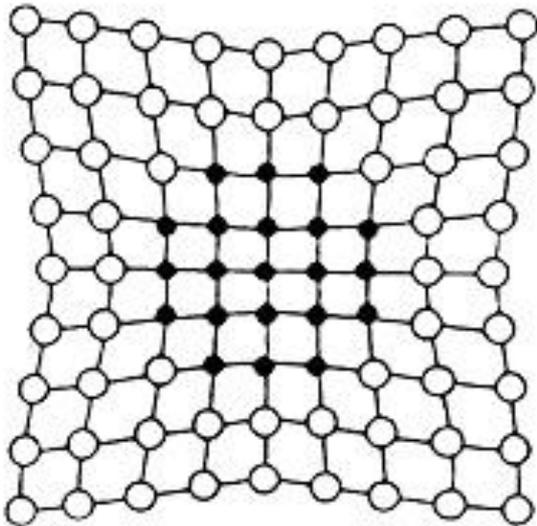
# Плоские дефекты: межзеренные границы



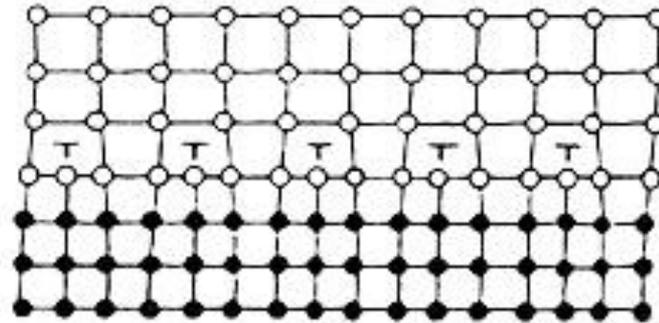
# Плоские дефекты

- Межфазные границы

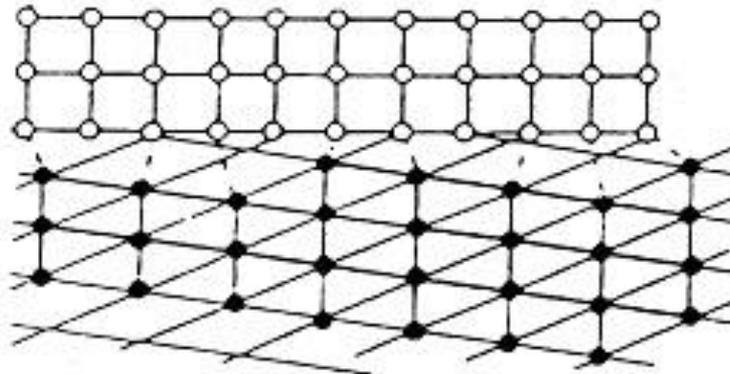
*a*



*б*



*в*

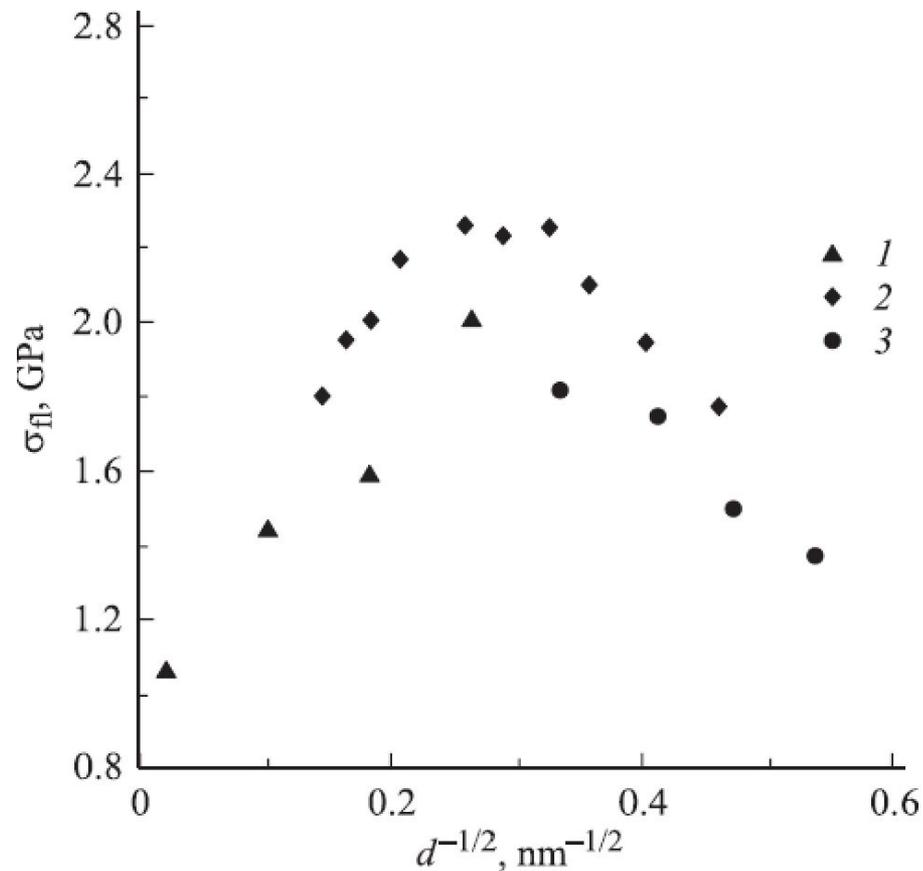


# Наноструктурные материалы



# Наноструктурные материалы: механические свойства

- Эффект Холла-Петча



# Наноструктурные материалы: механические свойства

- Дисперсионно-упрочненные сплавы.
- Формула Орована

# Наноструктурные материалы:

## электропроводность

- Электропроводность для свободного электронного газа:

$$\sigma = \frac{ne^2\tau}{m}$$

- $\tau$  – время релаксации, зависит от длины свободного пробега  $l$  и скорости электрона на поверхности Ферми. Для металлов  $\sim 10^8$  см/с.
- Для меди при комнатной температуре  $\tau = 2 \cdot 10^{-14}$  сек и  $l = 3 \cdot 10^{-6}$  см = 30 нм. При  $T=4$  К  $\tau = 2 \cdot 10^{-9}$  сек и  $l = 0.3$  см.

# Наноструктурные материалы:

## ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ

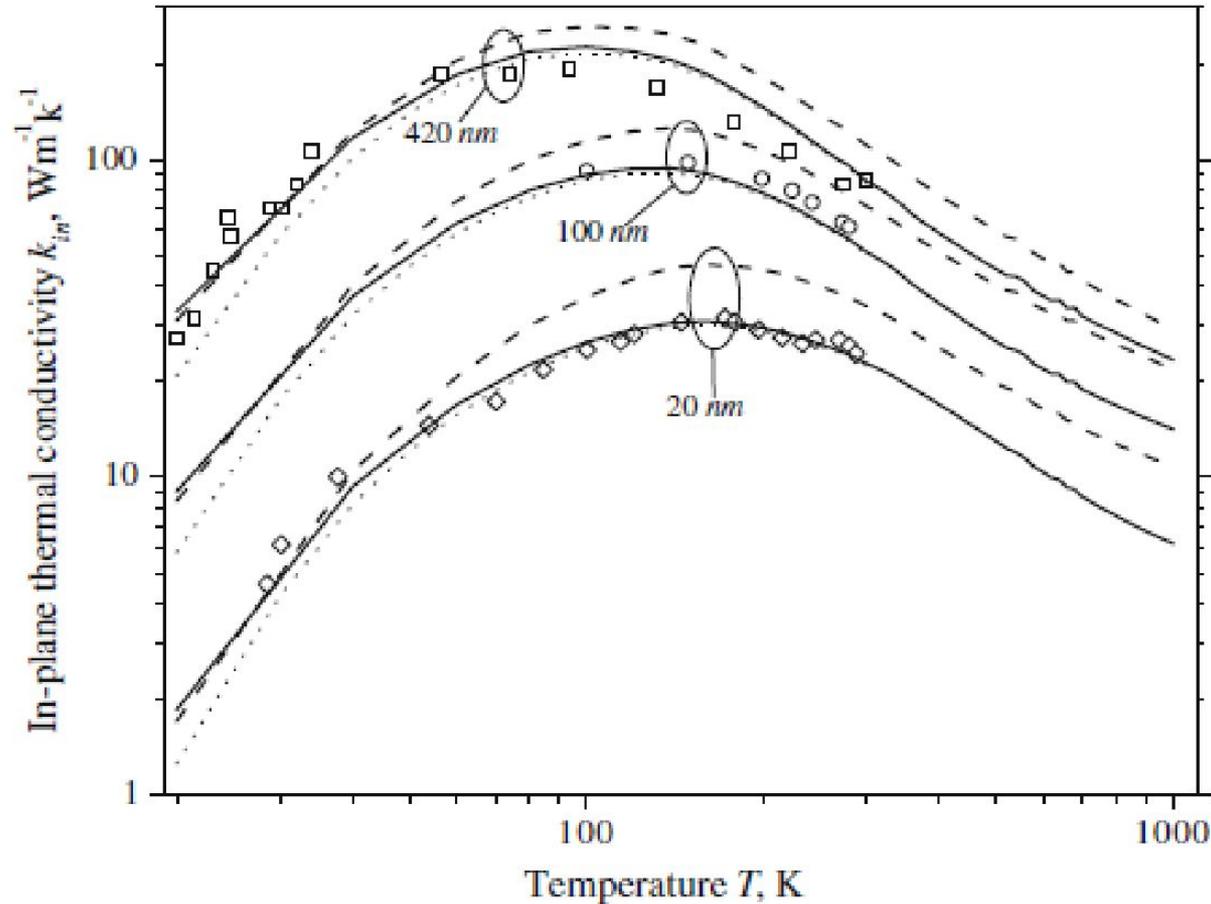
- Теплопроводность газа фононов. Из газокинетической теории:

$$K = \frac{1}{3} C v l$$

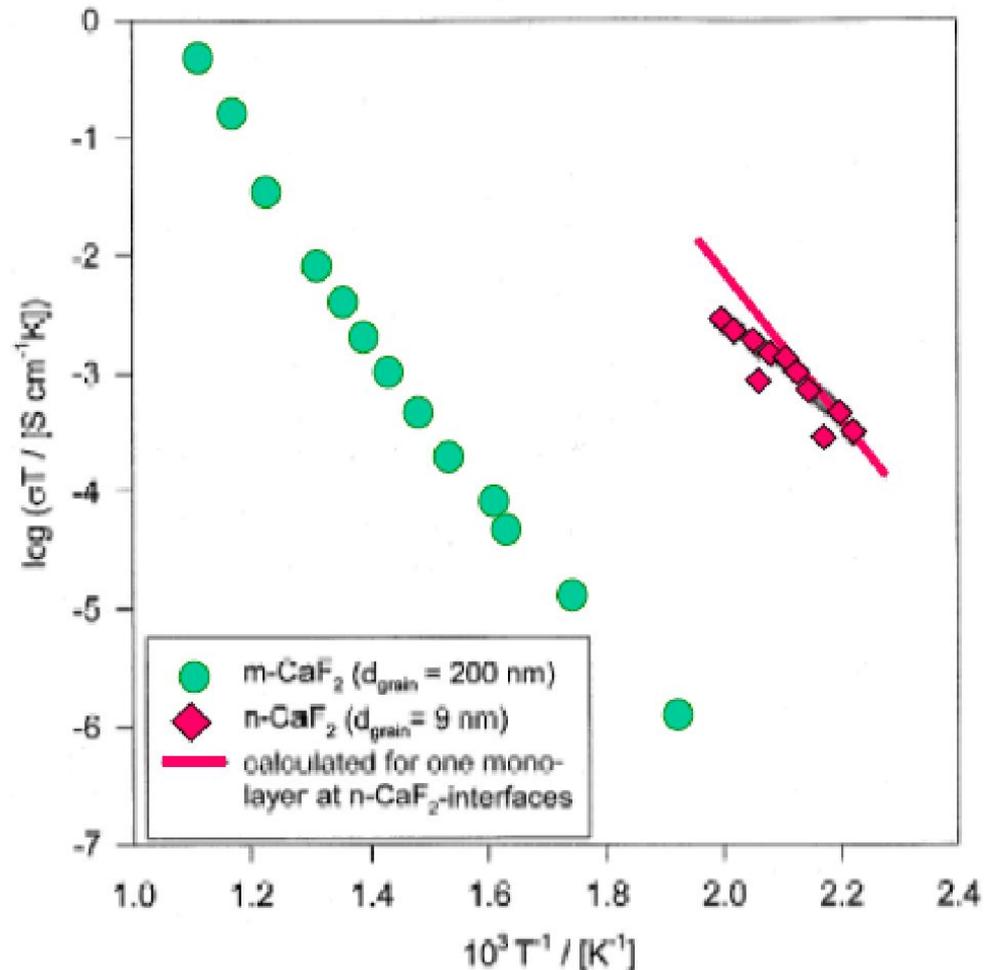
$C$  – теплоемкость единицы объема,  $v$  – средняя скорость частицы (скорость фононов),  $l$  – длина свободного пробега.

- Типичные значения в кварце при комнатной температуре 4 нм, каменная соль 2.3 нм.

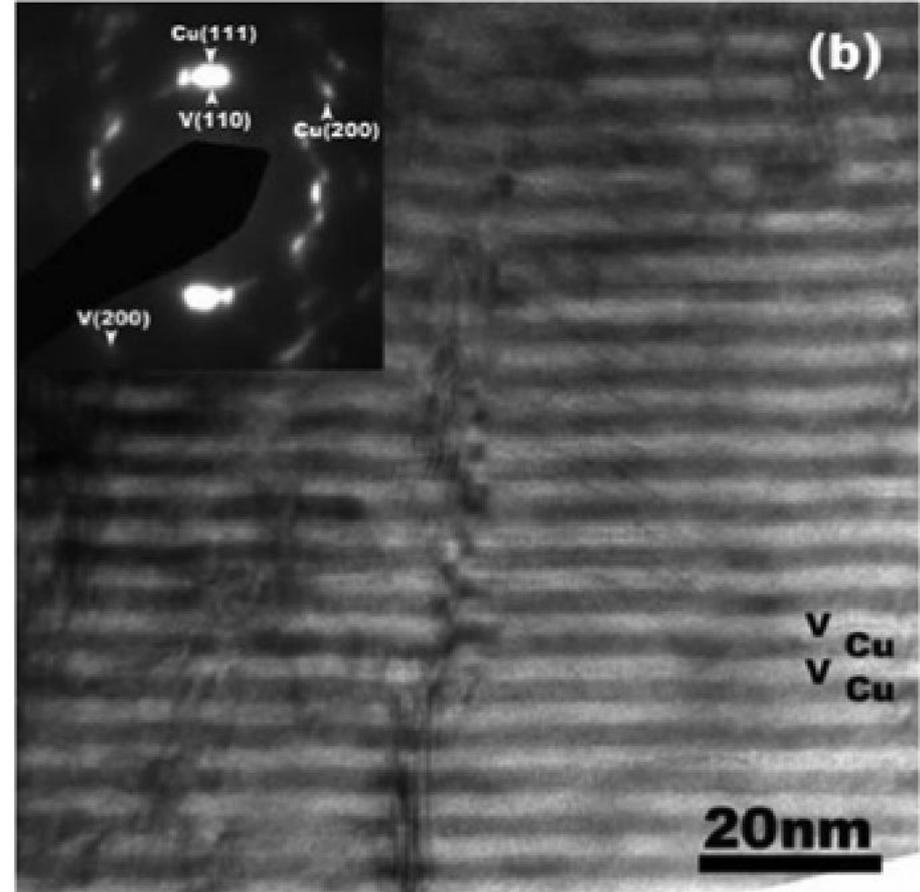
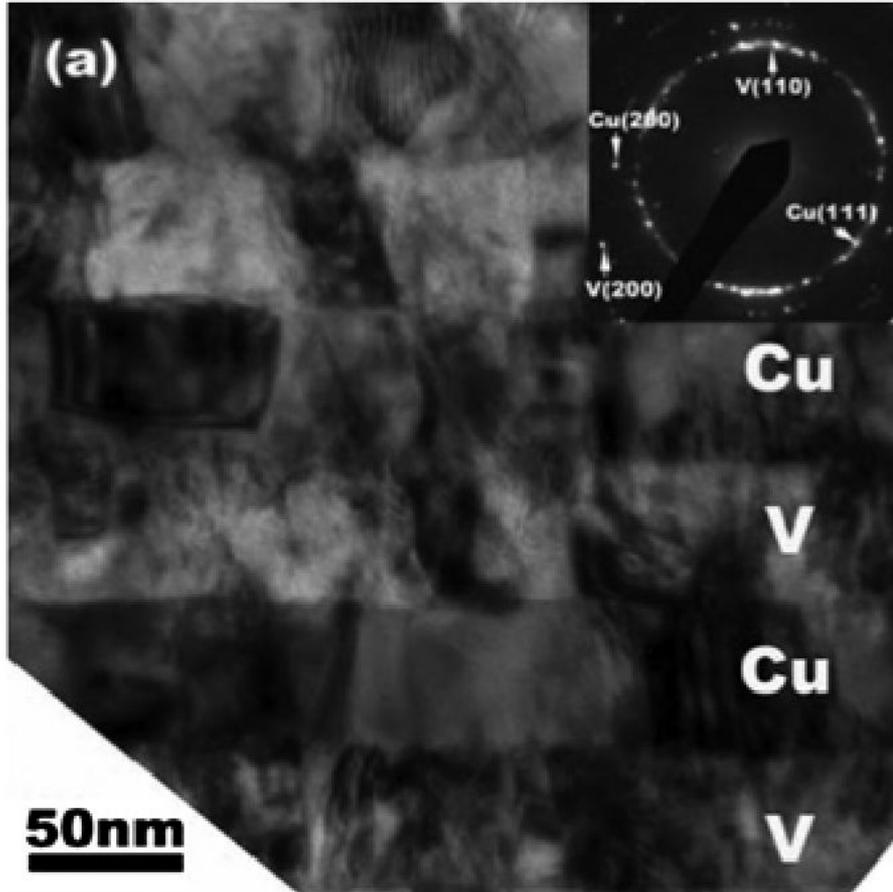
# Наноструктурные материалы: теплопроводность



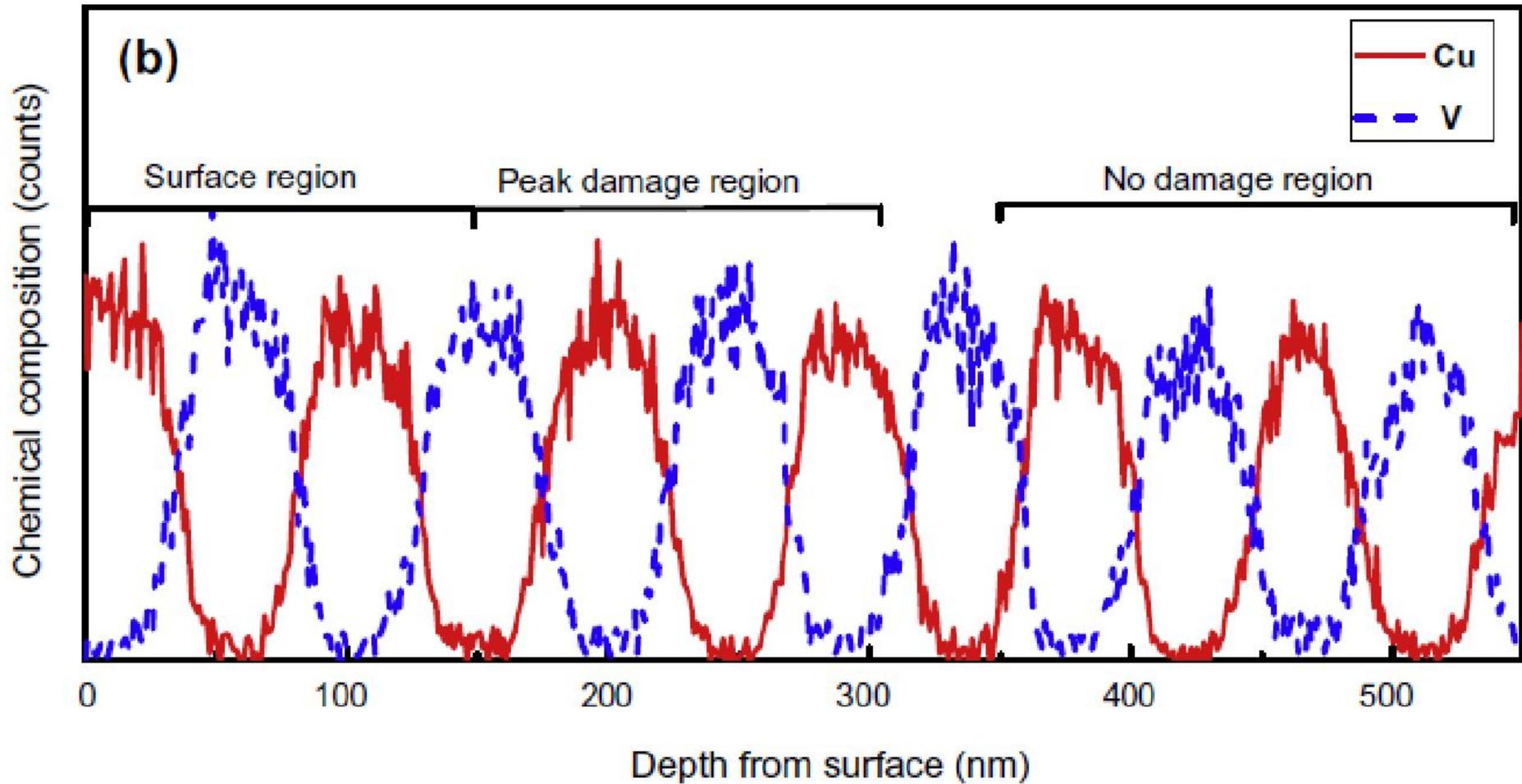
# Наноструктурные материалы: диффузионные свойства



# Наноструктурные материалы:

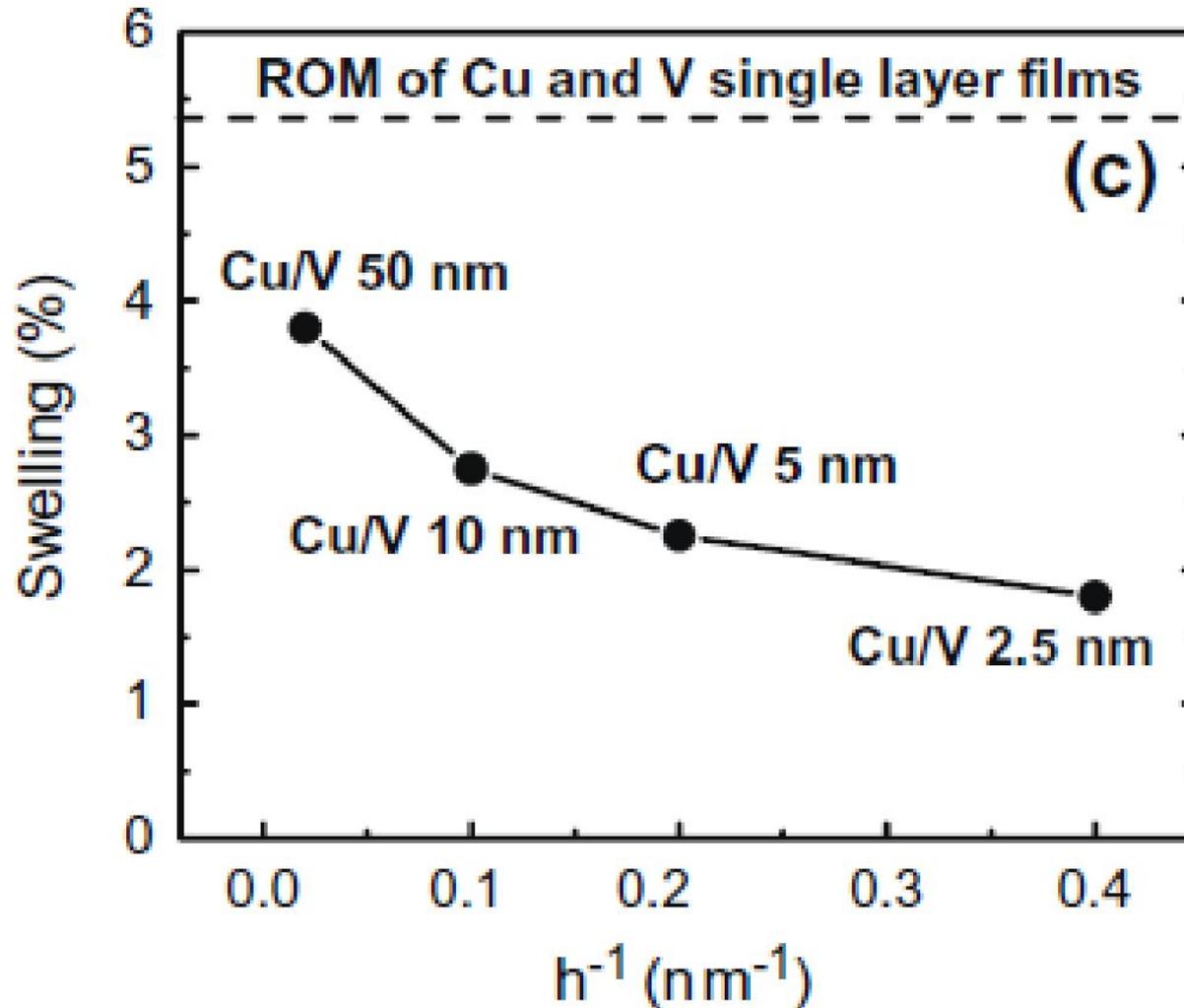


# Наноструктурные материалы: радиационная стойкость



# Наноструктурные материалы:

радиационная стойкость



# Вопросы к лекции

- Определить концентрацию вакансий в алюминии при температуре плавления
- Оценить температуру плавления меди, считая что концентрация вакансий достигает  $10^{-3}$
- Нарисовать краевую дислокации в ОЦК решетке с системой скольжения  $\frac{1}{2}\langle 100 \rangle (001)$