

## 第二章第五节

# 晶 界 迁 移

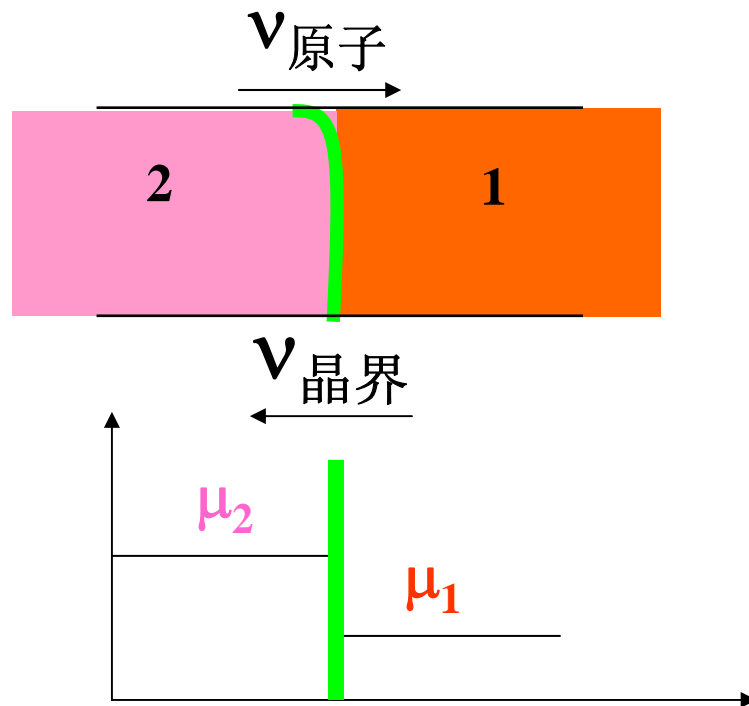
《材料科学基础》第七章第五节

晶界迁移 — 原子跨越界面运动的结果。

典型情况：晶粒长大过程；相变过程。

# 一、晶界迁移速度

$$v_{\text{晶界}} = -v_{\text{原子}}$$



热力学分析：晶粒2内界面区域原子所受热力学驱动力：

$$F = \frac{\mu_2 - \mu_1}{\Delta x}$$

如果 $\mu_2 > \mu_1$ ， $F > 0$ ，晶粒2内界面区域原子将向晶粒1内跳动，晶界将向晶粒2方向移动。

晶界迁移速度：

$$v_{gb} = BF = B \frac{\mu_2 - \mu_1}{\Delta x}$$

晶界迁移速度取决于晶界两侧的化学位差和跨越晶界的原子的迁移率。

## 二、晶界迁移的驱动力

### 1 变形储存能

对于冷变形的晶体， $\Delta u \approx \Delta E \approx E_s$ ，即晶界迁移的驱动力为冷变形晶体内部的储存能。

### 2 界面曲率 （非变形状态）

弯曲的曲面存在界面张力，产生向心的法向力，使界面趋于平直化。为达力学平衡，凹侧单位面积上的压力为 $dP$ ，对圆柱面，

$$dP \cdot l (rd\theta) = 2 \gamma l \sin(d\theta/2),$$

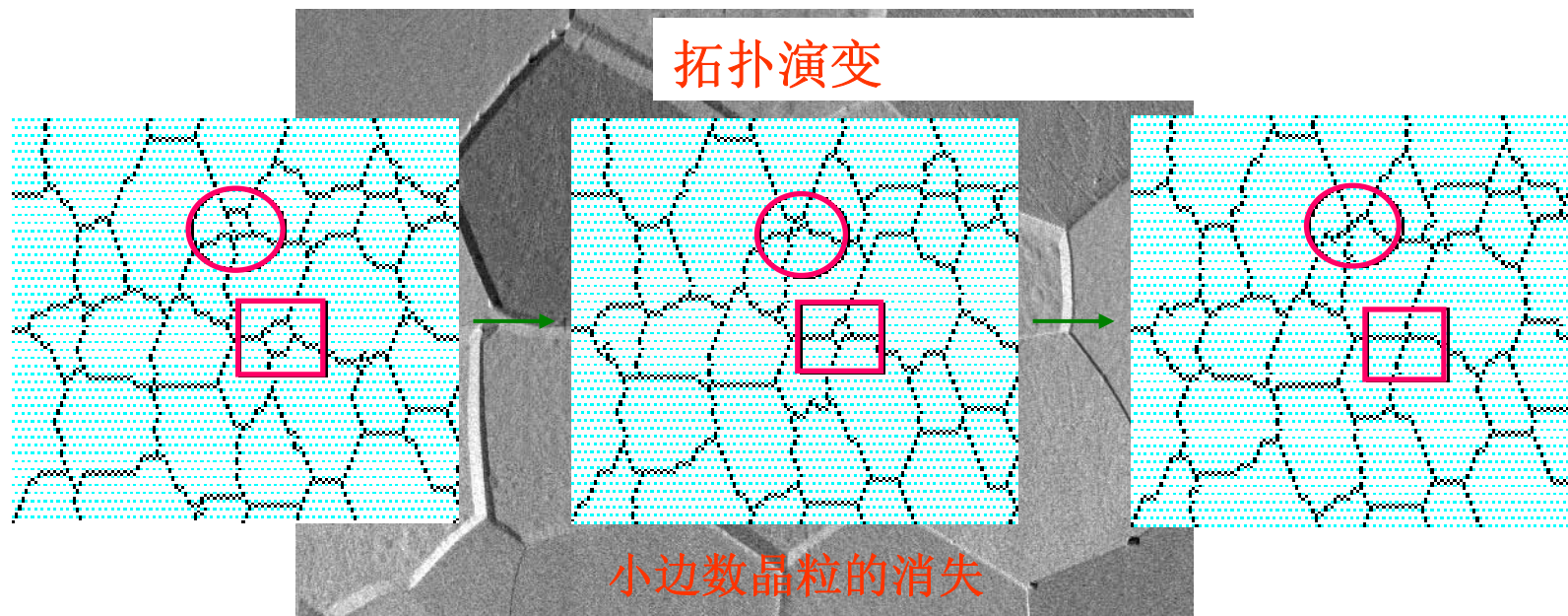
$$dP = \gamma/r$$

对任意曲面,  $dP = \gamma (1/r_1 + 1/r_2)$

$dP > 0$ , 即, 界面平直化趋势

晶界曲率作为驱动力的条件下, 晶界面总是向曲率中心的方向移动

# 二维空间单相材料的晶粒长大



单相二维材料：纯金属铂

## 三、晶界迁移的影响因素

### 1 杂质或溶质原子

发生晶界吸附或偏聚时，降低迁移率，形成对晶界迁移的拖曳作用。

### 2 温度

晶界扩散系数随温度升高成指数关系增加，故晶界迁移率明显增大。

### 3 晶粒位向差

晶界的晶粒取向差小，迁移率低。大角度晶界具有较大的迁移率（原子扩散系数大）

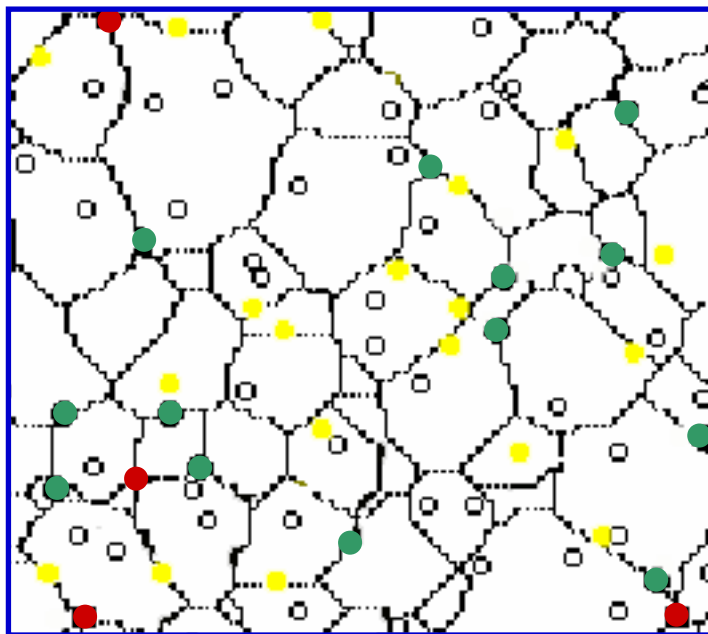
## 4 第二相粒子

阻碍晶界运动，晶界脱离第二相颗粒的迁移是系统能量提高的过程（需生长出这段晶界），产生晶界迁移的阻力—钉扎作用。

**Zener钉扎力及晶粒极限尺寸**



## 三维空间粒子与晶粒的交互作用



- 晶粒内
- 晶界面
- 三晶棱
- 四晶交点

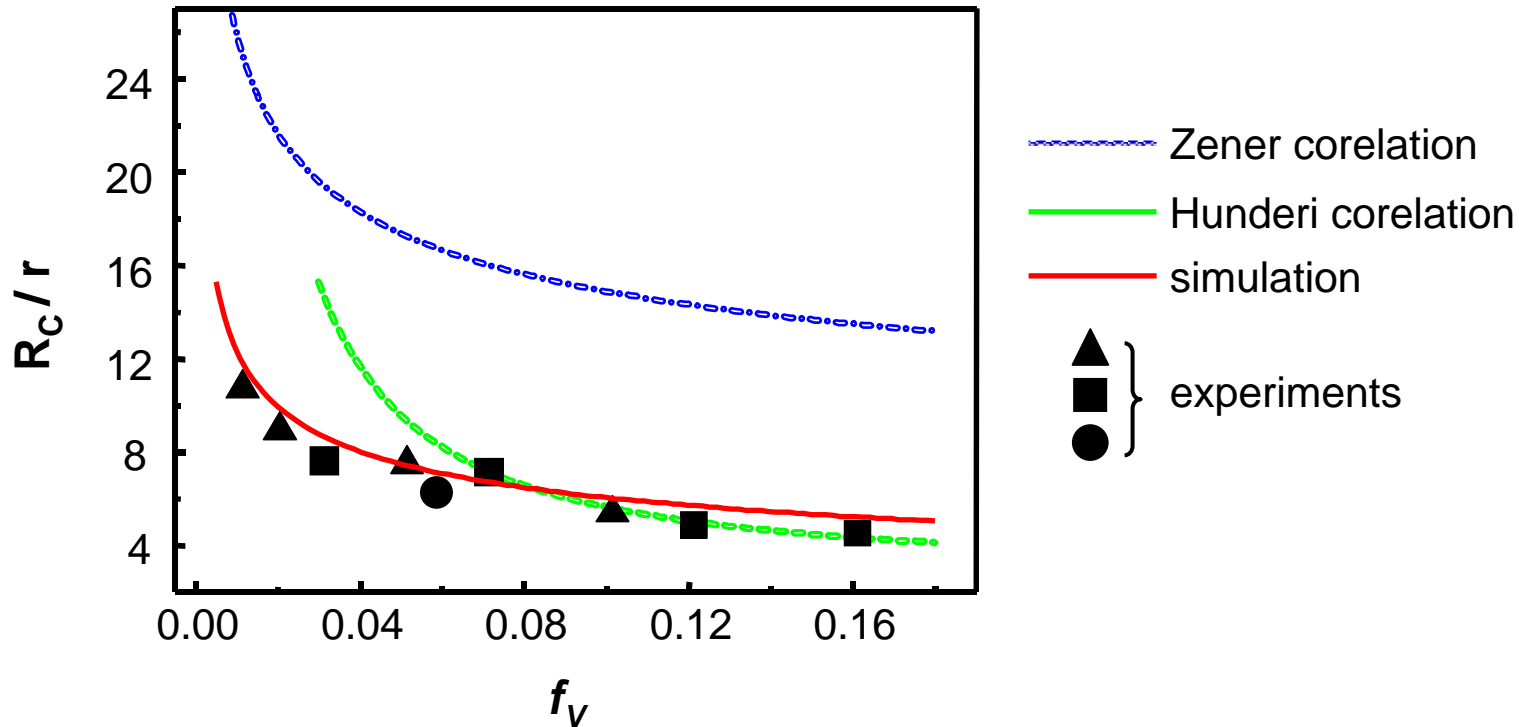
第二相粒子体积分数

$$f_V = f_V^I + f_V^B + f_V^E + f_V^C$$

第二相粒子对晶粒长大的作用力

$$\vec{F}_P = \vec{F}_B f_V^B + \vec{F}_E f_V^E + \vec{F}_C f_V^C$$

## 稳态晶粒尺寸与粒子参数间的定量关系



稳态晶粒尺寸的预测

$$R_C = 3 \frac{r}{f_V^{1/3}}$$