

深过冷快速凝固过程中 晶粒细化机理的中子衍射研究

报告人： 赵 丹 丹

合作导师：何 伦 华 研究员

2022年6月30日

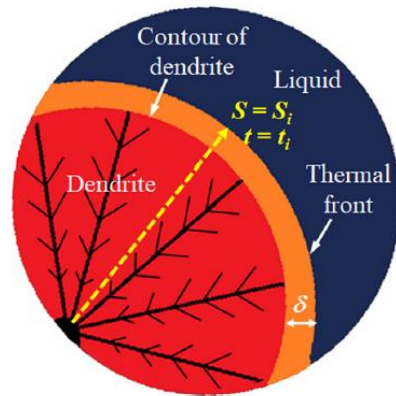
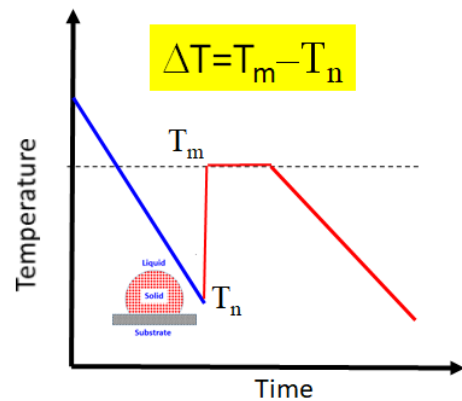


目录

1. 选题背景
2. 研究内容
3. 初步研究成果
4. 后期工作进度安排
5. 预期研究成果

1.1 选题背景—快速凝固

快速凝固：凝固速率大于1mm/s；熔体快淬 或 深过冷

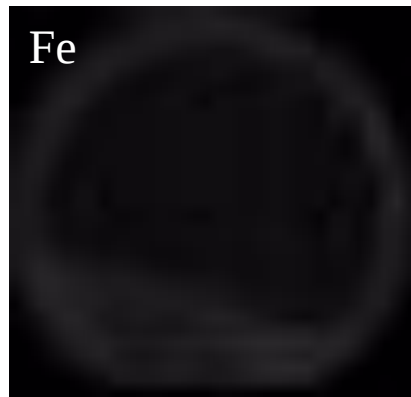


Boundary layer:

$$\delta \leq 100 \mu\text{m}$$

Tip velocity:

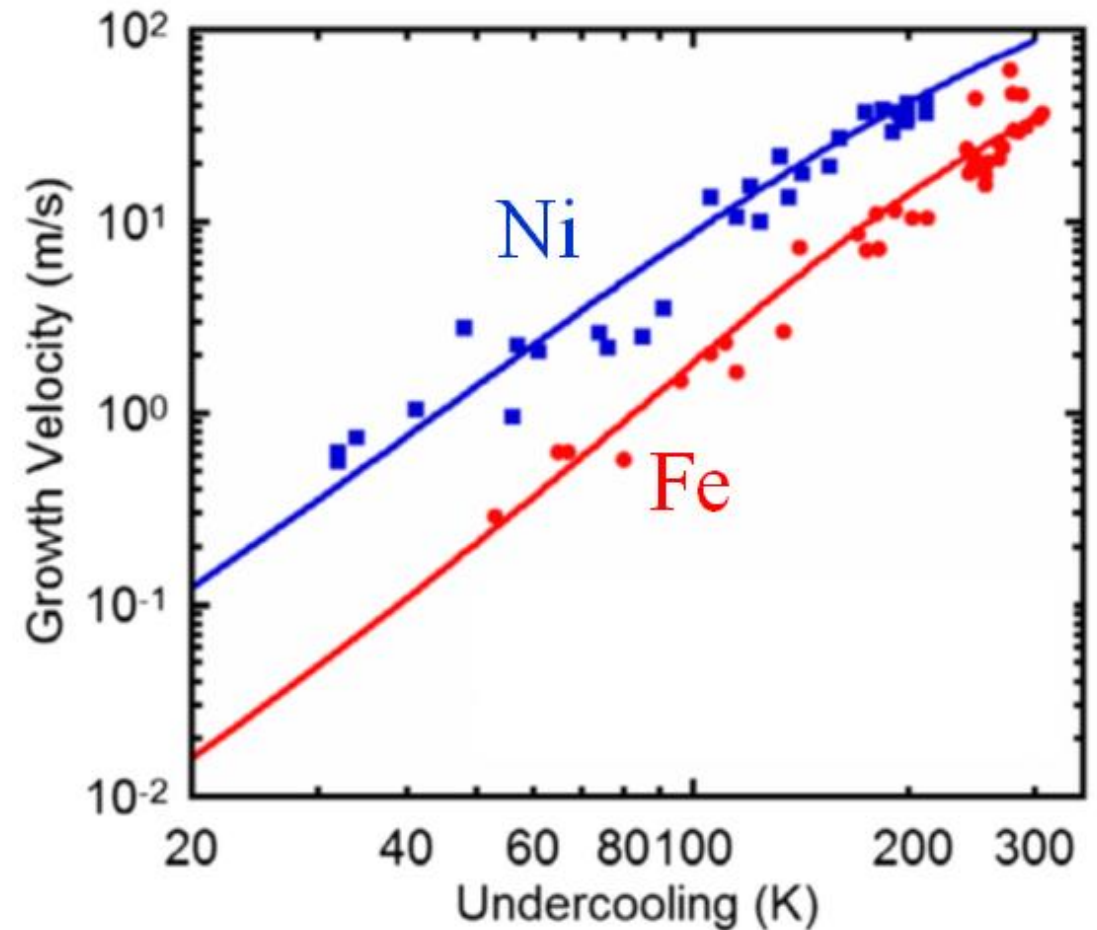
$$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$



11.4 m/s @ $\Delta T = 148\text{K}$

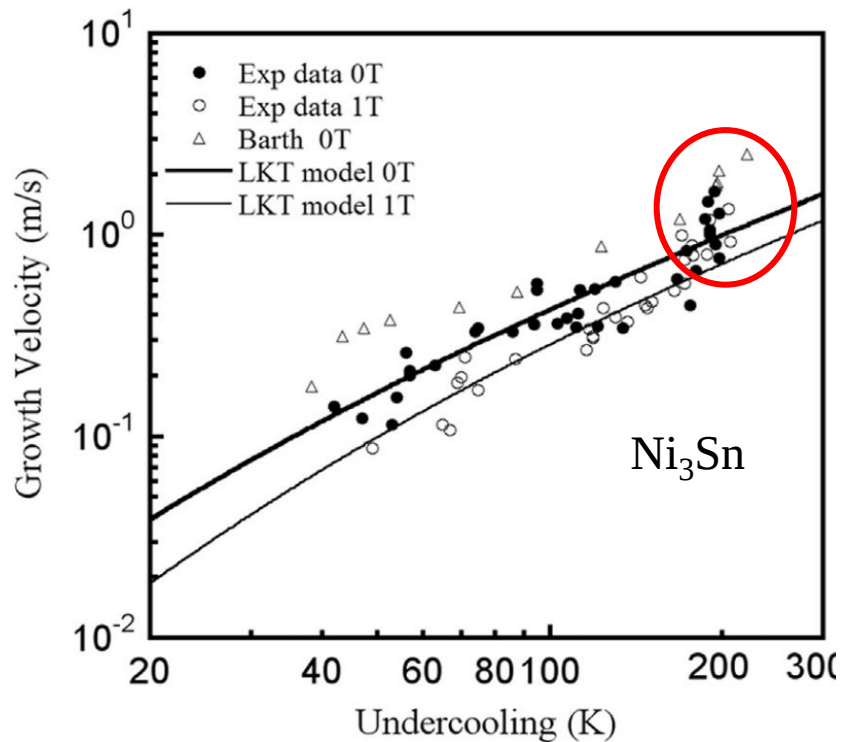


31.3 m/s @ $\Delta T = 246\text{K}$

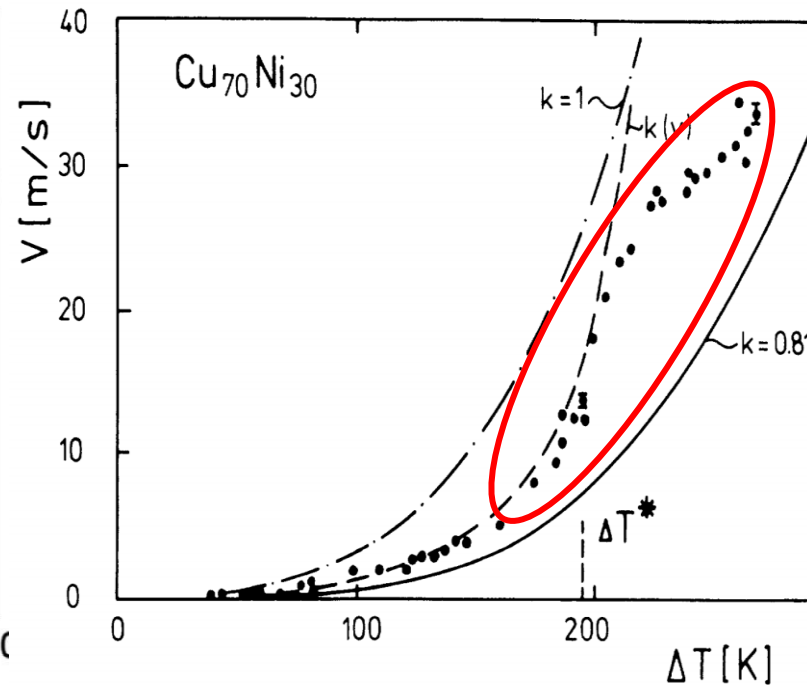


1.3 选题背景—深过冷效应

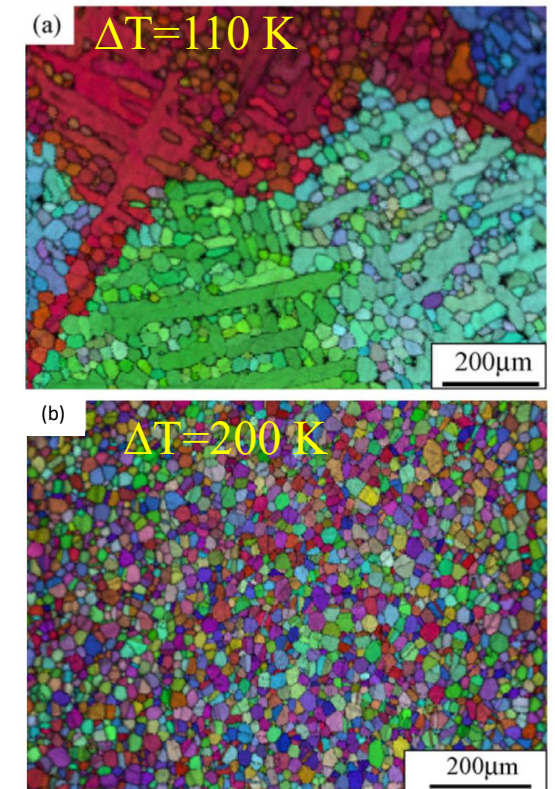
金属间化合物发生**无序截留**
(有序→无序)



合金发生**溶质截留**
(超饱和固溶)



微结构：**晶粒细化**
(枝晶→等轴)



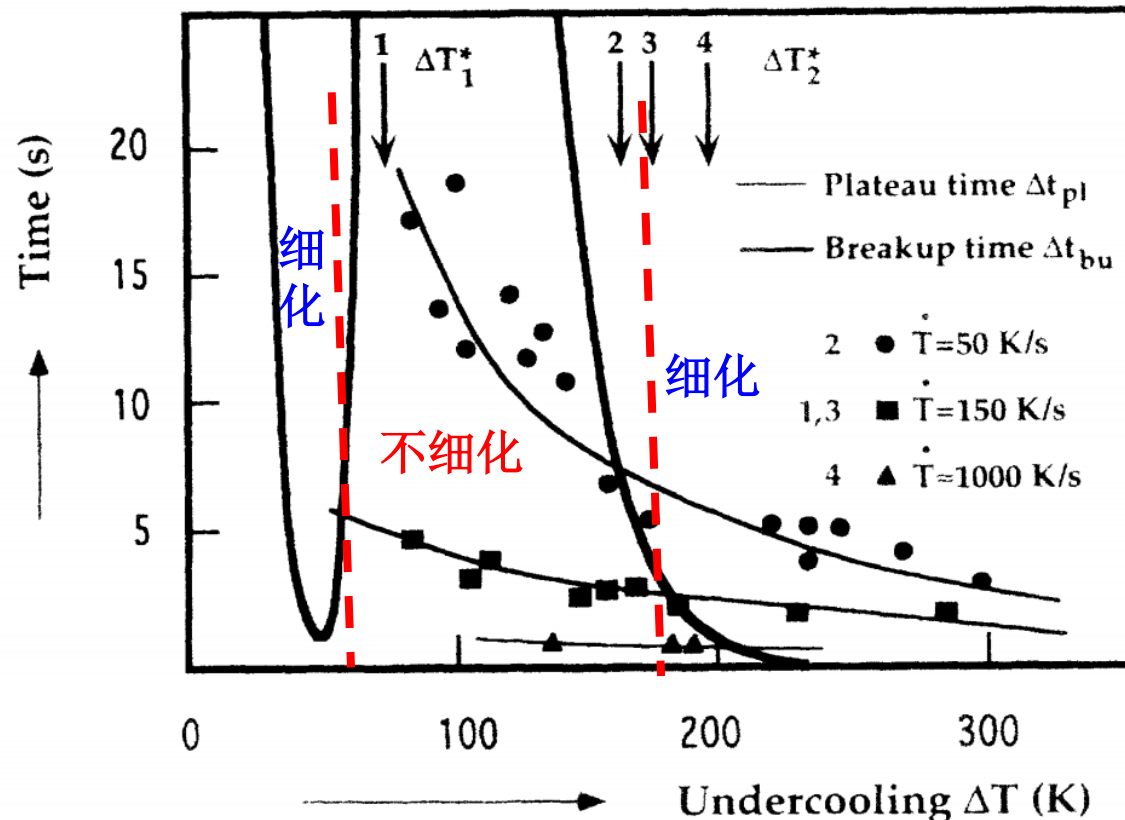
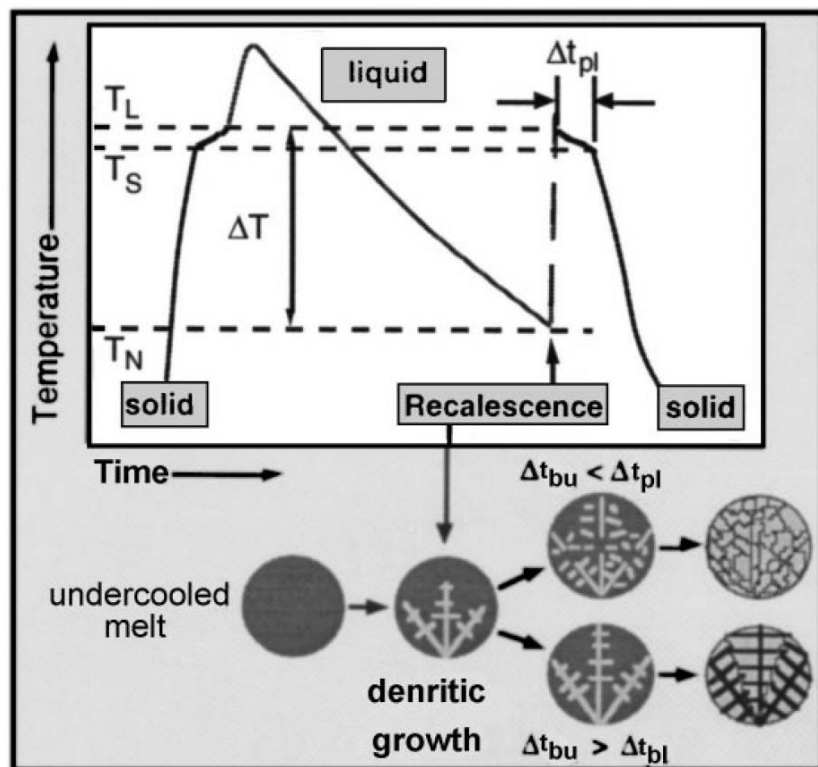
Yang et al. *Journal of Crystal Growth* , 2014.
Willnecker et al. *Physical Review Letters*, 1989.
Li et al. *Materials Science Engineering A*, 2003.

1.3 选题背景—晶粒细化机理

枝晶熔断假说

熔断需要一个临界时间
——由外部冷却速率决定

优点：可解释两次晶粒
细化，实验一致



$$\Delta t_{bu}(\Delta T) \approx \frac{3}{2} \frac{R(\Delta T)^3}{d_0 D_C} \left| \frac{m_l c_0 (1 - k_E)}{\Delta H_f / C_p} \right|$$

Schwarz et al. *Physical Review Letters*, 1994.
Herlach et al. *Materials Science Engineering A*, 2001
Wilde et al. *Applied Physics Letters*, 1999

问题：超过冷时熔断时间为0，
但仍可发生晶粒细化！



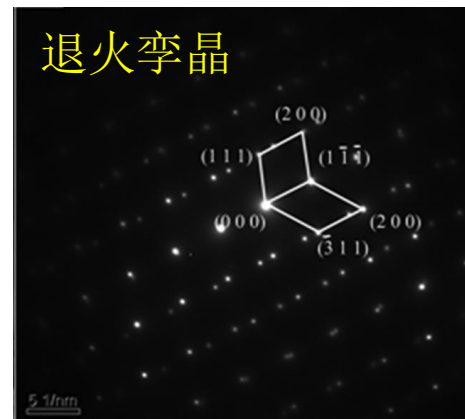
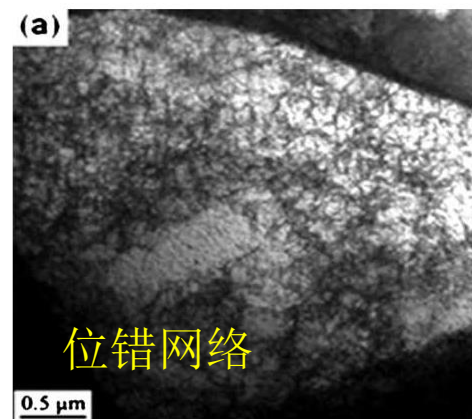
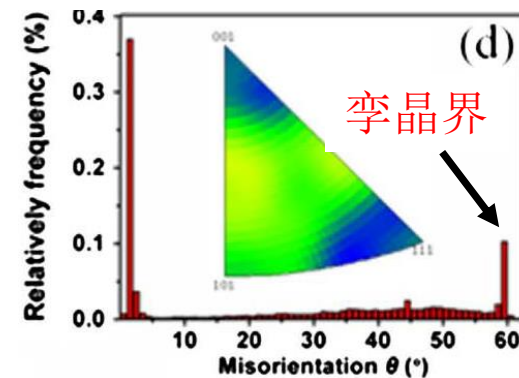
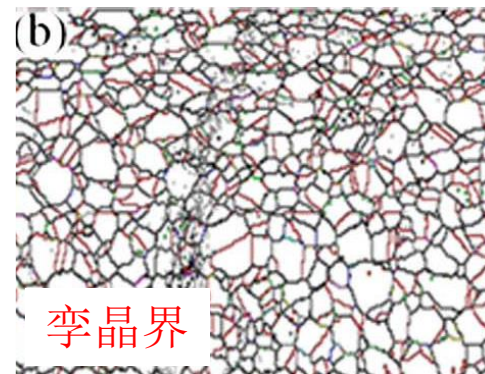
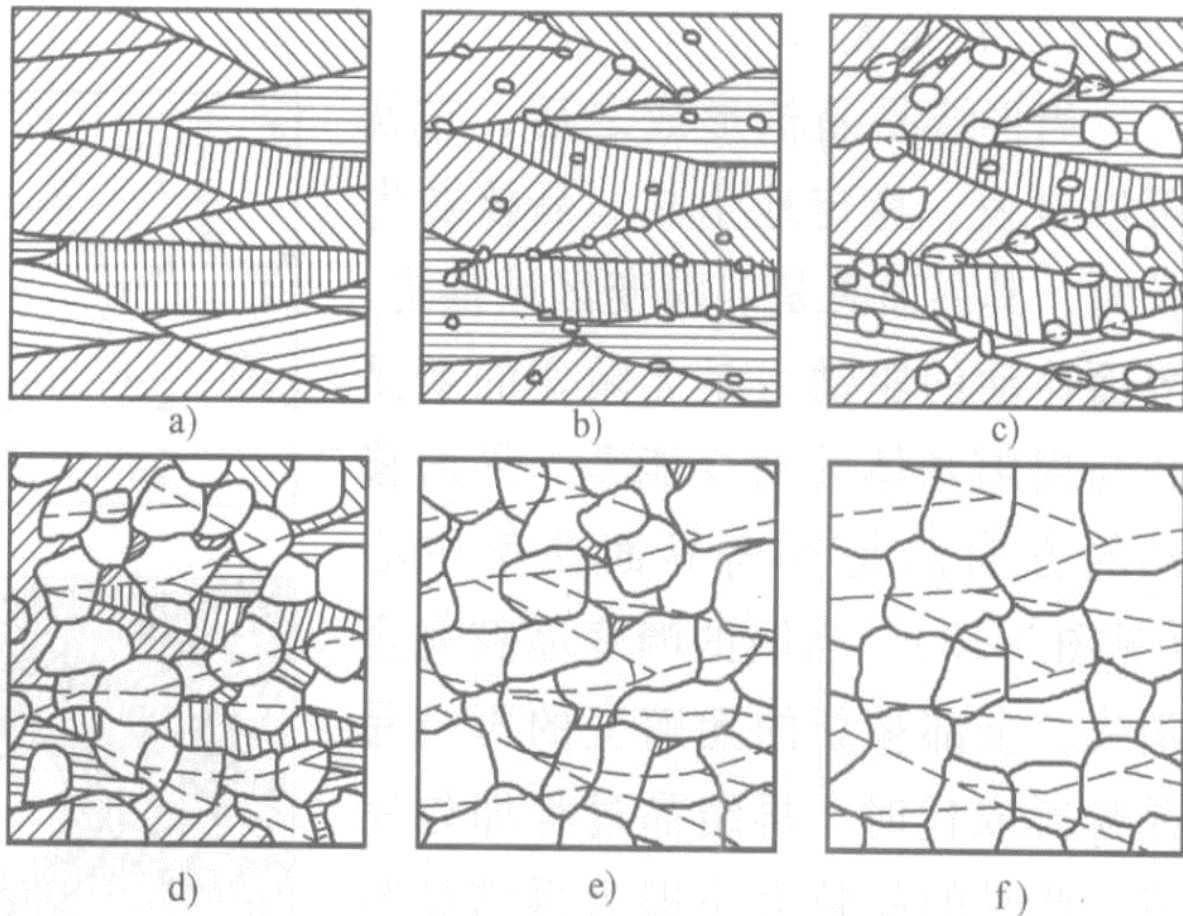
1.3 选题背景—晶粒细化机理

动态再结晶假说



快速凝固过程中
枝晶发生热塑性变形

优点：可解释微结构中的
位错和退火孪晶

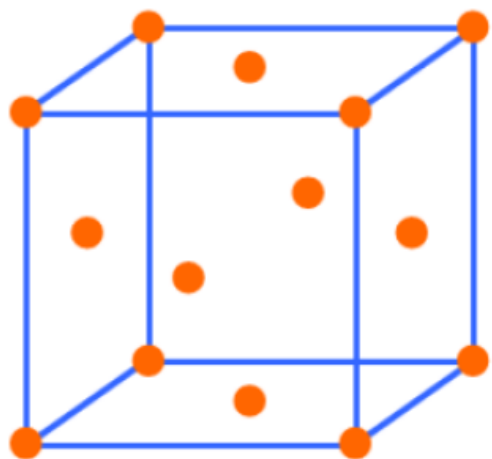


切割样品有可能产生缺陷
塑性变形的证据还不充分

2. 研究内容

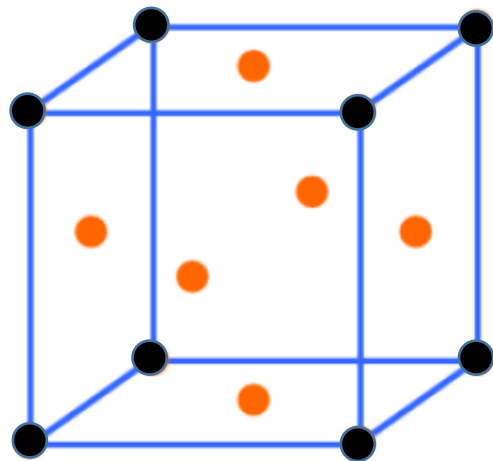
科学问题：大过冷度下的再结晶引起晶粒细化的证据还不充分

Ni



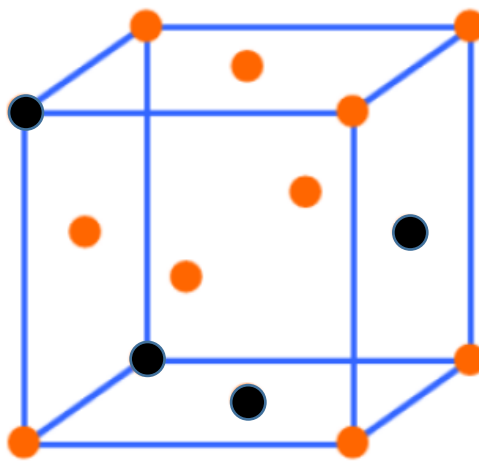
- 同类原子
- 面心立方

Ni₃Nb



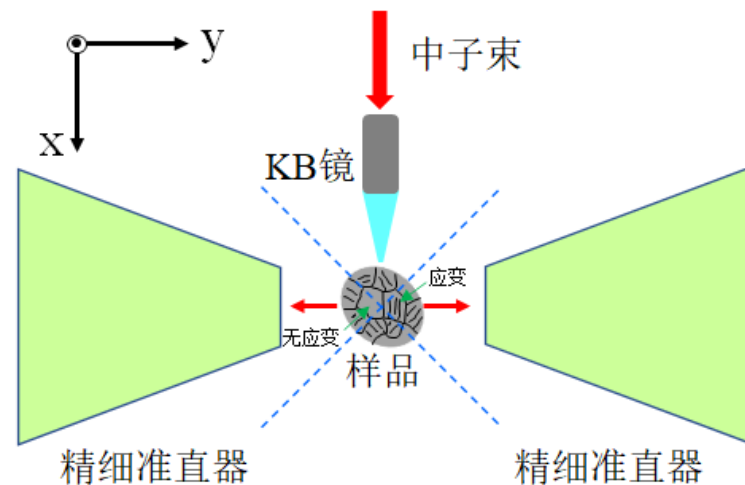
- 异类原子
- 面心立方
- 化学有序

Ni₇₀Cu₃₀



- 异类原子
- 面心立方

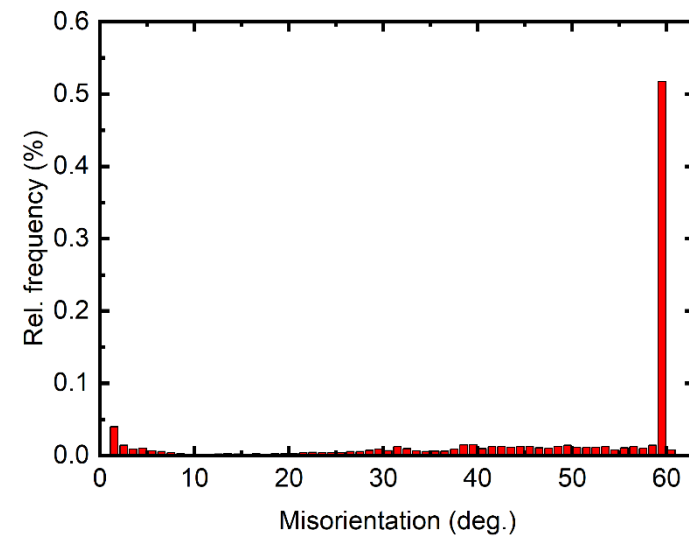
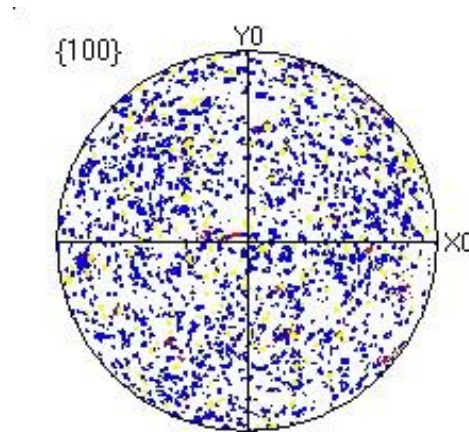
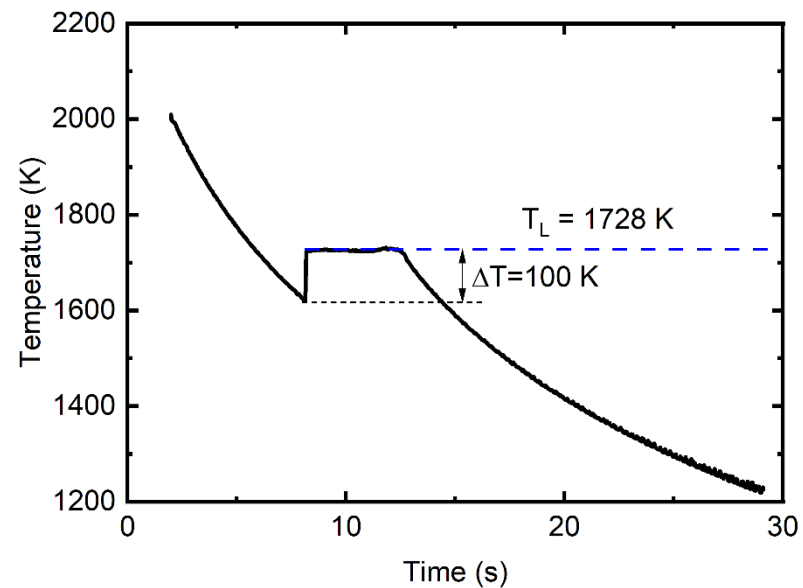
研究手段



1. 中子衍射为主
2. EBSD+TEM为辅
3. 揭示大过冷引起的晶粒细化机理

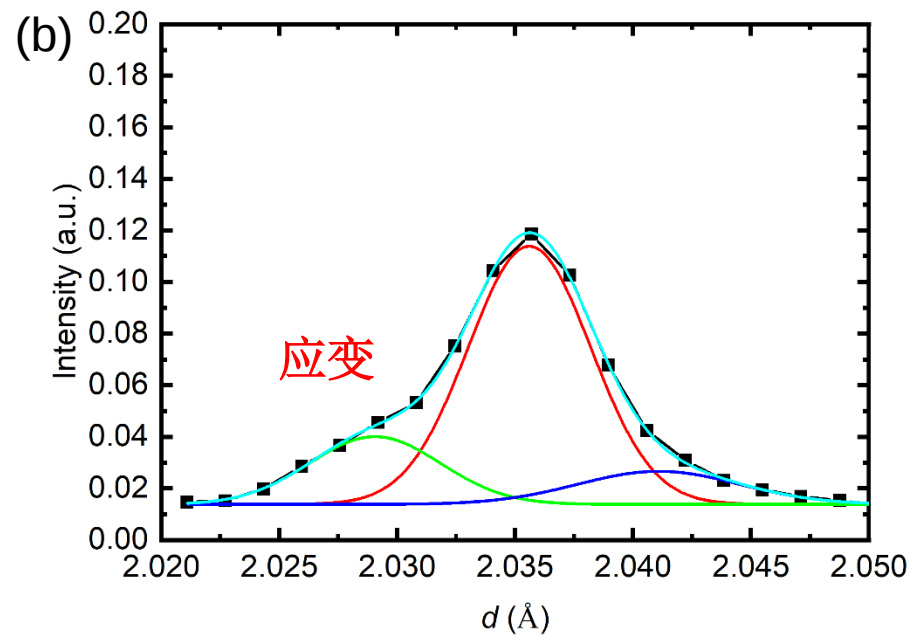
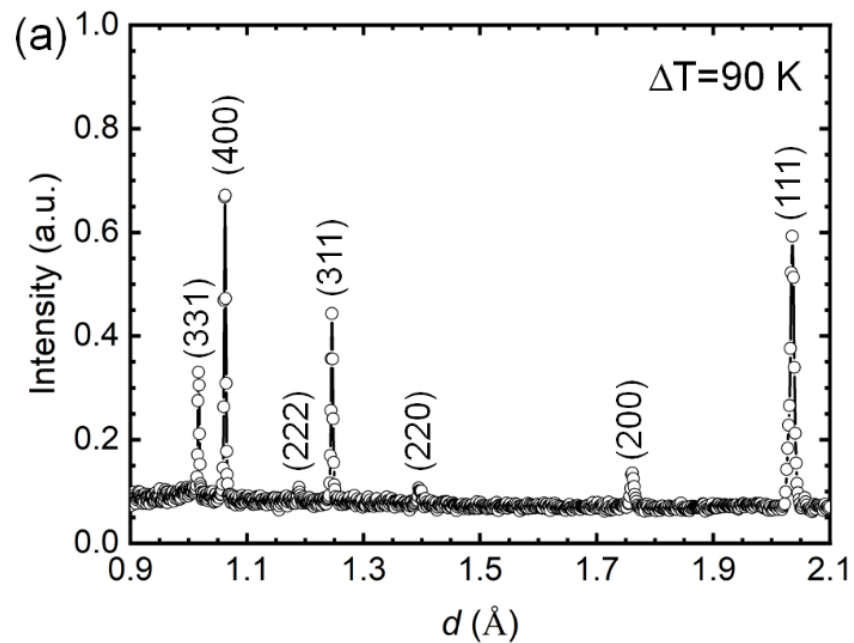
3. 初步研究结果—纯Ni

100 K



3. 初步研究结果—纯Ni

中子衍射 (100 K)



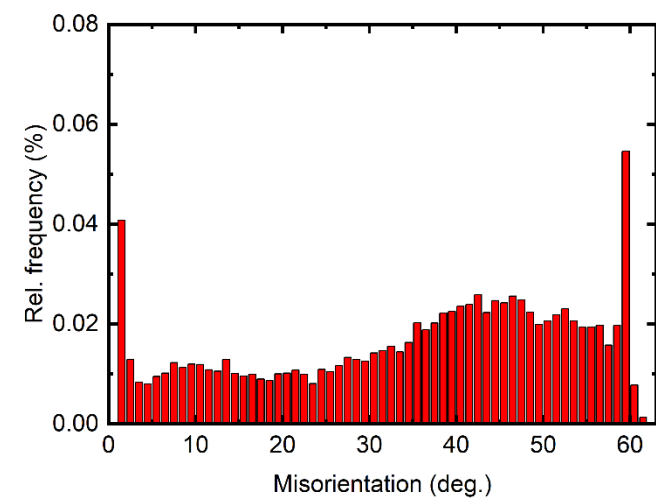
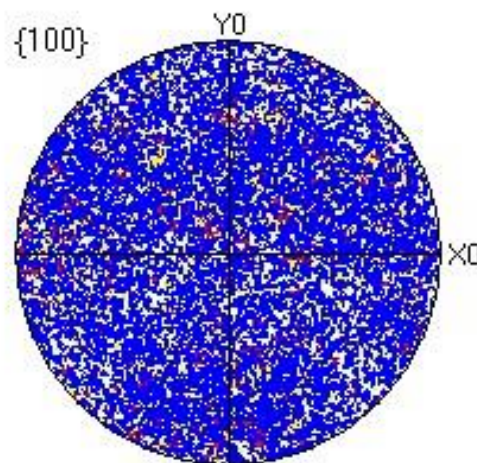
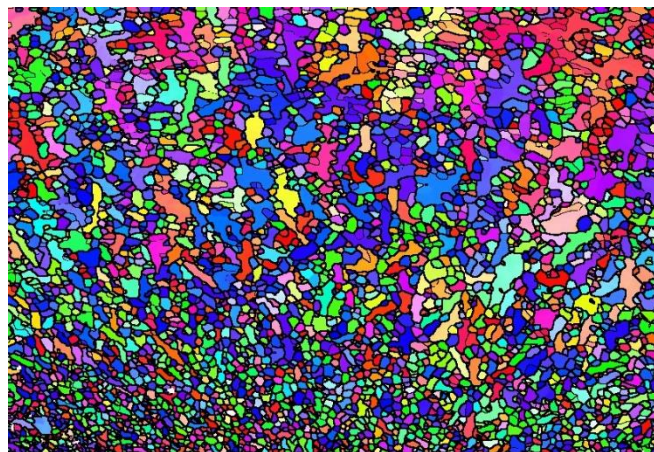
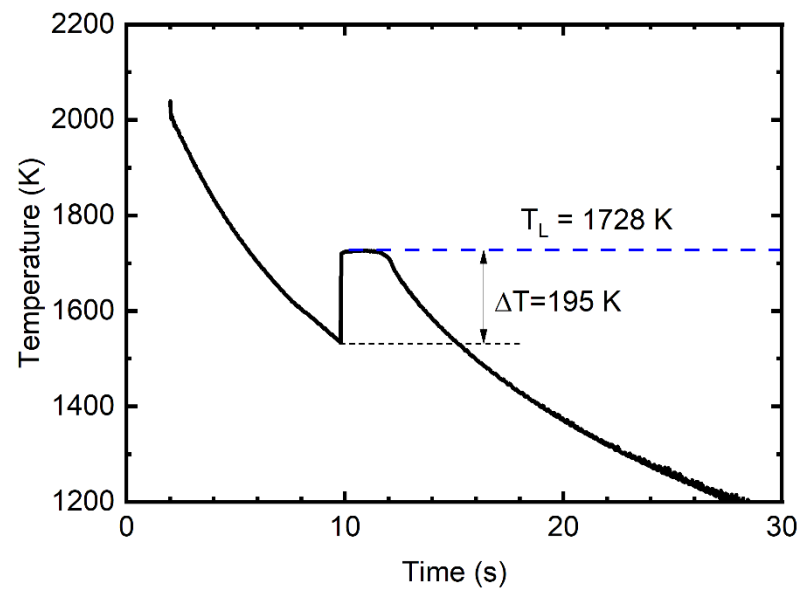
$$d_1 = 2.0291 \text{ \AA}$$

$$d_2 = 2.0356 \text{ \AA}$$

$$d_3 = 2.0411 \text{ \AA}$$

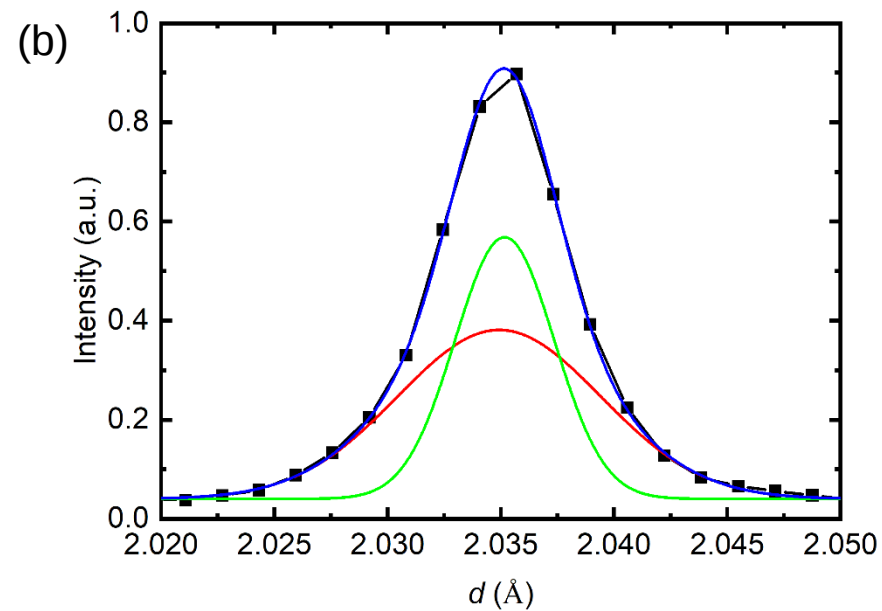
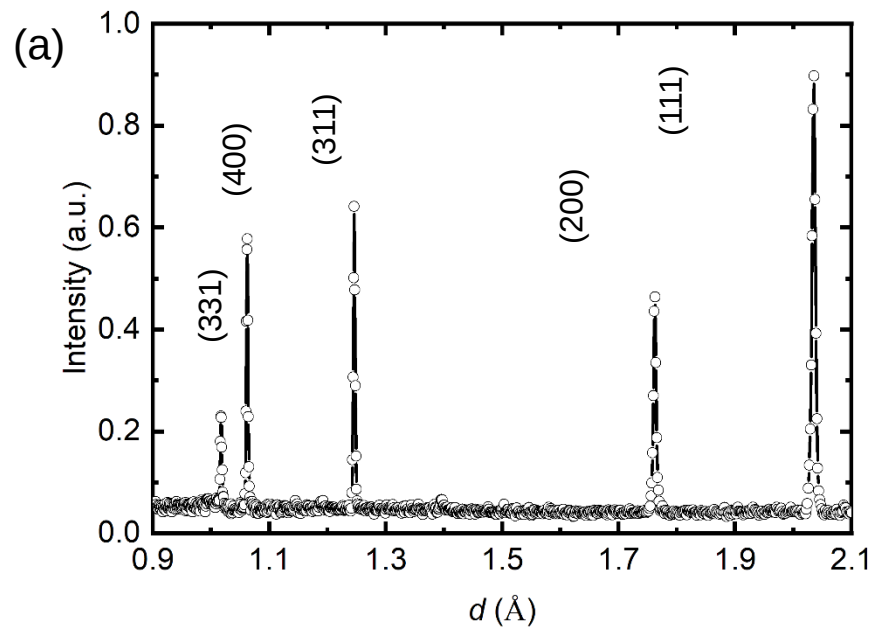
3. 初步研究结果—纯Ni

170 K



3. 初步研究结果—纯Ni

中子衍射 (170 K)



4. 后期工作进度安排

(1) 2022年7月–2022年9月

ND+EBSD+TEM: 综合分析大过冷度下纯Ni晶粒细化机理
撰写论文

(2) 2022年10月–2023年4月

ND+EBSD+TEM: 综合判断大过冷度下 Ni_3Nb 化合物晶粒细化机理
撰写论文

(3) 2023年5月–2023年10月

ND+EBSD+TEM: 综合判断 $\text{Ni}_{70}\text{Cu}_{30}$ 合金晶粒细化的机理
撰写论文。

5. 预期研究成果

- 通过中子衍射和微观结构分析，确定三种典型材料深过冷快速凝固过程中的晶粒细化是否由再结晶引起。
- 在SCI收录国际学术期刊上发表1-3篇论文。

谢谢！
请各位老师批评指正！