

· 专题 1: 矿物结构与矿物表面过程 ·

熔体中氟金云母二维成核与螺旋生长机制的研究

陈爱清^{1,2}, 何宏平¹, 朱建喜¹, 陶奇¹, 李尚颖^{1,2}, 吉世超^{1,2}, 张朝群^{1,2}

1. 中国科学院 矿物学与成矿学重点实验室, 广东省矿物物理与材料研究开发重点实验室, 广州地球化学研究所, 广州 510640;

2. 中国科学院大学, 北京 100049

云母是自然界中常见的造岩矿物, 可以从气相、热液以及熔体中生成。研究认为, 气相条件下临界过饱和度较高, 因此在气相条件下, 云母以螺旋机制生长, 台阶高度 1 nm, 阶梯间距较宽, 阶梯间距与台阶高度比为 $10^3 \sim 10^4$ 为特征。热液中的生长取决于过饱和度的高低, 既可以二维成核机制生长, 也可以出现螺旋机制生长, 阶梯间距与台阶高度比为 10^2 , 小于气相的比值。而熔体中生长的云母却迄今没有发现螺旋生长层, 所观察到的大多是二维成核以及由他们形成的二维生长台阶。

初始反应物按摩尔比称量, 在玛瑙研钵中研磨混匀后, 加入到刚玉坩埚中, 加盖密封。加热过程: 按 $10^\circ\text{C}/\text{min}$ 升温到 1450°C , 保温使原始物料充分熔融, $5^\circ\text{C}/\text{min}$ 快速降至 1375°C , 然后降至 1250°C , 在此温度下不同批次的样品分别保温 0 h, 5 h, 10 h, 15 h, 20 h, 30 h, 最后自然冷却至室温。

合成的样品为片状无色透明晶体, XRD 分析显示与标准卡片中的氟金云母 (PDF 卡号: 16-0352) 一致。拉曼光谱分析与 RRUFF 库中的金云母一致。

只保温 0 h、5 h 和 10 h 的样品在显微镜下观察显示云母晶体近圆形、半自形、规则的六边形, 六边形晶体表面台阶圈闭。大量的 AFM 测试显示, 晶体表面台阶相互平行, 每一个台阶高度 h 为 1.0 nm, 阶梯间距 λ_0 在 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$, $S = \lambda_0/h$ 为 $2 \times 10^2 \sim 5 \times 10^2$ 。未观察到螺旋位错, 说明在此阶段以二维成核机制进行生长。

保温时间延长到 15 h 后, 在生长台阶上明显观察到螺旋位错, 并在保温 20 h 和 30 h 的样品中也发现大量的螺旋位错存在。台阶间距明显增加, 大约在 $1 \sim 3 \mu\text{m}$, 台阶高度为 1.0 nm, 阶梯间距 λ_0 在 $1 \sim 3 \mu\text{m}$, $S = \lambda_0/h$ 为 $1 \times 10^3 \sim 3 \times 10^3$ 。说明此阶段晶体生长逐渐由螺旋生长机制控制。

氟金云母晶体生长机制可以用 BCF 螺旋生长理论和二维成核理论进行解释, 起初, 保温时间短, 熔体的过饱和度高于临界过饱和度, 晶体生长受二维成核机制控制。随着保温时间的延长, 熔体的过饱和度逐渐减小至小于临界过饱和度, 生长以螺旋生长机制控制。

在保温较短的时间内, 由于过饱和度较高, 氟金云母晶体以二维成核机制进行生长。延长保温时间, 过饱和度逐渐降低, 螺旋生长机制逐渐起主导作用。熔体中生长的氟金云母的表面微形貌特征, 二维成核生长阶段: 阶梯间距 $0.2 \sim 0.5 \mu\text{m}$, S 值为 $2 \times 10^2 \sim 5 \times 10^2$, 与热液中生长的云母的 S 值相近。螺旋生长阶段: 而随着保温时间延长, 阶梯间距变大, 为 $1 \sim 3 \mu\text{m}$, S 值为 $1 \times 10^3 \sim 3 \times 10^3$, 接近于气相生长的云母的 S 值。

在实验室中, 短时间的保温就可以出现螺旋生长机制, 而自然界中, 岩浆的容积要比实验室的坩埚大的多, 冷却速度一般很缓慢, 过饱和度应该很低, 据此推测岩浆中晶体的生长可能普遍是以螺旋机制进行的。