

吕国强<sup>1</sup>, 多文超<sup>1</sup>

<sup>1</sup>云南省昆明市五华区学府路昆明理工大学

## Abstract

多晶硅真空定向凝固过程本质上是一个热科学的问题，其整个过程中涉及的传热、熔体流动、热应力与晶体生长相互协同、相互作用。因此，探究定向凝固过程中传热特性、熔体流动行为、热应力大小以及不同下拉速率对晶硅铸锭内的位错、晶界等缺陷之间的影响规律的深入理解是获得高质量晶体和高效多晶硅的前提和基础。

为此初步建立了多晶硅真空定向凝固过程的温度场—速度场—应力场耦合模型，模型中主要使用固体传热、表面对表面辐射、固体力学、层流和动网格物理场接口以及Marangoni效应等多物理场接口。通过模拟计算发现Marangoni对流会导致硅熔体流动速度增大3倍以上，因此使得硅熔体的对流换热能力得到加强，单位时间内通过底部水冷换热带走的热量就会增大，进而使得坩埚内硅料纵向的温度梯度增大，最终使得硅锭中的热应力增大，从而影响晶硅形貌和质量。

其次在设置不同的动网格移动速率（即坩埚下拉速率）时，发现硅料的纵向温度梯度会随着下拉速率的增大而增大，因此在以较大下拉速率下拉时硅锭内部的应力值也会相应的增大，同时也会影响凝固时固液界面的形貌。通过数次模拟计算发现在下拉速率为 $10\mu\text{m/s}$ 时硅锭内部的应力值对于制备位错较少、形貌较好的多晶硅最为合适。

## Figures used in the abstract

---

Figure 1: 同一下拉时间，无Marangoni效应和有Marangoni效应作用下的温度场、流场、应力场示意图