

多晶硅真空定向凝固过程的传输特性及其对晶体质量的影响研究

吕国强^{1,2}, 杨玺^{1,2}, 谢广杰^{1,2}, 多文超^{1,2}

1. 冶金与能源工程学院, 昆明理工大学, 云南, 昆明

2. 真空冶金国家工程实验室, 昆明理工大学, 云南, 昆明

简介: 多晶硅铸锭的质量控制在很大程度上取决于定向凝固的工艺过程, 即晶体生长过程中的温度梯度、界面形状、应力水平等。而有无Marangoni效应作用、不同的保温条件是影响上述指标的关键。

(2) 真空定向凝固法原始工艺和改进工艺生产多晶硅时硅锭温度场和应力场分布特点。(工业尺度, 3D)

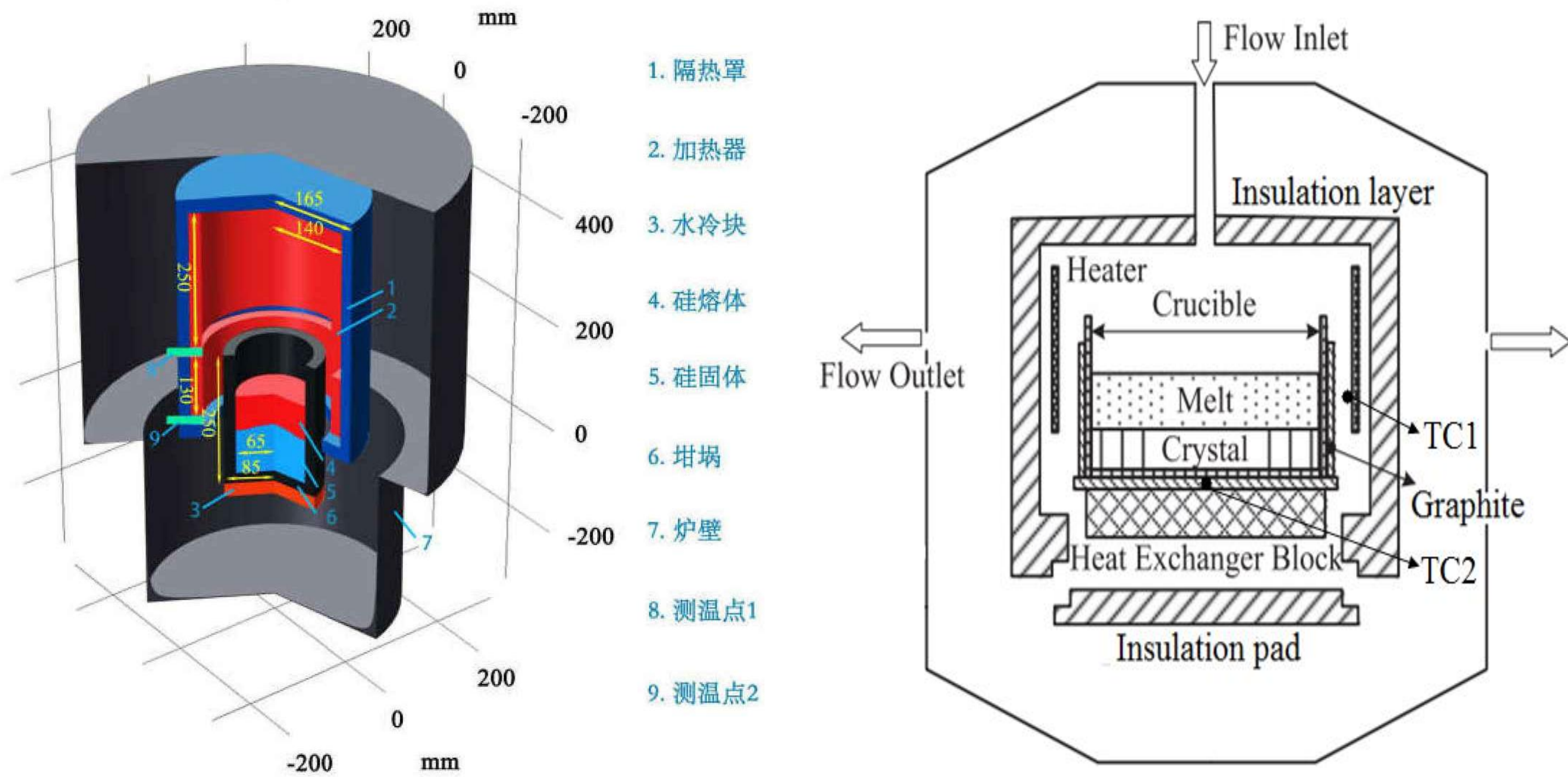


图 1. 模型几何示意图 (实验室, 2D)

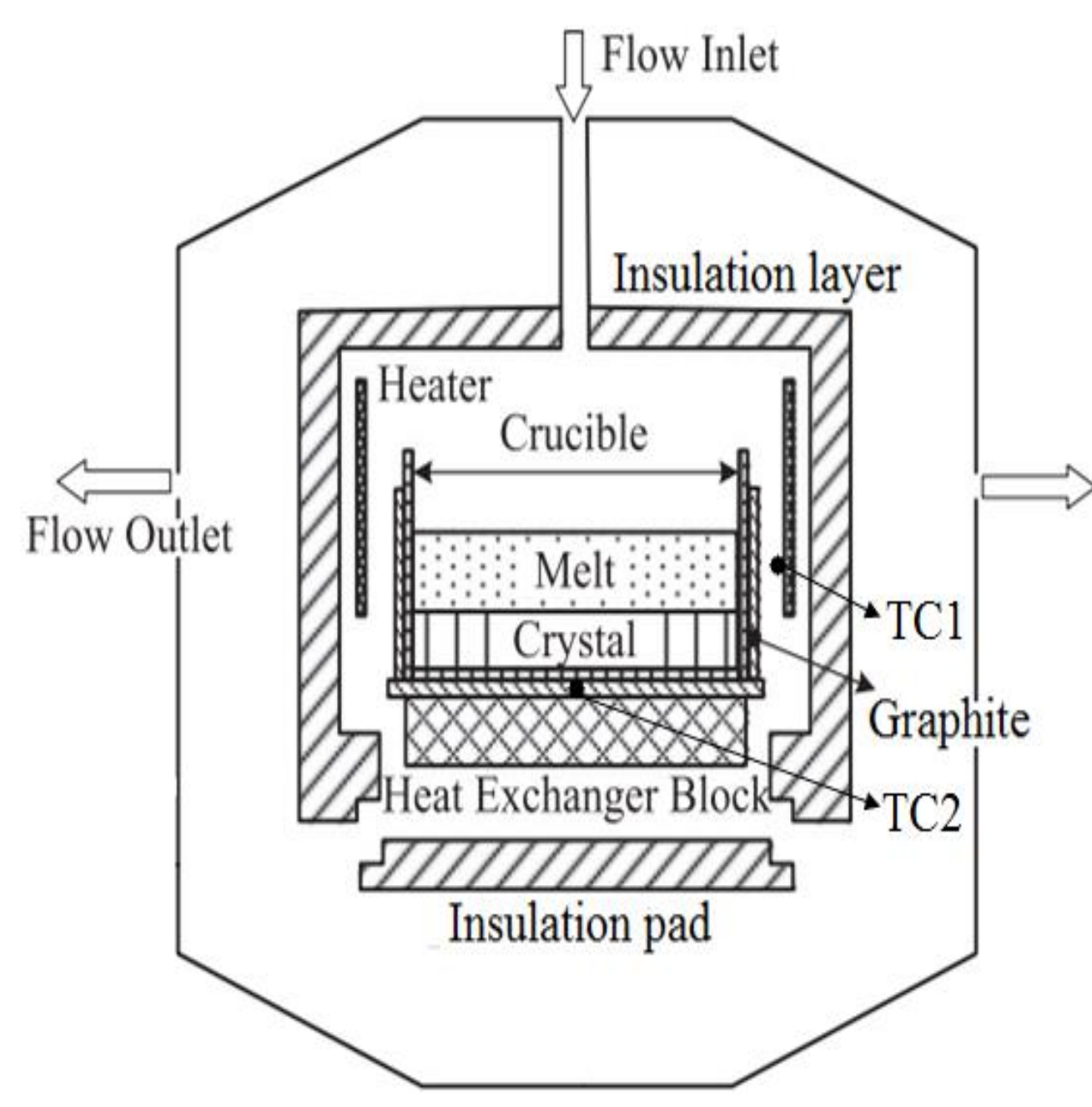


图 2. 模型结构示意图 (工业生产, 3D)

真空定向凝固过程包含了辐射、相变、对流等一系列复杂现象, 传统的实验方法存在诸多缺点, 而数值模拟可以很好的弥补这些缺点, 因此借助数值模拟可以很好的满足多晶硅定向凝固过程中的工艺和应用优化。

模拟采用了表面对表面辐射接口、固体传热接口、固体力学接口、ALE接口以及层流接口来模拟不同条件下多晶硅铸锭过程的温度场、流场、应力场的变化。

结果: (1) Marangoni效应及熔体流动对铸锭质量的影响。

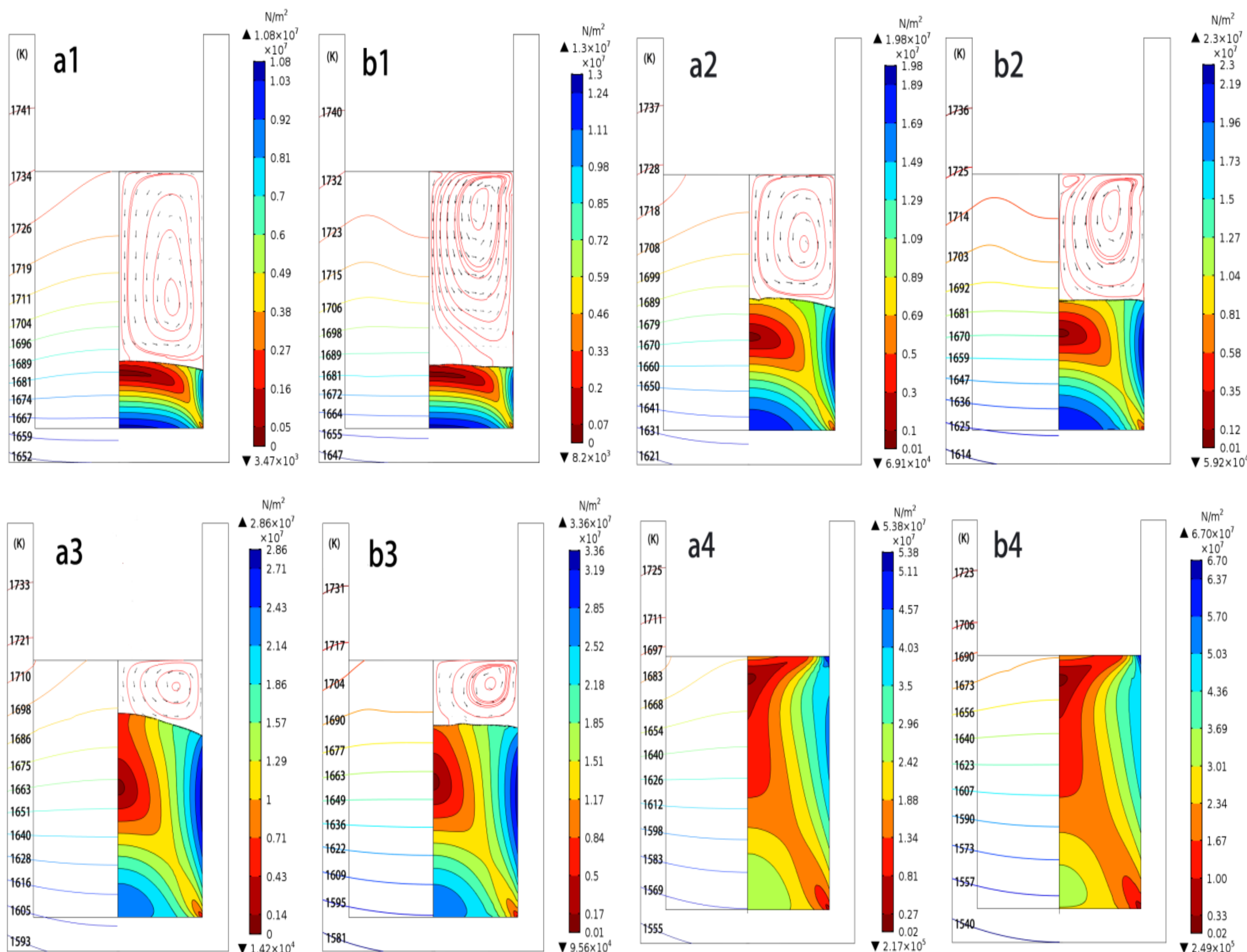


图 3. 下拉速率10μm/s时, Marangoni效应对多晶硅铸锭质量的影响

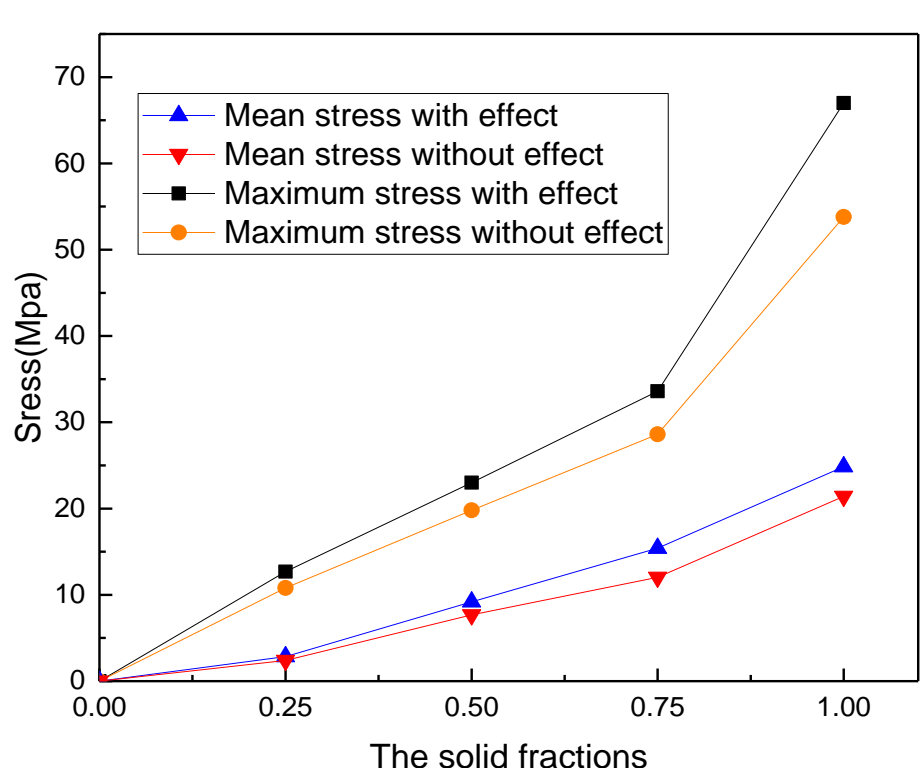


图 4. 凝固过程中硅锭内部应力分布

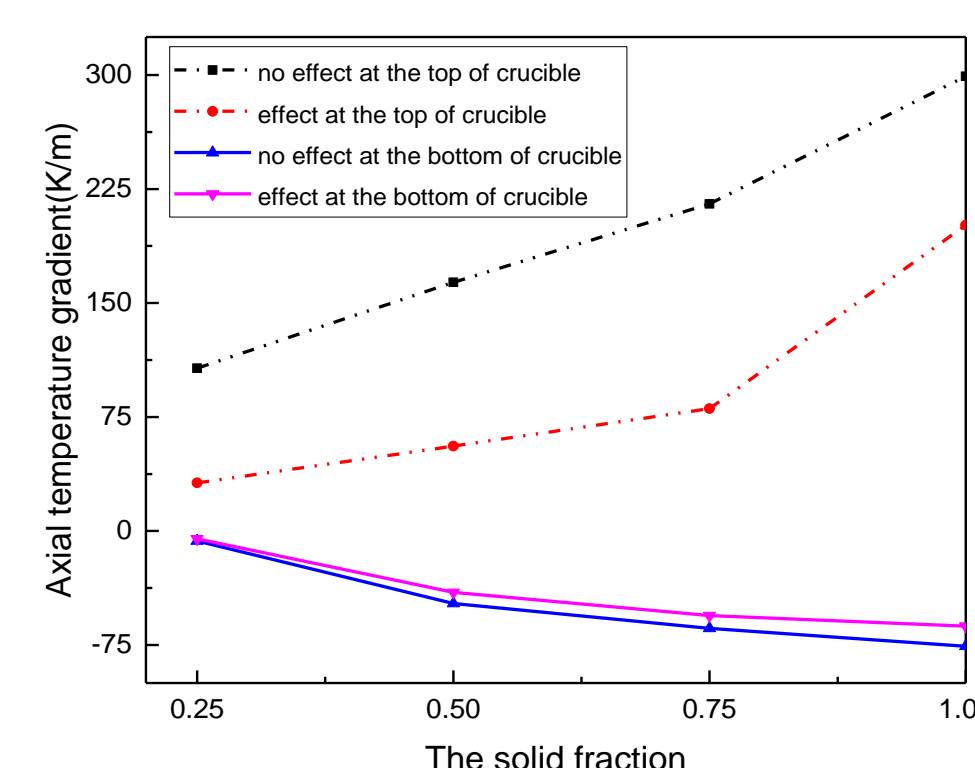


图 5. 下拉过程中硅料轴向温度梯度变化

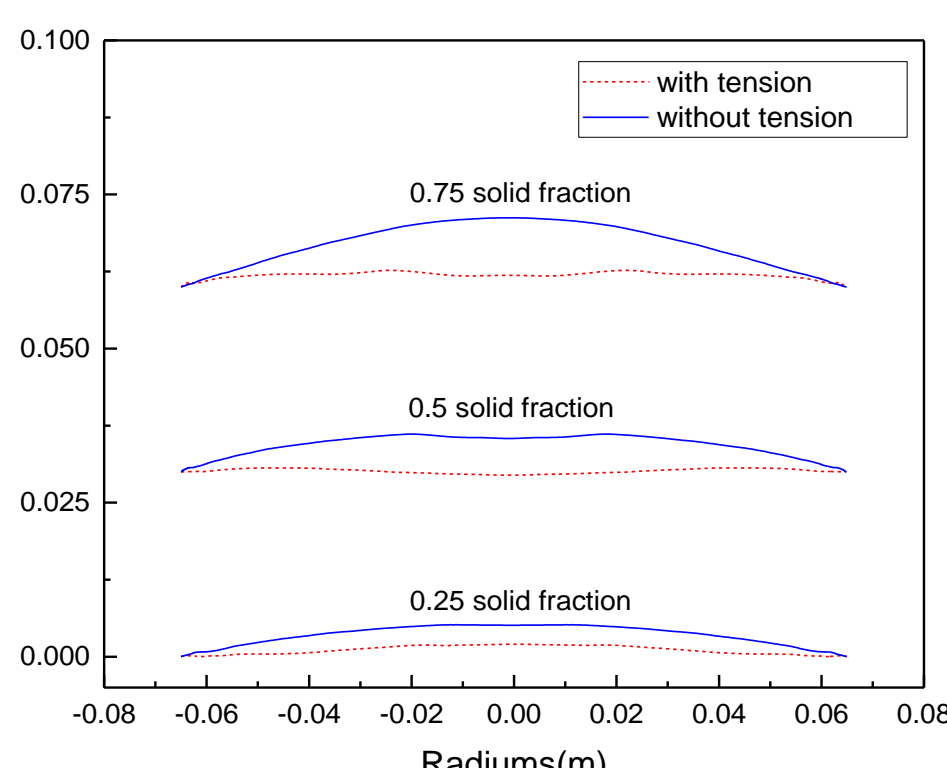


图 6. 凝固过程中固液界面形状变化

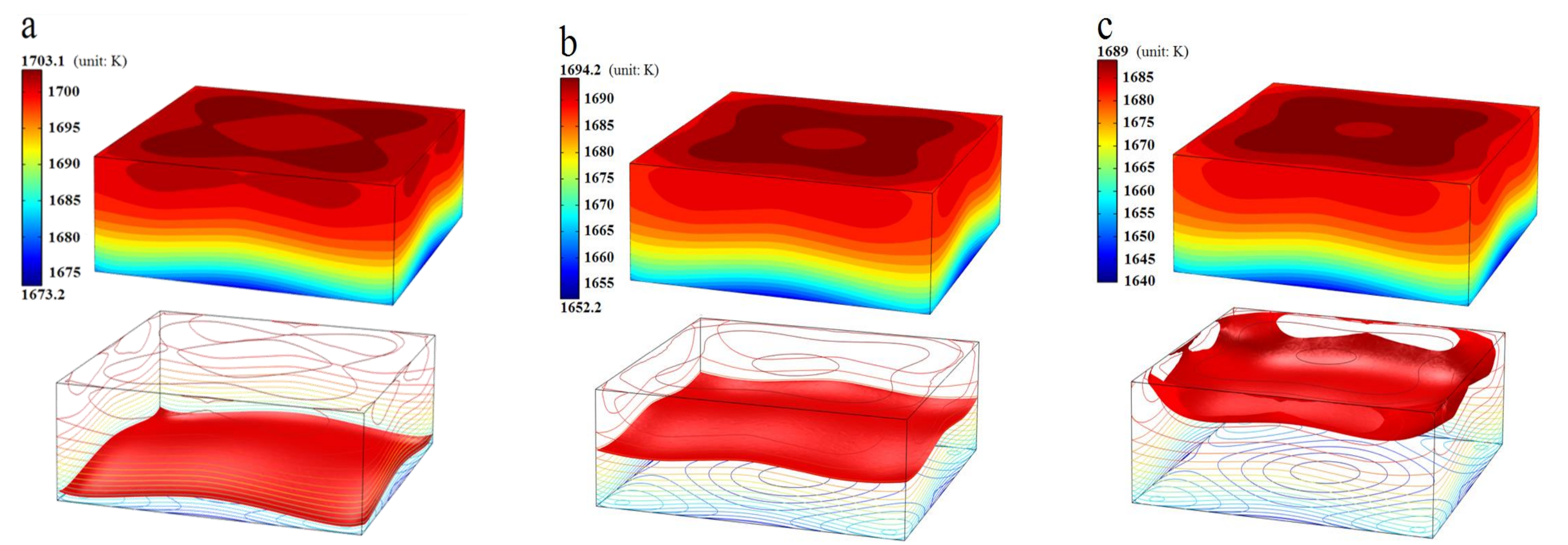


图 7. 原始工艺路线(二次定向凝固) 凝固分数 (a)0.15 (b)0.5 (c)0.85

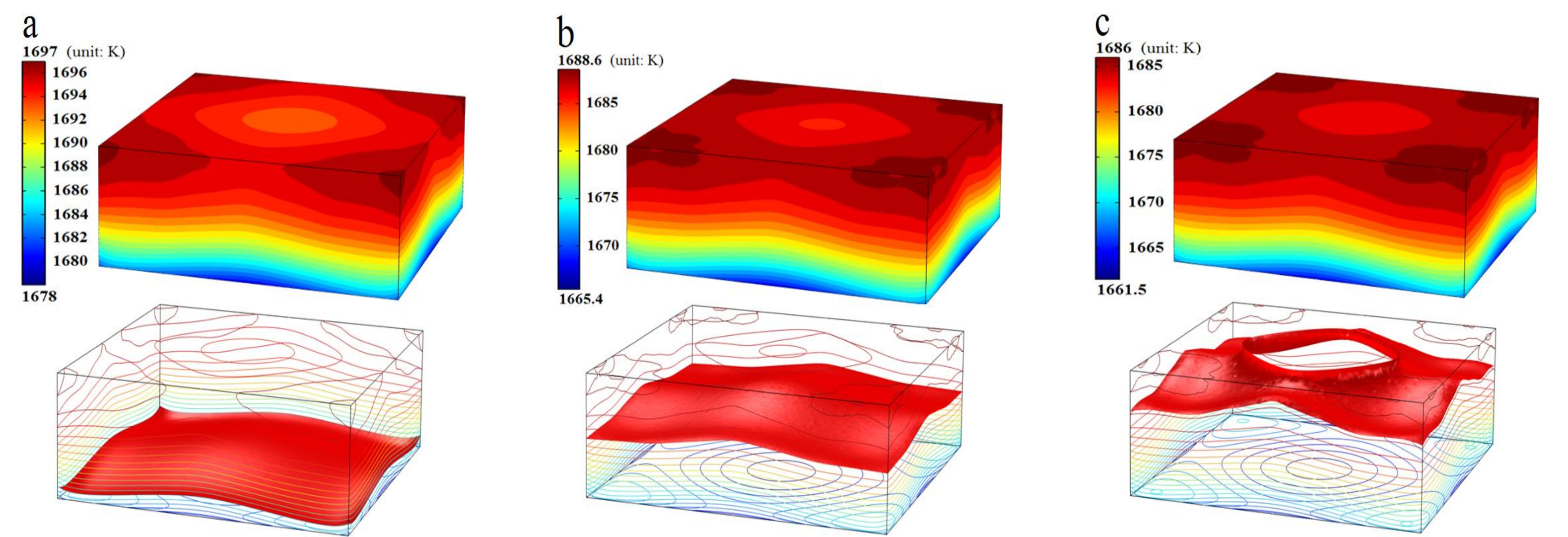


图 8. 改进工艺路线(一次定向凝固) 凝固分数 (a)0.15 (b)0.5 (c)0.85

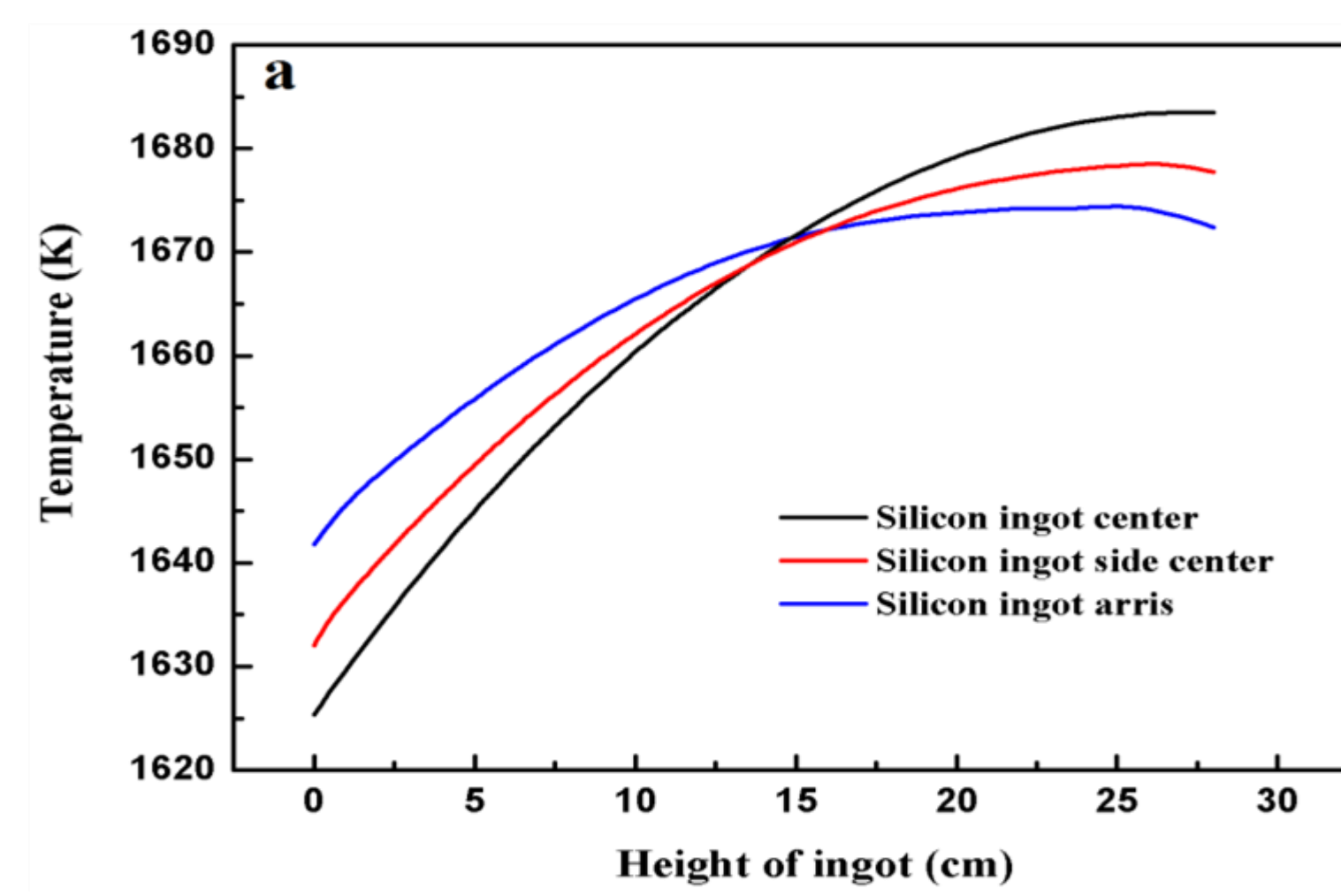


图 9. 原始工艺铸锭温度分布

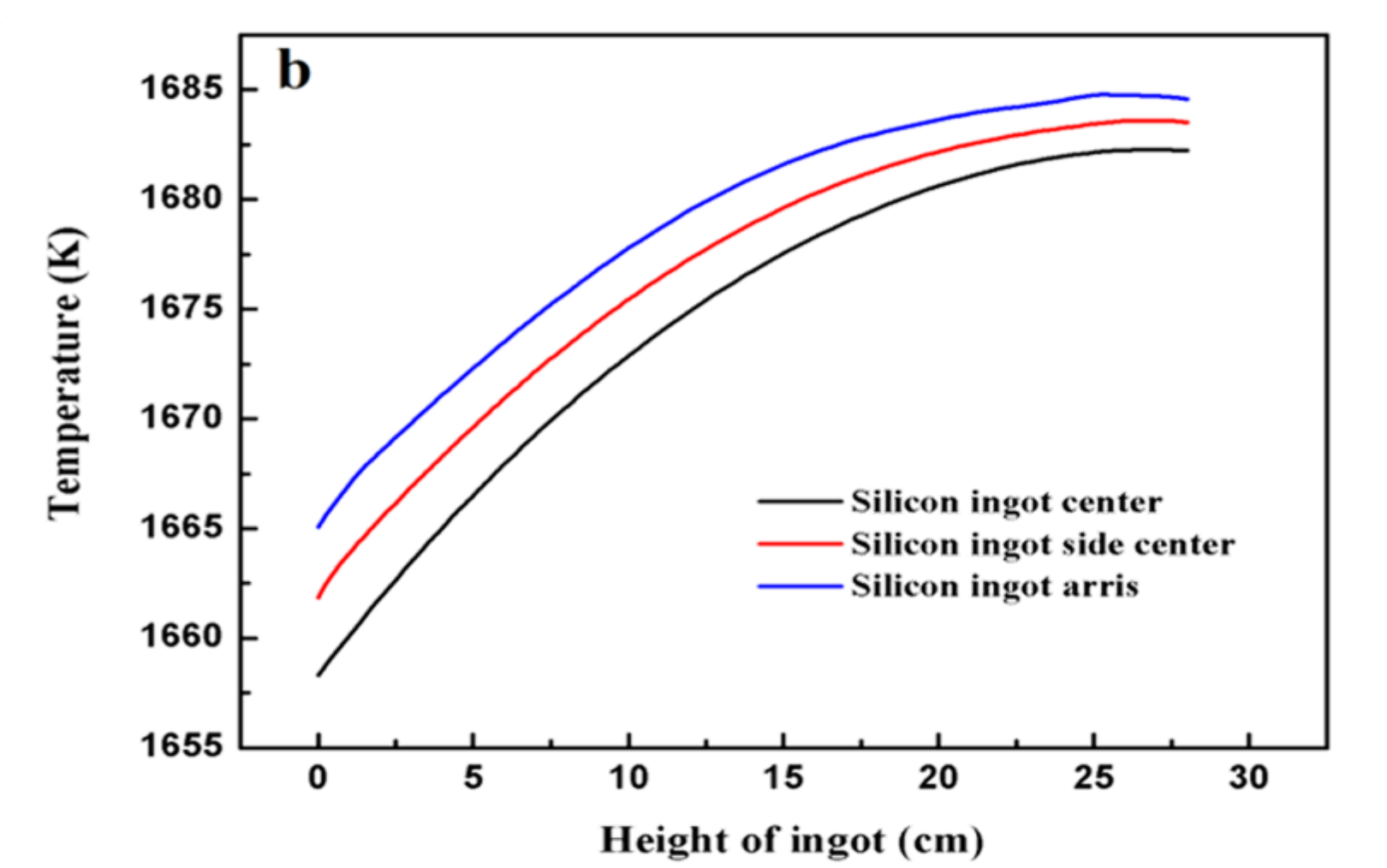


图 10. 改进工艺铸锭温度分布

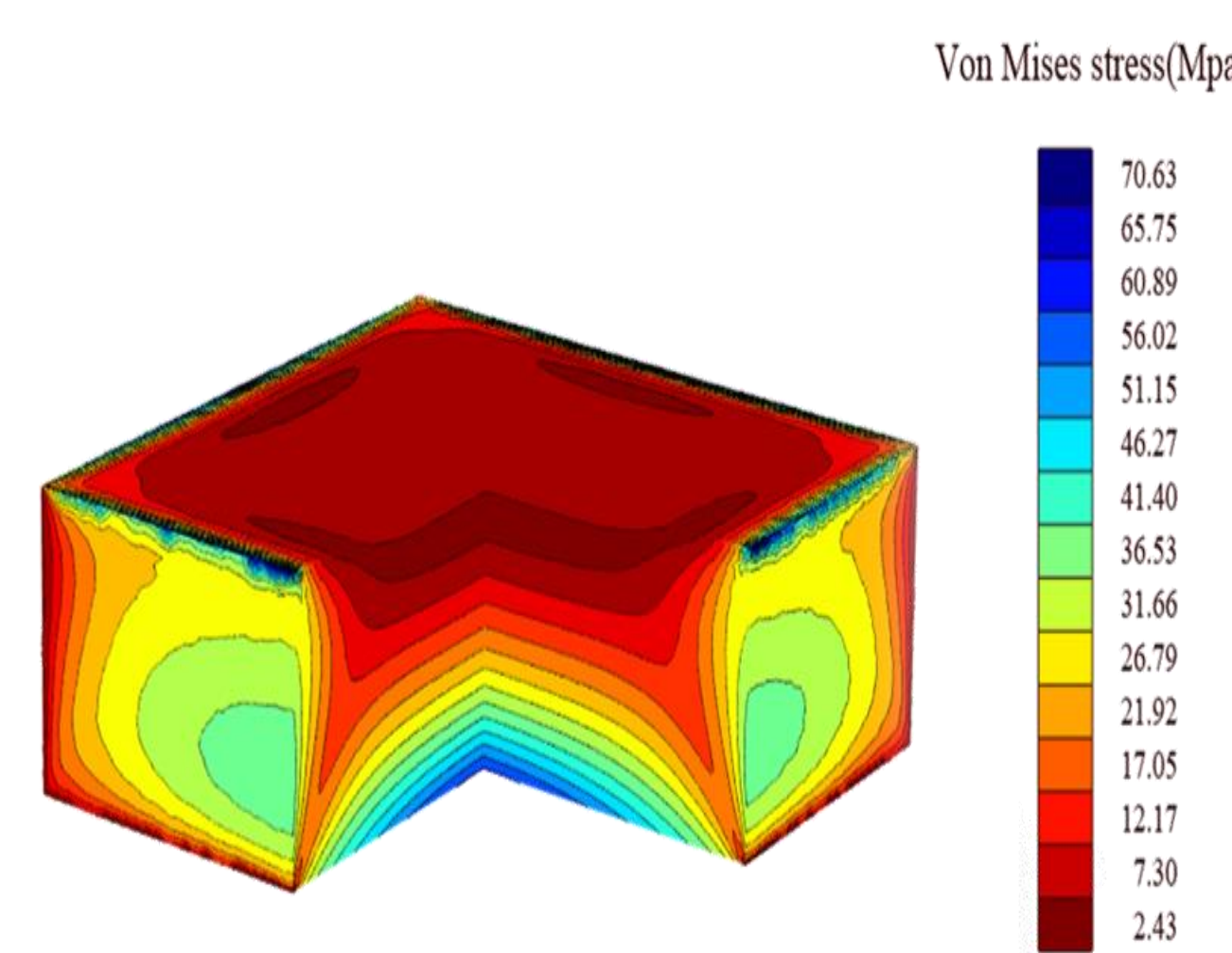


图 11. 原始工艺铸锭应力分布

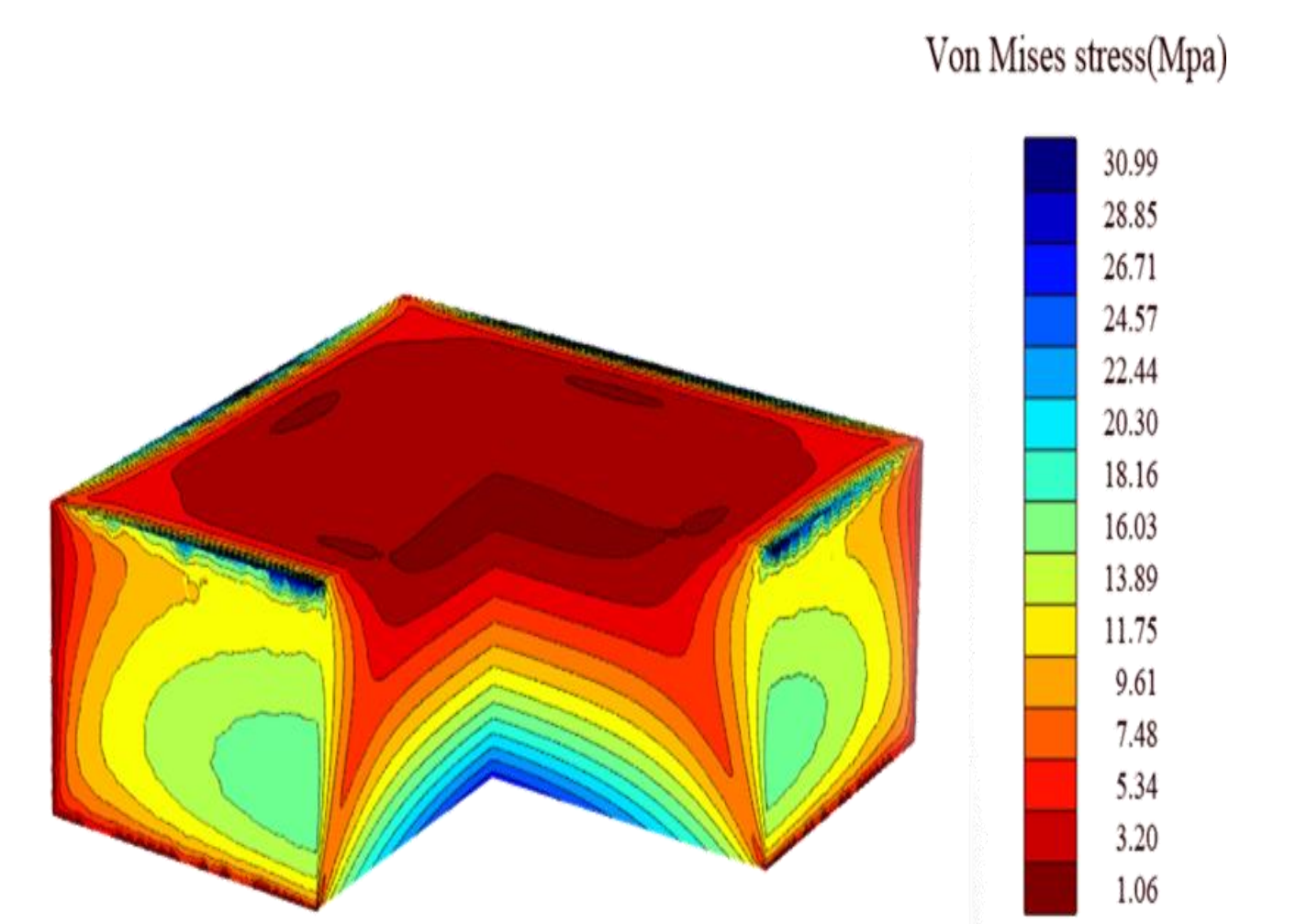


图 12. 改进工艺铸锭应力分布

结论:

(1) Marangoni效应使得硅锭中的热应力增大, 从而影响晶硅形貌和质量。

(2) 通过改进工艺条件能够保证固-液界面平稳的向前推进, 有利于减小铸锭内部热应力大小和强化杂质的扩散和偏析。

参考文献:

1. Lv G, Chen D, Yang X, et al. Numerical simulation and experimental verification of vacuum directional solidification process for multicrystalline silicon[J]. Vacuum, 2015, 116:96-103.
2. X. Yang, G. Lv, W. Ma, et al. The effect of radiative heat transfer characteristics on vacuum directional solidification process of multicrystalline silicon in the vertical Bridgman system, *Appl. Therm. Eng.* 93 (2016) 731-741.
3. Xie G, Lv G, Wang Y, et al. The influence of Marangoni effect on the growth quality of multicrystalline silicon during the vacuum directional solidification process[J]. *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2019, 91: 124-132.