

# 激光加热玻璃/金膜/水三相介质中的热扩散模拟

袁婷联, 王伟

1. 化学化工学院, 南京大学, 江苏, 南京

**简介:** 镀有薄层金膜（厚度50 nm）的玻璃片在汇聚激光加热条件下，将入射热通量作为金膜表面的局部热源，我们模拟了玻璃/金膜/水三相介质中微小区域内的温度变化，研究金膜表面上，温度随距离变化的热扩散规律。

**结果:** 首先，根据温度增量（ $\Delta T$ ）和扩散距离（ $x$ ）曲线，拟合随空间变化的热扩散方程（图3）。其次，调节材料的热学参数，对比参量对热扩散曲线的影响（图4）。

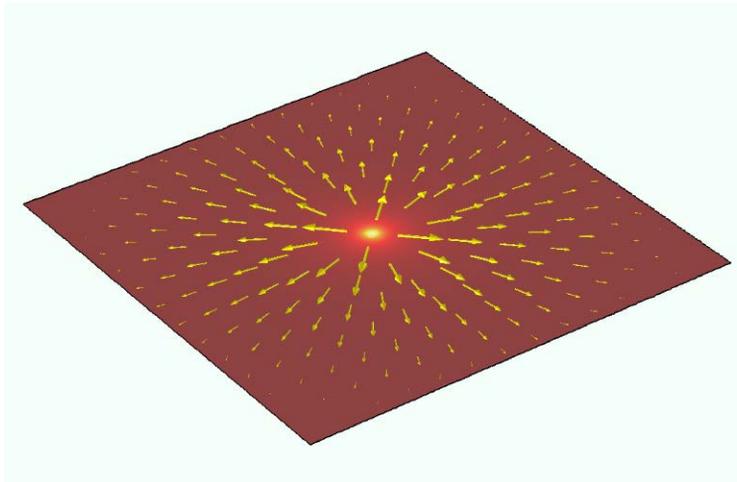


图 1. 金膜表面的热扩散示意图，箭头为温度梯度方向，由中心辐射向四周

**计算方法:** 通过固体传热模块来建立三相体系。为了避免过大的几何纵横比导致网格计算复杂化，采用“薄层”（thin layer）来定义金膜的几何厚度和热学参数，并通过边界热源（boundary heat source）来设置激光热光的热通量，在不考虑对流的情况下，根据传热方程，分别计算两侧介质中的热扩散行为。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla \cdot \mathbf{q} = Q + Q_{ted}$$

$$\mathbf{q} = -k \nabla T$$

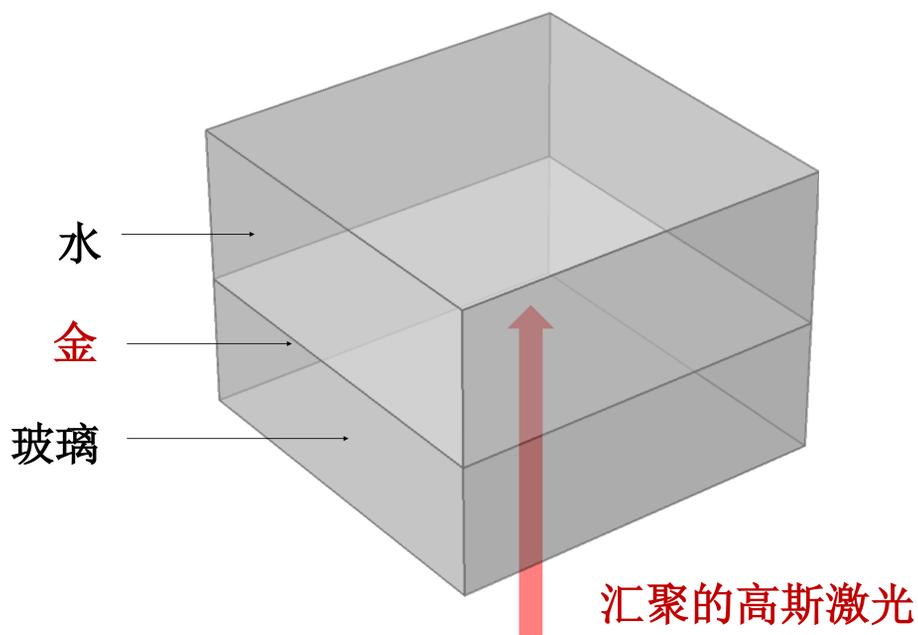


图 2. 玻璃/金/水三相体系的几何模型，一束汇聚激光从下至上入射到金膜背面。金吸收能量后转化为热，热耗散到周围介质中，构成金-金，金-玻璃，金-水三种传热过程

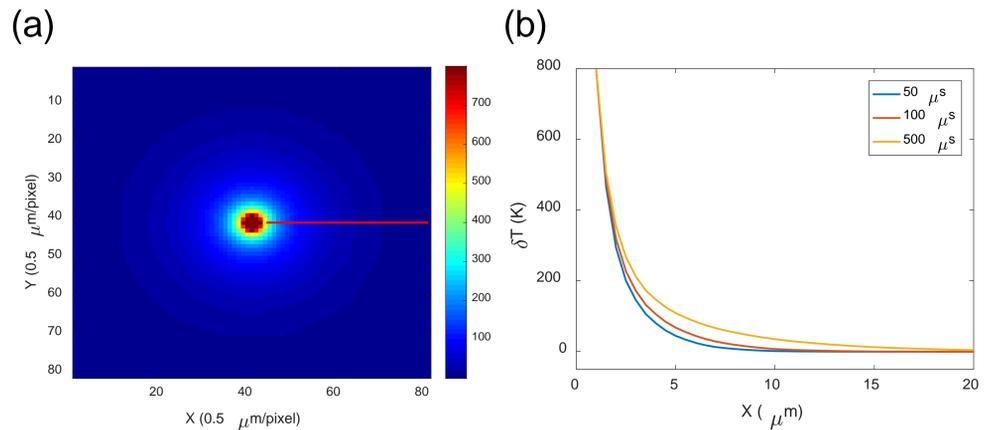


图 3 (a) 金膜/水界面上的温度分布图像，(b) 温度随着距离的变化曲线

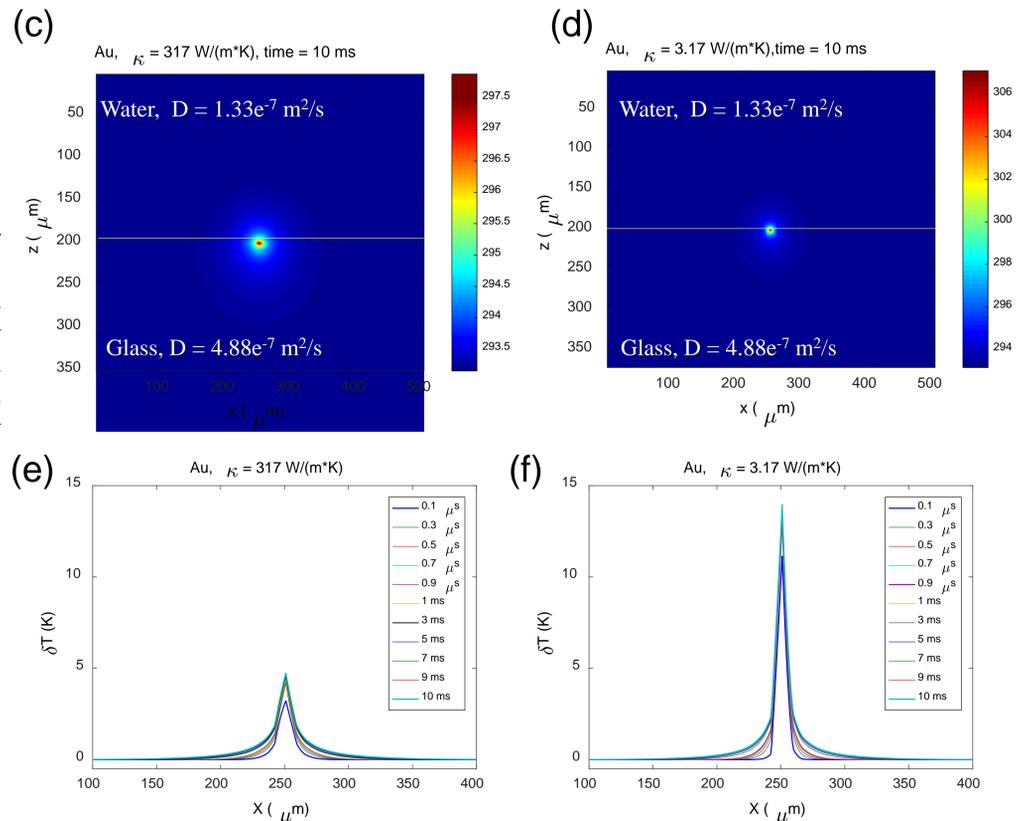


图 4 (c)(e) 调节金层的热导率不变（ $\kappa = 317 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ）和 (d)(f) 降低 100 倍  $\kappa = 3.17 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  时，玻璃/金/水三相体系的温度分布图像和沿 X 方向的热扩散曲线。

**结论:** 在本次模拟中，通过调节材料热学参数，计算得到不同条件下金膜表面的热扩散图像，结果为实验工作提供了理论指导。此外，研究发现，金膜表面的温度在加热后极短时间内（ $\sim 100 \mu\text{s}$ ）达到平衡，随着时间增长（ $\sim 100 \text{ ms}$ ）不再发生显著的温度变化。因此，在此模型的基础上，进一步研究三相体系热扩散行为随时间和距离的变化关系有助于提供传热动力学和热力学信息。

## 参考文献及资料:

1. COMSOL 5.2a, Laser Heating Wafer, Application ID: 13835
2. A. Govorov & H. Richardson, Generating Heat with Metal Nanoparticles, *Nanotoday*, 2, 30-38 (2007).