

# 透明导电薄膜电热性能的数值模拟研究

曾梓劲<sup>1</sup>, 王长宏<sup>1</sup>, 冯杰<sup>1</sup>

1.材料与能源学院, 广东工业大学, 广东, 广州

**简介:** 透明导电薄膜能被应用于柔性触摸屏、太阳能电池、透明加热器等现代设备中, 其电学、光学特性主要受到其内部金属线网络几何结构的影响。因此, 开发了一种电-热耦合模型, 探究薄膜在通电到达稳态时的电流及温度的分布情况, 分析薄膜性能与金属线网络几何结构的关系。最后, 根据仿真结果提出了优化方案。

**结果:** 透明导电薄膜通电到达稳态时, 金属线网络内部电流分配不均匀, 局部电流密度可达到平均电流密度的15.5倍以上; 基底温度平均分布, 内部温度差小于2.0K; 金属线温度分布不均, 内部温度差接近19.6K。

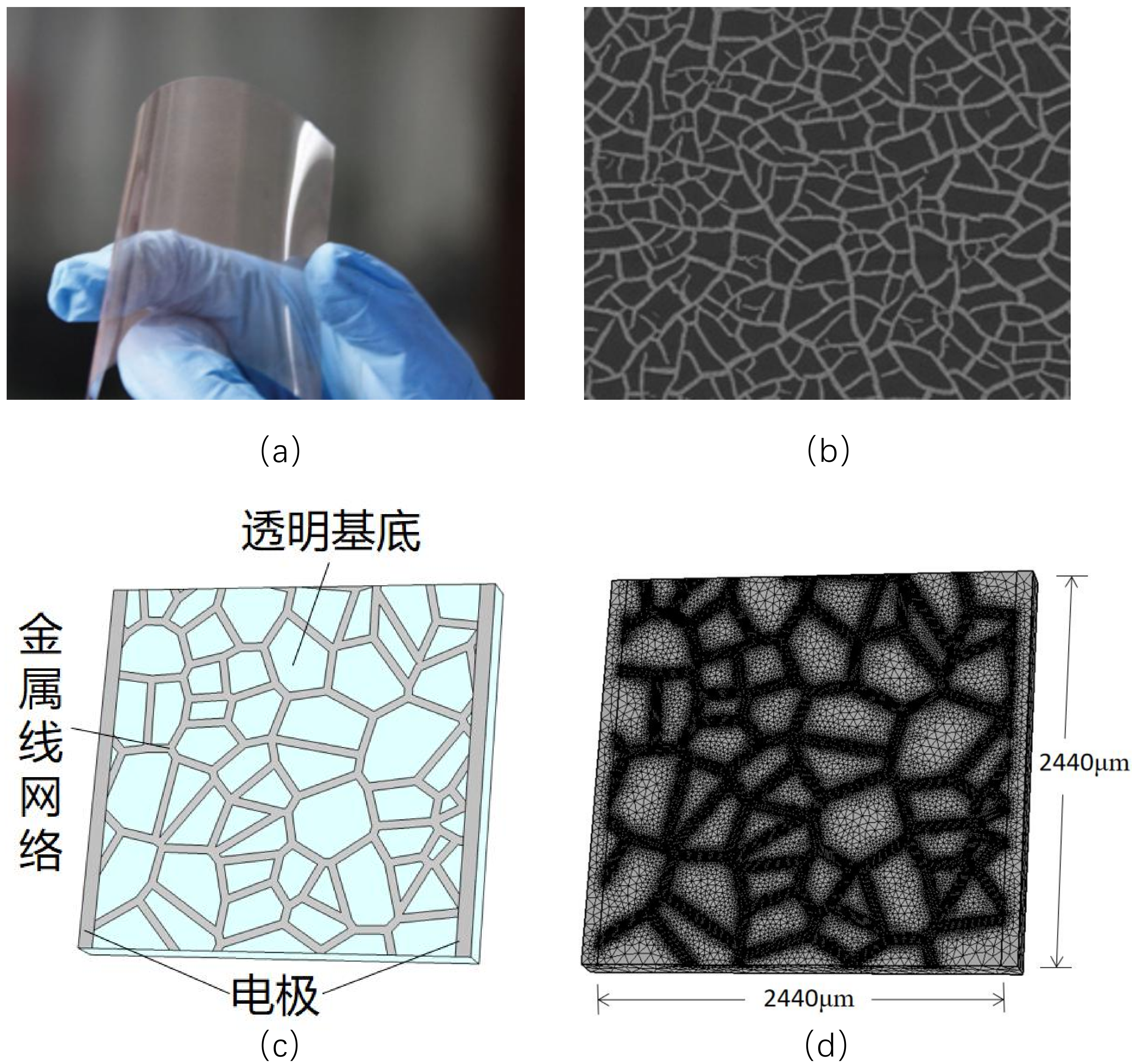


图 1. 透明导电薄膜 (a) 实物图 (b) 微观结构 (c) 构建的模型 (d) 划分的网格

**计算方法:** 模型采用了"AC/DC模块"中的"电流、多层壳"接口模拟金属线网络产生的热量; 使用"固体传热"接口中的"薄层"特征模拟结构中的传热过程; 使用"固体传热"接口中的"对流热通量"特征模拟结构外部的对流换热。

其中:

-电位方程:

$$-\Delta(\sigma\Delta V) = 0$$

-热传导方程:

$$Q + \Delta(k\Delta T) = 0$$

-通电时金属线网络产生的焦耳热:

$$Q = JE = \sigma|\Delta V|^2$$

-对流换热量:

$$Q_h = h(T - T_0)$$

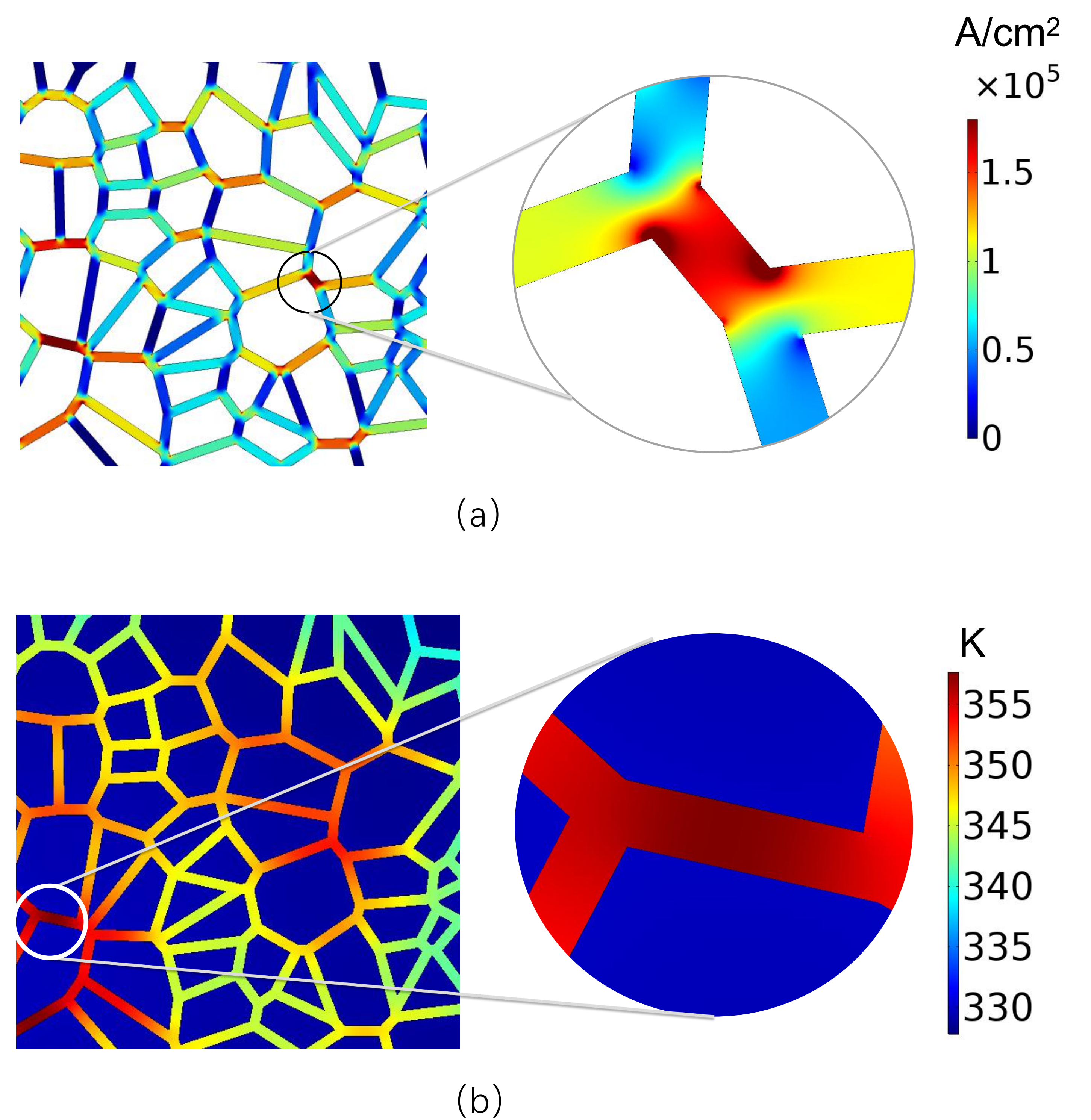


图 2. 仿真的结果 (a) 电流密度分布图 (b) 表面温度分布图

两种优化方案:

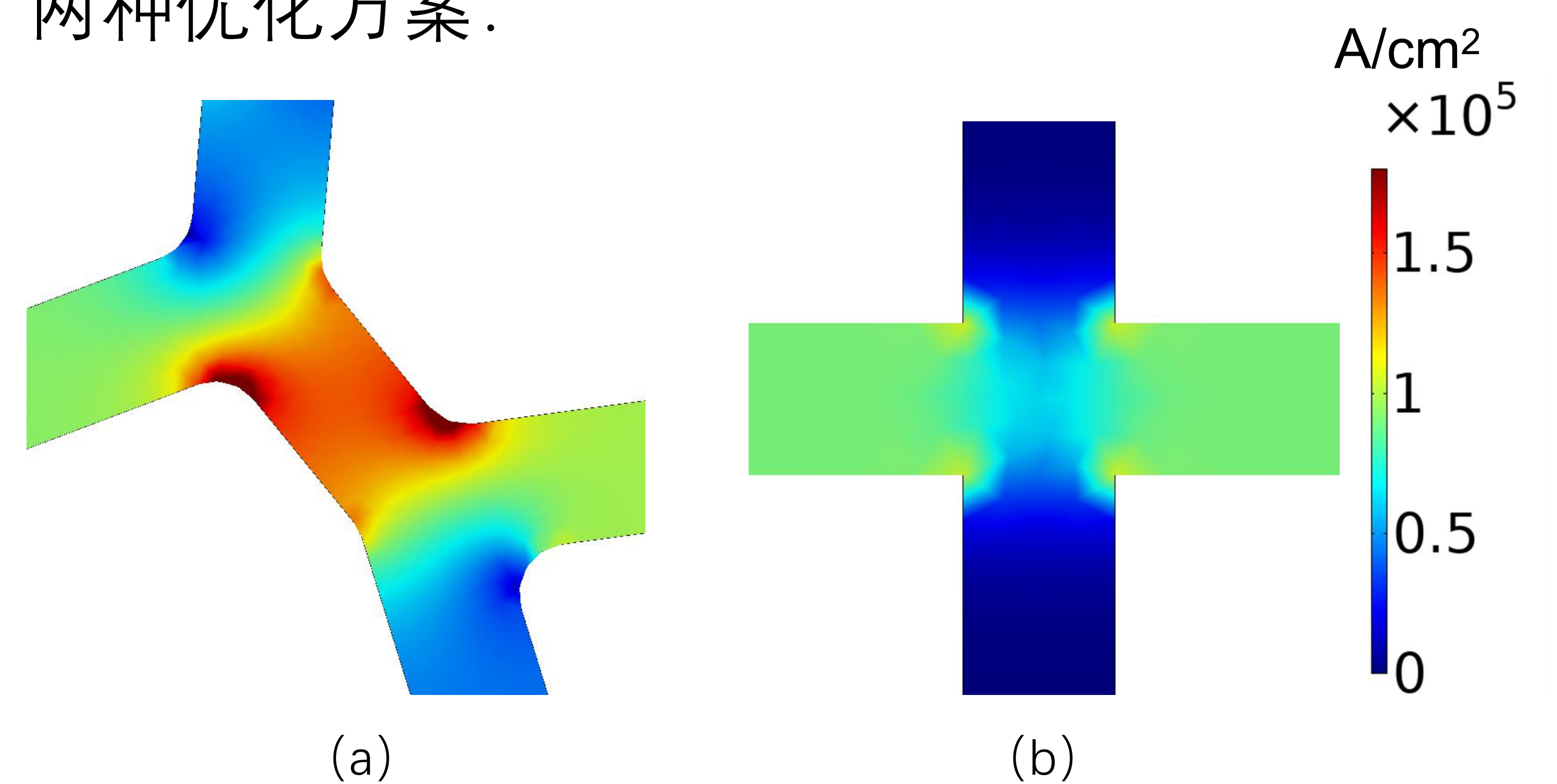


图 3. 优化方案 (a) 采用圆角 (b) 采用垂直结构

**结论:** 仿真结果与实验结果<sup>[1]</sup>高度吻合, 能合理地解释透明导电薄膜在实际使用中的出现的问题。另外, 提供了两种金属线网络的优化方案, 可帮助研究者设计性能更优的透明导电薄膜。本仿真的结果和分析可适用于其他可忽略结电阻的金属线网络中。

**参考文献:**

- Gupta, R. et al, Microscopic evaluation of electrical and thermal conduction in random metal wire networks, ACS Applied Materials & Interfaces, 9(15), 13703-13712 (2017).
- Mondal, I. et al, Parallel cracks from a desiccating colloidal layer under gravity flow and their use in fabricating metal micro-patterns, Journal of Physics and Chemistry of Solids, 118, 232-237 (2018)
- Wang, Jie. et al, Halbach array assisted assembly of orderly aligned nickel nanowire networks as transparent conductive films, Nanotechnology, 30(35) (2019)