

基于 COMSOL 软件的硅通孔的多物理场分析

刘永磊¹, 宋立伟²

1. 机电工程学院, 西安电子科技大学, 陕西省, 西安

2. 机电工程学院, 西安电子科技大学, 陕西省, 西安

简介: 硅通孔在实现高级集成系统中起着至关重要的作用, 但是其发展受到多物理场耦合效应的极大阻碍。硅通孔的多物理场耦合过程非常复杂, 热场分布、电磁场分布及结构分布是相关联、相互作用的。针对硅通孔的多物理场耦合问题, 本文开展了硅通孔多物理场仿真分析研究。

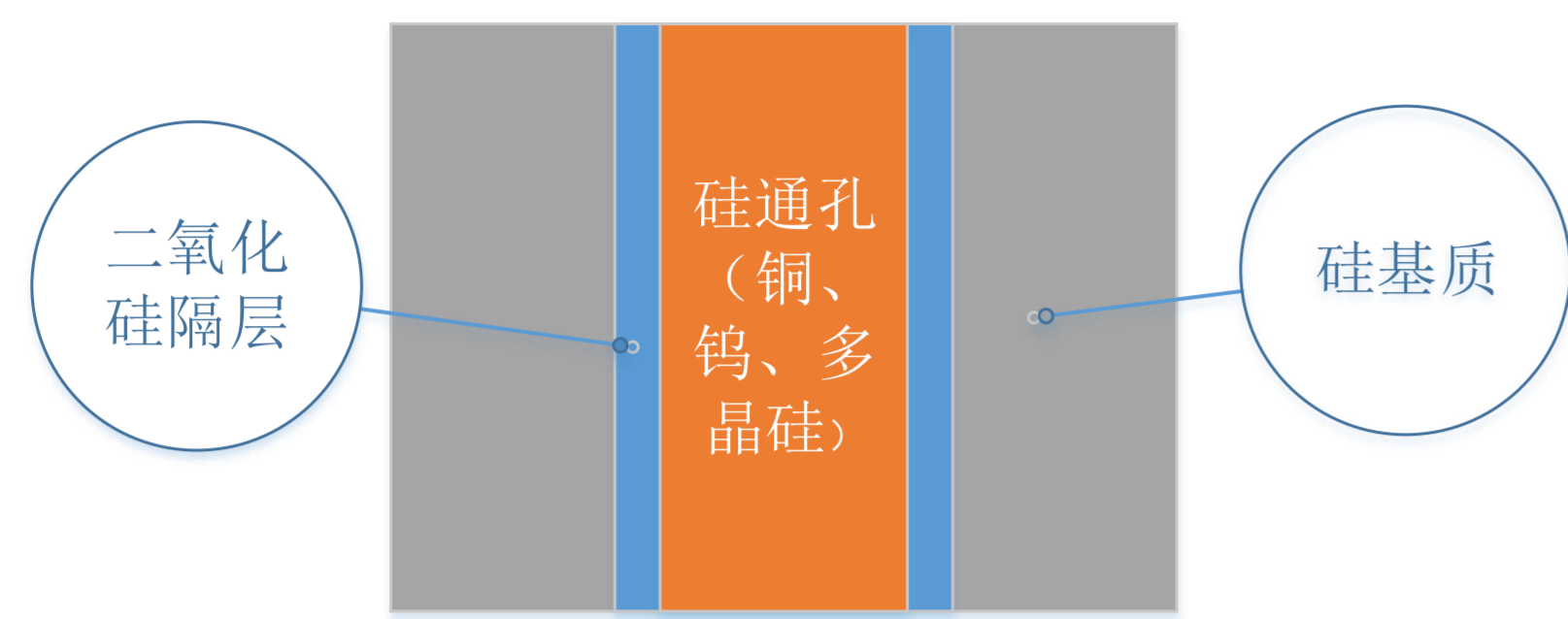


图1 硅通孔二维结构图

计算方法: 在硅通孔的仿真中, 用到的仿真模块有AC/DC模块、热传导模块和结构力学模块。具体使用的接口为电流接口、固体传热接口和固体力学接口。耦合形式为电磁热源耦合、边界电磁热源、热膨胀耦合和温度耦合。

电磁热源耦合方程:

$$\begin{cases} \rho C_p \mu \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_e \\ Q_e = J \cdot E \end{cases} \quad (\text{稳态})$$

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} + \rho C_p \mu \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_e \quad (\text{瞬态})$$

边界电磁热源耦合方程:

$$-n \cdot (-k \nabla T) = Q_b$$

热膨胀耦合方程:

$$\begin{cases} \epsilon_{th} = \alpha(T - T_{ref}) \\ J_{th} = (1 + \alpha(T - T_{ref}))^3 \end{cases}$$

温度耦合为固体传热与固体力学耦合, 固体传热与电流耦合。

仿真时硅通孔的建模及边界条件:

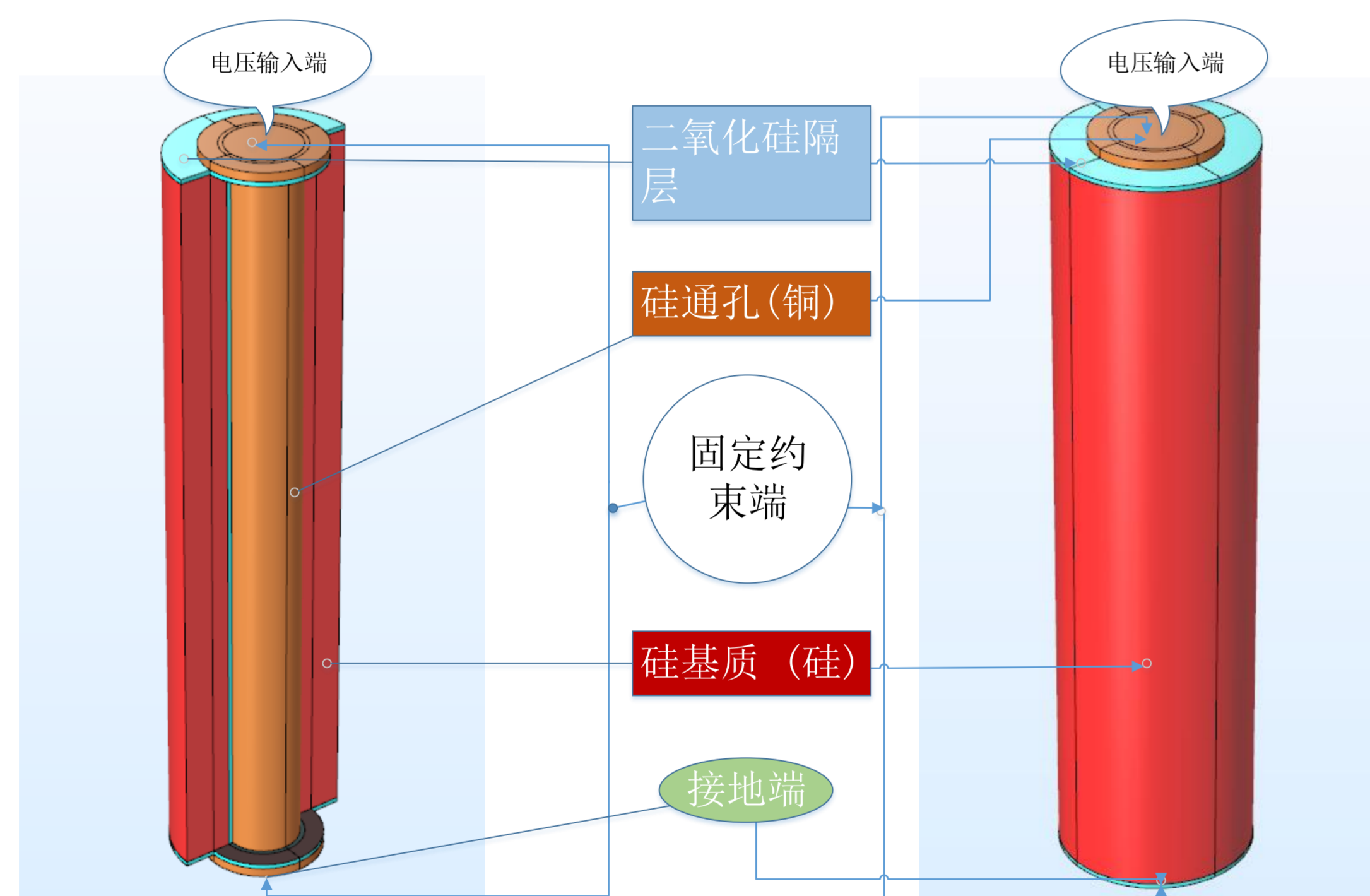


图2 硅通孔三维模型结构剖面图和整体图

仿真结果:

稳态:

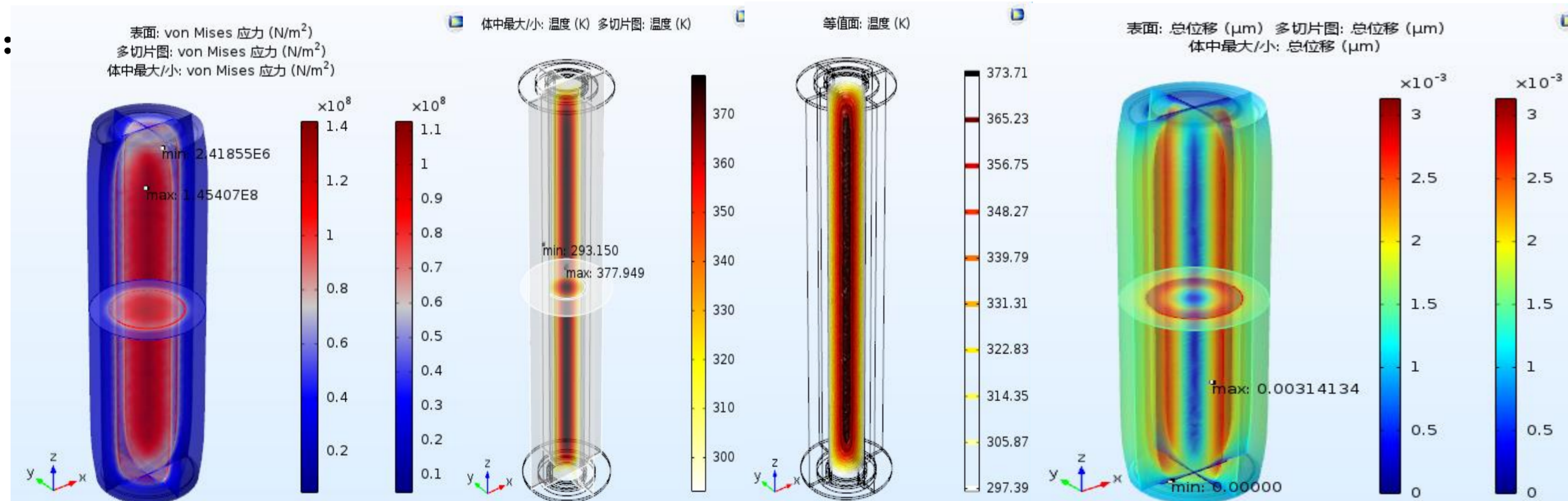


图3 (1)等效应力仿真图

(2)温度仿真图

(3)热膨胀位移量仿真图

在稳态下, 研究了硅通孔参数尺寸的变化与温度的关系, 涉及到的参数与尺寸有硅通孔顶部所加电压大小、二氧化硅隔层厚度、硅基质厚度和硅通孔高度。通过改变这些参数尺寸, 研究了其与等效应力、温度和热膨胀形变之间的影响关系, 进而确定出硅通孔的结构尺寸参数, 即二氧化硅隔层厚度取0.8um, 硅基质厚度取5.5um, 硅通孔高度取83.6um。

瞬态:

研究了随时间的变化, 输入的电压周期函数的不同的幅值大小和不同占空比与硅通孔温度的影响关系。

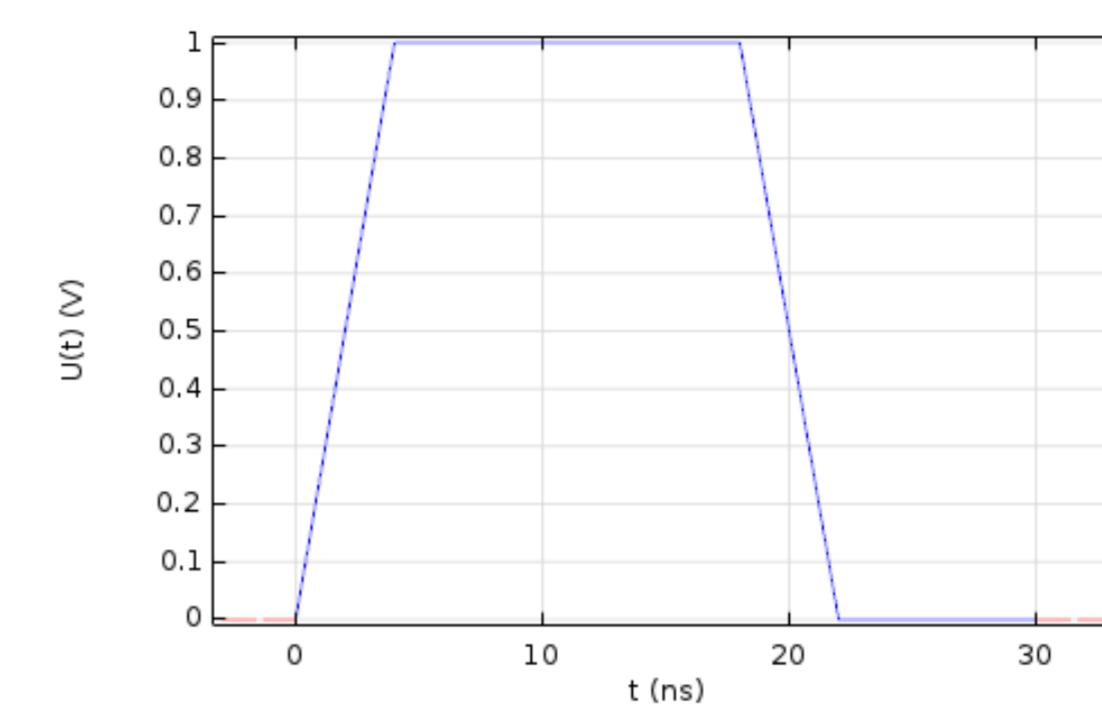


图4 电压周期函数 $U_r(t)$

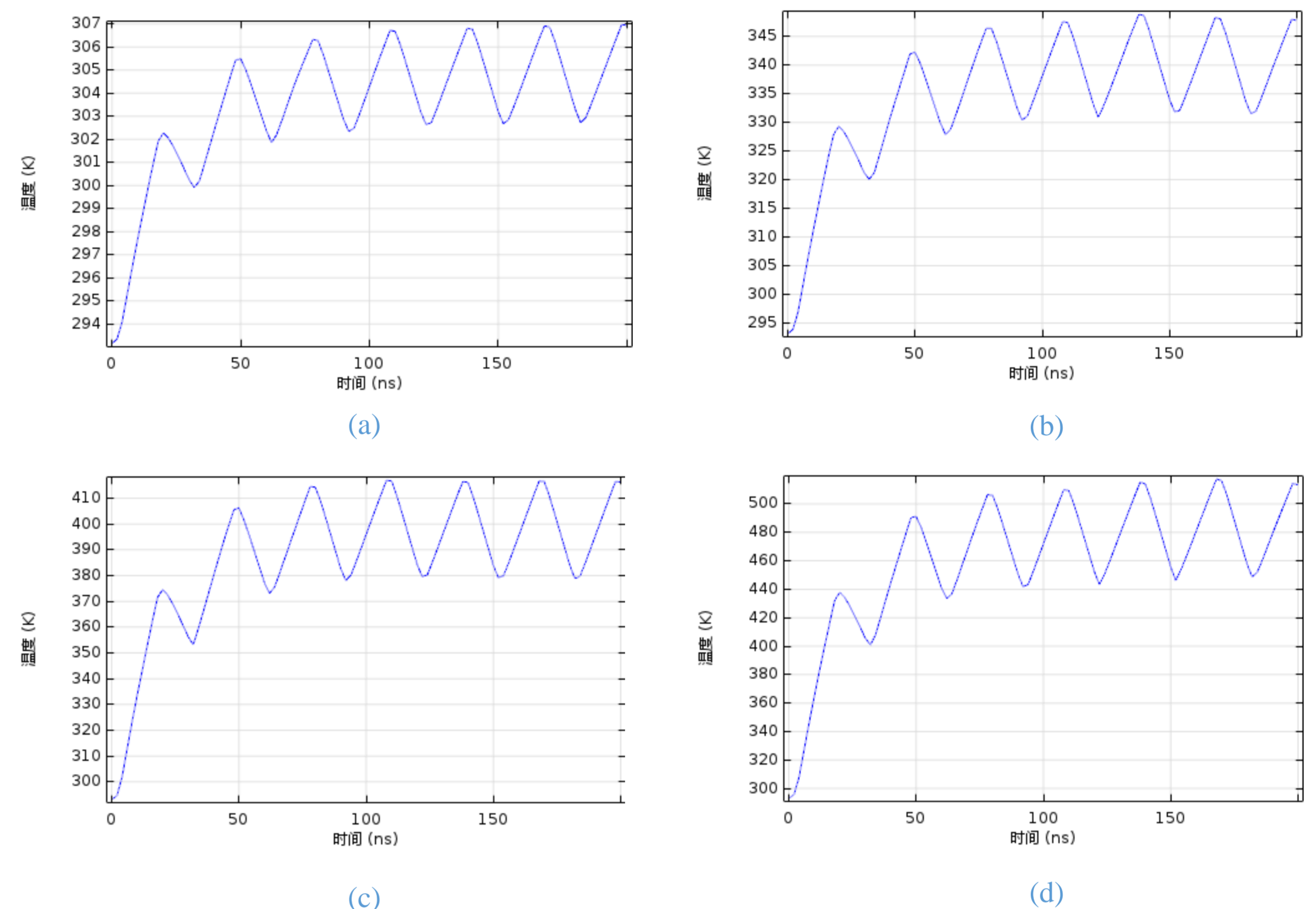


图5 温度点图: (a) 0.5V幅值 (b) 1V幅值 (c) 1.5V幅值 (d) 2V幅值

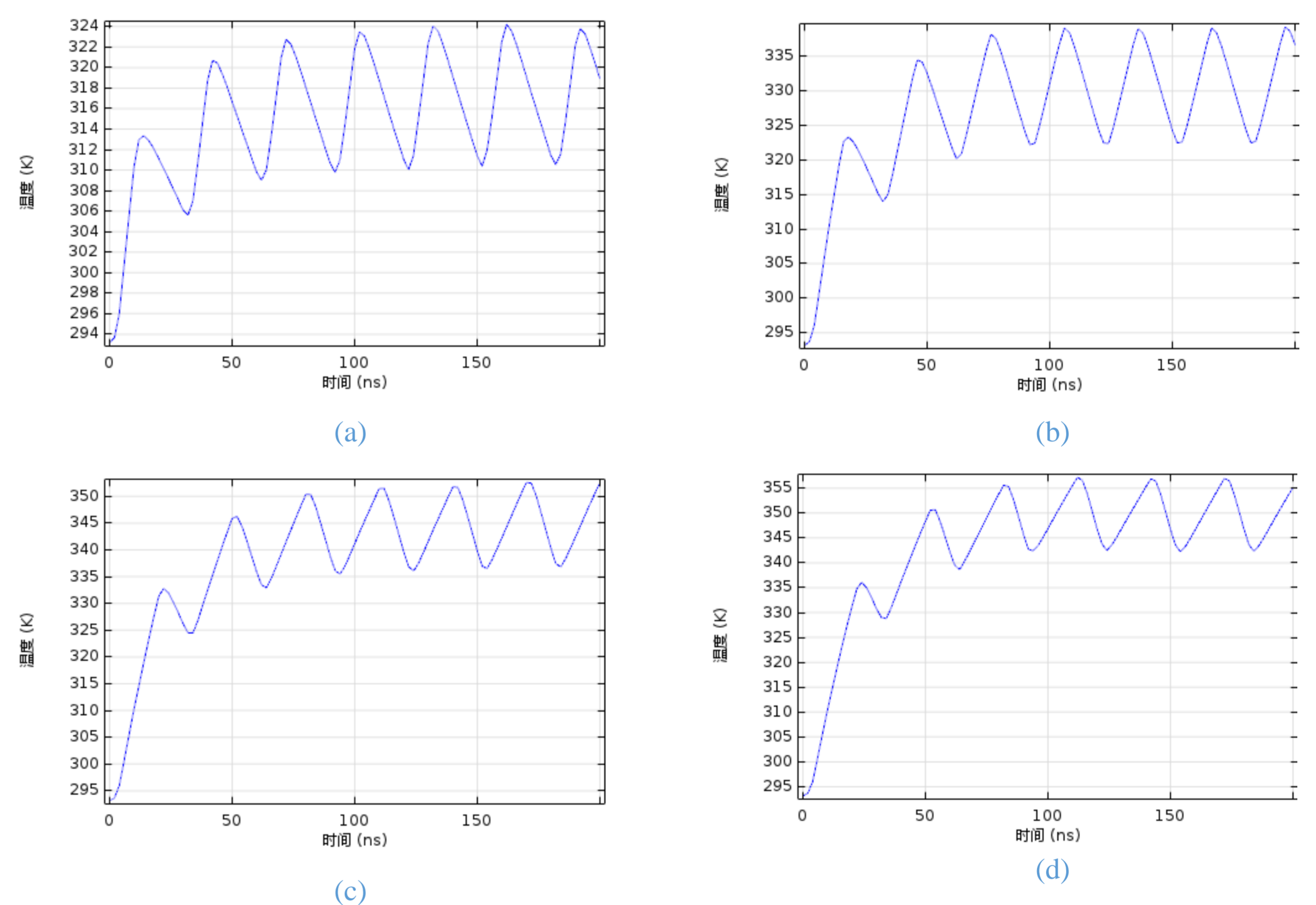


图6 温度点图: (a) 1/2占空比 (b) 2/3占空比 (c) 5/6占空比 (d) 9/10占空比

结论:

1) 在稳态下, 硅通孔对于电压大小和自身高度的变化比较敏感, 过高的电压或者过低的高度都会导致硅通孔的温度、等效应力和热膨胀形变急剧增大, 对于硅通孔的性能将产生巨大影响; 二氧化硅隔层厚度的变化对温度、等效应力和热膨胀形变会有一定影响, 但不是很大; 硅基质厚度对于硅通孔的温度没有影响, 对于等效应力和热膨胀形变影响不大。最终在稳态下确定硅通孔的结构参数为二氧化硅隔层厚度取0.8um, 硅基质厚度取5.5um, 硅通孔高度取83.6um。

2) 在瞬态下, 采用在稳态下确定的结构参数, 分别研究了所输入的电压周期函数的幅值大小和占空比与温度的影响关系。随着幅值的增大, 最终稳定后, 温度的波动范围和所能达到的最高温度都将增大, 且都比较大; 随着占空比不断增大, 最终稳定后, 温度的波动范围和所能达到的最高温度将有所增大, 但相对较小。

参考文献:

1. 袁琰红, 高立明, 吴昊等. 硅通孔尺寸与材料对热应力的影响[J]. 半导体光电, (02): 255-258 (2013)
2. 董刚, 武文珊, 杨银堂. 三维集成电路堆叠硅通孔动态功耗优化[J]. 物理学报, (02): 353-359 (2015)
3. 袁琰红. 硅通孔三维封装的热力学分析[D]. 上海交通大学, (2013)