

# 超导转变边沿探测器的电热仿真

吕越<sup>1</sup>, 高波<sup>2</sup>

1. 超导电子学卓越创新中心, 上海微系统与信息技术研究所, 上海市
2. 超导电子学卓越创新中心, 上海微系统与信息技术研究所, 上海市

**简介:**超导转变边沿探测器 (TES) 是一种电压偏置的电热器件, 稳态时超导薄膜产生的焦耳热与通过热连接传递到热沉的热量相等。本文利用有限元仿真软件 COMSOL Multiphysics® 对处于热平衡的 TES 进行了电流-热传导仿真。得到稳态时 TES 器件的温度分布, 并计算得到 TES 器件的关键参数热导 G, 同时得到了器件处于稳态时薄膜温度与偏置电压 (V-T) 的关系, 这对于器件设计有着极大的帮助。

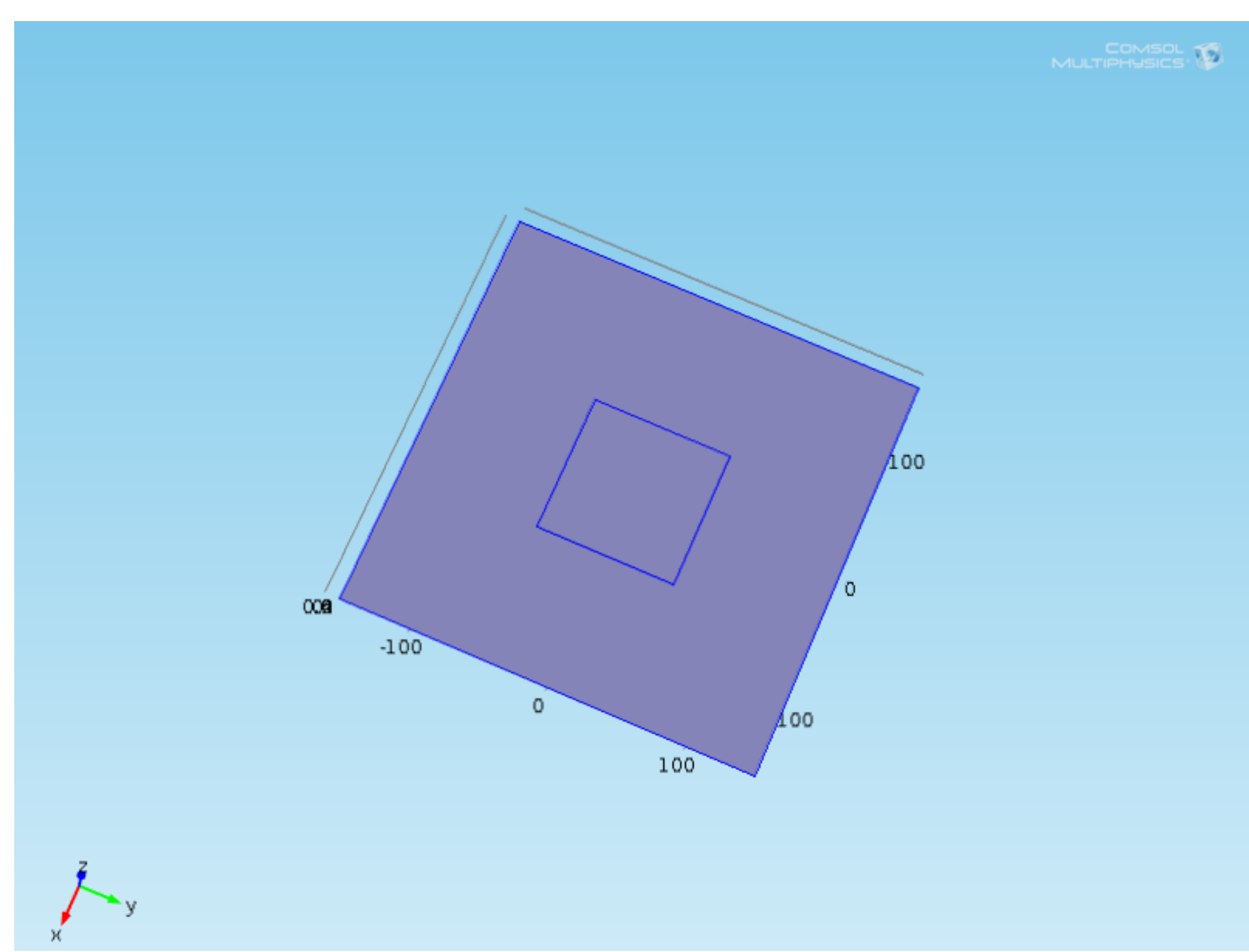


图 1. TES 器件示意图

**计算方法:** 描述仿真中主要包括两个模块, 电流守恒和热传导模块, 电流守恒及热传导方程如下。器件材料极低温属性如表 1。

$$\nabla \cdot \mathbf{J} = Q_j$$

$$\mathbf{J} = \sigma \mathbf{E} + \mathbf{J}_e$$

$$\mathbf{E} = -\nabla V$$

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q_j$$

AlMn 薄膜通过电压偏置产生焦耳热, 同时, 热量通过 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 导走到热沉, 实现热稳态, 使 AlMn 薄膜温度稳定在超导转变边内。

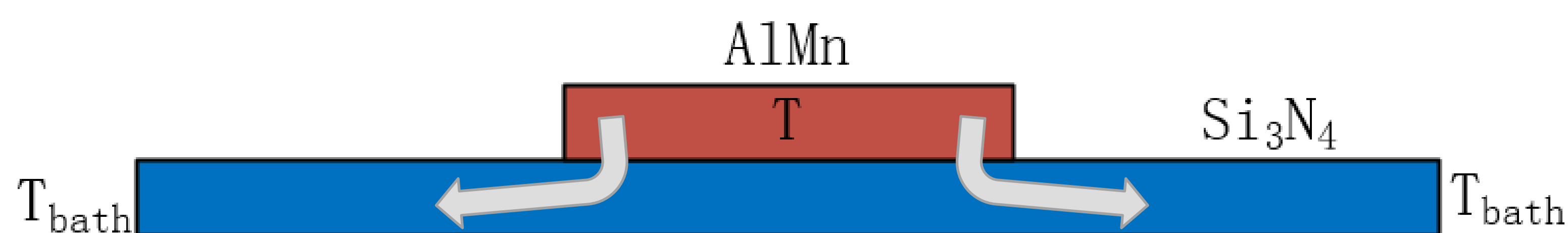


图 2. 器件热传导示意图

**结果:** 器件的温度分布图如图 3, 根据热导公式  $1/G = kl/s$  可以计算得到器件中 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 的热导 G, 最后由  $\frac{V^2}{R} = G(T - T_{\text{bath}})$  达到器件偏置电压 V<sub>bias</sub> 与器件温度 T 的关系如图 4 所示。

变量	数值	单位
AlMn 常压热容	0.5*T	J/(kg*K)
AlMn 导热系数	15*T	W/(m*K)
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 常压热容	25*T <sup>2</sup>	J/(kg*K)
Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 热导系数	0.015*T <sup>2</sup>	W/(m*K)

表 1. 器件极低温属性

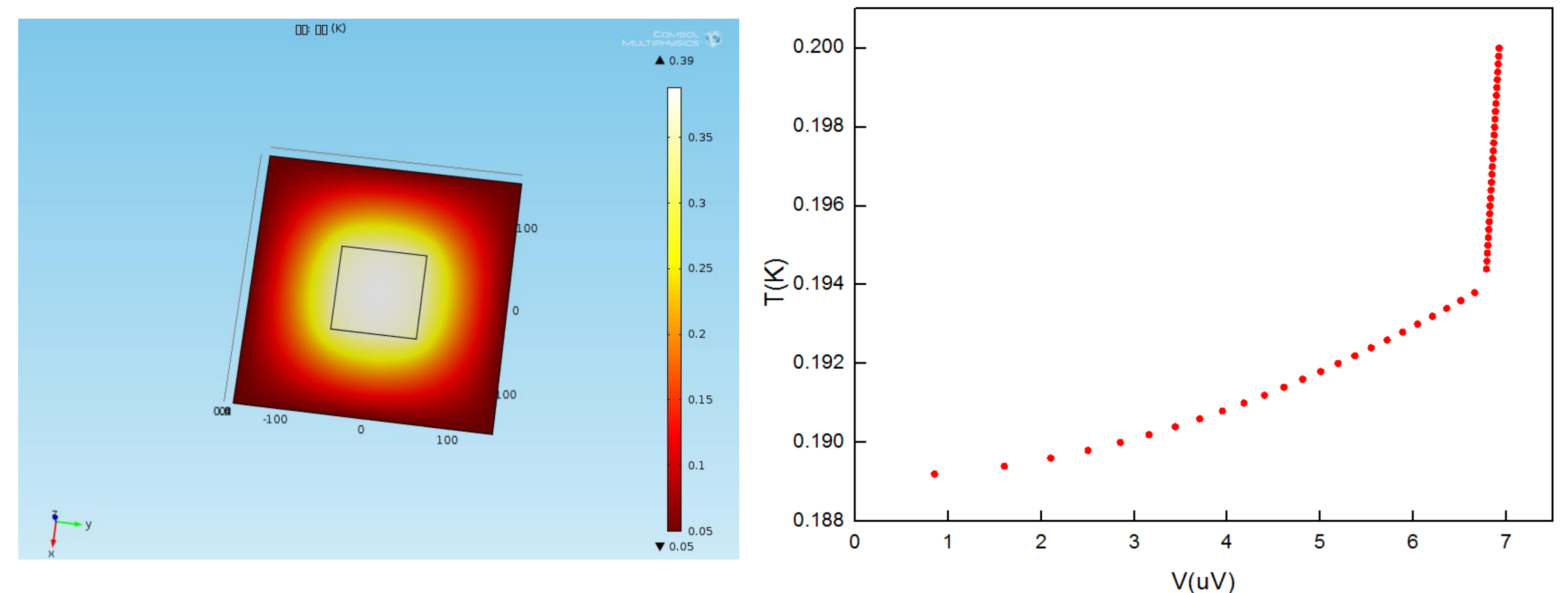


图 3. 器件温度分布图 图 4. 稳态温度与偏置电压的关系

**结论:** 利用商业有限元仿真软件 COMSOL Multiphysics® 可实现低温探测器的快速准确求解, 解决了包括 TES 器件热容及热导计算、偏置电压与温度的关系 (V-T)、薄膜内部温度分布等问题; 探测器薄膜的温度和热导率分布均可通过 COMSOL 直观地展现。

**参考文献:**

1. K. D. Irwin and G. C. Hilton, Transition-Edge Sensors
2. 王天顺, 超导转变边缘传感器的建模仿真及实验表征