

# 熱伝導方程式

波多腰玄一

## 1 はじめに

半導体デバイスの動作は、第32章および第33章で述べたポアソン方程式と電流連続方程式により、ほぼ記述できる。半導体光デバイスでもう一つ重要なのは温度特性である。今回は熱伝導方程式について述べる。

## 2 热伝導率と電気伝導率

材料の電気的性質を表す基本的な物性量の一つは電気伝導率である。同様に熱的性質を表す基本的な物性量の一つに熱伝導率がある。

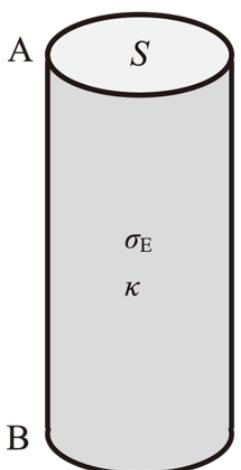


図1 電気伝導と熱伝導

図1に示すような断面積 $S$ 、長さ $d$ の構造の電気伝導率を $\sigma_E$  [ $\Omega^{-1}m^{-1}$ ]、熱伝導率を $\kappa$  [ $Wm^{-1}K^{-1}$ ] とすると、AB間の電気抵抗 $R_E$ および熱抵抗 $R_{th}$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$R_E = \frac{1}{\sigma_E} \frac{d}{S} \quad [\Omega=V/A] \quad (1)$$

$$R_{th} = \frac{1}{\kappa} \frac{d}{S} \quad [K/W] \quad (2)$$

式(1)の単位からわかるように、電気抵抗は電流 $I$ が流れたときにAB間に生ずる電位差 $V$ に対する比 $V/I$ である（付録1：オームの法則参照）。同様に式(2)の単位から、熱抵抗は熱流 $Q$  (= 热流束×断面積) が流れているとき、AB間に生ずる温度差 $\Delta T$ に対する比 $\Delta T/Q$ である。

第3章のコラムで紹介したように、電気伝導率(導電率)と熱伝導率の相関については、有名なヴィーデマン-フランツ-ローレンツの法則<sup>1,2)</sup>がある。これは温度が一定ならば、熱伝導率 $\kappa$ と電気伝導率 $\sigma_E$ との比 $\kappa/\sigma_E$ は一定であるというもので、ヴィーデマン (Gustav H. Wiedemann) とフランツ (Rudolph Franz) が発見した。さらにローレンツ (Ludwig V. Lorenz) が、この比の値が絶対温度 $T$ に比例することを発見した。この法則はもともと経験則であったが、ドゥルーデ (Paul K. L. Drude) の理論により、その理論的根拠が与えられた。熱伝導が伝導電子によるという仮定の下に、以下の式が導かれる（付録2参照）。

$$\frac{\kappa}{T\sigma_E} = L \quad (3)$$