

第8章 固体の熱的性質

8.1 固体の比熱

8.1.1 格子比熱

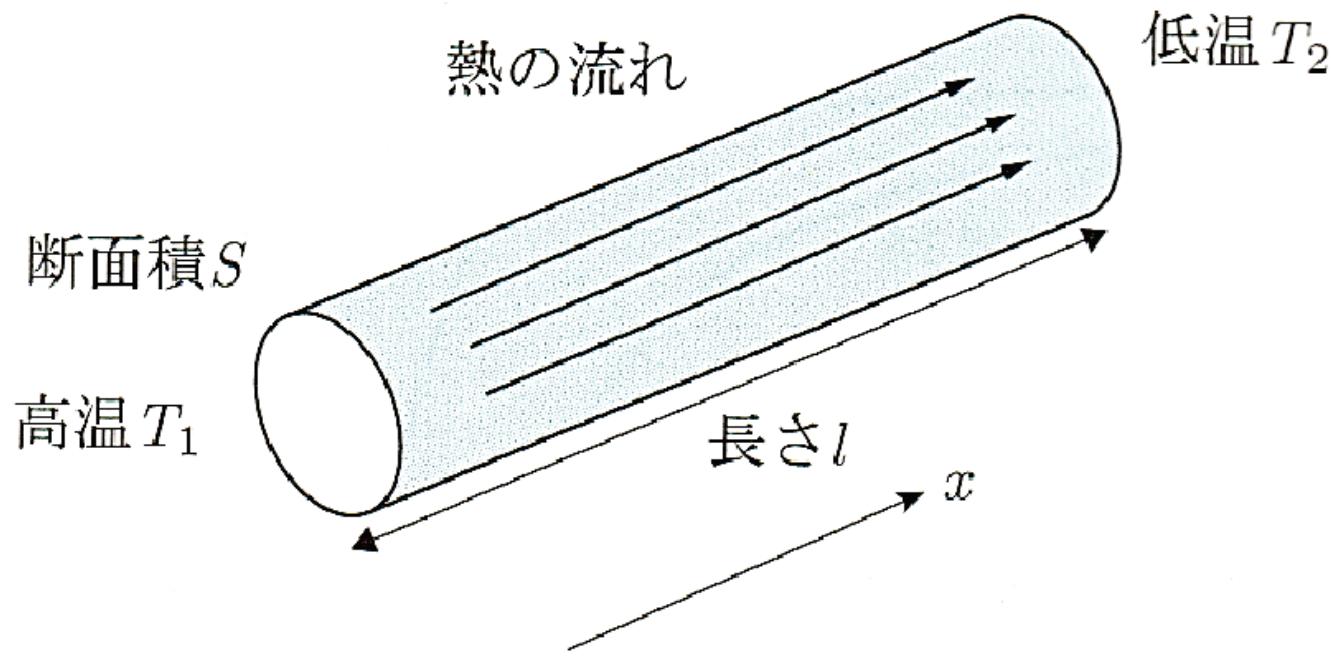
8.1.2 アインシュタインモデル

8.1.3 デバイモデル

8.2 固体の熱伝導

8.2.1 热伝導率

熱伝導率①



単位時間あたりの熱の流れ Q :

$$Q = \lambda \frac{T_1 - T_2}{l} S$$

λ : 热伝導率 [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$]

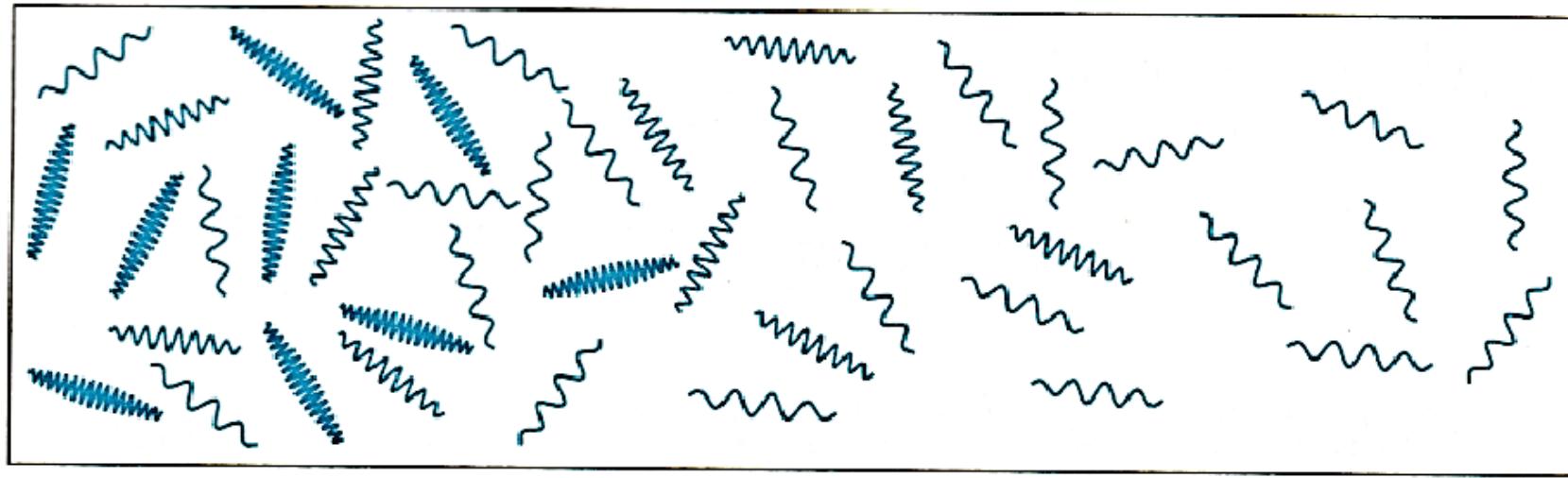
単位時間・単位面積あたりの熱の流れ J :

$$J = \frac{Q}{S} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{l} \quad \xrightarrow{\text{緑色の矢印}} \quad J = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

$l \rightarrow 0$ の極限

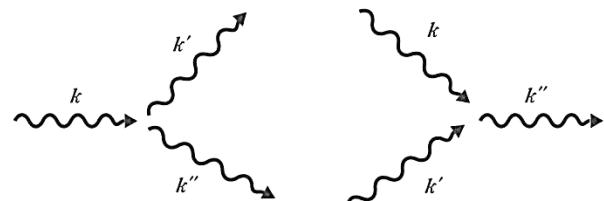
熱伝導率②

大 ← フォノン密度 → 小



フォノンの低温側への移動 → 热エネルギーの移動 ($\hbar\omega = k_B T$) → 热伝導

フォノン同士の散乱、試料境界や不均一性
(格子欠陥、同位元素、不純物等)
→ フォノンの散乱・生成・消滅

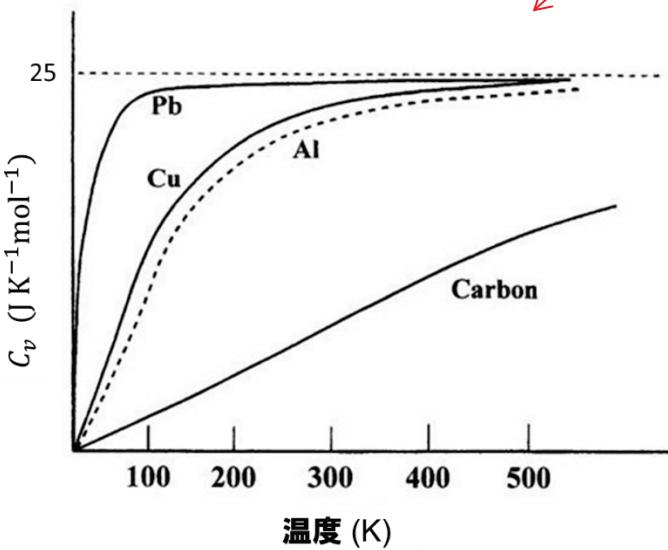


熱伝導率③

熱伝導率 :

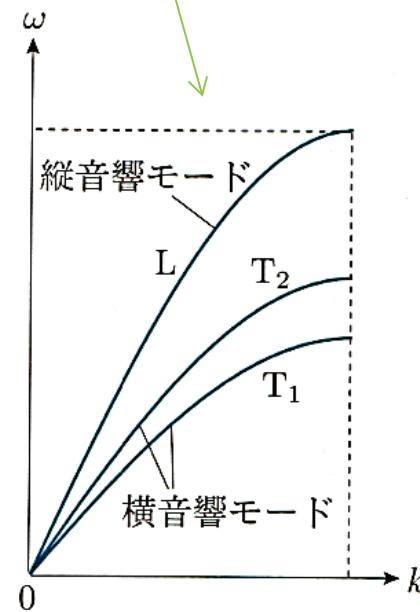
$$\lambda = \frac{1}{3} \bar{C} \langle v \rangle \Lambda$$

(気体分子運動論から)



低温では $C \propto T^3$

高温ではあまり温度変化しない



v はあまり温度変化しない

\bar{C} : 単位体積あたりの格子比熱

v : フォノンの平均速度

Λ : フォノンの平均自由行程

フォノン同士の衝突が
温度依存性に寄与

高温ではフォノンの数が増
加し平均自由行程が減少

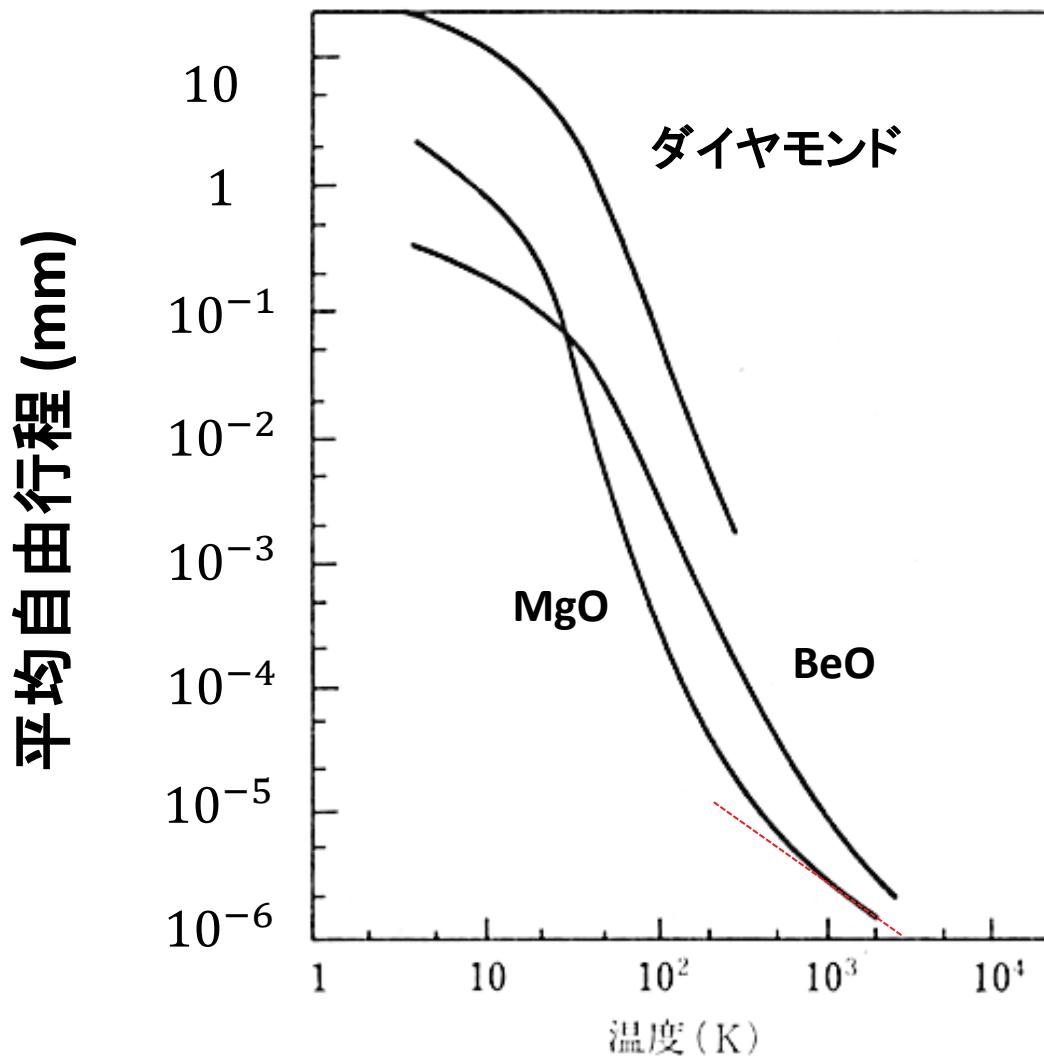
$$\langle n \rangle = \frac{1}{\exp(\hbar\omega/k_B T) - 1}$$

$$\langle n \rangle \sim \frac{k_B T}{\hbar\omega}$$

高温では $\Lambda \propto \frac{1}{T}$

熱伝導率④

平均自由行程の温度依存性

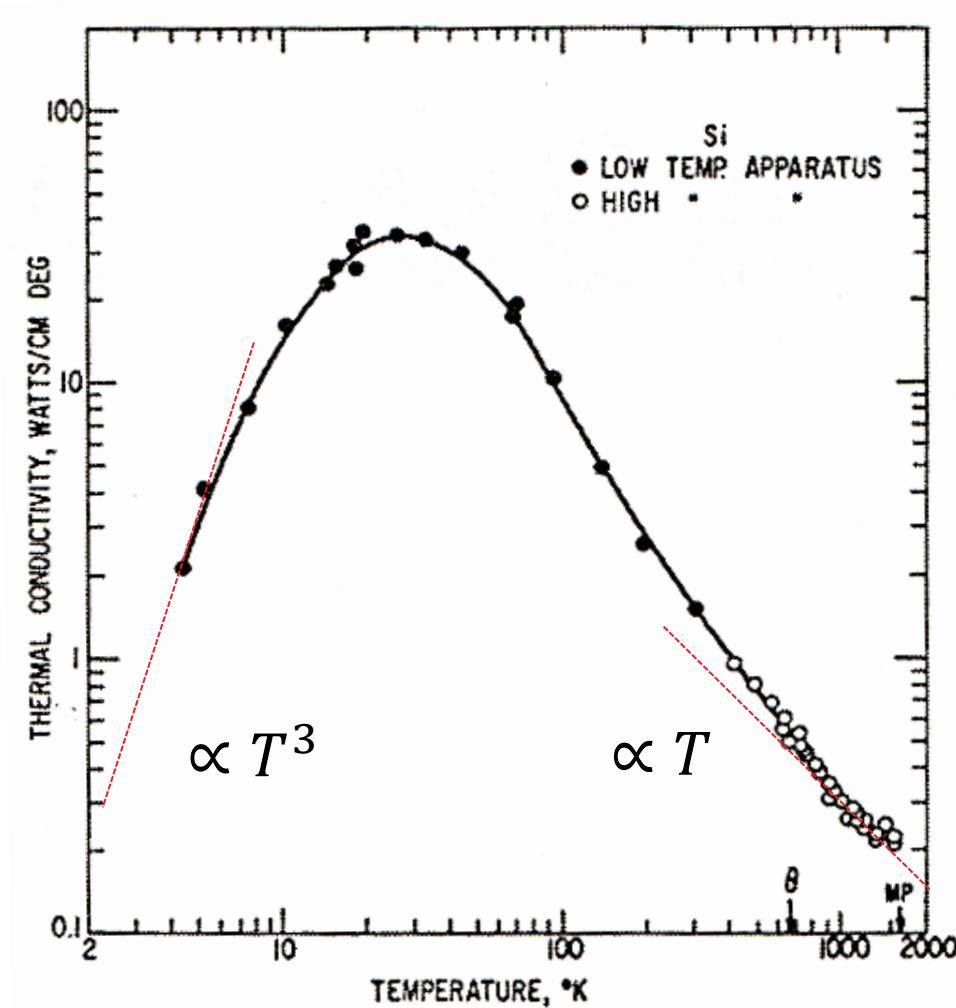


低温 : $\Lambda \sim const$
(試料サイズ程度)

高温 : $\Lambda \propto \frac{1}{T}$

熱伝導率⑤

Si の熱伝導率の温度依存性



$$\lambda = \frac{1}{3} \bar{C} \langle v \rangle \Lambda$$

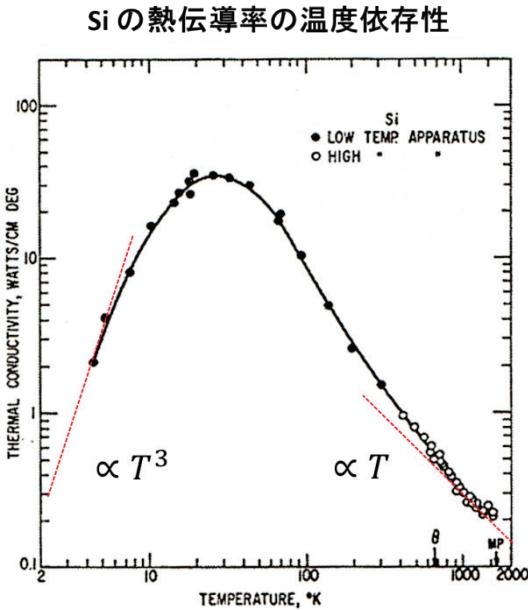
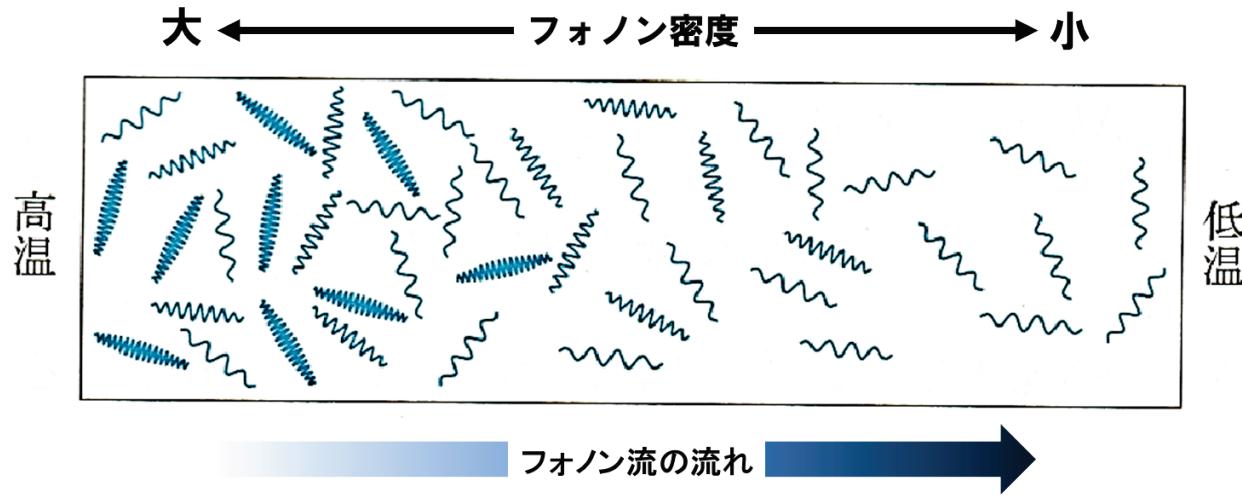
低温では C が支配的

$$\lambda \propto C \propto T^3$$

高温では Λ が支配的

$$\lambda \propto \Lambda \propto T^{-1}$$

まとめ



熱伝導率

$$\lambda = \frac{1}{3} \overline{C} \langle v \rangle \Lambda$$

低温では C が支配的

$$\lambda \propto C \propto T^3$$

高温では Λ が支配的

$$\lambda \propto \Lambda \propto T^{-1}$$