

第8章 固体の熱的性質

8.1 固体の比熱

8.1.1 格子比熱

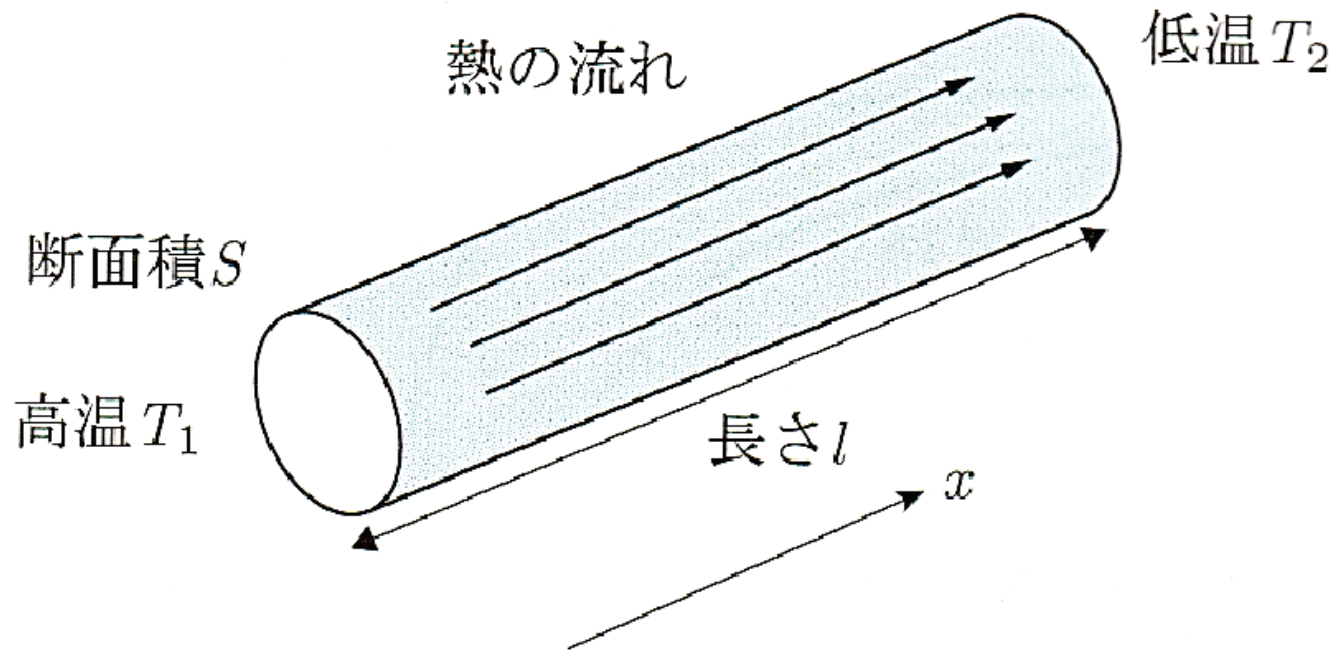
8.1.2 アインシュタインモデル

8.1.3 デバイモデル

8.2 固体の熱伝導

8.2.1 熱伝導率

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

単位時間・単位面積あたりの熱の流れ J :

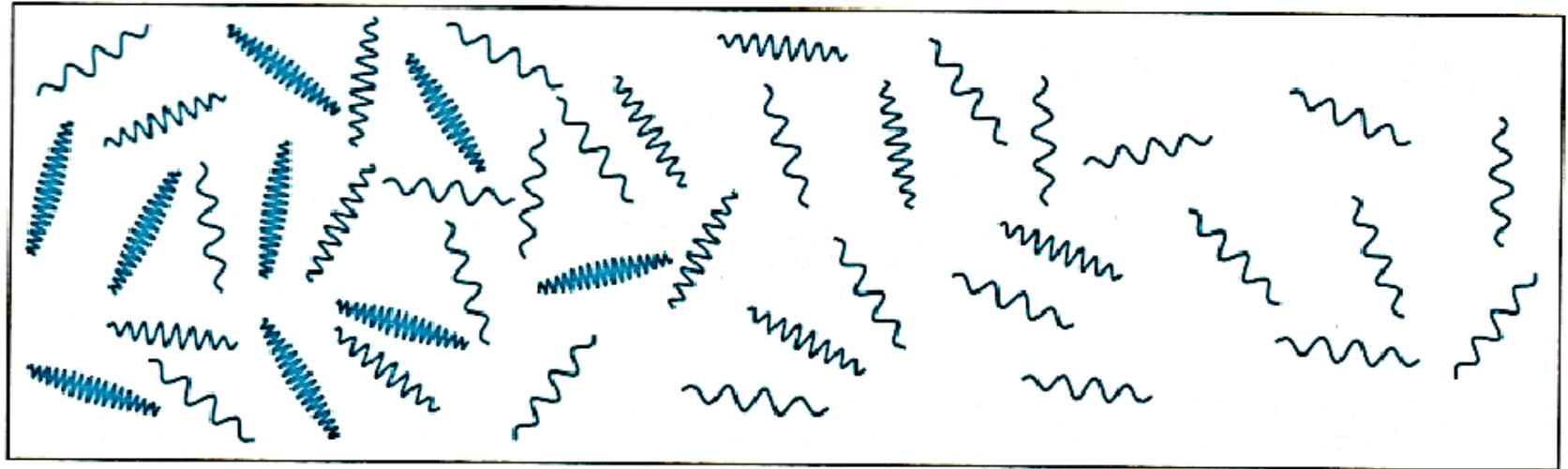
$$J = \frac{Q}{S} = \lambda \frac{T_1 - T_2}{l} \quad \rightarrow \quad J = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x}$$

$l \rightarrow 0$ の極限

熱伝導率②

大 ← フォノン密度 → 小

高温



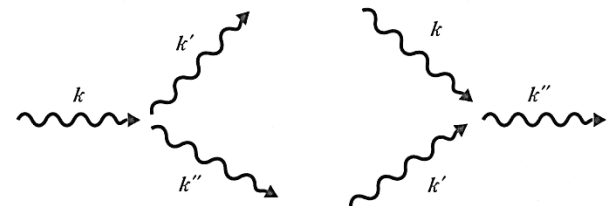
低温

フォノン流の流れ

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

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：

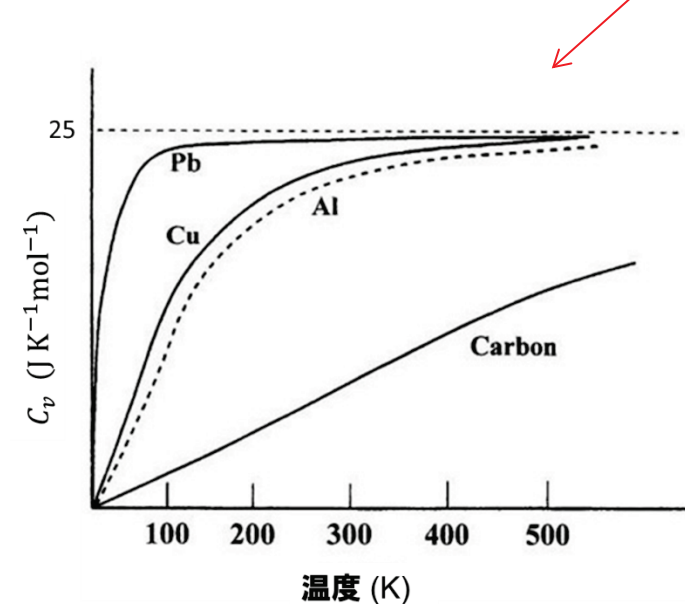
(気体分子運動論から)

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

\bar{C} ：単位体積あたりの格子比熱

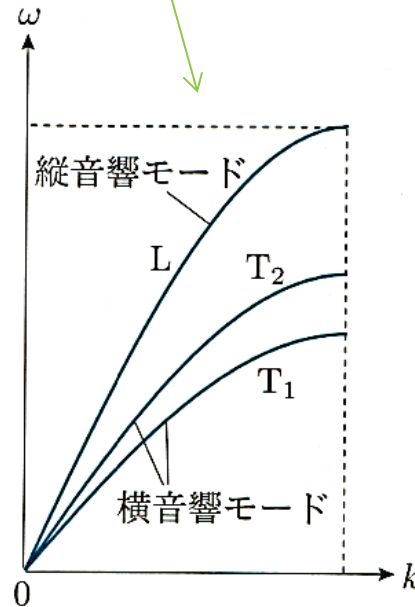
v ：フォノンの平均速度

Λ ：フォノンの平均自由行程



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

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

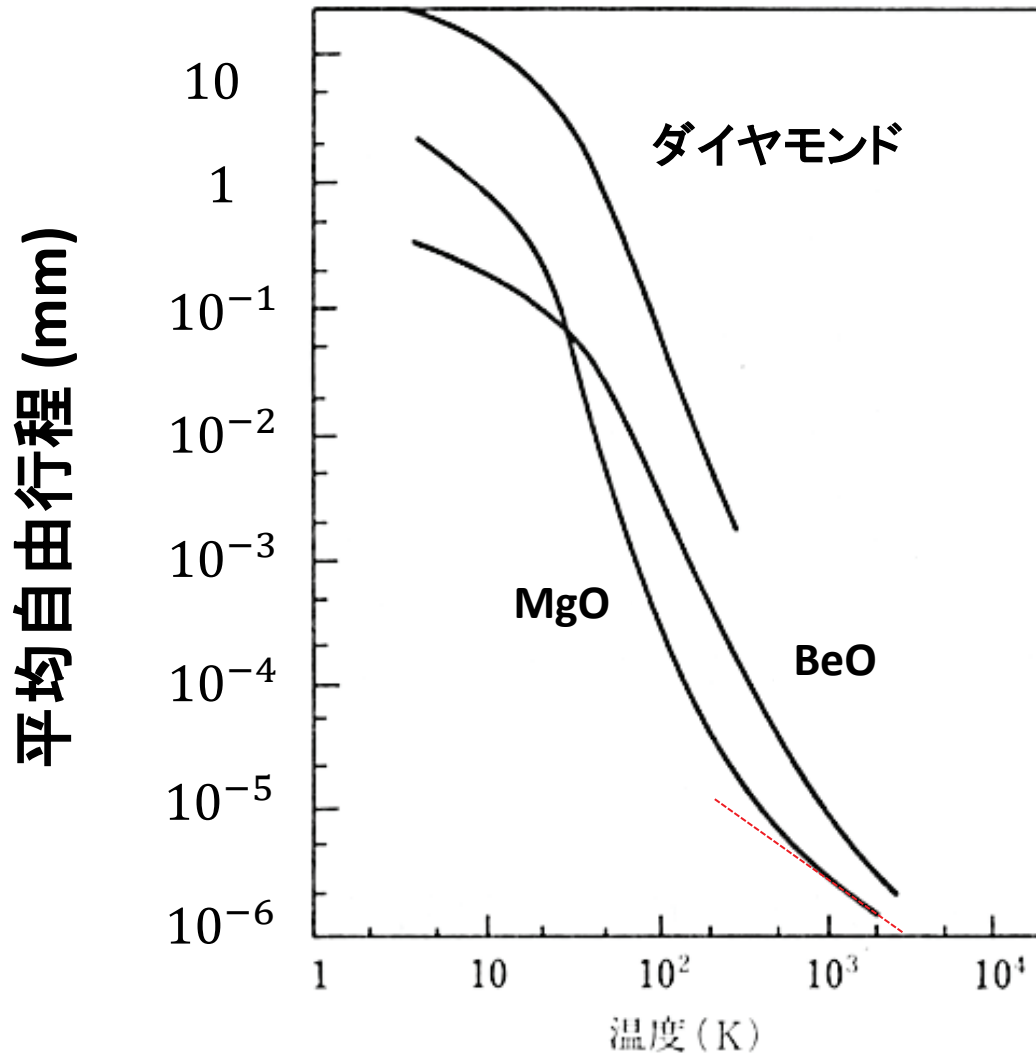
$$\langle n \rangle = \frac{1}{\exp(\hbar\omega/k_B T) - 1}$$

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

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

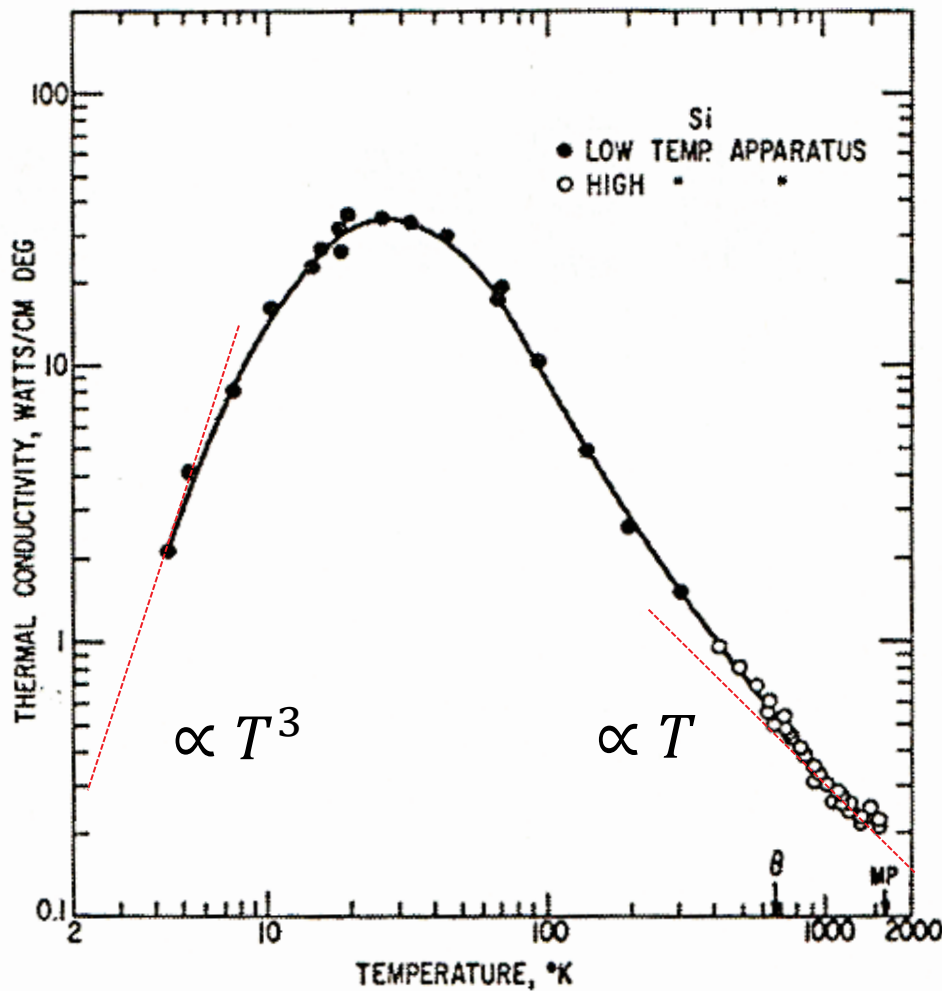


低温： $\Lambda \sim \text{const}$
(試料サイズ程度)

高温： $\Lambda \propto \frac{1}{T}$

熱伝導率⑤

Si の熱伝導率の温度依存性



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

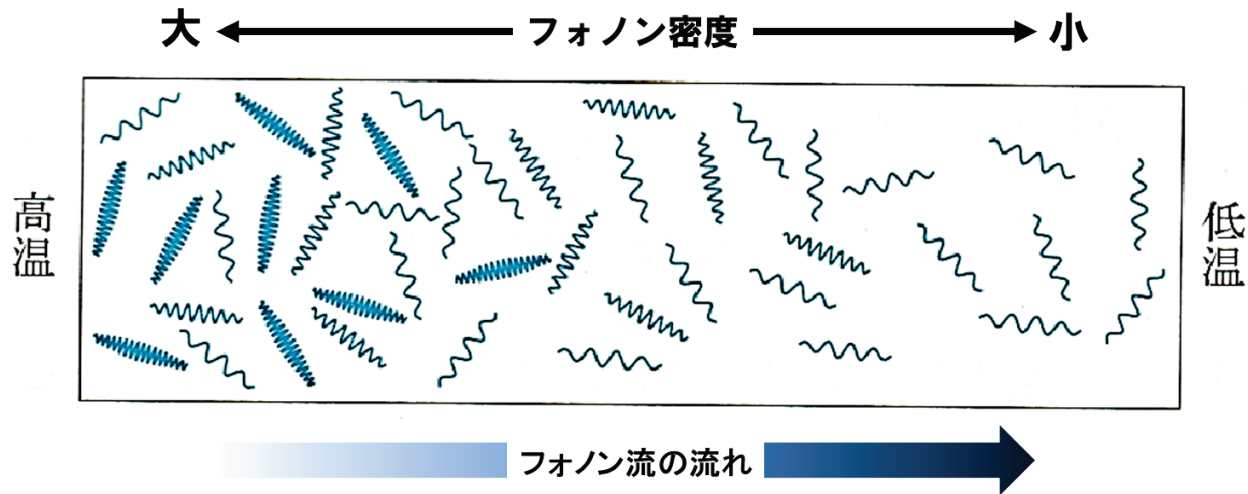
低温では c が支配的

$$\lambda \propto c \propto T^3$$

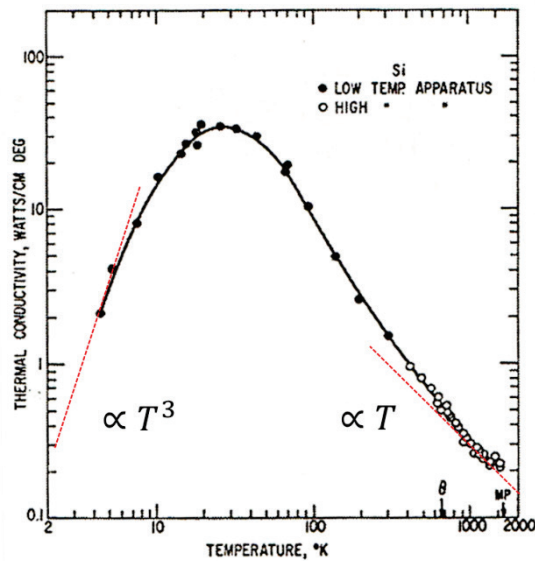
高温では Λ が支配的

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

まとめ



Si の熱伝導率の温度依存性



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

低温では C が支配的 $\lambda \propto C \propto T^3$

高温では Λ が支配的 $\lambda \propto \Lambda \propto T^{-1}$