

P ドープ SOI 層のゼーベック係数におけるフォノンドラッグ効果

Influence of Phonon Drag on P-Doped SOI Seebeck Coefficient

静大電研¹, 阪大² ○ファイズ サレ¹, 織田琢郎¹, 鈴木悠平¹, 鎌倉良成², 池田浩也¹Shizuoka Univ.¹, Osaka Univ.² ○F. Salleh¹, T. Oda¹, Y. Suzuki¹, Y. Kamakura², H. Ikeda¹

E-mail: faiz@rie.shizuoka.ac.jp

【背景】我々は Si ナノ構造による熱電変換特性の向上を目指して、これまで系統的に不純物濃度を变化させた極薄 SOI (Si-on-insulator) 層について、ゼーベック係数の測定を行ってきた [1-3]。その結果、 $\sim 5 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以下の領域では、ゼーベック係数におけるフォノンドラッグの影響が顕著であることがわかった。今回、キャリア分布とフォノン分布の両方を考慮したボルツマン輸送方程式を用いた解析により、フォノンドラッグに起因するゼーベック係数のキャリア密度依存性について調べた。

【計算方法】キャリア分布とフォノンの分布を考慮したボルツマン輸送方程式に基づいたゼーベック係数 S_{total} は、

$$S_{\text{total}} = -\frac{k_B}{e} \left(\frac{K_8}{K_6} - \frac{E_F}{k_B T} \right) + \frac{4v l_{\text{ph}}}{3\sqrt{\pi} T \mu_1} \frac{K_7}{K_6} \quad (1)$$

と表される [4]。ここで、 k_B はボルツマン定数、 e は素電荷、 E_F はフェルミエネルギー、 v はフォノン速度、 T は絶対温度、 μ_1 は音響フォノン散乱に対するキャリアの移動度である。 l_{ph} はフォノン-キャリア散乱以外の散乱過程に対するフォノンの平均自由行程である。 K_n は、 μ_1 とイオン化不純物散乱に対するキャリア移動度 μ_i を含む積分関数である。

l_{ph} をパラメータとして、式 (1) を実験から得られたゼーベック係数にフィッティングすることにより、 S_{total} を得た。また、式 (1) の右辺の第 1 項はキャリアによるゼーベック係数の成分 S_e を表し、第 2 項はフォノンドラッグに寄与するゼーベック係数 S_{ph} である。

【結果】上記方法で得られたゼーベック係数 (S_{total} 、 S_{ph} 、 S_e) と実験値を、キャリア密度の関数として図 1 に示す。同図の第 2 軸には、フィッティングパラメータの l_{ph} もプロットしてある。 $\sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下の領域では、 S_{ph} がキャリア密度にほぼ依存しておらず、その値は報告

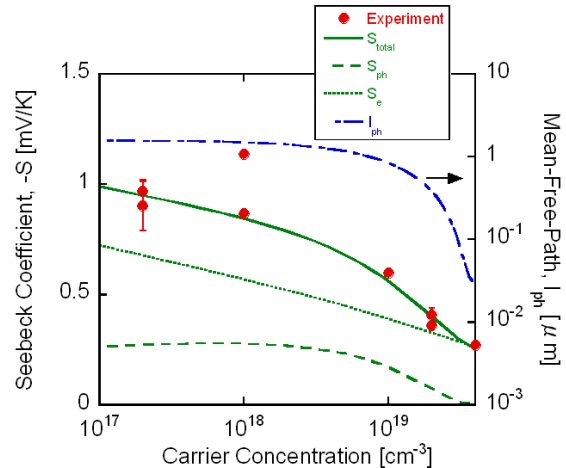


Fig. 1: (Left y-axis) Seebeck coefficient of SOI layers and (right y-axis) mean-free-path of phonon as a function of carrier concentration.

されているバルク Si と一致している。また、 $\sim 5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以上では、 S_{ph} がキャリア密度の増加に伴って減少する。この傾向は、 l_{ph} のキャリア密度の依存性と定性的に一致している。これは、 S_{ph} がフォノンの平均自由行程に支配されていることを強く示唆している。

l_{ph} は、フォノン-フォノン散乱や不純物原子による点欠陥散乱、粒界散乱などの散乱過程を含んでいる。これらのうち、点欠陥散乱がキャリア密度に依存すると考えられる。従って、低密度の領域ではフォノン-フォノン散乱と粒界散乱が支配的であり、高密度の領域になると不純物原子に起因する点欠陥散乱が支配的になると考えられる。

- [1] F. Salleh, K. Asai, A. Ishida and H. Ikeda, APEX 2, 071203 (2009).
- [2] H. Ikeda and F. Salleh, APL 96, 012106 (2010).
- [3] F. Salleh and H. Ikeda, JEM 40, 903 (2011).
- [4] E. Behnen, JAP 67, 287 (1990).