

SOI 膜におけるフォンドラッグとフォノンの平均自由行程に関する考察

Study on phonon drag and its mean free path in SOI layers

静大電研¹ 学振特別研究員 DC² ○池田浩也¹, 織田琢郎¹, 鈴木悠平¹, ファイズ サレ^{1,2}Shizuoka Univ.¹, JSPS Research Fellow² ○H. Ikeda¹, T. Oda¹, Y. Suzuki¹, F. Salleh^{1,2}

E-mail: rhikeda@ipc.shizuoka.ac.jp

【背景】我々は、シリコンナノ構造による熱電変換特性の向上を目指して、極薄シリコン膜のゼーベック係数について調べている [1-4]。その結果、様々なリン濃度の SOI (Si on insulator) 膜のゼーベック係数が図 1 のように得られた [1,2]。この図から、低濃度領域では、電子のボルツマン輸送方程式に基づいて計算したゼーベック係数に比べて実験値がかなり大きいことがわかる。計算値が電子の寄与のみ考慮されていることから、この実験値との差はフォンドラッグの寄与であると考えられる。今回、このフォンドラッグの効果から、フォノンの平均自由行程について理論的考察を行った。

【計算方法】フォンドラッグに起因するゼーベック係数 (S_p) は、キャリア移動度 (μ)、フォノン速度 (v_p)、フォノンの緩和時間 (τ_p) および温度 (T) を用いて、近似的に

$$S_p = f \frac{v_p^2 \bar{\tau}_p}{\mu T} \quad (1)$$

と表される [5]。ここで、 f はキャリアの散乱過程における全散乱要因に対するフォノン散乱の寄与の割合を表し、それぞれの緩和時間を使って

$$f = \frac{\tau_{ph}^{-1}}{\tau_{ph}^{-1} + \tau_{imp}^{-1} + \tau_{bound}^{-1} + \dots} \quad (2)$$

と表される。

式 (1) から、フォンドラッグにおけるフォノンの平均自由行程 ($\lambda_p = v_p \bar{\tau}_p$) をパラメータとして、 S_p のキャリア密度依存性を計算した。このグラフの上に、図 1 の実験結果から得られるフォンドラッグに起因するゼーベック係数成分のキャリア密度依存性のグラフを重ねてプロットし、それらのグラフの交点から、各キャリア密度におけるフォノンの平均自由行程を評価した。

【実験結果】上記方法で得られたフォノンの平均自由行程を、キャリア密度の関数として図 2 に示す。同図には、Weber により報告されているデータもプロットしてある [6]。本研究で得られたフォノンの平均自由行程は、キャリア密度の増加に伴い減少し、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 以上になると急激に減少することがわかる。また Weber による報告値も、低濃度側における直線に載っている。この結果は、

キャリア密度、すなわちリン濃度が増えるに従って、フォノン輸送における不純物原子による散乱と電子による散乱が増加し、フォノンの緩和時間が低減することを示している。

1. F. Salleh, K. Asai, A. Ishida, H. Ikeda, Appl. Phys. Express **3** (2009) 071203.
2. H. Ikeda, F. Salleh, Appl. Phys. Lett. **96** (2010) 012106.
3. F. Salleh, H. Ikeda, J. Electron. Mater. **40** (2011) 903.
4. F. Salleh, Y. Suzuki, K. Miwa, H. Ikeda, Appl. Phys. Lett. **103** (2013) 062107.
5. C. Herring, Phys. Rev. **96** (1954) 1163.
6. L. Weber, E. Gmelin, Appl. Phys. A **53** (1991) 136.

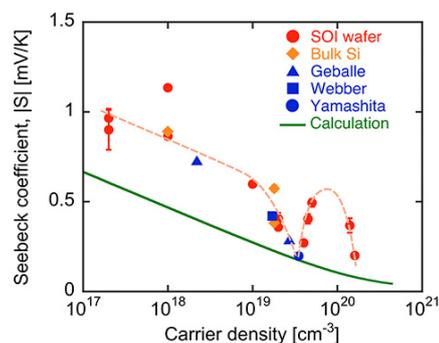


Fig.1 Absolute value of Seebeck coefficient in n-type SOI as a function of carrier density.

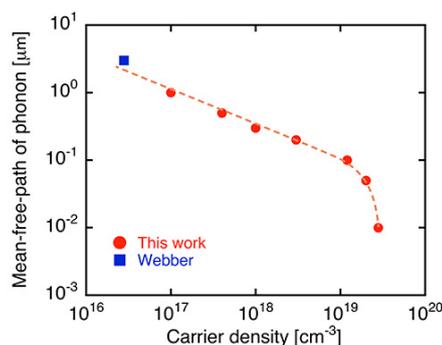


Fig.2 Phonon mean free path evaluated from results in Fig. 1, as a function of carrier density.