

KFM を用いたフェルミエネルギーの温度依存性測定

Temperature Dependence of Fermi Energy Evaluated by KFM

静岡電研 ○鈴木 悠平, 岡 晃人, マニ ナヴァニーザン, 池田 浩也

早大理工 渡辺 孝信

Shizuoka Univ. ○Y. Suzuki, A. Oka, M. Navaneethan, H. Ikeda

Waseda Univ. T. Watanabe

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

【研究背景】 Kelvin-probe force microscopy (KFM) を用いたナノ構造熱電材料に対する非接触・非破壊のゼーベック係数測定技術の構築を試みている。ゼーベック係数 S は試料の温度勾配 ΔT に対するフェルミエネルギーの変化量 ΔE_F から求められる ($S = \Delta E_F / \Delta T$)。KFM による試料温度は、一般的な半導体のフェルミエネルギーと濃度の関係式 (1) に測定した試料のフェルミエネルギーを代入することで求められる。

$$n = N_C(T) \exp \left[-\frac{E_C - E_F(T)}{k_B T} \right] \quad (1)$$

本研究では、KFM によってフェルミエネルギーの温度依存性を測定し、KFM による温度算出法について検討する。

【実験方法】 1cm 角に切り出した Si ウエハを金メッキ銅基板のサンプルホルダー上に固定し、Si ウエハの表面に熱電対を取り付けた。サンプルホルダーに取り付けたヒーターにより Si ウエハの温度を変化させながら、Si 表面の温度を熱電対により、表面電位を KFM のカンチレバーにより測定した。3 種類の不純物濃度の Si ウエハに対して測定を行った。表 1 に作製した試料の不純物原子およびキャリア濃度についてまとめた。

【実験結果】 図 1 は不純物濃度 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ の n 型 Si ウエハにおいて、KFM により測定したフェルミエネルギー $E_F - E_i$ と試料の温度の関係を示したグラフである。ただし、フェルミエネルギーは真性準位 E_i を基準にして算出した。グラフは線形性を示しており、この傾きからフェルミエネルギーの温度係数 $E_F - E_i / T = -1.6 \text{ meV/K}$ を得た。全ての Si ウエハについて同様の測定を行いそれぞれ温度係数を算出し、結果を表 1 にまとめた。n 型 Si と p 型 Si では符号が反対の $E_F - E_i / T$ が得られた。また、n 型 Si について比べると高濃度の試料で絶対値が低い $E_F - E_i / T$ が得られた。これらの傾向は一般的な半導体の性質と一致しており、式 (1) を用いた KFM による温度算出方法の有効性を示唆し

Table 1: Carrier concentration n of Si wafers and temperature coefficient of Fermi level $E_F - E_i / T$.

Dopant	$n [\text{cm}^{-3}]$	$E_F - E_i / T [\text{meV/K}]$
P	5×10^{16}	-1.6
P	5×10^{18}	-1.0
B	1×10^{17}	3.1

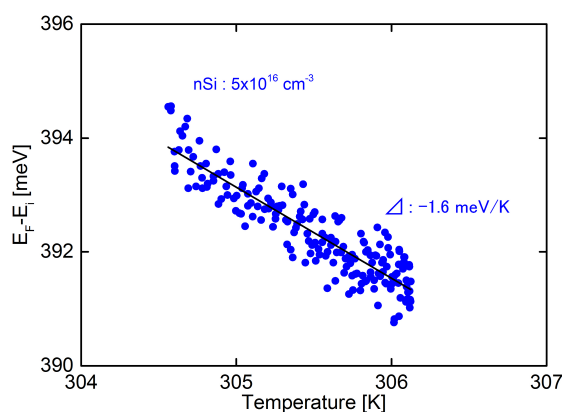


Fig. 1: Measured $E_F - E_i$ value by KFM corresponding to sample temperature.

ている。しかし、算出した $E_F - E_i / T$ の値自身は報告値と一致していない。この原因については、試料表面に形成される三角ポテンシャルの影響も含めて検討している。

本研究は、CREST「計算フォノンクスを駆使したオン・シリコン熱電デバイスの開発」の助成により遂行された。