Si ワイヤのフォノンドラッグ効果におけるフォノン境界散乱の影響

Influence of pnonon-boundary scattering on phonon-drag effect in Si wires

静大 [1], 早大 [2], 阪工大 [3], マラヤ大 [4]　○ 池田 浩也 [1]，ホティマトゥル ファウジア [1]，野北 崇人 [1]
渡邉 孝信 [2]，鈴木 悠平 [3]，鎌倉 良成 [3]，ファイズ サレ [4]

Shizuoka Univ., Waseda Univ.*　○ H. Ikeda, K. Fauziah, T. Nogita, T. Watanabe*, Y. Suzuki†
Osaka Inst. Tech.†, Univ. of Malaya‡　Y. Kamakura†, F. Salleh‡

e-mail: ikeda.hiroya@shizuoka.ac.jp

【背景】 Si を熱電材料とした熱電発電デバイスを IoT 機器の電源として用いる場合，室温近傍でも顕著に観測されるフォノンドラッグ効果は重要な現象である．これまでに我々は，1cm 角の SOI 基板の SOI 層を 10nm 以下に極薄化してもバルクとほぼ同じゼーベック係数を持つのに対して，30nm 厚さの SOI 層を幅 10μm 以下のワイヤ状に加工することによりフォノンドラッグ成分が低減することを報告している [1,2].

本報告では，ゼーベック係数とワイヤサイズの関係について，フォノン輸送における鏡面反射度 (specularity) の観点から解析を行なった．その結果，Si をナノワイヤ化してもフォノンドラッグ成分を保持できる可能性を見出した．

【実験】 厚さ 30nm の p 型 SOI 層（$N_A \sim 3.6 \times 10^{17}\mathrm{cm}^{-3}$）に，長さ 1mm，幅が 1 ~ 10$\mu$m のワイヤを形成した．熱起電力測定はほぼ室温にて行い，ワイヤの一端を加熱して温度勾配を与えたときに発生する熱起電力と温度差の関係から，ゼーベック係数を評価した．

【実験結果】 図 1 は，p 型 Si ワイヤにおけるゼーベック係数のワイヤ幅依存性である．ワイヤ幅が小さくなるにつれて，ゼーベック係数が減少することがわかる．これは，フォノンの境界散乱が増加することによりフォノンドラッグ効果が抑制されるためと考えられる．

フォノンの境界散乱は散乱表面の凹凸に強く依存しており，その指標として鏡面反射度が用いられる．作製した Si ワイヤの AFM 像（図 2）からワイヤ上面及び側面の表面粗さ（η）を見積ると，それぞれ η =0.4nm 及び η =1.4nm であった．この値を使って計算した鏡面反射度とフォノン波数の関係を，図 3 に示す．

モンテカルロシミュレーションにて伝導電子のフォノン散乱を解析したところ，フォノンドラッグに寄与するフォノン波数は $q_{\mathrm{pd}} \sim 0.7$nm を中心に分布することがわかった．図 3 を使って $q_{\mathrm{pd}} = 0.7$nm に対応する鏡面反射度（p）を見積ると，Si ワイヤの上面では $p \sim 0.73$ であるのに対して，側面では $p \sim 0.02$ と非常に低い値であった．この解析により，極薄 SOI 層がバルクに近いゼーベック係数を持つ実験結果を定性的に説明できることから，ワイヤの表面粗さを抑えることにより

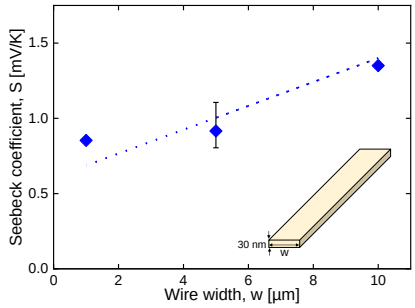

Fig. 1　Seebeck coefficient as a function of Si wire width.

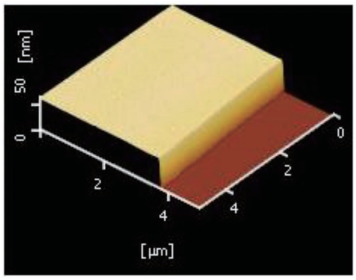

Fig. 2　AFM image of Si-wire susrface.

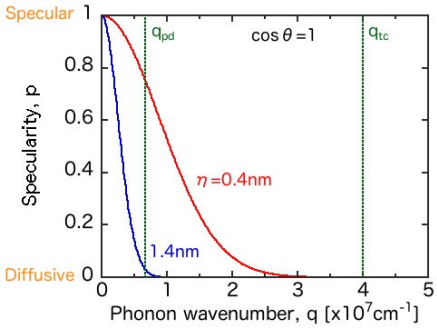

Fig. 3　Calculated specularity as a function of phonon wavenumber.

ナノワイヤ化後もフォノンドラッグ効果を保持できる可能性が示された．

本研究は，JST-CREST（JPMJCR19Q5）の助成により遂行された．

1. F. Salleh, et al., Appl. Phys. Express **2** (2009) 071203.
2. Y. Suzuki, et al., IEICE Trans. Electron. **E100-C** (2017) 486.