

ラマン分光法による酸化膜を被覆した Si ナノワイヤ界面近傍の熱伝導特性評価 Evaluation of Thermal Properties near Si Nanowire Covered with Oxide Film by Raman Spectroscopy

○横川 凌^{1,2}、富田 基裕^{1,3}、渡邊 孝信³、小椋 厚志¹

(1. 明治大理工、2. 学振特別研究員 DC、3. 早大理工)

○R. Yokogawa^{1,2}, M. Tomita^{1,3}, T. Watanabe³, and A. Ogura¹

(1. Meiji Univ. 2. JSPS Research Fellow DC 3. Waseda Univ.)

E-mail: r_yokogawa@meiji.ac.jp

【背景と目的】 Siナノワイヤ(SiNW)はBulk Siと比べ、電気伝導率を維持しつつ熱伝導率が顕著に低下することから、熱電発電デバイスへの応用が期待されている。熱伝導率低下の要因として、SiO₂/Si界面に局在する無秩序な歪が大きく関与していることが分子動力学(MD)計算により示され[1]、SiO₂/SiNW界面に着目した歪量および熱伝導特性評価は高効率熱電発電デバイス実現に極めて重要である。しかし、SiO₂/Si界面に着目した熱伝導特性の実験による検証は未だ行われていない。このような背景に鑑み、我々は前回ラマン分光法により酸化膜を被覆したSOI薄膜を用いて、様々なプロセスを施したSiO₂/Si界面に対し、熱伝導メカニズムの変化を評価した[2]。本研究では、SiO₂/SiNW界面を変化させた酸化膜被覆型SiNWを用意して、熱伝導の変化をラマン分光法により評価した。

【実験】 試料はSOI基板(SOI膜厚: 45 nm)に電子線リソグラフィおよびドライエッチングで加工された<110>SiNW(幅: 220 nm, 長さ: 50 μm)を用いた。作製プロセスはプロセスA: 熱酸化(850 °C, 3 hour)のみ、プロセスB: 熱酸化 + Ar⁺イオン照射(1.0 × 10¹⁴ cm⁻², 25 keV)およびプロセスC: 熱酸化 + Ar⁺イオン照射 + 照射ダメージ回復アニール(950 °C, 10 min)の3条件で行った。ラマン分光測定では励起光源の波長、分光器の焦点距離はそれぞれ 355 nm, 2000 mm とした。対物レンズのスポット径は約1 μmであり、SiNWに対し空間分解能が不足しているためFig. 1に示すように、2ピークフィッティングによりSiNWのラマンシフトを抽出した。入射光側に可変NDフィルターを置き、レーザパワーを変化させレーザで誘起される熱がSiNW内でどのように変化するかラマンシフトから評価した。

【結果・考察】 ラマンシフトを用いて算出したレーザパワーに対する SiNW の温度変化をFig. 2に示す。SiNW内における温度算出の際、以下に示すラマンシフトと温度の関係式を用いた[3]。

$$d\omega/dT = -0.024 \text{ cm}^{-1}/\text{K} \quad (1)$$

プロセス A の試料がレーザパワー増加に伴い、他の試料と比較して顕著に温度上昇していることが確認された。これは熱酸化膜誘起の Si 結晶の乱れおよびナノワイヤ構造による熱伝導率低下に伴い、熱拡散が抑制されたためと考えられる。一方でプロセス B, C では SOI 薄膜同様レーザ熱による温度上昇が抑制されてい

る[2]。プロセス B では Ar⁺イオン照射により SiO₂ と Si のボンドが切れ、酸化膜誘起の Si 結晶の乱れが再配列したものだと考えられる。また照射ダメージ回復アニールを行っても、プロセス B と比較して変化していないことから界面状態がもとには戻らないことが示唆される。以上、ラマン分光による測定結果はナノスケールにおける SiO₂/Si 界面における熱伝導メカニズムの変化を反映している。これらの結果は、熱電発電 Si ナノデバイスにおける酸化膜被覆による界面歪は、熱伝導率低下を実現するため重要なプロセスであることを示唆している。

【謝辞】 本研究の一部は JST-CREST (JPMJCR15Q7)、JSPS 科研費(17J08240)の補助を受けたものである。

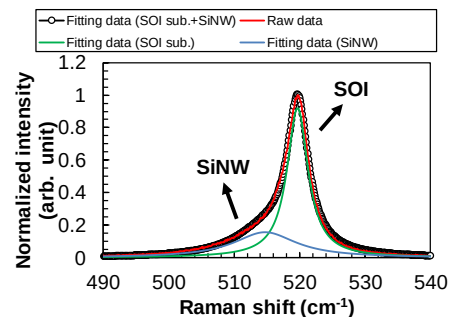


Fig. 1 Example of two peak fitting. Raman spectrum was obtained at SOI substrate+SiNW region in process A (Laser power: 6.37 mW).

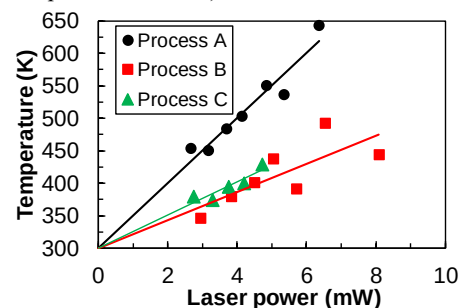


Fig. 2 The laser dependent temperature in SiNWs covered with oxide fabricated by process A, B and C using Raman peak shift.

【参考文献】

- [1] T. Zushi, *et al.*, ECS J. Solid State Sci. Technol., **3**, 149 (2014).
- [2] 横川 凌 他, 第 79 回応用物理学会春季学術講演会講演予稿集, 20a-234B-10 (2018).
- [3] D. Fan, *et al.*, Phys. Rev. B, **96**, 115307 (2017).