

ラマン分光法による酸化膜を被覆した SOI 薄膜の熱伝導特性評価

Evaluation of Thermal Properties in SOI Film 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. 早稲田大理工)

○R. Yokogawa^{1,2}, M. Tomita¹, 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ナノワイヤは従来のバルクSiと比べ、電気伝導率を維持しつつ熱伝導率が1-2桁程低下することが明らかにされ、熱電発電デバイスへの応用が期待されている[1]。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振動状態が大きく関与していることが分子動力学(MD)計算により明らかにされている[2]。ゆえに、SiO₂/Si界面における熱伝導メカニズムの正確な理解が重要な課題となっている。しかしながら、ナノスケールにおいてSiO₂/Si界面に着目した熱特性の実験による検証は未だ行われていない。我々はラマン分光法によりフォノンエネルギーの観点から熱特性評価を試みている。本研究では酸化膜を被覆したSOI薄膜を用いて、Ar⁺イオン照射および熱処理などのプロセスを施したSiO₂/Si界面に対し、熱伝導メカニズムがどのように変化するか詳細に分析した。

【実験】 試料は面方位(100)のSOI基板(SOI膜厚: 45 nm)を準備した。作製プロセスはプロセスA: 熱酸化(850 °C, 3 h, 膜厚20 nm)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 + 結晶回復アニール(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 である。レーザーパワーは可変NDフィルターにより1から10 mWまで変化させ、1 mW刻みで各試料に対し5点ラマンスペクトル測定を行い、SOI薄膜の熱特性を評価した。

【結果・考察】 プロセス A で作製した試料に対するラマンスペクトルのレーザーパワー依存性を図1に示す。レーザーパワー増加に伴いラマンスペクトルのピークが低波数側にシフトし、また半値幅の増大が見られ明確なレーザーパワー依存性が確認された。これらのラマンスペクトルの振舞いは、レーザーで誘起された熱によりSi結晶が熱膨張を起こし、格子の振動数が低下したことによるものだと考えられる。ラマンシフトを用いて算出したレーザーパワーに対するSOI薄膜の温度変化を図2に示す。SOI薄膜の温度算出の際、以下に示すラマンシフトと温度の関係式を用いた[3]。

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

結果、プロセス A の試料がレーザーパワー増加に伴い、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結晶の乱れによる熱伝導率低下に伴い、熱の拡散が遅くなったものだと考えられる。一方でプロセス B, C ではプロセス A と比べレーザー熱による温度上昇が抑制されている。プロセス B では Ar⁺イオン照射によって SiO₂ と Si の結合が切れ、酸化膜誘起の Si 結晶の乱れが抑制されたものだと考えられる。そしてプロセス C では、結晶回復アニールによって熱酸化膜とイオン照射由来の Si 結晶乱れが修復されたことで一番温度上昇が抑制されたと考えられる。以上、これらのラマン分光による測定結果は 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とを確認した。同時に熱電発電 Si ナノデバイスにおける熱酸化膜形成は、熱伝導率低下を実現するため特に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。

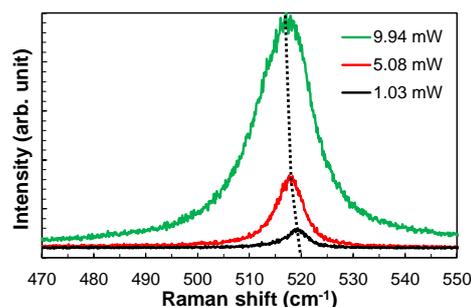


Fig. 1 Laser-power-independent Raman spectra of SOI thin film fabricated by process A.

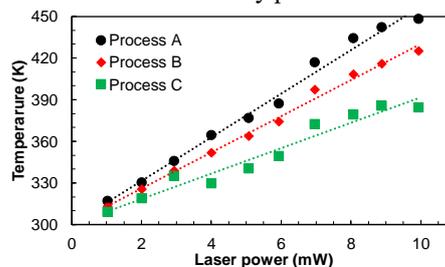


Fig. 2 Measurement of temperature in SOI thin film using Si Raman peak shift.

[1] A. I. Boukai, *et al.*, Nature, **451**, 168 (2008).

[2] T. Zushi, *et al.*, ECS J. Solid State Sci. Technol., **3**, 149 (2014).

[3] D. Fan, *et al.*, Phys. Rev. B, **96**, 115307 (2017).