

エピタキシャル Ge ナノドット含有 Si 薄膜における熱電特性制御

Thermoelectric property control of epitaxial Si film including epitaxial Ge nanodots

○山阪司祐人¹、渡辺健太郎¹、澤野憲太郎²、竹内正太郎¹、酒井朗¹、中村芳明¹

(1. 阪大院基礎工、2. 東京都市大総研)

°Shuto Yamasaka¹, Kentaro Watanabe¹, Kentaro Sawano², Shotaro Takeuchi¹,Akira Sakai¹, and Yoshiaki Nakamura¹

(1. Osaka Univ., 2. Tokyo City Univ.)

E-mail: shu-yamasaka@nano.ee.es.osaka-u.ac.jp

【目的】高性能熱電材料の開発研究において、ナノ構造を用いた熱伝導率 κ の低減[1]と、電気伝導率 σ の保持の両立が期待されている。我々はこれまでに、極小エピタキシャル Ge ナノドット (ND)を用いて Si 系材料の熱伝導率を低減し、その機構を明らかにした[2,3]。本研究では、ナノ構造を利用した熱特性と電気特性の独立制御の可能性を実証するため、熱電特性を詳細に調べた。

【実験】Si(001)基板を超高真空内 ($\sim 10^{-8}$ Pa) に導入し、熱酸化 (500°C、酸素分圧 2×10^{-4} Pa) により Si 表面上に 1 原子層 (ML)の厚みを持つ極薄 Si 酸化膜を形成した。その後 Ge を蒸着して (7-66 ML、500 °C)、エピタキシャル ND を形成し[3]、その上に Si を蒸着して (40-376 ML、400°C) Si 層をエピタキシャル成長した。上記の極薄 Si 酸化膜、Ge ND、Si 層の形成過程を 1 サイクルとして繰り返し、図 1 内模式図に示される Si 層/Ge ND 積層構造を作製した。イオン注入によって試料にドーピングを施した。電気特性・熱特性はそれぞれ Hall 効果測定・ 2ω 法により評価した。

【結果】図 1 は SiO₂/Si /Ge NDs 積層構造の電気伝導率の測定結果である。キャリアの活性化率は Si 層蒸着量に強く依存し、Si 層蒸着量が少ない時 (67-96 ML) キャリア密度は 10^{16} - 10^{17} cm⁻³ となり、Si 層蒸着量が多い時 (303-376 ML) 10^{19} - 10^{20} cm⁻³ となった。電気伝導率 σ はバルク Si の半分程度となったが、Ge ND サイズ、Si 層に依存せずバルク Si と同傾向のキャリア密度依存性を示した。これは Si 層でのキャリア伝導が支配的に σ を決定していることを意味する。一方、1 サイクル当たりの熱抵抗はキャリア伝導層である Si 層の膜厚・形状に依存せず、Ge ND サイズにのみ大きく依存し、直径が 5、12 nm の時ではそれぞれ 4.6×10^{-9} 、 9.8×10^{-9} m²KW⁻¹ と 2 倍程度異なっている。これらの結果は、熱特性は Ge ND によって、電気特性は Si 層によって制御可能であることを示唆している。

【謝辞】本研究の一部は、科学研究費補助金 (25286026、15K13276) の支援により行われた。

[1] Y. Nakamura et al., Nano Energy **12**, 845 (2015). [2] 山阪司祐人、他、第 62 回応用物理学会春期学術講演会 12a-A22-4. [3] S. Yamasaka et al., J. Electron. Mater. **44**, 2015 (2015).

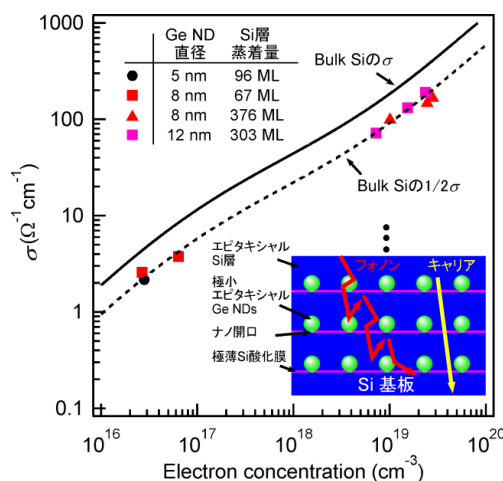


図 1 積層構造における電気伝導率のキャリア密度依存性