

Ni シリサイド化シリコンナノワイヤを用いた熱電発電デバイスの作製と特性評価

Fabrication and Characterization of Ni-Silicided Silicon Nanowire Thermoelectric Devices

早大理工¹, 産総研² ○麻田 修平¹, 橋本 修一郎¹, 徐 泰宇¹, 大場 俊輔¹, 松川 貴², 渡邊 孝信¹

Waseda Univ.¹, AIST² ○S. Asada¹, S. Hashimoto¹, T. Xu¹, S. Oba¹, T. Matsukawa², and T. Watanabe¹

E-mail: asada@watanabe.nano.waseda.ac.jp

【はじめに】あらゆるモノがワイヤレス通信によって繋がれた IoT(Internet of Things)の実現に向けて、身の回りの微小エネルギーから電気エネルギーを取り出すエネルギー・ハーベスティングの研究が盛んに行われている。近年、Si をナノワイヤ化すると電気伝導率を維持したまま熱伝導率が著しく低下することが明らかになり[1]、CMOS プロセスで安価に製造可能な Si ナノワイヤ (Si-NW) 熱電発電デバイス (Thermoelectric Device : TED)の実現に期待が寄せられている[2, 3]。当研究グループではこれまで、Si-NW を用いた FET の高性能化を目指し、Si-NW の Ni シリサイド (NiSi) 化プロセスの制御によるコンタクト抵抗の抑制に取り組んできた[4]。今回我々は、この Si-NW 構造のシリサイド化制御技術を用いて、寄生抵抗を抑えた Si-NW 型 TED を作製し、その発電性能を評価した。

【実験方法】作製したデバイスの模式図と熱電発電性能の評価回路の概要を Fig.1 に示す。NiSi のパッド間を 400 本の Si-NW で繋いだ TED 構造であり、NiSi パッドが熱極と電極を兼ねる。用意した試料の Si-NW 長 L_{NW} は 8, 46, 90, 280 μm の 4 種類である。デバイスの作製手順は以下のとおりである。p 型 Si(100)の SOI 基板(SOI 層厚=50 nm、BOX 層=145 nm)に、電子線リソグラフィとドライエッチングで、 $\langle 110 \rangle$ -Si-NW を作製し、ワイヤの両端に Si パッドを設けた。パターニング後、850 $^{\circ}\text{C}$ で 3 時間の熱酸化を行い 22 nm の酸化膜を形成した。その後、P イオンを $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 、加速電圧 25 keV で注入し、950 $^{\circ}\text{C}$ 、10 分間の活性化アニールを施した。酸化膜の一部をウェットエッチングによって除去した後、スパッタリングで Ni を 20 nm 堆積させ、真空中にて 410 $^{\circ}\text{C}$ 、20 分間アニールして Ni シリサイドを形成した。作製した NiSi パッドに AlN セラミック製温度プローブを接近させ、約 45 $^{\circ}\text{C}$ の温度勾配を付与し、負荷電圧 V_{load} をデバイスに印加しながら熱起電流を計測した。

【結果】Fig.2(a)に熱起電流 I_{TE} と負荷電圧 V_{load} の関係を示す。最も短い $L_{NW}=8 \mu\text{m}$ の TED で最大の熱起電力が得られたが、短絡電流は $I_{sc}=252 \text{ nA}$ 、最大熱電発電電力は $P_{max}=3.8 \text{ fW}/\mu\text{m}$ にとどまった。これは寄生熱抵抗成分が大きく、NW 部に温度勾配が十分集中していないためと考えられる。このときの発電電力は NW に垂直な方向のデバイスの占有領域あたりで規格化している。Fig2(b)に TED の抵抗値と NW 長の関係を示す。切片が非常に小さく、電気的な寄生抵抗成分は抑制できていると言える。Fig.2(c)に開放電圧 V_{oc} と L_{NW} の関係を示す。NW 長が小さくなるにつれて V_{oc} が増大していることが分かる。 L_{NW} の減少とともに NW のゼーベック係数が増大したか、NW 部の温度勾配が上昇したか、原因の特定は今後の課題となるが、微細化によって発電性能が向上することを示す興味深い結果が得られた。

【謝辞】本研究は JST-CREST の支援により実施された。またデバイス作製は、文部科学省ナノテクノロジープラットフォーム事業(NIMS 微細加工プラットフォーム)、早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構の支援を受けて実施された。

[1] A. Hochbaum et al., Nature, **451**, 163 (2008). [2] M. Totaro et al., Microelectronic Engineering, **97**, 157 (2012). [3] G. Pennelli, Beilstein J. Nanotechnol. **5**, 1268 (2014). [4] K. Takei et al., Jpn. J. Appl. Phys. **55**, 04ED07 (2016).

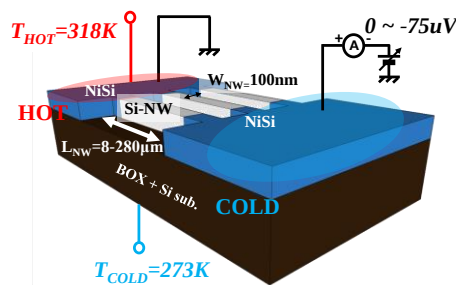


Fig.1 Schematic of the TED.

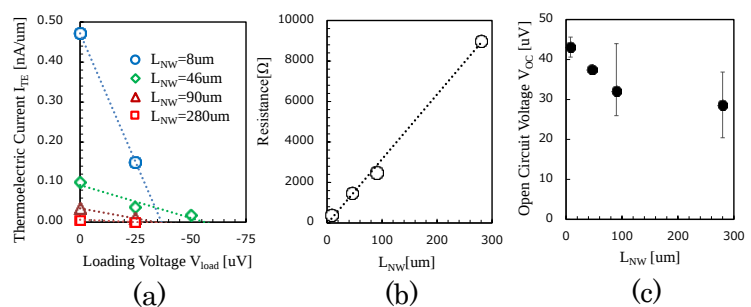


Fig.2 Thermoelectric characteristics
(a) I_{TE} - V_{load} (b) R - L_{NW} (c) V_{OC} - L_{NW} .