

シリコンナノワイヤを用いた微小熱電発電デバイスの短レグ効果 Short Leg Effect of Silicon Nanowire Micro Thermoelectric Generator

早大理工¹, 明大理工², 学振特別研究員(PD)³, 産総研⁴

○武澤 宏樹¹, 姫田 悠矢¹, 橋本 修一郎¹, 大場 俊輔¹, 大和 亮¹, 熊田 剛大¹, 徐 茂¹,
目崎 航平¹, 富田 基裕^{1,2,3}, 詹 天卓¹, 松木 武雄^{1,4}, 松川 貴⁴, 渡邊 孝信¹

Waseda Univ.¹, Meiji Univ.², JSJP Research Fellow (PD)³, AIST⁴

○H.Takezawa¹, Y.Himeda¹, S.Hashimoto¹, S.Oba¹, R.Yamato¹, T.Kumada¹, M.Xu¹,
K.Mesaki¹, M.Tomita^{1,2,3}, T.Zhan¹, T.Matsuki^{1,4}, T.Matsukawa⁴ and T.Watanabe¹

Email: takezawa_hiroki@watanabe.nano.waseda.ac.jp

【はじめに】無線センサネットワークを利用した IoT(Internet of Things)社会の実現に向けて、熱電発電を始め、環境に存在するエネルギーから電力を生み出すエナジー・ハーベスティング技術の研究が盛んにおこなわれている。近年、Siナノワイヤ(Si-NW)がバルクの電気伝導率を維持しつつ熱伝導率のみが2桁減少可能なことが明らかにされ^[1]、Si-CMOSに親和性のあるプロセスを用いて、微小な熱電発電デバイス(Micro Thermoelectric Generator: μ TEG)の実現を目指す研究が注目を集めている^[2]。当グループでは、新しい Si-NW- μ TEG 構造を提案し、10~100 nm の範囲において、Si-NW を短くすることで発電量が増加するという結果を得ている^[3]。今回、Si-NW(Leg)をさらにサブミクロンオーダーにまで短くすることで、発電パワーが大幅に増大することを確認した。

【実験方法】作製した μ TEG の模式図を Fig.1 に示す。Si-NW の長さ(Leg 長) L_{NW} は 300, 600, 1000 nm の3種類を用意した。まず p 型 Si(100) の SOI 基板(SOI 膜厚=50 nm, BOX=145 nm)を ArF 液浸リソグラフィーとドライエッチングを用いて加工し、Si-NW (70 本, 幅 100 nm)と両端の電極パッドを形成した。次に熱酸化によって6~7 nm の酸化膜を形成後、P⁺を加速電圧 15 keV、ドーズ $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 注入し、活性化アニール(1000 °C, 10 秒)を行った。その後、スパッタリングにより Ti 10 nm, TiN 30 nm, Al 400 nm 堆積させ、電極を作成した。最後に、フォーミングガスアニール(450 °C, 30 分)を行った。作製した μ TEG に、高温熱源として 296 K に昇温した AlN セラミック製のマイクロサーモスタッドを接近させ、低温熱源として基板ステージをチラーを用いて 292 K に冷やした。負荷電圧 0 V の時の熱起電流を測定し、負荷電圧 V_{load} を印加することで開放電圧を見積もった。

【実験結果】Fig.2 に Leg 長と熱起電流及び発電密度の関係を示す。熱起電流と発電密度は L_{NW} が短くなるほど増加し、 $L_{NW}=300 \text{ nm}$ での発電密度は約 $0.36 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ となり、NW の下部をエッチングしサスペンド構造を有する熱電デバイスに匹敵する発電密度^[4]を記録した。COMSOL Multiphysics®を用いた Leg 長と Si-NW 間の温度差の関係を Fig.3 に示す。Si-NW 間の温度差は短 Leg 化するほど減少したにもかかわらず発電量は増加したことから、Si-NW のゼーベック係数は実効的に増大していることを意味する。今回の結果は、熱電発電の高出力化のためには微細化が有利であることを示唆する。

【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)の支援を受けて実施された。

【参考文献】[1] A.Hochbaum et al, Nature, **451**, 163 (2008).

[2] M.Totaro et al, Microelectronic Engineering, **97**, 157 (2012). [3] T. Watanabe et al, Ext. Abstr. EDTM 2017, p. 86.

[4] J.Xie et al, MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS VOL 19, No2 **323** (2010).

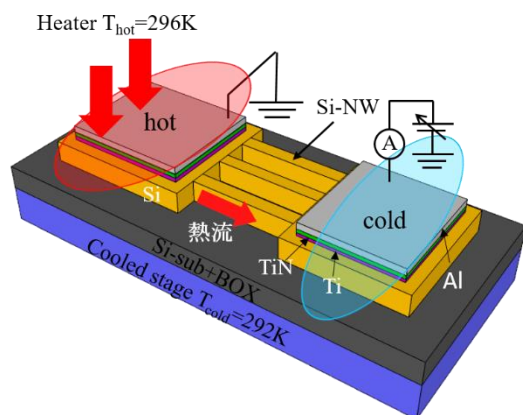


Fig1 Schematic of TEG

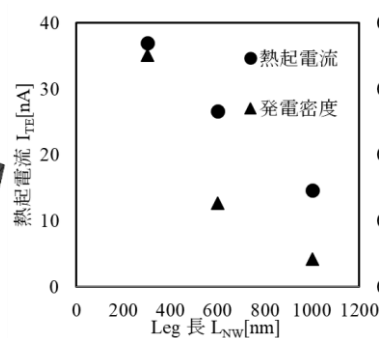


Fig2 熱電特性($V_{load} = -2V$)

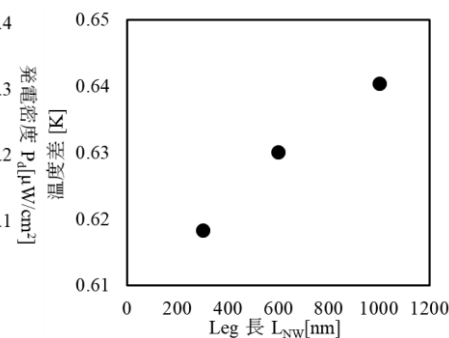


Fig3 温度差と長さの関係