Si ナノワイヤを用いたプレーナ型ユニレグ多段熱電発電デバイス構造の検討 Optimum Design of Multi-stage Planar Unileg Thermoelectric Generator Using Si Nanowire 早大理工¹、産総研²、⁰織田 海斗¹、島 圭佑¹、富田 基裕¹、松木 武雄^{1,2}、渡邉 孝信¹ Waseda Univ.¹, AIST², ^OK.Oda¹, K.Shima¹, M.Tomita¹, T.Matsuki^{1,2} and T.Watanabe¹ E-mail: oda-fringe@moegi.waseda.jp

【はじめに】

身の回りのあらゆるものがインターネットに つながる IoT 社会の到来が期待され、環境中の 微小なエネルギーから電力を取り出すエナジ ーハー・ベスティングの技術が注目を集めてい る。中でも近年、シリコンナノワイヤ(Si-NW)が 低環境負荷の新熱電材料として注目されてい る[1-3]。Si-NW は高い電気伝導率を維持したま ま、熱伝導率が低く抑えられるという、熱電材 料が備えるべき性質を有している上、既存の CMOS プロセスで熱電デバイス製造を可能に するという点で従来の熱電材料と一線を画す。 これまで我々は、Si-NW を用いたプレーナ型の 新熱電デバイス構造を考案し、10μW/cm² 超の 発電密度を得られる可能性を実験で示してき た[4]。

本研究では、同デバイスの高集積デバイスの 作製に向けて、N型Si-NWのみを用いたユニレ グの多段熱電発電デバイス構造の有限要素シ ミュレーションを実施し、発電性能を最大化す る最適条件を探った。ユニレグ構造は、単一の 極性の半導体で構成できるメリットがあるが、 上部の配線層が電流を流すだけでなく、隣接す る素子の低温側にも熱が伝わってしまうとい うデメリットもある。そこで、素子間熱伝導の 抑制構造探索のため配線層形状、及び隣接する 素子間の距離を変えた場合に、発電密度に与え る影響を評価した。また今回は熱伝導を最大化 させるため、配線材料を熱伝導率の高い Cu と した。

【実験】

計算に使用したモデルを Fig.1,2 に示す。最上 層にある AIN 熱伝導層を通して Cu 配線層に熱 が伝わり、高温側パッドには Cu プラグ 3 本、 低温側パッドには Cu プラグ 1 本を接続して、 Si-NW の両端に発生した温度差で発電する仕 組みとなっている。デバイスの上面を 298.15K、 下面を 293.15K として、外部温度差を 5K とし た。プラグの太さは 600×600nm、プラグ間距離 は 300nm、プラグと nSi-pad 端の距離も 300nm、 Si-NW の長さは 250nm、幅は 125nm、隣接する 素子間の距離(Gap)は 250nm とした。上部 Cu 配 線層の形状としては Fig.3 に示す 3 通り (a),(b),(c)を用意した。なお、nSi-NW 上部および 層間はすべて SiO₂ で埋めて計算を行った。

【結果】

Fig.4 に Cu 配線層の形状を変更した際の発電密度の比較を示す。Cu 配線層を細くすると素子間の電気抵抗が大きくなり、発電密度が減少することが懸念されたが、素子間の熱抵抗が大きくなって温度差が得られる効果の方が勝り、発電密度が増加することがわかった。また(b)よりも(c)の形状の方が熱流の経路が長くなるため

発電密度が高くなったと考えられる。次に、Cu 配線層を(c)形状とし、隣接素子間隔(Gap)を 0.25µm~7µm まで変化させた際の発電密度を Fig.4 に示す。Gap を長くすることで、より低温 側パッドへ熱が伝わりにくくなり、発電密度が 増加することがわかった。Gap は 4.5µm 付近に 最適値が存在し、Gap が短い場合は、低温側パ ッドの温度が上昇し発電密度が減少する。また Gap が長すぎる場合は、未利用面積の増加や配 線層の電気抵抗の増加等の要因で発電密度が 減少していく。N型 Si のみを使った多段熱電 発電デバイスを実用化するためには、未利用面 積を抑え、低温側パッドに熱が伝わらない工夫 を施す必要がある。なお、本研究は JST-CREST (JPMJCR15Q7)の助成を受けている。

- [1] A. Boukai et al., Nature, 451.7175 (2008) 168.
- [2] A.I. Hochbaum et al., Nature, 451.7175 (2008) 163.
- [3] H. Zhang et al., IEEE TED 65 (2018) 2016
- [4] M. Tomita et al., VLSI Symp. Tech. Dig. (2018) 93

