

課題番号 : F-18-NM-0013
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : シリコンナノワイヤを用いた熱電発電デバイスのチャネル幅依存性
 Program Title(English) : Development of thermoelectric device using silicon nanowire
 利用者名(日本語) : 姫田悠矢
 Username(English) : Y. Himeda
 所属名(日本語) : 早稲田大学大学院基幹理工学研究科
 Affiliation(English) : Graduate school of Fundamental science and engineering faculty, Univ. of Waseda
 キーワード/Keyword : 環境技術、リソグラフィ・露光・描画装置、Si-NW、熱電発電、C-MOS プロセス

1. 概要(Summary)

シリコンナノワイヤ(Si-NW)を用いた熱電発電デバイス ($L_{NW} = 0.25 \sim 1.0 \mu\text{m}$, $W_{NW} = 80, 100 \text{ nm}$) を作製し、熱電特性にチャネル幅が与える影響についての調査を行った。同デバイスではすでに短チャネル化することにより発電量が増大することが分かっている。熱電発電特性評価の結果、チャネル幅が短い $W_{NW} = 80 \text{ nm}$ の方が開放電圧は小さくなった。また、デバイス内の温度分布をシミュレーションした結果、 $W_{NW} = 80 \text{ nm}$ の方が、より大きな温度差が得られた。 W_{NW} が小さいほど大きな温度差が得られるにもかかわらず、開放電圧が小さくなったことから W_{NW} が小さいほどゼーベック係数が減少していると解釈できる。今回の実験結果は、発電性能を最大化する最適なナノワイヤ幅 W_{NW} があることを示している。

2. 実験(Experimental)

【利用した主な装置】

- ・高速マスクレス露光装置
- ・全自動スパッタ装置(後輩が利用)

【実験方法】

p 型 Si(100) の SOI 基板(SOI 膜厚 = 88 nm, BOX = 145 nm) を ArF 液浸リソグラフィとドライエッチングを用いて Si-pad と Si-NW 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 $5 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ で注入し、活性化アニール(1000 °C, 10 秒)を行った。ここまでのプロセスは産総研 SCR にて加工を行った。その後、高速マスクレス露光装置を用いて、レジストパターンを形成した後、全自動スパッタ装置により Ti 10 nm, TiN 30 nm, Al 400 nm の順に成膜し、リフトオフ(早大ナノ・ライフ創新研究機構 CR のドラフトを利用)により Si-pad の上に電極を形成した。

3. 結果と考察(Results and Discussion)

熱電特性評価は、片側の電極パッドに熱源を接近させて温度勾配を付与し、負荷電圧 V_{load} をデバイスに印

加して流れる電流を計測した。熱電発電特性評価の結果、チャネル幅が短い $W_{NW} = 80 \text{ nm}$ の方が開放電圧は小さくなった(Fig.1)。また、デバイス内の温度分布をシミュレーションした結果 $W_{NW} = 80 \text{ nm}$ の方が、より大きな温度差が得られた(Fig.2)。 W_{NW} が小さいほど大きな温度差が得られるにもかかわらず、開放電圧が小さくなったことから W_{NW} が小さいほどゼーベック係数が減少していると考えられる。この原因として、細い(小さい W_{NW}) Si-NW でフォノン・ドラッグ効果が抑制されている可能性が考えられる。すなわち、 W_{NW} を減少させるとフォノンの表面散乱頻度が増し、熱伝導率を大幅に抑制できるが、反面、フォノン・ドラッグ熱電能の低下により熱起電力が劣化してしまうと考えられる。今回の実験結果から、発電性能を最大化する最適なナノワイヤ幅 W_{NW} があることが示唆される。

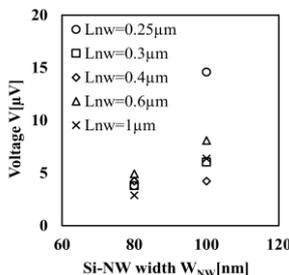


Fig. 1 Si-NW width dependency of open circuit voltage

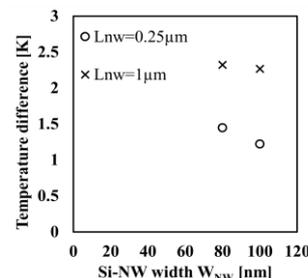


Fig. 2 Temperature difference across Si-NW

4. その他・特記事項(Others)

- ・共同研究者: 産業技術総合研究所 松川貴様、松木武雄様
- ・競争的資金: CREST: B2R40M008901
- ・他の機関の利用: 早稲田大学ナノ・ライフ創新研究機構

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

- (1) Y.Himeda, International Conference on Solid State device and material, 平成 29 年 9 月 22 日 (発表日)

6. 関連特許(Patent)

特になし