P 型表水平配向 Si ナノワイヤのゼーベック係数評価：不純物濃度依存性と水素アニールの効果

Evaluation of Seebeck Coefficient of P-type lanar Si-nanowire: Dopant Concentration Dependency and Forming-gas Annealing Effect

早大理工 [1]、産総研 [2]、 ○田邉 咲華 [1]，姫田 悠矢 [1]， 武澤 宏樹 [1]，目﨑 航平 [1]，平尾 修平 [1]，富田 基裕 [1]，松川 貴 [2]、松木 武雄 [1,2]、渡邉 孝信 [1]
Waseda Univ.[1], AIST[2], ○S.Tanabe[1], Y.Himeda[1], H.Takezawa[1], K.Mesaki[1], S.Hirao[1], T.Matsukawa[2], T.Matsuki[1,2], M.Tomita[1], T.Watanabe[1]
E-mail: tanabe_sakika@watanabe.nano.waseda.ac.jp

【はじめに】身の回りのあらゆるモノがインターネットに繋がれ相互に情報をやり取りするIoT(Internet of Things)社会の実現に向けて、熱エネルギーを始めとした、環境中の微小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進められている。近年、Siをナノワイヤ(NW)化することで熱電特性が劇的に向上することが明らかにされ[1]、CMOS プロセスとの親和性の高い、Si-NW を用いた微小熱電発電デバイス(Micro Thermoelectric Generator:μTEG)の実現に期待が寄せられている[2]。μTEG の発電量はゼーベック係数の 2 乗に比例するため、ゼーベック係数の増大は出力特性を向上させる上で重要な課題である。一般にゼーベック係数は電気伝導率とトレードオフの関係あることが知られており、バルク Si でも不純物濃度の増加とともにゼーベック係数が減少することが報告されている[3]。しかし、Si-NW におけるゼーベック係数の不純物濃度依存性は十分調査がなされていない。また当グループのこれまでの研究で、N 型 Si-NW のゼーベック係数がフォーミングガスアニール(FGA)することにより絶対値が増大することを報告している[4]。本研究では、P 型 Si-NW おけるゼーベック係数の不純物濃度依存性、ならびにその FGA 効果を調査した。

【実験方法】Fig. 1に作製したP型Si-NW熱電発電デバイスの模式図を示す。まずSOI基板(SOI膜厚=88nm,BOX=145nm)をEBリソグラフィー及びドライエッチングによりSi-NW(幅:100 nm、長さ:18, 56 ,100 μm、400本)およびSiパッドを形成した。SOI層表面に30nmの熱酸化膜を形成し、引き続き、BF_2^+を加速電圧60keV、ドーズ1×10^{14}, 2×10^{14},5×10^{14}, 1×10^{15}, 3×10^{15}cm^{-2}の条件で注入・活性化アニール(950℃,10分)を行った。Siパッド上の酸化膜を部分的に除去した部分に、Ti 10 nm, TiN 30 nm, Al 400 nm膜が積層された電極を形成した。最後に、ゼーベック係数の変化を確認するためのFGA(400 ℃, 30 分)を行った。318 Kに昇温したAlNセラミック製のマイクロサーモスタットを電極の一方に接触させて高温熱源(318 K)とし、ペルチェ冷却で293 Kに保持した基板ステージを低温熱源とすることで25 Kの温度差を与えた。

【結果と考察】Fig.2にFGA前の不純物濃度とゼーベック係数の関係を示す。ゼーベック係数は、バルクSiと同様に、不純物濃度が低下するほど増加する傾向が見られた。Fig.3にL=18 μmのSi-NWについて、FGA前後のゼーベック係数の不純物濃度依存性を示す。FGAを行うことで、測定したすべての試料でゼーベック係数が低下している。以前、N型Si-NWにFGAを施した際はゼーベック係数が逆に大幅に改善した[4]。P型、N型に関わらずSiO_2内もしくは表面に負の固定電荷が存在し、FGAによってその負の固定電荷が低減され、ゼーベック係数が変化したと考えている。この結果は、ゼーベック係数の絶対値に与えるFGAの影響はN型とP型とで異なることを示している。

【謝辞】本研究は JST-CREST(JPMJCR15Q7)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] C.Wood et al, Reports on Progress in Physics, 51, 4 (1988). [4] S.Hashimoto et al, Appl. Phys. Lett. 111, 023105 (2017).

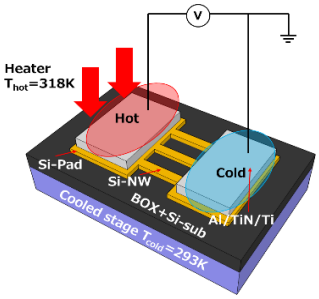

Fig.1 P-type planar Si-NW micro thermoelectric generator on the Seebeck coefficient

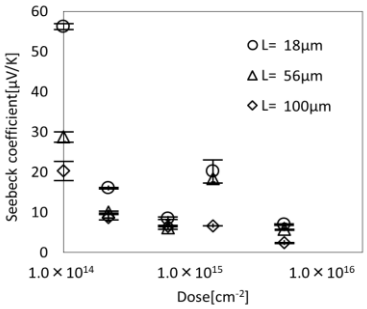

Fig.2 Seebeck coefficient vs P-type dopant dose w/o FGA

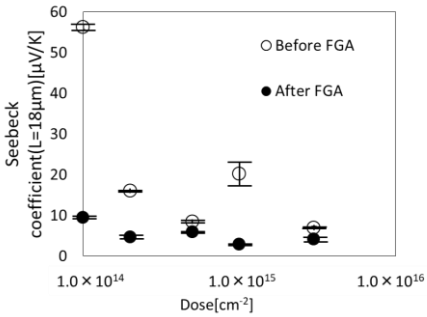

Fig.3 Effect of FGA on the Seebeck coefficient