

シリコン集積熱電デバイスの発電性能のレグ形状依存性

Dependence of Power Generation Performance of Si Integrated Thermoelectric Device
on the Leg Shape早大理工¹, ○林 竜也¹, 空閑 敬太¹, 松木 武雄¹, 渡邊 孝信¹Waseda Univ.¹, ○T. Hayashi¹, K. Kuga¹, T. Matsuki¹, T. Watanabe¹

E-mail: ta1104hayashi@akane.waseda.jp

【はじめに】我々は、環境中の微小な熱エネルギーを電気エネルギーに変換する熱電デバイスを、Si-CMOS プロセスで作製する技術の開発に取り組んでいる。この熱電デバイスは、基板表面の導熱路 (Heat Guide :HG)を通じ、Si 製の発電部(レグ)の片側に熱を局所注入することでレグ内に温度差を生み、熱起電力を発生させる。Si レグをナノワイヤ(NW)形状に加工することで熱伝導率を抑制でき [1]、さらに大きな温度差をつけることができる。一方、これまでの実験で、Si レグの幅を 0.1、0.3、0.5、0.8 μm と大きくした方が発電性能が向上することが示されている[2]。つまり、サブミクロンの範囲内で幅を太くした際の発電性能は、熱伝導率の増大による開放電圧の低下よりも、電気コンダクタンス(電気抵抗)の増加による影響の方が大きいと考えられる。今回、NW 形状の Si レグのデバイスと、既報の調査よりはるかに幅が大きなシート形状の Si レグに関してそれぞれの長さを広範囲に変えたデバイス群の比較により、形状の発電性能に与える影響を広範囲に検討した。

【実験方法】Fig.1 に作製した Si 集積熱電デバイスの構造を示す。SOI 基板を加工して Si-pad と Si レグを形成し、P+イオンを注入して n 型領域を作製した。続いて、第一層間絶縁膜を成膜し、W コンタクト、金属配線(Ti/Al/TiN/Ti)を作製した。その後、第二層間絶縁膜、HG を順に作製した。測定デバイスの NW 幅は 0.1 μm 、シート幅は 36 μm であり、レグの厚さは 120nm、レグ長は 0.25、0.6、1、2.5、5、10、30、70 μm の 8 水準とする。作製したデバイスは、レグ長 0.25、0.6、1、2.5 μm では Fig.1 に示す単位構造が 288 段直列接続されており 5、10、30、70 μm ではそれぞれ 216、144、72、36 段直列接続されている。発電性能測定の際は、ステージ温度を 21.6 $^{\circ}\text{C}$ に固定し、HG に電流を注入して 26.6 $^{\circ}\text{C}$ に抵抗加熱した。

【結果】レグ長と 1 段(stage)当たりの電気抵抗 $R[\Omega]$ の関係を Fig.2 に、レグ長と 1 段(stage)当たりの開放電圧 $V_{oc}[\mu\text{V}]$ の関係を Fig.3 に、レグ長と発電密度の関係を Fig.4 に示す。発電密度は $V_{oc}^2/(4R \cdot \text{面積})$ で計算される。電気抵抗はレグ断面積が大きいシート形状の方が小さくなる。その一方、NW 形状では熱抵抗が大きく、両端の温度差が増大するため、開放電圧がシート形状と比べて大きくなった。結果として、シート形状の方が NW 形状と比べて高い発電密度を示した。すなわち、本研究で作製したデバイスのレグ長の範囲では、レグ幅を大きくして電気抵抗を抑えることが効果的であると言える。ただし、シート形状レグでは発電密度が最大となるレグ長が存在し、このレグ長を下回るとレグ内の温度差が低下する影響が支配的となる。対して、NW 形状レグでは発電密度のピークは現れず、レグ長は短くなるにつれて単調に増大している。すなわち、さらなる微細化で発電性能が向上する余地がある。

【まとめ】本研究から、シート形状のレグが NW 形状に比べてより高い発電性能を示すことが確認された。現状の Si 集積熱電デバイスでは、レグの電気抵抗を小さくすることが発電性能を向上させる上で効果的であることがわかった。

【謝辞】本研究は JST-CREST(JPMJCR19Q5)および科研費・基盤研究(B) (23K22800)の支援により実施された。

【参考文献】[1]Hockbaum et al., Nature 451, 163 (2008). [2]三島 真雄紀 他、第 85 回応用物理学会秋季学術講演会(2024)、18a-C301-4

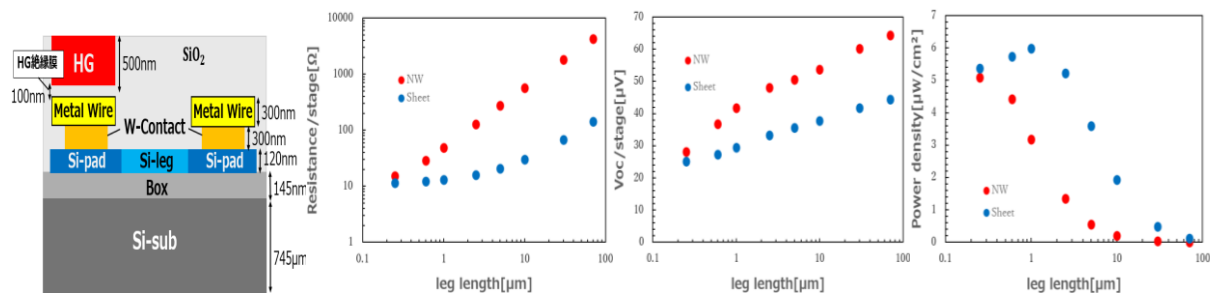
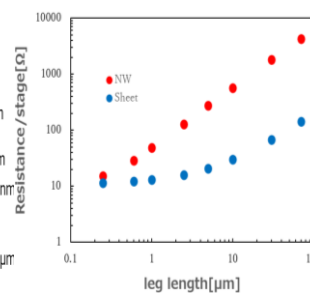
Fig.1 Schematic of μ -TEG

Fig.2 leg length dependence on leg-resistance

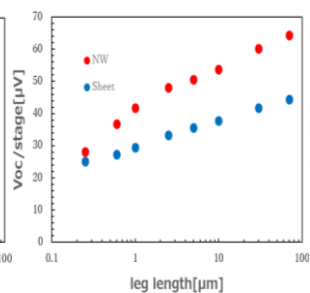


Fig.3 leg length dependence on Voc

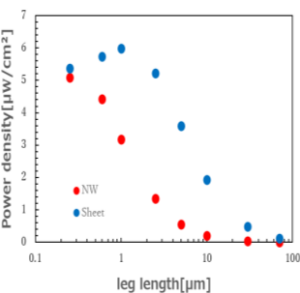


Fig.4 leg length dependence on power density