

薄膜型シリコン熱電発電デバイスのフォノンニック結晶ナノ構造による出力向上

Power enhancement of membrane-based Si thermoelectric generator by PnC nanostructures

東大生研¹, JST さきがけ², [○]柳澤 亮人¹, 野村 政宏^{1,2}

IIS Univ. of Tokyo¹, JST PRESTO², [○]R. Yanagisawa¹, M. Nomura^{1,2}

E-mail: r-yanagi@iis.u-tokyo.ac.jp

背景：高度なセンサーネットワーク社会の到来により、自立電源としての環境発電デバイスの需要が高まり、低環境負荷なシリコンを用いた熱電変換デバイスが注目されている。これまで、シリコン薄膜にナノ構造を作製することで熱キャリアであるフォノンの散乱を誘起し熱電変換の性能指数 ZT を大きく向上した報告がある一方で^[1]、デバイス応用においてはマイクロスケールのデバイスの報告にとどまっている^[2]。先の応用物理学会にて、多結晶シリコン薄膜にフォノンの平均自由行程を考慮して設計したフォノンニック結晶 (PnC) ナノ構造を作製することで熱伝導率を 80%以上低減した結果を報告した^[3]。今回、PnC ナノ構造を用いた熱電デバイスを作製し、出力の大幅な向上に成功した結果について報告する。

手法・結果：図 1(a)に示すように厚さ 300 nm の多結晶シリコン活性層を持つ SOI ウエハに試料の作製を行った。加速電圧 120 keV、ドーズ $1.8 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ で P をイオン注入し、900°C で 1 分間、熱アニールを行ったのち、電子線描画とプラズマエッチングを用いて PnC ナノ構造を作製、図 1(b,c)に示すような単位構造が 20 直列に繋がれたユニレグ型熱電変換デバイスを作製した。酸化膜を一部エッチングし PnC 部分をブリッジ構造にすることで、基板を加熱した際に、熱抵抗の大きな PnC によって面内方向に温度勾配が生じる。作製した試料について、基板を室温から -10~+40°C の間で加熱し、熱起電力による電圧と出力を測定した。図 1(d,e)に示すように、PnC を用いることで、薄膜構造と比べて電圧は 2.5 倍程度増加、出力は 7 倍以上の増加を達成し、PnC ナノ構造の導入による性能向上を実証することができた。電圧の大きさからブリッジ面内の温度差は数十 mK 程度と考えられ、デバイスの熱設計を改善することで出力をさらに向上できると見込まれる。

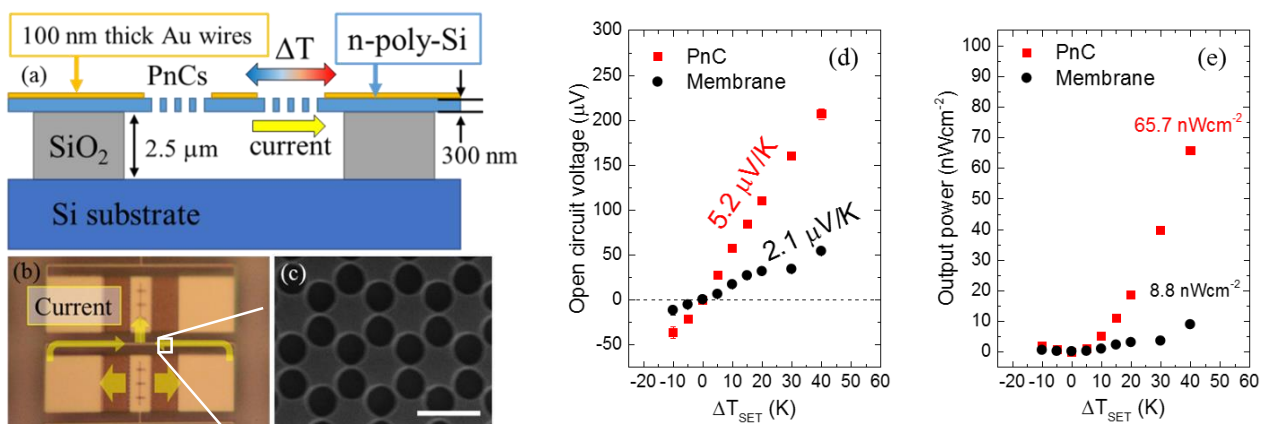


Fig.1 (a) Schematic picture for cross-section of one unit. Top n-type poly-Si layer is suspended to create in-plane direction of temperature difference. (b) Microscope image of two units and flow of electric current. (c) An SEM image of PnC nanostructures with 500 nm length scale bar. (d) Measured open circuit voltage of TEGs and (e) output power per unit area as a function of set temperature difference. Red square for PnC TEG, and black circle for membrane TEG.

謝辞：本研究は、科学研究費補助金 (15H05869, 15K13270)、および JST さきがけの支援により遂行された。**参考文献：**[1] Masahiro Nomura, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 223106 (2015). [2] Jin Xie, *et al.*, JMEMS. **19**, 317 (2010). [3] 柳澤亮人, 野村政宏, 他, 第 65 回応用物理学会春季学術講演会, 18p-P15-5, 東京 (2018).