

フォノンナノ構造を用いた高出力平面型シリコン熱電発電素子

High-power Planar-type Si Thermoelectric Generator with Phononic Nanostructure

東大生研¹, [○]柳澤亮人¹, 野村政宏¹

IIS Univ. of Tokyo¹, [○]R. Yanagisawa¹, M. Nomura¹

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

背景・目的: 熱電変換の環境発電応用が期待されており、シリコン (Si) などのユニバーサルな材料を用いた熱電発電素子の研究が行われている。我々はこれまでに厚さ 1 μm 以下のシリコン薄膜にフォノンナノ構造 (PnC) を作製し、熱伝導率を大きく低減することで熱電変換性能の向上を実証した[1]。Si 薄膜を用いた平面型熱電発電素子 (TEG) は、作製スループットが高く分散性に富むため、エネルギーハーベスタとしての利用が期待される。本講演では、フォノンナノ構造を用いて平面型 Si TEG において高い性能を実現した成果について報告する。

手法・結果: 試料は厚さ 1.1 μm の多結晶 Si 層をデバイス層に持つ SOI ウェハ上に作製され、電子線描画とプラズマエッチングを用いて周期 300 nm、直径 \sim 270 nm 程度の円孔配列ハニカム格子 PnC を作製した。デバイスウェハの酸化膜犠牲層エッチングと、キャップウェハの張り合わせにより、図 1(a)に示すダブルキャビティを有する平面型 TEG を作製した。図 1(b)に示す様に、フォノンナノ構造を作製した Si 薄膜において、フォノンの平均自由行程よりも短いネック幅を作製することで熱伝導率が大きく低減され、TEG 外部温度差 ΔT に対して 30%以上の温度差 ΔT_{TE} がデバイス層内に得られる。図 1(c)に示すように、環境中で利用可能な 9 K 程度の温度差 ΔT に対して 100 μWcm^{-2} 以上の発電密度が得られ、規格化した発電性能として 1.3 $\mu\text{Wcm}^{-2}\text{K}^{-2}$ 、Si 材料を用いた平面型 TEG として世界最高の性能を実現した[2]。電源制御回路と通信素子、センサーを組み込んだモジュールを設計し、フィールド試験において平均 100 μW の出力が見込まれる結果が得られており、デバイスを大面積化し、電力制御回路やセンサーなどを組み込むことで、エネルギーハーベスタによる自立センサーノードの実現に利用できる。

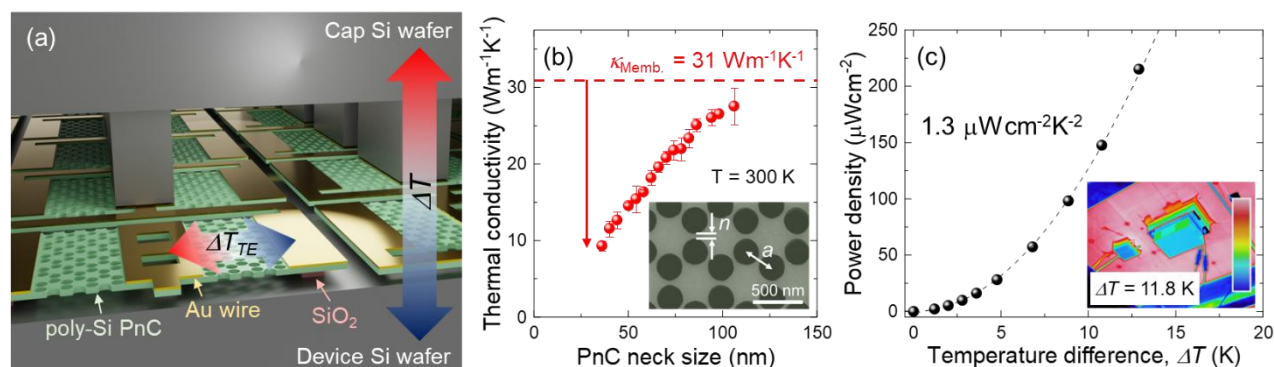


Figure 1 (a) Schematic picture of planar-type uni-leg Si TEG. (b) Measured thermal conductivity of poly-Si thin film with phononic nanostructure. Inset shows an SEM image of fabricated PnC. (c) Measured power density of TEG for applied ΔT . Inset shows an IR camera photo of energy harvesting module.

謝辞: 本研究は、JST CREST (JPMJCR19Q3)、JST 未来社会創造事業 (JPMJMI19A1)、および科学研究費補助金 (21H04635) の支援により遂行された。**参考文献:** [1] M. Nomura et al., *Mater. Today Phys.* 22, 100613 (2022). [2] R. Yanagisawa et al., *Mater. Today Phys.* 45, 101452 (2024).