

フォノンエンジニアリングによるシリコン薄膜熱電発電デバイス開発

Si thin film thermoelectric generator based on phonon engineering

東大生研¹、JST さきがけ²、フライブルク大³ ○野村政宏^{1,2}、柳澤亮人¹、O. Paul³

IIS, Univ. of Tokyo¹, PRESTO, JST², IMTEK U. Freiburg³

OM. Nomura^{1,2}, R. Yanagisawa¹, and O. Paul³

E-mail: nomura@iis.u-tokyo.ac.jp

はじめに 熱電変換効率向上のアプローチは大きく分けて、材料科学に基づくものと構造設計に基づくものがある。前者は 20 世紀中ごろから継続的に行われ、後者は 1990 年代に MIT の Dresselhaus らが提案した半導体ナノ構造の導入をきっかけとして本格化した。我々は、低環境負荷なシリコンにナノ構造化を行うことで低熱伝導率化し、平面型熱電変換デバイスを実現すべく研究開発を進めている[1,2]。本講演では、シリコン中の熱フォノンの平均自由行程(MFP)スペクトルを考慮して設計・作製した多結晶シリコン薄膜および周期 300 nm のフォノンニック結晶(PnC)ナノ構造を有するデバイスの性能を紹介し、発電量増大に向けた課題と取り組みを紹介する。

結果と考察 作製した熱電変換デバイスは、厚さ 300 nm の多結晶シリコン薄膜に周期 300 nm のハニカム格子状に円孔を設けた二次元 PnC ナノ構造を有する(図 1a)。PnC 構造の導入がどの程度発電量を向上させるかを評価した。多結晶シリコンは n 型で(ゼーベック係数 $-107 \mu\text{V}/\text{K}$)、デバイスはユニレグ型となっている。EB リソグラフィでナノ・マイクロ構造を作製したのち、ホットプレートに本デバイスを置いて加熱し発電させた。40 対直列のデバイスで測定した開放電圧およびパワー密度を図 1b, c に示す。PnC ナノ構造を形成することで、開放電圧は約 4 倍、パワー密度は約 10 倍に向上した。本デバイス構造は、ナノ構造化のコンセプトを確認するためのシンプルな構造であり、熱電材料にかかる温度差はホットプレートと空気の温度差(ΔT_{set})の 1%にも満たないため、平面型熱電変換デバイスでは熱設計が極めて重要で、それを反映した構造の作製を進めている。

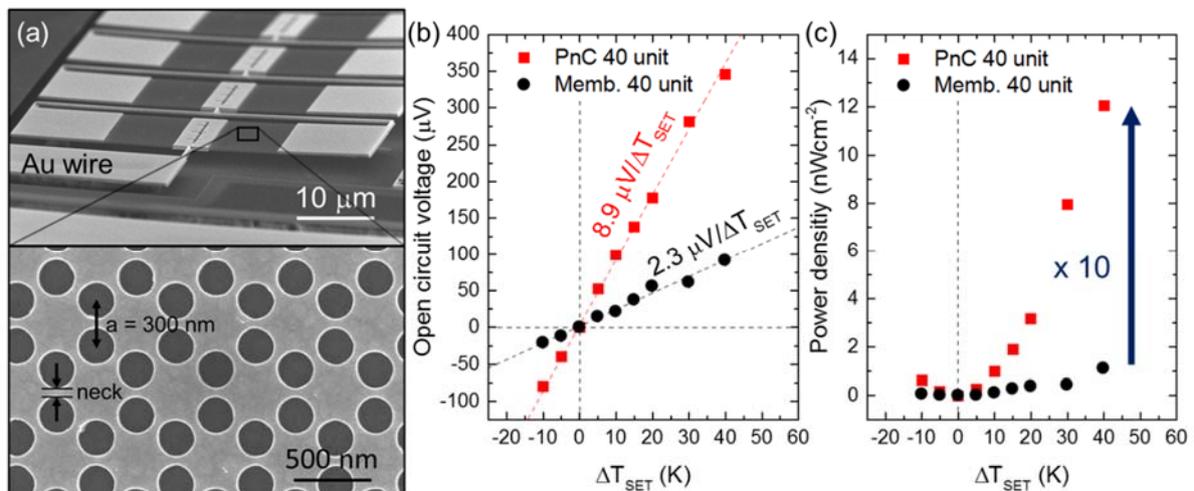


図 1(a) シリコン PnC ナノ構造の SEM 像。(b, c) 作製したデバイスの開放電圧とパワー密度の温度依存性。大気中でホットプレートの上に乗せ、空気との温度差により発電する。

謝辞: JST さきがけおよび科学研究費補助金(15K13270, 17H02729)の支援により遂行された。

参考文献: [1] M. Nomura *et al.*, PRB **91**, 205422 (2015). [2] M. Nomura *et al.*, APL **106**, 223106 (2015).