ナノインプリントによるシリコン薄膜熱電ハーベスタの作製と性能評価

Fabrication and evaluation of planar-type Si thermoelectric harvesters by nanoimprint lithography

東大生研 [1]，フライブルク大 [2]，JST さきがけ [3]，○柳澤 亮人 [1]，P. Ruther[2]，O. Paul[2]，野村 政宏 [1,3]

IIS Univ. of Tokyo[1], IMTEK Univ. of Freiburg[2], JST PRESTO[3], ○R. Yanagisawa[1], P. Ruther[2], O. Paul[2], M. Nomura[1,3]

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

背景：スマート社会の到来により、センサーなどを駆動する自立電源としての環境発電デバイスの需要が高まり、シリコン材料を用いた低環境負荷熱電ハーベスタが注目されている。これまで、シリコン薄膜にナノ構造を作製することで熱フォノンの散乱を誘起し熱電変換性能指数 ZT を向上した報告があり[1]、先の応用物理学会にて初めてナノ構造を用いたモジュール作製・測定の報告を行った[2]。ナノ構造を用いることで出力密度を向上することに成功したが、さらなる高出力化に向けてモジュールの大面積が必要であり、今回ナノインプリントを用いた大面積モジュールの作製及び評価を行った結果を報告する。

手法・結果：図 1(a)に示すように厚さ 300 nm の多結晶シリコンを活性層に持つ SOI ウエハに試料の作製を行った。図 1(b,c)に示すように、ナノインプリントリソグラフィとエッチンングにより 2 mm x 1 mm の範囲にフォノニック結晶（PnC）ナノ構造を作製し、イオン注入によって p 型及び n 型領域を作製し、金属配線の蒸着によって pn ペアが 1500 直列×2 並列に集積された熱電モジュールとした。埋込酸化膜を一部エッチングすることで PnC 部分をブリッジ構造にし、試料をホットプレートに乗せ、基板に室温からの温度差（ΔT_{SET}）-5～+35 K を与え熱起電力による開放電圧を測定した。図 1(d)に示すように、ΔT_{SET} 1 K あたり 3 mV の熱起電力が得られ、モジュールの大面積化により先の報告と比較して 300 倍の向上を達成した[2]。ハーベスタとしてセンサーを駆動するために数百 mV、数十 μA の出力が必要と考えられるが、今回のモジュールにおいてブリッジ面内の温度差ΔT_{DEV} はΔT_{SET} の 1 %以下であり、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。

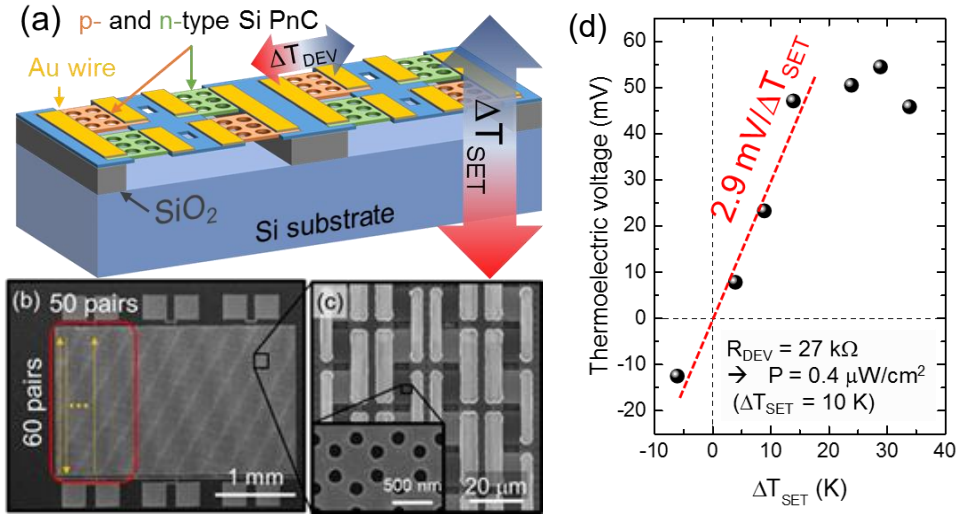

Figure 1. (a) Schematic picture of planar-type TEG composed of suspended Si membrane with nano-patterning. (b,c) SEM images of fabricated TEG. 3000 TE devices are integrated in 2 mm by 1 mm area. (d) Measured thermoelectric voltage of nano-patterned device with applied ΔT_{SET} in range from -5 to +35 K.

謝辞：本研究は、科学研究費補助金（15K13270, 17H02729）、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] 柳澤亮人，野村政宏，他，第 79 回応用物理学会秋季学術講演会, 20p-234B-3，愛知 (2018).