

野村 政宏

東京大学生産技術研究所
准教授

フォノンエンジニアリングに立脚した熱電給電センシングシステム

§ 1. 研究成果の概要

2019年度は、大きく分けて①シリコン薄膜表面にナノ構造を形成することで熱伝導率を低減する手法の開発、②エネルギーハーベスター搭載型センサーノード開発の2つを推進した。

① シリコン薄膜表面ナノ構造による熱伝導率の低減

シリコンは、安価で豊富に存在する材料であることから、ナノ構造化で熱電変換能を高めることができれば、低消費電力用途の環境発電材料としての活躍が期待できる。そのためには、高性能化に効果的な熱伝導率の低減を可能にする、安価かつ大面積プロセス手法を開発することが重要である。そこで、太陽光発電分野で用いられている、「ブラックシリコン」プロセスに着想し、特殊な条件でシリコンをドライエッチングすると、図1に示すような数十nm程度の大きさのナノコーン構造を表面に形成することができる。これはマスクレスプロセスであり、基板をそのままドライエッチングすればよいため、上記の要請を満たす手法である。本構造では、熱伝導率が室温で半分程度になり、かつ電子伝導にほとんど影響を与えないことがわかり、性能を2倍程度増強することができる。

② エネルギーハーベスター搭載型センサーノード開発

熱電変換デバイスを用いたエネルギーハーベスター搭載型のセンサーノード開発において、熱電変換デバイスに可能な限り大きな温度差を確保するための総合技術開発が重要である。筐体設計と材料選択はその要素技術のひとつである。3Dプリンターを用いて、問題点を洗い出すためのプロトタイピングを行い、熱電発電デバイス、別途設計・作製した専用回路基板、LPWAカメラなどを収めて組み上げた。

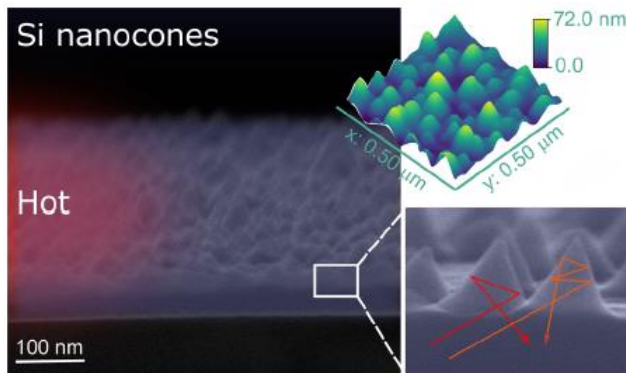


図1 シリコンナノコーン構造の高分解能走査電子顕微鏡像。

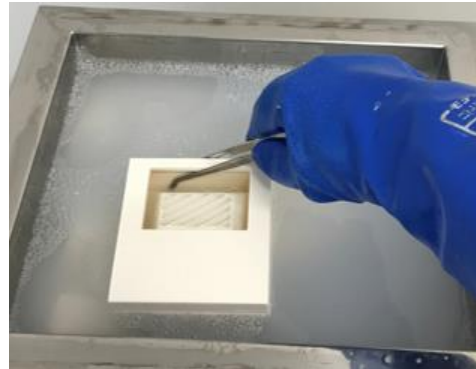


図2 3Dプリンターによるセンサーノードの筐体作製過程。

【代表的な原著論文】

1. X. Huang, S. Gluchko, R. Anufriev, S. Volz, and M. Nomura, “Thermal conductivity reduction in silicon thin film with nanocones,” *ACS Appl. Mater. Interfaces* 11, 34394 (2019).
2. R. Anufriev, S. Gluchko, S. Volz, and M. Nomura, “Probing ballistic thermal conduction in segmented silicon nanowires,” *Nanoscale*, 11, 13407 (2019).
3. R. Anufriev, J. Ordonez-Miranda, and M. Nomura, “Measurement of the phonon mean free path spectrum in silicon membranes at different temperatures using arrays of nanoslits,” *Phys. Rev. B* 101, 115301 (2020).

§ 2. 研究実施体制

(1) 野村グループ(東京大学生産技術研究所)

- ① 研究代表者:野村 政宏 (東京大学生産技術研究所 准教授)
- ② 研究項目
 - ・ Si 薄膜の表面ナノ構造化による熱伝導制御
 - ・ Si ナノ薄膜中のフォノンの平均自由行程測定法の開発
 - ・ 平面型 Si 熱電変換デバイスの構造検討と作製、性能評価

(2) 大西グループ(東京大学)

- ① 主たる共同研究者:大西 正人 (東京大学大学院工学研究科 特任助教)
- ② 研究項目
 - ・ Si 薄膜の界面・表面構造におけるフォノン散乱の影響解析
 - ・ フォノニクス結晶のマルチスケール・フォノン/熱輸送解析

(3) 絹村グループ(東京大学)

- ① 主たる共同研究者:絹村 剛士 (前田建設工業(株) ICI総合センター・カタリスト)
- ② 研究項目
 - ・ 供用中のインフラ構造物(橋梁及びトンネル)における温度差分布計測
 - ・ 社会実装計画の検討と案出

(4) 原島グループ(凸版印刷(株))

- ① 主たる共同研究者:原島 純一
(凸版印刷(株)エレクトロニクス事業本部 主任)
- ② 研究項目
 - ・ カメラ+LPWA 通信の消費電力検討と計測
 - ・ 既存ペルチェ素子+エネルギーハーベスト電源+カメラ+LPWA 通信モジュール開発
 - ・ 通信プロトコル変換器(LoRa-ZETA)開発

(5) 吉田グループ(セイコーインスツル(株))

- ① 主たる共同研究者:吉田 宜史 (セイコーインスツル(株)技術開発本部研究開発センター 部長)
- ② 研究項目
 - ・ センサーノード筐体の設計と作製
 - ・ パワーマネジメント回路の検討と作製