

微小エネルギーを利用した革新的な環境発電技術の創出
2019年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書

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

今年度は、下記の 3 項目について研究を推進した。

① フォノンエンジニアリングによる高度熱流制御技術開発

平均自由行程内で、熱フォノンの運動量ベクトルを素直に保存する弾道性を利用することで、従来法では不可能な熱流制御が可能になる。また、波動的性質を利用したバンドエンジニアリングによる熱輸送特性制御も物理的に興味深い。本年度は、弾道性と波動性を活用した高度な熱流制御技術を深掘するとともに、Material Today Physics に招待レビュー論文を執筆したことから、フォノンニック結晶による熱流制御を網羅したまとめを行った。また、表面フォノンポラリトンの超長距離弾道的熱輸送の観測を行い、サンプルエッジからの黒体放射を超える Super Planckian 放射の測定を行った。

② 固体界面・表面におけるフォノン散乱モード依存性解析技術の開発

ナノ構造を含む構造の熱輸送特性解析にはレイトレーシング法やモンテカルロ法が用いられる。今年度は S-matrix 法と原子グリーン関数 (AGF) 法を利用した界面・表面におけるフォノン散乱モード依存性解析技術を確立した。さらにテスト計算としてグラフェンエッジにおけるフォノン散乱モード依存性を解析し、過去の研究と良い一致が得られることを確認した。

③ 熱電変換デバイスおよびセンサーノード開発

熱電変換デバイス開発では、フリップチップボンダーの導入により、微細構造を形成した上部キャビティ構造を用いた放熱経路を適切に形成することにより、当該構造なしの場合と比較して飛躍的な発電量の増強に成功した。また、Si フォノンニック結晶ナノ構造を究極ともいえるレベルにまで微細加工技術を洗練し、ネック幅 10 nm 以下を実現した構造で高い ZT を実現した。センサーノード開発では、蓄電デバイス、蓄電制御デバイスと LPWA・ZETA 通信モジュールによる、低消費電流で送信可能なセンサーノードを試作した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 野村グループ

- 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
 - ・ ナノ構造化による熱伝導制御
 - ・ 平面型 Si 熱電変換デバイスの設計と作製、性能評価

(2) 大西グループ

- 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
 - ・ ナノスケールにおける界面熱コンダクタンスの再考と理解
 - ・ モード分解原子グリーン関数法を用いたフォノン散乱解析コードの開発

(3) 稲田グループ

- ① 主たる共同研究者: 稲田 雄大 (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

- 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

- ① 主たる共同研究者: 吉田 宜史 (セイコーホールディングス(株)研究開発部 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

【代表的な原著論文情報】

- 1) M. Nomura, R. Anufriev, Z. Zhang, J. Maire, Y. Guo, R. Yanagisawa, and S. Volz, “Review of thermal transport in phononic crystals”, *Materials Today Physics*, vol. 22, 100613 (2022). (Invited review)
- 2) Z. Zhang, Y. Guo, M. Bescond, J. Chen, M. Nomura, and S. Volz, “Heat conduction theory

including phonon coherence”, *Physical Review Letters*, 128, 015901 (2022).

- 3) Z. Zhang, Y. Guo, M. Bescond, J. Chen, M. Nomura, and S. Volz, “How coherence is governing diffuson heat transfer in amorphous solids”, *npj Computational Materials*, 8, 96 (2022).
- 4) R. Anufriev, J. Maire, and M. Nomura, “Review of coherent heat and phonon transport control in one-dimensional phononic crystals”, *APL Materials*, 9, 070701 (2021).