

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
2020 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

塩見淳一郎

東京大学 大学院工学系研究科
教授

メカノサーマル工学による熱電技術の低コスト化と高付加価値化

§ 1. 研究成果の概要

前半フェーズで達成した Si ナノ複合焼結体の高性能熱電物性のメカニズムをより深く理解するべく、ひずみ導入や金属ドーピングの効果の計測系の開発および理論解析を進め、Si への能動的なひずみ導入を試験し、熱伝導率のマッピング計測装置を構築し、金属不純物準位がパワーファクターの増大をもたらすことを明らかにした。

Si ナノ複合焼結体をバルクスケールに発展させるため、Si ナノ粒子と Ag を混合して、高速焼結を行うことで、非常に高いパワーファクター材料を得ることに成功した。一方、ナノワイヤー系においては、ウエハスケールでポーラスシリコンナノワイヤーを作製し、グラムスケールで回収する技術を確立した。利用したシリコンウエハは再利用できるため低コスト化が可能になる。また、気相法でのドーピング技術を確立し、n型およびp型両方のシリコン焼結体の作製を行った。

Si 系ナノ構造制御薄膜熱電材料については、ケイ化マグネシウムと錫の超格子材料を初期のナノ構造とし、低温 (423K) アニールにより、アモルファス Mg_2Si 中に Mg_2Sn ナノ結晶が分散した材料とすることで、ゼーベック係数の増大、熱伝導率の低下による性能指数向上が見られた。また、パルスアニール法による Si 系アモルファス材料の結晶化に成功した。さらに、フレキシブル基板上への λ 型熱電素子の試作を行った。

フレキシブル熱電デバイスの高付加価値化に関して、フレキシブルデバイスの高効率化と低コスト・大面積なデバイス製作の検討を行った。フレキシブルデバイスの高効率化に関して、数値シミュレーションを利用し、折り紙型フレキシブル熱電デバイスで用いている折り紙型放熱フィンの放熱性を向上するための形状最適化を行った。また低コスト・大面積なデバイス製作に関しては、熱収縮フィルムを用いた自己折り畳みにより折り紙型フレキシブル熱電デバイスを作製する方法を検討した。

§ 2. 研究実施体制

(1) 塩見グループ

- ① 研究代表者: 塩見 淳一郎 (東京大学 工学系研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ 微視的な構造制御による熱電ひずみエンジニアリングの実証・実践
 - ・ Si ナノ複合焼結体の高度化・多岐化によるバルク化と低コスト化
 - ・ Si 系ナノ構造制御薄膜材料 (NanoSiTF) の物性評価と高性能化
 - ・ 伝熱制御によるフレキシブル熱電デバイスの高効率化

(2) 後藤グループ

- ① 主たる共同研究者: 後藤 真宏 (物質・材料研究機構 主席研究員)
- ② 研究項目
 - ・ 高性能 Si 系ナノ構造制御薄膜熱電材料の開発

- ・ フレキシブル基板上への薄膜熱電材料作製とプロセス簡素化

(3) 岩瀬グループ

- ① 主たる共同研究者: 岩瀬 英治 (早稲田大学 理工学術院 教授)
- ② 研究項目
 - ・ フレキシブルデバイスの高効率化
 - ・ 低コスト・大面積なデバイス製作

(4) 加藤グループ

- ① 主たる共同研究者: 加藤 慎也 (名古屋工業大学 工学研究科 助教)
- ② 研究項目
 - ・ Si ナノ複合焼結体のバルク化
 - ・ 作製プロセスの低コスト化

【代表的な原著論文情報】

- 1) Run Hu, Sotaro Iwamoto, Lei Feng, Shenghong Ju, Shiqian Hu, Masato Ohnishi, Naomi Nagai, Kazuhiko Hirakawa, Junichiro Shiomi, "Machine-learning-optimized aperiodic superlattice minimizes coherent phonon heat conduction" *Physical Review X*, 10 (2), 021050 (2020).
- 2) Yuxuan Liao, Sotaro Iwamoto, Michiko Sasaki, Masahiro Goto, Junichiro Shiomi, "Heat conduction below diffusive limit in amorphous superlattice structures", *Nano Energy* 84, 105903 (2021).
- 3) Shingi Yamaguchi, Takuma Shiga, Shun Ishioka, Tsuguyuki Saito, Takashi Kodama, and Junichiro Shiomi, "Anisotropic thermal conductivity measurement of organic thin film with bidirectional 3ω method", *Review of Scientific Instruments* 92, 034902 (2021).