

ナノスケール・サーマルマネージメント基盤技術の創出
2017年度採択研究代表者

2021年度 年次報告書

柳 和宏

東京都立大学 大学院理学研究科
教授

フレキシブルマテリアルのナノ界面熱動態の解明と制御

§ 1. 研究成果の概要

近年、折り曲げ可能なディスプレイ・スマートフォンなど、柔軟(フレキシブル)性を有するデバイスが社会に普及しつつある中、その性能の最適化には、フレキシブル材料の熱と電荷の流れの相関の理解は必要不可欠である。また、様々なものがインターネットに繋がる IoT 社会の実現には、無数のセンサーの為に電源確保が必要不可欠であり、あらゆる物の温度差から発電可能なフレキシブルな熱電変換素子は有力な電源の一つである。このようなフレキシブル性の起源となるファンデルワールス接合界面を有する物質系における、熱・電荷・熱起電力の相関と機構を理解し、制御する方法を確立することを目標に、本プロジェクトを進めている。

2021年度は、2020年度に引き続き、コロナの中、研究活動が厳しく制限される中、以下の3つの代表的な研究成果を成し遂げてきた。

(成果1)カーボンナノチューブファイバーでの巨大熱電出力の実現

(成果2)ヘテロな二次元界面における低熱伝導の解明

(成果3)電子顕微鏡内におけるナノチューブ界面での熱起電力測定

成果1は、二層カーボンナノチューブを一方向に配列させたファイバーにおいて化学ポテンシャルを制御することにより $14\text{mWm}^{-1}\text{K}^{-2}$ という巨大な熱電出力を室温で達成した成果である。成果2は、二次元材料をヘテロ構造で積層することで空気とほぼ同等の低熱伝導が実現できることを明らかにした成果である。成果3は、電子顕微鏡内において、温度差を形成することによりナノチューブ界面において熱起電力測定が可能であることを実証した成果である。

§ 2. 研究実施体制

(1) 柳グループ

- ① 研究代表者:柳 和宏 (東京都立大学 大学院理学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・ナノチューブ系における ZT 値のフェルミレベル依存性の解明と制御

(2) 竹延グループ

- ① 研究代表者:竹延 大志 (名古屋大学 大学院工学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・有機導電性高分子・原子層系における ZT 値のフェルミレベル依存性の解明と制御

(3) 平原グループ

- ① 研究代表者:平原 佳織 (大阪大学 大学院工学研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・単一ナノ界面における熱動態計測技術の開発

(4) 山本グループ

- ① 主たる共同研究者:山本 貴博 (東京理科大学 理学部第一部 教授)
- ② 研究項目
 - ・多階層性と不均一性を有する系の熱動態の理論的研究

(5) 岡田グループ

- ① 主たる共同研究者:岡田 晋 (筑波大学 数理物理系 教授)
- ② 研究項目
 - ・計算科学によるフレキシブルナノ界面における熱動態の理解の深耕

(6) 河野グループ

- ① 主たる共同研究者:河野 淳一郎 (ライス大学 電子・コンピュータ工学専攻 教授)
- ② 研究項目
 - ・配向制御ナノチューブ薄膜の熱動態を活用した新たな物性探索

【代表的な原著論文情報】

- 1) Ichinose et al. “One-dimensionality of thermoelectric properties of semiconducting nanomaterials”, *Phys. Rev. Mater.* 5, 025404 (2021)
- 2) Komatsu et al., “Macroscopic weavable fibers of carbon nanotubes with giant thermoelectric power factor”, *Nature Comm.* 12, 1-8 (2021)
- 3) Hamasaki et al., “Visualization of Thermal Transport within and between Carbon Nanotubes”, *Nano Lett.* 21, 3134 (2021)
- 4) Yuan et al., “Control of Thermal Conductance across Vertically Stacked Two Dimensional van der Waals Materials via Interfacial Engineering”, *ACS Nano* 15, 15902-15909 (2021)
- 5) Yamamoto et al., “Thermoelectric effect in Mott variable range hopping”, *J. Phys. Soc. Jpn.* 91, 044704 (2022)