

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

2018年度
実績報告書

柳 和宏

首都大学東京理学研究科物理学専攻
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利用されつつある。また、様々なものがインターネットに繋がった次世代情報化社会である Internet of Things (IoT)社会の実現には、無数のセンサーを駆動する電源の確保は必要不可欠であり、そこでは様々な形状の素材における温度差から発電可能なフレキシブル性を有する熱電変換素子が有力な電源の一つである。このようなフレキシブル性を有する物質系における、熱および電荷の流れを理解し、そして制御する方法を確立することは、フレキシブルデバイスの性能向上において必須であり、それが本プロジェクトで解決する課題である。

本研究では、フレキシブル性の起源であるファンデルワールス接合界面における熱・電荷輸送を正確に理解する為、単層ナノチューブ(SWCNT)・原子層物質・有機導電性ポリマーの3つの材料に焦点を絞り、物質の電子構造、その物質が持つ電荷の量であるフェルミレベル、さらには接合界面の構造を制御した形で、熱・電荷の輸送を理解し、そして制御する方法を提案することを目標にチームで研究を進めている。

2018年度に解き明かした成果として、電気伝導率と熱起電力の方位依存性の違いが挙げられる。フレキシブル材料の多くは構造異方性を持つ材料である。例えば、チューブ構造を示すSWCNTはチューブ軸に水平方向と垂直方向、また鎖状である有機導電性ポリマーにおいては主鎖軸方向とその垂直方向(πスタッキング方向)など、構造異方性が極めて大きな材料群である。導電性はその構造異方性を反映して、配列軸(チューブ軸や主鎖軸)に平行方向と垂直方向で大きく異なることは良く知られているが、熱起電力については未だ正確な理解がなされていなかった。熱起電力・電気伝導率はともにフェルミレベルに大きく依存する為、物性値、配向方向、フェルミレベルの三者の関係を正確に理解する必要がある。そこで、SWCNTを一方向に配列させた大面積薄膜を用いて、軸に垂直方向・平行方向の電気伝導率および熱起電力(ゼーベック係数)を調べたところ、電気伝導率は軸に平行方向のほうが大きいという異方性を示すものの、ゼーベック係数はフェルミレベルによらず等方的であることを実験的に明らかにした。これは、フレキシブル材料系の配向の制御で、熱勾配がある時の熱電変換の出力を向上できることを示している。

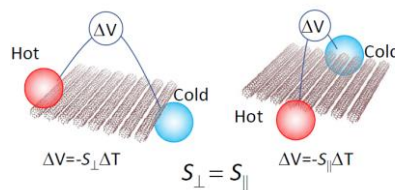


図1 熱起電力の等方性の検証

【代表的な原著論文】

1. K. Fukuhara et al., "Isotropic Seebeck coefficient of aligned single-wall carbon nanotube films", Appl. Phys. Lett. 113, 243105 (2018)
2. F. Katsutani et al., "Direct observation of cross-polarized excitons in aligned single-chirality single-wall carbon nanotubes", Phys. Rev. B 99, 35426 (2019)
3. K. Kanahashi et al., "Formation of environmentally stable hole-doped graphene films with instantaneous and high-density carrier doping via a boron-based oxidant", npj 2D Materials and Applications, vol. 3, p.7 (2019)

§ 2. 研究実施体制

(1) 柳グループ

① 研究代表者:柳和宏 (首都大学東京理学研究科物理学専攻 教授)

② 研究項目

『課題1:フレキシブルナノ界面の熱起電力・電気伝導の制御と学理構築』

・ナノチューブ系の熱起電力・電気伝導の制御と物理的機構の解明

ー試料作成技術の改善

ー熱起電力 (S)・電気伝導 (σ) のキャリア注入依存性および温度依存性

ー高純度単一カイラリティ SWCNT の熱動態の研究

『課題2:キャリア量を制御したフレキシブルナノ界面の熱伝導率の測定技術開発と理解の深耕』

・フェルミレベルを制御した薄膜系の熱伝導評価測定技術の開発

ーキャリア量を制御された薄膜熱伝導評価に向けた実験系の構築

ー薄膜熱伝導率評価

(2) 竹延グループ

① 主たる共同研究者:竹延大志 (名古屋大学工学研究科 教授)

② 研究項目

『課題1:フレキシブルナノ界面の熱起電力・電気伝導の制御と学理構築』

・有機導電性高分子・原子層系の熱起電力・電気伝導率の制御と物理的機構の解明

ー試料作成技術の改善

ー熱起電力 (S)・電気伝導 (σ) のキャリア注入依存性および温度依存性

(3) 岡田グループ

① 主たる共同研究者:岡田晋 (筑波大学数理物質系 教授)

② 研究項目

『課題1:フレキシブルナノ界面の熱起電力・電気伝導の制御と学理構築』

・計算科学によるフレキシブルナノ界面の熱起電力・電気伝導の物理的機構の解明

ー計算科学によるナノ界面におけるキャリア蓄積現象・電気伝導・熱起電力の相関の解析

『課題2:キャリア量を制御したフレキシブルナノ界面の熱伝導率の測定技術開発と理解の深耕』

・計算科学によるフレキシブルナノ界面の熱伝導率の理解の深耕

ーナノ界面におけるマルチスケール熱伝導特性シミュレーション

(4) 平原グループ

① 主たる共同研究者:平原佳織 (大阪大学大学院工学研究科 准教授)

② 研究項目

- 『課題1：フレキシブルナノ界面の熱起電力・電気伝導の制御と学理構築』
・単一ナノ界面における熱起電力・電気伝導測定の実験

(5)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

- 『課題1：フレキシブルナノ界面の熱起電力・電気伝導の制御と学理構築』
・配向制御ナノチューブ薄膜の作製技術の進化と基礎物性研究