

ナノスケール・サーマルマネジメント基盤技術の創出
2018 年度採択研究代表者

2020 年度 年次報告書

中村 雅一

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科
教授

分子接合によるナノカーボン系材料の広範囲熱伝導率制御

§ 1. 研究成果の概要

カーボンナノチューブ(CNT)などのナノカーボン複合材料では、ナノカーボンユニット間の接合界面が熱輸送を律速する。本研究では、そこに有機あるいはハイブリッド分子による接合を形成し、分子接合部における熱輸送を理解し制御することによって、フレキシブルなナノカーボン複合材料の熱伝導率を極めて広範囲にわたって選択可能とすることを目指している。

2020年度の主要な成果は以下のとおりである。

・分子接合部熱輸送機構の理解と制御

細いワイヤ状試料の熱伝導率を正確に測定する数少ない方法の一つである3 ω 法について、誤差要因に対する定量的な理解を進め、測定雰囲気圧力および試料を電極に固定する導電ペーストの幅について、確度の高い熱伝導率測定を行うための条件を明らかにした。さらに、もう一つの方法である直接通電加熱T型法(あるいはクロスジャンクション法)について、熱源兼センサーとなる白金線と試料との熱コンダクタンスバランスが測定値におよぼす影響について定量評価を行った。

・CNT系断熱性熱電接合の高性能化

欠陥の少ない高品質なCNTに対して、従来のものより高い吸着能を示すペプチドアプタマーの有力候補を見いだした。また、そのアミノ酸配列から高次構造を予測し、特徴的な構造を持つことを見いだした。この新規アプタマーは、CNTだけでなく他のナノカーボン材料にも強い吸着能を示すことが明らかになった。

また、一般に大気中で不安定であることが知られているn型ドーピングされたCNTを安定化させる方法を複数確立した他、分子接合を変質させにくい新しいキャリアドーピング法を開発した。

・高熱伝導性接合の高性能化

CNT複合材料紡績糸の熱伝導率に対する延伸の効果について、興味深い結果を得た。また、CNT複合材料リボンの各種作製パラメータがCNTの配向におよぼす影響を網羅的に調べた。

§ 2. 研究実施体制

(1) 中村グループ

- ① 研究代表者: 中村 雅一 (奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 教授)
- ② 研究項目
 1. CNT 系断熱性熱電接合の高性能化
 - 1.1) CNT/C-Dps 凝集体/紡績糸の作製と熱電/熱輸送特性評価
 3. 断熱性熱電接合の応用開拓
 - 3.1) 低熱伝導率と熱電性能を両立させた高断熱性熱電素子の開発
 4. 高熱伝導性接合の高性能化
 - 4.1) 熱輸送増強ポリマーの探索と作製法最適化による高熱伝導率化
 - 4.2) 接合部の構造解析とCNTフォノンへの影響評価
 5. 高熱伝導性接合の応用開拓
 - 5.1) 究極の高熱伝導率を有する導熱・導電材料の応用開拓
 6. 分子接合部熱輸送機構の理解と制御
 - 6.0) ワイヤ状試料の精密熱伝導率測定技術の確立
 - 6.1) 熱輸送現象の分子スケール計測
 - 6.2) 接合部の熱輸送シミュレーション

(2) 山下グループ

- ① 主たる共同研究者: 山下 一郎 (大阪大学 大学院工学研究科 特任教授)
- ② 研究項目
 1. CNT 系断熱性熱電接合の高性能化
 - 1.2) C-Dps の高性能化とアプタマー選択指針となるインデックス作成
 - 1.3) アプタマー提示球殻状タンパク質のCNT吸着メカニズム解明
 2. 断熱性熱電接合の各種ナノカーボンへの水平展開
 - 2.2) 各種ナノカーボン材料用アプタマーの新規創製

【代表的な原著論文情報】

- 1) “Fabrication of ribbon-like films of orientation-controlled carbon nanotube/polymer composite using a robotic dispenser”, Appl. Phys. Express, vol. 1, No. 1, pp.1-10, 2020.
- 2) “Gas phase doping of pre-fabricated CNT yarns for enhanced thermoelectric properties”, Synthetic Metals vol. 280, 116874 (7 pages) (2021).
- 3) “Controlling Factors for the Alignment of SWCNTs in CNT-Polymer Composite Films produced by Robotic Dispenser”, (under review).