

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

2018 年度 実績報告書

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ナノスケール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、断熱材相当からダイヤモンド相当に至る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。2018年度は、以下の項目について研究を実施した。

・CNT系断熱性熱電接合(図下段)の高性能化

これまでに、球殻状タンパク質に特定のペプチドアダプターを付与したもの(C-Dps)によって、CNT凝集体中のCNT/CNT接合部に分子接合が自己組織的に形成され、熱伝導が効果的に抑制されることが確認されている。しかし、CNTの製法や処理法によって吸着量が大きく異なるなどの問題があった。本項目では、まず汎用的な分析から得られる「化学的指紋情報」によってCNTを特徴付け、各CNTへの吸着能が高いアダプターのアミノ酸配列との関係を調べ、アダプター選択のためのインデックス情報とすることを目的の一つとしている。化学的指紋情報を得るための第一段階として、ラマン分光、X線光電子分光、接触角測定、熱重量分析などの各分析法に適したCNT薄膜試料作製法を確立し、ラマン分光および熱重量分析による評価に着手した。平行して、各CNTに高い親和性を持つアダプターを選択するため、ファージディスプレイ法を用いたバイオパンニングを実施法の基礎検討を行った。また、断熱性熱電接合を有するCNT紡績糸によって高性能な布状熱電変換素子を作製するための要素技術として、CNT/C-Dps複合体分散液中のCNTおよびC-Dps濃度定量法を確立し、CNT紡績糸の再現性などを向上させた他、CNT紡績糸の直径制御法を確立した。

・断熱性熱電接合の応用開拓

アウトリーチ活動や技術展示会などにおいて断熱性布状熱電変換モジュールの動作デモンストレーションをおこなうために、スマートフォン等とBluetooth接続して発電量を表示させるためのデバイスを作製した。

・高熱伝導性接合(図上段)の高性能化

これまでに極めて高い熱伝導率を示すものが得られているCNT/ポリマー複合材料紡績糸について、種々のポリマー添加による熱伝導率の変化を網羅的に調べることを当面の優先課題としている。信頼性の高い熱伝導率測定が重要であることから、従来から用いている 3ω 法の測定阻害要因の一つを明らかにするとともに、新たにスキヤニングレーザー周期加熱法による装置を導入し、高感度化のための改良を加えることで、直径数十 μm のCNT紡績糸長手方向の熱拡散率が安定して測定できるようになった。また、ポリマー添加によってCNT内でのフォノン分散あるいは群速度が変化しているか否かを確かめるため、放射光X線非弾性散乱測定によってCNT紡績糸のフォノン計測を行う実験にも着手した。



【代表的な原著論文】

この期間に本課題の成果となる論文はない。

§ 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
 - ・CNT/C-Dps 凝集体／紡績糸の作製と熱電／熱輸送特性評価
2. 断熱性熱電接合の応用開拓
3. 高熱伝導性接合の高性能化
 - ・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
 - ・接合部の構造解析とCNT フォノンへの影響評価
4. 分子接合部熱輸送機構の理解と制御
 - ・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
 - ・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
 - ・球殻状タンパク質内部での無機材料ナノ粒子合成