

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

宮内 雄平

京都大学 エネルギー理工学研究所
准教授

ナノ物質科学を基盤とするサーモエレクトロニクス創成

§ 1. 研究成果の概要

本研究では、ナノ物質における熱と励起子に関わる物理現象や物質機能を見出すことで、サーモエレクトロニクスと呼ぶ、新しい科学技術体系を創成することを目指している。

2020年度は、これまで単一架橋カーボンナノチューブにおいて観測されていた狭帯域熱放射に関するミクロスケール理論の構築、および、実用上重要な、単層カーボンナノチューブの集積膜においても狭帯域熱放射が観測されるかどうかの検証に焦点を当てた研究を行った。その結果、単一ナノチューブについては、揺動電磁気学に基づく微小径シリンダーの単色放射率と誘電関数の関係や、励起子効果の有無による熱放射スペクトルの違いが理論的に明らかとなった。

また、前年度までに作製可能となっていたナノチューブ集積自立薄膜の作製条件の最適化、並びに熱放射測定の実験を行い、ナノチューブ集積膜においても、励起子共鳴由来の狭帯域熱放射が観測されることが明らかとなった。さらに、放射膜や吸収膜の設計に必要な、ナノチューブ膜の広帯域複素屈折率スペクトルを実験的に決定した。また、膜の熱物性の決定要因と考えられるナノチューブ膜内のモルフォロジーについて、収差補正透過型電子顕微鏡観察により詳細な情報を得た。

また、これらの実験の過程で、研究計画時には想定していなかった新現象(非公開)が観測されることが明らかとなった。ナノチューブ構造分離については、分離工程の繰り返しによる高純度化や、混合界面活性剤技術の進展による高分解能分離が可能となった。ナノチューブ薄膜の熱伝導シミュレーションフレームワークの構築については、実験のスループット改善と理論モデルのより現実的なバンドル条件への適用を進めた。

§ 2. 研究実施体制

(1) 京大グループ(研究機関別)

- ① 研究代表者:宮内 雄平 (京都大学エネルギー理工学研究所 准教授)
- ② 研究項目
 - ・単一架橋カーボンナノチューブにおける熱励起子現象の解明
 - ・カーボンナノチューブの熱的励起子現象の増強
 - ・熱・光・励起子制御のための複合ナノ構造作製
 - ・高効率なエキシトニック熱光変換デバイスの実現

(2) 法政大グループ(研究機関別)

- ① 主たる共同研究者:小鍋 哲 (法政大学生命科学部環境応用化学科研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・単一架橋カーボンナノチューブにおける熱励起子現象の解明
 - ・カーボンナノチューブにおける熱励起子現象の増強
 - ・熱と励起子系を介した広帯域-狭帯域光変換システムの開発

(3) AIST グループ(研究機関別)

- ① 主たる共同研究者:田中 丈士 (産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 研究グループ長)
- ② 研究項目
 - ・高耐熱性・低欠陥・単一構造 CNT 分離

(4) 東京理科大グループ(研究機関別)

- 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
 - ・ナノチューブを構成要素とする各種複合構造の熱伝導特性の検討

【代表的な原著論文情報】

1) “Automatic sorting of single-chirality single-wall carbon nanotubes using hydrophobic cholates: implications for multicolor near-infrared optical technologies,” Y. Yomogida, T. Tanaka, M. Tsuzuki, X. Wei, H. Kataura, ACS Appl. Nano Mater. 3, pp. 11289-11297, 2020.