

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

2021 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
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、電子系の熱エネルギーが励起子(エキシトン)によって担われる半導体型カーボンナノチューブ (CNT)のような極限的低次元量子ナノ物質系において、熱と励起子に関わる新奇物理現象や物質機能を見出すことで、「サーモエキシトニクス」と呼びうる新しい科学技術体系の創成につなげることを目指している。2021年度の成果としては、まず、半導体型カーボンナノチューブ(CNT)における励起子熱放射の理論の論文発表が挙げられる。これまで実験的に見出されていた熱による励起子生成と狭帯域熱励起子放射に関して、揺動電磁気学と量子多体効果を取り入れたミクロスケール理論を発表した。これにより、実験的に観測されるCNTの狭帯域熱放射スペクトルが、励起子効果を取り入れて初めて理解できることを理論的に示し、さらに、CNTのような擬1次元量子系の誘電関数と熱放射の関係を与える一般式の導出により、光吸収の測定が難しい高温の擬1次元量子系の誘電関数を直接的に決定することも可能となった。単一CNTの最も基礎的な熱放射がどのようなものになるかを与える本研究成果は、熱励起子工学の基礎を与えるものである。また、光学/熱光学素子の設計には、材料の広帯域にわたる複素屈折率の情報が不可欠であるが、これまで、単一カイラリティCNT集積材料の広帯域複素屈折率スペクトルの基礎データがなく、CNTを材料とした光学/熱光学素子の設計が困難な状況であった。そこで、様々な単一構造CNT集積体の広帯域複素屈折率スペクトルを実験的に決定し、さらに、スペクトルデータを再現可能な現象論的経験式を提案する論文を発表した。これにより、今後はCNTに詳しい研究者でなくとも容易にCNTの広範囲の周波数帯域にわたる光学係数にアクセスできるようになる。このことは、今後多くの科学者・技術者の研究分野参入を促し、将来の光学/熱光学技術のイノベーションにつながると期待される。

§ 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 教授)
- ② 研究項目
 - ・ナノ物質の励起子熱光物性物理の解明
 - ・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) S. Konabe, T. Nishihara, and Y. Miyauchi, “Theory of exciton thermal radiation in semiconducting single-walled carbon nanotubes,” *Opt. Lett.* 46, 3021 (2021).
- 2) T. Nishihara, A. Takakura, M. Shimasaki, K. Matsuda, T. Tanaka, H. Kataura, and Y. Miyauchi, “Empirical formulation of broadband complex refractive index spectra of single-chirality carbon nanotube assembly,” *Nanophotonics* 11, 1011 (2022).