

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

2022 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

主たる共同研究者:

小鍋 哲 (法政大学 生命科学部 准教授)

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)

山本 貴博 (東京理科大学 理学部第一部 教授)

## 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」と呼びうる新科学技術体系の創成につなげることを目指している。本年度の公開済成果として、多数の単一架橋単層カーボンナノチューブ(CNT)を利用した派生的展開として、CNT構造のカイラリティ構造分布におけるアノマリーを見出している。本成果は、CNT合成時のCNT構造の決定メカニズムに関する重要な示唆を与え、構造が決まったCNTの大量合成実現に向けた物質科学基礎の発展に寄与するものである。また、CNT同様熱安定な励起子を保持可能な単層遷移金属ダイカルコゲナイド横ヘテロ構造において、一方向性の励起子エネルギー流生成を見出した。本成果は、励起子をエネルギー担体とする工学の研究領域をCNT以外のナノ物質系へと拡大するものである。また、太陽熱収集や熱光起電力発電の鍵となる波長選択膜の作製技術に関連して、半導体型CNTの純度を極限まで高めることで、励起子効果による自由キャリア生成の抑制効果とも相まって、太陽熱収集での熱放射損失につながる中遠赤外域吸収をほぼゼロまで抑制できることがわかった。この結果は、今後世界的に導入増加が見込まれている低集光太陽熱収集技術の革新に寄与しうるものである。CNTの熱電性能を評価すると共に応用デバイスの研究開発も進んでいる。実験で計測した単一架橋CNTの温度分布を元に1次元熱伝導方程式の解析を進め、従来手法における改良点を見出し、現在、それを取り込んだ新しい計算方式の実装を進めている。また、チーム内連携による新たな展開として、光ナノファイバの偏光近接場光とCNTエンチオマーとのカイラル相互作用を利用した光ナノファイバ透過光制御の研究に着手した。光ナノファイバの近接場光でCNTのラマン散乱が効率よく励起できることを確認し、また、光ナノファイバの光透過率に光の伝搬方向に応じて20%の差が得られており、偏光を利用した熱制御の新たな概念を確立しつつある。

### 【代表的な原著論文情報】

- 1) “Statistical Verification of Anomaly in Chiral Angle Distribution of Air-Suspended Carbon Nanotubes,” T. Nishihara, A. Takakura, K. Matsui, K. Itami, and Y. Miyauchi, *Nano Lett.* 22, 5818 (2022).
- 2) “Anisotropic exciton drift-diffusion in a monolayer  $WS_2xSe(2-2x)$  alloy with a gradually changing composition,” M. Shimasaki, T. Nishihara, N. Wada, Z. Liu, K. Matsuda, Y. Miyata, and Y. Miyauchi, *Appl. Phys. Express* 16, 012010 (2023).
- 3) “Correlation between copper particle morphology and number of graphene layers on a palladium substrate,” J. Takahashi, K. Nakamura, Y. Kioka, H. Kato, T. Yamamoto, and Y. Homma, *Appl. Phys. Express* 16, 015503, (2023).
- 4) “Catalyst-free synthesis of sub-5 nm silicon nanowire arrays with massive lattice contraction and wide bandgap,” S. Gao, S. Hong, S. Park, H. Y. Jung, W. Liang, Y. Lee, C. W. Ahn, J. Y. Byun, J. Seo, M. G. Hahm, H. Kim, K. Kim, Y. Yi, H. Wang, M. Upmanyu, S. G. Lee, Y. Homma, H. Terrones, and Y. J. Jung, *Nat. Commun.* 13, 3467 (2022).