

2024 年度年次報告書

原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能

2022 年度採択研究代表者

真島 豊

東京科学大学 総合研究院
教授

光配向単分子架橋共鳴トンネルトランジスタのシステム機能化

主たる共同研究者:

小野 倫也 (神戸大学 大学院工学研究科 教授)

梶川 浩太郎 (東京科学大学 工学院 教授)

新谷 亮 (大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授)

研究成果の概要

π 共役分子 HS-Tph-Si₂x₂-Ph-SH を用いた単分子片側吸着接合素子において負性微分抵抗現象(NDR)がピーク／バレー比で 30.1 が観察された。この NDR 現象は、9～300 K の広い温度範囲で観察され、ピーク電流は温度に依存しなかった。電界印加時の分子軌道を DFT 法で計算した結果、電界により HOMO はリンカーに広がる分極効果を示し、電界の大きさ方向により分極は変化することが明らかとなった。これらの結果より、本 NDR 現象は、電界により分極する HOMO 準位を介した共鳴トンネル現象に起因したものであることを明らかにした。

単一半導體 CdS 量子ドットをナノギャップ間にヘキサデカンジチオールを用いて化学吸着したトランジスタは、単電子トランジスタとして動作した。さらに、電圧を増加させて量子化した準位が金電極のフェルミ準位と一致した際に、共鳴トンネル電流が、単電子トンネル電流に重畳して流れることを明らかにした。

単一半導體 PbS 量子ドットを短いブタンジチオールで化学吸着したトランジスタは、共鳴トンネルトランジスタ(RTT)としてのみ動作し、正負のドレイン電圧の両方で 5 つの負性微分抵抗(NDR)現象を観察した。これは量子ドットの離散的なエネルギー準位が、短いジチオールによって片方の電極のフェルミ準位に固定された二重障壁の量子井戸構造における共鳴トンネル現象に起因している。ブタンジチオールは、鎖長が短いため、トンネル抵抗が量子化抵抗よりも小さくなり、単電子効果が消失し、複数の NDR が観察された。

白金ナノギャップ電極上に銅ナノワイヤを作製し、水素アニールにより銅ナノワイヤの結晶性を向上させて、大気中アニールによりボイドを含む酸化銅(CuO)ナノワイヤとした水素ガスセンサを作製した。CuO ナノワイヤナノギャップガスセンサは、5 ppb の超高感度水素検出が可能である。

【代表的な原著論文情報】

- 1) D. Yin, M. Furushima, E. Tsuchihata, S. Izawa, T. Ono, R. Shintani, and Y. Majima*, Negative Differential Resistance in Single-Molecule Junctions Based on Heteroepitaxial Spherical Au/Pt Nanogap Electrodes, *Advanced Electronic Materials*, **11**, 2400390 (2024).
- 2) G. Ohkatsu, T. Nishinobo, M. Saruyama, T. Teranishi and Y. Majima*, Resonant tunneling in a colloidal CdS semiconductor quantum-dot single-electron transistor based on heteroepitaxial-spherical Au/Pt nanogap electrodes, *Nanoscale Advances*, **6**, 4346-4351 (2024).
- 3) R. D. Wulandari, D. Yin, R. D. Septianto, S. Izawa, Y. Iwasa, S. Z. Bisri* and Y. Majima*, Molecularly-anchored single PbS quantum dots as resonant tunnelling transistors, *Nanoscale*, **17**, 5672-5880 (2025).
- 4) M. Furushima, M. Uemoto, D. Yin, S. Izawa, R. Shintani, Y. Majima and T. Ono*, Insertion of methylene groups into functional molecules for high thermal stability and superior functionality of single-molecule transistors: a first-principles study, *New Journal of Chemistry*, **48**, 16008,16014 (2024).
- 5) M. Zhao, R. Nitta, S. Izawa, J. Yamaura, and Y. Majima*, Nano-Patterned CuO Nanowire Nanogap Hydrogen Gas Sensor with Voids, *Advanced Functional Materials*, **35**, 2415971 (2025).