

未踏探索空間における革新的物質の開発
2021 年度採択研究代表者

2021 年度 年次報告書

竹谷 純一

東京大学 大学院新領域創成科学研究科
教授

電子閉じ込め分子の二次元結晶と汎用量子デバイスの開発

§ 1. 研究成果の概要

CREST 研究前半の目標である、有機二次元キャリア閉じ込め系の電子相制御の基盤技術の開発を進め、①電子閉じ込め分子単結晶の高密度ドーピング技術、②電子閉じ込め分子による金属表面改質技術開発、および③電子閉じ込め分子の歪印加時低温電子伝導測定の手法開発に成功し、擬ギャップ電子相の発見など、本プロジェクトの基盤となる進捗を得た。①では、フィルムゲル型ドーパント材料と電極構成法の開発により、従来を大幅に上回る $1 \times 10^{-14} \text{cm}^{-2}$ 以上のキャリア量を電子閉じ込め分子単結晶に導入することを可能にした。②では、わずか1分子層の電子閉じ込め分子を利用する手法を開発し、分子層改質金属表面を用いたショットキーダイオードの応答周波数大幅向上に成功した。また、③では、低温環境下歪印加時に、精密な温度計測を損なわない交流伝導度測定法の条件を確立し、10 K 程度以上では信頼度の高い測定が可能であることを明らかにした。

汎用量子デバイス候補物質研究で、多彩なパイ電子系骨格開発、側鎖置換基および電子状態を有する新規量子井戸分子の合成を実施した。p 型量子井戸分子としては、N 字型およびジグザグ型パイ電子系骨格を持つ分子群において多軌道混成キャリア伝導による $10 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以上の高移動度を見出した。また、n 型量子井戸分子では置換基による結晶構造制御によりプロセス性と移動度 $4 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ とを兼ね備える分子の開発に成功した。

結晶構造解析、電荷輸送能評価においては、量子井戸分子候補群から、アルキル鎖層とパイ共役分子ユニット層のヘテロ界面構造となる二次元ホールガス界面構造が形成される分子群の結晶構造計算ならびに量子井戸分子の電子状態および輸送特性評価を行った。量子井戸系でのバックゲート効果解析では、キャリア波束の時間発展計算による有限温度でのフォノン散乱を考慮したキャリア輸送特性評価を行った。

§ 2. 研究実施体制

(1) 竹谷グループ

- ① 研究代表者: 竹谷 純一
(東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授)
- ② 研究項目
 - ・電子閉じ込め分子単結晶の高密度ドーピング技術開発
 - ・電子閉じ込め分子による金属表面改質技術開発
 - ・電子閉じ込め分子の歪印加時低温電子伝導測定

(2) 岡本グループ

- ① 主たる共同研究者: 岡本 敏宏
(東京大学大学院新領域創成科学研究科 准教授)
- ② 研究項目
 - ・N字型骨格から成るp型量子井戸分子の開発
 - ・ジグザグ型骨格から成るp型量子井戸分子の開発
 - ・n型量子井戸分子の開発

(3) 小林グループ

- ① 主たる共同研究者: 小林 伸彦
(筑波大学数理物質系 教授)
- ② 研究項目
 - ・電子閉じ込め分子の結晶構造予測
 - ・電子閉じ込め分子の電子状態・輸送特性予測