

2023 年度年次報告書
情報担体とその集積のための材料・デバイス・システム
2022 年度採択研究代表者

小林 拓真

大阪大学 大学院工学研究科
助教

集積可能な炭化珪素光量子プロセッサの基盤技術構築

研究成果の概要

本研究では、計算科学と実験の両手法に基づき、結晶成長、 $n\cdot p$ 型制御、プロセス技術の進展した炭化珪素 (SiC) 半導体において単一光子源を開拓する。また、単一光子源の電氣的駆動・制御手法を確立することで、SiC 光量子プロセッサの基盤技術を構築することを最終目標としている。

当年度(第二年度)はまず、計算科学による有望なバルク単一光子源の探索を進めた。具体的には VASP コードを用い、大規模計算機システム SQUID および OCTOPUS 上で欠陥を含む系に対する第一原理計算を実行した。その結果、酸素-空孔中心 (OV 中心) がスピンを有する単一光子源として有望であることを見出した。OV 中心は中性の荷電状態でスピン $S=1$ を有し、少数スピンチャンネルに占有軌道と非占有軌道を有するため、これらの軌道間の遷移に伴う発光が期待できる。実際に基底・励起状態の電子状態、遷移双極子モーメント、フォノンとの相互作用の理論計算を行うことで、本欠陥は近赤外域 (1004–1117 nm) で発光し、短い輻射寿命 (12.5 ns) と高いデバイワラー因子 (13.4%) を両立することを予測した。このようにスピン-光子インターフェースとして有望な欠陥候補を予言しており、当成果は論文 2) として掲載済である。

また、実験による単一光子源の制御にも取り組んだ。具体的には高輝度発光を示す SiO_2/SiC 界面単一光子源の密度および光学特性を制御する手法を提案している。昨年度見出した酸化後の CO_2 熱処理による単一光子源制御については、その後詳細な検討を進め、論文 1) として掲載した。これに加え、あらかじめ高品質 SiO_2/SiC 界面を形成し、追酸化により界面を原子レベルで再構成することで、単一光子源を安定に形成する新技術を確立している。

【代表的な原著論文情報】

- 1) T. Nakanuma, K. Tahara, K. Kutsuki, T. Shimura, H. Watanabe, and T. Kobayashi,
“Control on the density and optical properties of color centers at SiO_2/SiC interfaces by oxidation and annealing”,
Applied Physics Letters **123**, 102102-1~5 (2023).
- 2) T. Kobayashi, T. Shimura, H. Watanabe,
“Oxygen-vacancy defect in 4H-SiC as a near-infrared emitter: An ab initio study”,
Journal of Applied Physics **134**, 145701-1~9 (2023).