

2023 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	佐藤 真一郎
研究機関名	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
所属部署名	高崎量子技術基盤研究所 量子機能創製研究センター
役職名	上席研究員
研究課題名	ランタノイド・ナノフォトニクス量子デバイス
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日

研究成果の概要

GaN にドーピングしたネオジム (Nd) の発光レート向上・単一光子発生観測を目的として、GaN フォトニック結晶 L3 共振器と Nd の光学的結合の実証を進めた。2022 年度までに Nd³⁺ の $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{9/2}$ 遷移および $^4F_{3/2} \rightarrow ^4I_{11/2}$ 遷移に起因する 916nm、1108nm の発光を L3 共振器との結合によって大幅に増強させることに成功したため、2023 年度は、さらなる発光レート向上を目指して、共振器の性能 (Q 値) を向上させるための設計変更を進め、これまでの L3 共振器構造と比較して 10 倍以上の Q 値が得られるライン型共振器構造を見出した。

次に、ランタノイド単一光子源の電気制御やランタノイド量子センサの開発を目的として、プラセオジム (Pr) をドーピングしたダイオードを作製した。ダイオードに順方向電流を印加し、オン抵抗による発熱 (温度上昇) を Pr の発光スペクトルの変化から検出することに成功した。これは、動作中 GaN ダイオードのリアルタイムでの量子センシングの実現に向けた重要なマイルストーンである。今後は、電流注入による Pr 発光制御や、発光特性の変化に基づく電界検出を進める。

GaN と同じ窒化物半導体の一種である窒化アルミニウム (AlN) は、GaN よりもワイドバンドギャップで高温耐性があることから、Pr、Eu、Nd をイオン注入した AlN の発光特性および熱処理温度の依存性について詳細に明らかにした。その結果、高温熱処理による照射損傷の回復による発光強度増加と、複合欠陥化や熱拡散による表面・界面偏析といった不活性化 (発光強度低下) のトレードオフ関係を発見した。また、注入量が少なく損傷の程度が小さい場合は、後者の影響が強く、注入量に応じた最適な条件があることがわかった。このことは、イオン注入したランタノイドの活性化 (Al サイトへの +3 価での置換) が比較的低温で完了していることを示唆しており、極低濃度で孤立したランタノイドを制御する量子デバイスへの応用という観点からも有利な性質をもっていることが分かった。