

2022 年度  
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	篠北啓介
研究機関名	京都大学
所属部署名	エネルギー理工学研究所
役職名	助教
研究課題名	半導体モアレ超構造を用いた量子電磁力学の創生
研究実施期間	2022 年 4 月 1 日～2023 年 3 月 31 日

**研究成果の概要**

本研究では、モアレ超構造を利用して励起子を精密に自在配列し、その相互作用を高度に制御することで、協力現象を最大限に活用し、超蛍光現象や単一光子超蛍光現象の実現や、さらに単一光子と物質が相互に作用しあって生じる全く新しい巨視的な量子光学現象を探究し、それらを支配する普遍的な物理を明らかにすることを目的としている。

まず、協力的量子光学現象の観測のためのモアレ超構造の光学的性質の評価を行なった。典型的なモアレ超構造である WSe<sub>2</sub>/MoSe<sub>2</sub> 原子層ヘテロ構造における円偏光発光や発光ダイナミクスを観測し、モアレ励起子のスピン一重項や三重項の微細構造やバレー分極状態、ダーク状態などを明らかにした。一方で、こうした研究を進めていく過程において、WSe<sub>2</sub>/MoSe<sub>2</sub> 原子層ヘテロ構造では空間的に分離した層間励起子からの発光を観測するため振動子強度が小さく、協力的量子光学現象の観測に困難を伴うことが示唆されたため、MoSe<sub>2</sub>/WS<sub>2</sub> や WSe<sub>2</sub>/WSe<sub>2</sub> の原子層ヘテロ構造の研究を並行して進めた。層間励起子と層内励起子が混成したモアレ励起子の発光特性や反射応答を測定し、従来の WSe<sub>2</sub>/MoSe<sub>2</sub> 原子層ヘテロ構造に対して振動子強度が強く、超蛍光現象などの協力的量子光学現象を観測するためのプラットフォームとして有望であることを明らかにした。

さらに、系統的な試料を安定して作製するため、ベイズ最適化の手法を用いた機械学習のアプローチから単層試料作成の最適化を行なった。機械剥離法を用いた手動の作製手順において、無数の実験パラメータから、実験条件の最適化を行い、安定して大量の単層試料の作成が可能になった。また、メカトロニクスを用いた、機械制御による機械剥離法の装置も開発し、協力的量子光学現象の観測において重要な系統的な測定が可能になった。