

日本—V4 国際共同研究「先端材料」 2023 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	新奇半導体創出に基づくバンドギャップエンジニアリング
研究課題名（英文）	Band-gap engineering in unconventional semiconductors
日本側研究代表者氏名	北浦 良
所属・役職	物質・材料研究機構 ナノアーキテクトニクス材料研究センター・グループリーダー
研究期間	2021 年 11 月 1 日 ～ 2024 年 10 月 31 日

1. 日本側の研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
北浦 良	物質・材料研究機構・ナノアーキテクトニクス材料研究センター・グループリーダー	二次元系に基づく新規量子光源の開発

2. 日本側研究チームの研究目標及び計画概要

二次元系、ドーパダイヤモンド、無機有機複合系、および有機結晶を対象に発光中心を埋め込むことで、新たな量子光源を開発することを目指す。これまでに、日本側研究チームは、以下の3通りのアプローチで研究を進めている。

- 1) 異原子ドーピング法を用いた二次元半導体への発光中心の埋め込み
- 2) 有機金属化学気相成長(MOCVD)法を用いた結晶成長
- 3) 日本側チームで準備した二次元結晶にたいして V4 側で発光中心をドーパする

2023 年度はこの内 3) の内容、とくに六方晶窒化ホウ素(hBN)に発光中心を埋め込む実験を進めた。具体的には、スロバキアのグループと共同で、プラズマ打ち込み法によって様々なドーパントを多層 hBN に導入し、その光学特性を進めた。

3. 日本側研究チームの実施概要

2023年度は、hBNにGa原子を打ち込むことでGaドーピングしたhBNを作製し、ラマンスペクトルおよびフォトルミネッセンススペクトルの測定を行った。また、スロバキアのグループで透過電子顕微鏡観察を実施し、Gaがクラスターを形成せず原子状に分散していることを確認した。これにより、GaがhBNに化学結合を形成する形で取り込まれていることが示唆された。ラマンスペクトルに大きな変化がないことから、Ga打ち込みがhBNの構造を大きく乱していないことが分かった。また、ドーピング密度を下げた試料の作製も進行中であり、そのための準備としてマーカー付き基板を作製し、hBNを剥離した。粘着ポリマーの除去には700度の乾燥空気中での酸化処理を行い、マーカーに一部ダメージがあったがフレークの場所を特定できた。現在、スロバキアのグループに異なるドーピング密度の試料作製を依頼している。この試料で不均一広がりが抑えられた場合、寿命および単一光子発光の観測を進める予定である。

GaをドーピングしたhBNの7Kにおけるフォトルミネッセンス測定を行った。405nmのレーザーダイオードを用いた測定では、ブロードなバックグラウンドに加え、450nm付近から一連のピークが観察された。また、500度での不活性雰囲気下でのアニール処理により発光ピークが増大し、半値幅が小さくなった。このブロードなバックグラウンドは、hBNに存在する、あるいはGaドーピング過程で作られた欠陥によるものであると考えられる。これに対し、一連のシャープなピークはGaドーピングに起因するギャップ内準位が原因で、ピーク間隔がhBNの面内モードである 1360 cm^{-1} と一致していることからフォノンサイドバンドであると考えられる。460nm付近のピークがゼロフォノンラインに相当し、これがGaドーピングにより生成した局在性の高いギャップ内準位に由来していると考えられる。また、Ga打ち込み後の局所的な構造の乱れを改善するためにアニール処理を行い、フォトルミネッセンススペクトルの半値幅が小さくなることを確認した。これは、不均一広がりの減少によるもので、Gaドーピング直後の構造乱れがアニールによって緩和され、Ga周囲の構造がより均一になったためと考えられる。