2025 年度年次報告書

先端国際共同研究推進事業
【2023 年度採択　次世代のための ASPIRE　半導体分野】

【研究課題名】
III-V 族化合物半導体ナノ選択成長の確立とナノフォトニクス応用

研究代表者：
冨岡 克広（北海道大学大学院情報科学研究院および量子集積エレクトロニクス研究センター　教授）

相手側研究代表者：
Hark Hoe Tan（Professor, Research School of Physics, Australia National University）

1. 研究進捗状況と成果

本研究は、半導体構造相転移材料の創成について、代表者がこれまで培ってきた半導体ナノ構造選択成長技術を応用し、半導体ナノ構造選択成長で発生する半導体準安定結晶構造表面を結晶初期核の成長表面に、選択成長法の横方向成長モードを応用することで、構造相転移現象を人工的に制御する。これによって、自然には存在しないウルツ鉱型結晶構造型 III-V 族化合物半導体材料の結晶成長技術の標準化を日本・オーストラリア間で確立する。具体的には、新半導体材料の結晶成長技術について、研究代表者チームとオーストラリア国立大学（ANU）チームの半導体結晶成長研究者が頭脳循環することで、結晶成長技術の標準化工程の構築を進める。ここでは、有機金属気相成長技術に関わる研究者が日本・オーストラリア間で相互に滞在・研究を実施し、半導体構造相転移材料を形成する標準化条件を確立することで、新産業創出に至る結晶成長技術標準化の時間的なボトルネックを解消できるか検証する。さらに、新材料の伝導形制御からデバイス作製・評価・シミュレーション技術にいたるナノフォトニクス応用について、国際的な標準化プロセスの構築のための新たな研究体制を構築する。材料の革新技術の標準化を加速させ新材料成長技術から実用研究に至る研究期間の短縮化を国際共同研究において実践することで、これまで見過ごされてきた材料成長分野の国際共同研究拠点形成の潜在性を示すことがねらいである。具体的に、４つの研究テーマ：[1]構造相転移ナノワイヤ成長技術の確立、[2]ドーピング・欠陥制御技術の開拓、[3]構造相転移材料の光物性評価、[4]未踏波長帯の発光素子と世界最小ナノ光源の実証について、推進する。

2025 年度は、テーマ[1]について，日本チームで Si 上の半導体構造相転移材料選択成長に要す Si 表面の極性形成方法を探求することで、Si 表面に垂直に林立した構造相転移 InP ナノワイヤ材料のヘテロ成長を実証し、Si 上の構造相転移ナノワイヤ材料成長の標準プロセスを構築した。次いで、テーマ[2]として、構造相転移材料成長について p,n 型不純物ドーピングを導入することで結晶構造の安定化条件と不純物ドーピングによる差異を明らかにするだけでなく、テーマ[3]において ANU チームの保有する最先端ナノ分光技術を日本チームが習熟し、極性制御・欠陥制御につながる新材料のヘテロ成長初期における III 族原子の固相拡散現象の知見を得た。さらに、前年度構築したシミュレーション環境を用いることで、新材料ナノワイヤ単一構造とアレイ構造について光取り出し効率を計算し、ナノ光源の高効率化のデバイス素子設計指針と、世界最小の電流駆動型レーザー素子の実証へ向けた最適構造を見出した。最後にテーマ[4]で、日本チームの Si 上の構造相転移ナノワイヤ材料と ANU チームの分光技術を和合することで、新材料の光ポンプレーザー発振を世界で初めて実証した。これによって、当初のねらいである新材料成長の標準化から世界最小のレーザー光源材料の潜在性を示すに至るまでの研究期間を、国際頭脳循環で単年度に短縮化できることを示した。さらに、構造相転移材料に関する近年の研究進展について、レビュー論文を国際共著論文として出版した。

2. 代表的な成果事例

1. W. W. Wong, S. Adhikari, K. Tomioka, C. Jagadish, H. H. Tan, MRS Bulletin, Vol. 50, pp 1476 – 1491 (2025). 概要：半導体構造相転移ナノワイヤ材料の最近の研究進展に関するレビュー論文
2. [2] Yuki Azuma, Ziye Zheng, Junichi Motohisa, Katsuhiro Tomioka, ACS Appl. Nano Mat., Vol. 8, pp. 18734 – 18739 (2025). 概要：半導体構造相転移材料成長と大面積化に関する研究報告

他 査読付き論文 1 編、国際会議招待講演 1 件