

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

2023 年～2024 年度
年次報告書・公開版

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
日本側研究代表者	富岡 克広 北海道大学大学院情報科学研究院 教授
相手側研究代表者	Hark Hoe Tan, Professor, Research School of Physics, The Australian National University
研究期間	2024 年 2 月 1 日～2027 年 3 月 31 日

1. 研究成果の概要

① 研究構想にかかる成果

<実施したこと>

2023~2024 年度は、研究課題[1]半導体構造相転移材料の成長技術と[2]ドーピング技術に関する課題を中心に研究推進した。研究課題[1]では、日本側研究チームが InP、AlInP 構造相転移材料のナノワイヤ・ナノフィン選択成長技術を検討し、構造相転移 InP/AlInP コアマルチシェルナノワイヤ成長による構造相転移材料成長を評価した。さらに、Si (111) 無極性基板上の半導体構造相転移ナノワイヤ材料の選択成長技術の標準条件を開拓するため、日本側・オーストラリア側双方に研究実施者が滞在し、課題となる成長技術の確立について研究を実施した。

研究課題[2]では、半導体構造相転移成長における結晶核・過飽和度と不純物元素の相関について、結晶構造と光学特性を評価した。さらに、不純物ドーピングされた構造相転移 InP/AlInP コアマルチシェルナノワイヤによる発光ダイオード (NW-LED) 素子構造を作製した。さらに、次年度に計画していた課題[3]の一部について、電磁界シミュレーション (FDTD) の導入と構造相転移材料中の光伝搬特性を解析した。

<得られた成果>

研究課題[1]について、構造相転移 InP/AlInP コアマルチシェルナノワイヤ選択成長によるウルツ鉱型 AlInP シェル成長において、構造相転移構造が転写されることを明らかにした。次いで、日本側研究チームが高温水素アニール、有機 V 族金属材料による表面極性制御性と構造相転移 InP ナノワイヤ選択成長について、垂直配向する成長条件を見出した。これらの日本側で検討した成長技術を、オーストラリア側の P 系水素化物ガスによる成長装置に導入し、表面極性制御と、Si 基板上に垂直配向した構造相転移 InP ナノワイヤ選択成長を実施することで、標準条件の確立につながる知見と課題を抽出できた。さらに、作製した半導体構造相転移材料に対して、ANU のナノ分光測定技術を用いることで未踏材料の発光特性・構造評価を実施し、半導体構造相転移の形成機構と光学遷移過程について知見を得られた。

研究課題[2]では、日本側研究チームが構造相転移 InP/AlInP コアマルチシェルナノワイヤ成長について、ウルツ AlInP シェル層成長中に n、p 型不純物をドーピングすることで、不純物ドーピング密度に依らず構造相転移現象を生じることを見出し、積層欠陥 (この場合、本来の ZB 安定構造が欠陥になりうる) の導入について不純物ドーパントと相関がないことを明らかにした。さらに、構造相転移材料によるダイオード素子・NW-LED 素子を作製し、世界に先駆けて構造相転移材料の電流注入発光を観察した。また、FDTD (Finite Difference Time Domain method、有限差分時間領域法) によって作製した NW-LED の光伝搬を解析し、発光効率・Q 値を向上するための素子サイズについて、デバイス設計最適値をシミュレーション計算環境の構築することで見出した。

② 国際頭脳循環の促進にかかる成果

<実施したこと>

日本側研究代表者が、2023 年度、オーストラリア国立大学 (ANU) に 1 週間滞在し、各研究テーマの標準化へ向けて技術・研究環境構築に資する現地視察を実施した。次いで、本事業に参画している博士課程学生 2 名について、ANU に 3 か月滞在 (2025 年 1 月 7 日~4 月 7 日) することで、現地研究設備の習熟とネットワークの構築を開始した。ANU 保有設備および Tan 教授研究グループの占有設備の操作習熟と材料成長の標準化およびデバイス応用に関わる研究を開始するとともに、相手側研究チームとの交流を深めた。また、日本側研究チームの研究参加者である修士課程学生 2 名を ANU に短期派遣 (2025 年 2 月 22~26 日) し、ANU の研究環境の見学と相手側研究チームとの交流を実施した。

相手側研究チームからは研究代表者を 2024 年度に 1 週間、北海道大学に招聘した。相手側研究代表者は構造相転移材料の結晶成長技術の標準化プロセスと主に光学物性に関して日本側チームへ指導し、また日本側研究代表者の所属機関が主催する国際シンポジウムにて招待講演を行った (2025 年 3 月 7 日)。

さらに、相手側から博士研究員を北海道大学に短期（2024年7月26日～8月3日）で招聘することで、相手側研究グループの結晶成長と光学シミュレーション技術を日本側研究チームに移管し研究環境を構築した。

<得られた成果>

以下、当該年度の国際頭脳循環で得られた成果を記す。

- ・日本側研究代表者の訪問と現地での講演・ネットワーキングによって、オーストラリア物理学会、オーストラリア化学会における招待講演機会に繋がり、オーストラリア圏において当該事業プロジェクトを広く周知する機会を得た。
- ・博士課程学生を共同研究先に長期派遣することによって、海外研究拠点の研究設備を習熟し使いこなす人材育成に着手することができた。
- ・上記派遣を通して、オーストラリア研究チームの若手教員・学生との交流ネットワーク拠点の構築に着手し、若手研究者の頭脳還流環境の構築、および半導体材料研究分野における環太平洋圏のネットワーク強化を進め、センターオブエクセレンスとTopのためのASPIREの実施を目指す拠点構築に着手することができた。
- ・日本側研究代表者の所属研究機関主催の国際シンポジウムを開催し、相手側研究代表者を招聘した。
- ・半導体国際会議の材料セッションを日本側研究代表者が担当し、相手側研究代表者とともにアジア・環太平洋圏の結晶成長の企画・準備を進め、トップカンファレンス構築や著名な科学雑誌における半導体構造相転移材料・成長に関するレビュー特集を企画した。
- ・ANU研究チームの研究員を招聘することで、ANUの半導体ナノ構造の光伝搬・電磁界シミュレーション環境を日本側研究チームに移植し、半導体ナノ発光素子のデバイス設計環境を構築した。
- ・日本側研究チームの修士課程学生をオーストラリアへ派遣し、海外研究者と海外の研究設備環境において先端研究や国際共同研究を行うことで、博士課程への進学を促すことができた。

2. 研究実施体制

研究テーマ	中心となる研究者氏名	所属機関・部署・役職名
研究課題1-(i)	富岡 克広	北海道大学大学・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・准教授
研究課題1-(ii)	Hoe Tan	Professor・Research School of Physics・The Australian National University
研究課題2-(i)	富岡 克広	北海道大学大学・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・准教授
研究課題2-(ii)	Hoe Tan	Professor・Research School of Physics・The Australian National University
研究課題3-(i)	Hoe Tan	Professor・Research School of Physics・The Australian National University

3. 代表的な業績（原著論文、プレスリリース、表彰など）

<原著論文>

- ・ Yu Katsumi, Hironori Gamo, Junichi Motohisa, Katsuhiro Tomioka, "InP Crystal Phase

Heterojunction Transistor with a Vertical Gate-All-Around Structure" ACS App. Mat. Inter. Vol 16, 30471 - 30477 (2024).

- Ryosei Uchida, Yuki Takeda, Yuki Azuma, Ziyue Zheng, Junichi Motohisa, Katsuhiro Tomioka: "Fabrication of InP Vertical Gate-All-Around Transistors Using Crystal Phase Transition Heterojunction" ECS Trans., Vol. 114, pp. 23-27 (2024).
- Keita Taniyama, Yuki Takeda, Yuki Azuma, Ziyue Zheng, Junichi Motohisa, Katsuhiro Tomioka, : "Selective-Area Growth of InGaAs Nanowires on SOI and the Vertical Transistor Application" ECS Trans., Vol. 114, pp. 165 - 170 (2024).
- Yuki Takeda, Yuki Azuma, Ziyue Zheng, Junichi Motohisa, Katsuhiro Tomioka: "Demonstration of VGAA-TFETs using InAs/Si Heterojunction on SOI substrate" ECS Trans., Vol. 114, pp. 171 - 175 (2024).

<国際会議発表>

- 富岡 克広「(招待講演)有機金属気相選択成長法による化合物半導体ナノ構造作製と機能化」
化学工学会 第55回秋季大会、札幌、2024年9月11日 他招待講演7件