

日本－米国 国際共同研究「マテリアル分野」 2023 年度 年次報告書	
研究課題名（和文）	金属マグネシウム層と GaN 層の 2 次元超格子(MiGs)の物性とデバイス応用
研究課題名（英文）	Physical properties and device applications of 2D Mg-intercalated GaN Superlattice (MiGs) Nanostructure
日本側研究代表者氏名	天野 浩
所属・役職	名古屋大学/未来材料・システム研究所/教授
研究期間	2023 年 4 月 1 日 ～ 2024 年 1 月 31 日

1. 研究実施体制

氏名	所属機関・部局・役職	役割
天野 浩	名古屋大学 未来材料 システム研究所 教授	日本側研究代表者 高正孔移動度 MiGs ナノ構造内蔵の新規 GaN 系デバイスの開発
王 嘉	名古屋大学 高等研究院 特任助教	日本側共同研究者 MiGs 構造の作製と評価
Huili Grace Xing	Professor, Department of Electrical and Computer Engineering/Department of Materials Science and Engineering, Cornell University	米国側研究代表者 MiGs ナノ構造を再現する PEMBE 成長技術の確立
Jaime Marian	Professor, Department of Materials Science and Engineering/Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of California, Los Angeles (UCLA)	米国側研究代表者 温度、圧力依存に関する Mg と GaN のインターカレーション反応を再現と予測できる分子動力学モデルの確立

2. 研究目標及び計画概要

GaN は照明用に加え、カーボンニュートラル社会実現に不可欠なパワーデバイス用半導体

であるが、特に伝導度の優れた p 型が必要である。既に Mg ドーピングにより p 型伝導性が実現され省エネルギーとシステムの小型軽量化のために期待を集めているが、現状では正孔濃度・移動度が不十分である。我々は、最近二次元 Mg-intercalated GaN 超格子 (MiGs) ナノ構造を発見した。これはキャリア輸送メカニズム検証の理想的なテストベッドとなり得る。

この先駆的発見をもとに国際共同研究を進め、MiGs ナノ構造の超格子・物理効果の基本理解を深め、キャリア輸送特性・技術的特性を解明することを目的とする。現状の熱処理方法のみでは実デバイス展開が難しいため、国際共同研究によりウェハサイズの MiGs と特性評価が可能となる。

3. 研究実施概要

本年度は、以下の通り主に 5 年間のプロジェクトの準備に時間と労力を費やした。

ワークパッケージ①：名古屋大学にて作製した MiGs ナノ構造を大面積化するべく、博士後期課程 3 年の隈部岳瑠君をコーネル大学に派遣し、MBE 法にて Mg と GaN の超格子を作製する予定であったが、滞在期間中 MBE 装置の故障により実験することは出来なかった。一方で m 面 GaN ウェハを名大にて準備してコーネル大学のシン教授に渡し、その有効質量異方性をシュブニコフドハース振動など極低温ホール効果で測定するよう依頼した。

ワークパッケージ②：オンラインにて、名大で作製した MiGs ナノ構造に関する詳細な実験結果を UCLA のマリアン教授に説明し、今後の共同研究の進め方を話し合った。

ワークパッケージ③：名大にて作製した m 面上 GaN の c 軸方向と c 軸に垂直方向の正孔移動度を評価し、10%の違いがあることを実験的に確認し、その値が正孔有効質量の異方性とほぼ同じであることを確認した。

4. 持続的な国際ネットワーク構築・参画・拡大のための実施計画概要

米国の共同研究者は III 族窒化物分野で世界トップクラスである。このプロジェクトは金属/半導体超格子という新材料の開発であり、新たなパワーエレクトロニクス産業の成長を促進し、カーボンニュートラル社会実現へ貢献できる。ウェハサイズの MiGs ナノ構造実現には、分子線エピタキシー (MBE) による原子レベル精密界面持つ最先端成長技術が要求される。MBE と分子動力学の組み合わせでウェハサイズの MiGs ナノ構造が実現し、新パワーデバイスのプラットフォームとして期待される。国際チームの専門知識と努力を活用して、MiGs 構造を組み込んだ新規デバイス大量生産の道筋を確立する。日本とアメリカで順番に定期的 (年 1 回程度) なシンポジウムを開催する。若手研究者育成のために、博士課程学生対象の卓越大学院のカリキュラムの中で実施される長期インターンシップ (4 ヶ月以上) の受け入れ先としてコーネル大学および UCLA を対象とする。

5. 持続的な国際ネットワーク構築・参画・拡大のための実施概要

(渡航) Wang 特任助教が 6 月 27 日から 7 月 16 日まで UCLA 及びコーネル大学を訪問し、当プログラムの趣旨説明と最新の研究成果を紹介した。また PI が 2024 年 1 月 27 日から 2 月 1 日までコーネル大学を訪問してシン教授が所有する装置を見学し、また今後の共同研究計画について話し合った。帰国便の一部は ASPIRE の予算を使用した。

（受け入れ）コーネル大学博士課程学生 6 名を受け入れ、当研究室が所有する窒化物半導体専用のクリーンルーム C-TEFs 及び当センターの活動を見学すると共に、当センターが主催する AdCORP 関連の国際シンポジウム（CIRFE Symposium）に参加して、最新の成果を発表した。

（対外発表） Wang 特任助教が EMC2023 及び ICNS14 で成果報告を行った。また、名大高等研究院 IAR Letter の 22 巻にて、研究成果の一部を紹介した。

博士後期課程 3 年の隈部岳瑠君が LEC2023 及び IEDM2023 で成果報告を行った。