

研究課題名： 半導体光電子材料の開発とそのデバイス応用に関する研究

1. 研究計画および目的

オーストラリア国立大学 (Australian National University: ANU) 物理学研究科電子材料工学科に所属する半導体光電子工学・ナノテクノロジー研究グループ (Hoe Tan 教授主宰) において、半導体ナノ材料の創製と光電子デバイス応用に関する研究を実施した。

本研究では、「省エネルギー」「創エネルギー」「蓄エネルギー」の実現に資する次世代半導体光電子材料の開発を目的とし、半導体ナノマテリアルの成膜機構の解明、ナノ構造の形状制御技術の確立、および構造・電子状態・光学特性の相関について検討した。さらに、量子閉じ込め効果や表面・界面効果を活用した高機能光電子デバイスの創出を目指した。

ANU 物理学研究科電子材料工学科には先端的な成膜・評価設備とナノ構造形成技術に関する豊富な知見が蓄積されており、ナノマテリアルの形状と物性との関係を実験およびシミュレーションの両面から体系的に解析できる環境が整っている。

本研究を通じて得られる知見を、今後の半導体光電子材料・光電変換デバイス研究の発展、国際共同研究の推進、および本学における研究・教育活動へ還元することを目指した。

2. 研究活動

7月2日にANUへ到着した。滞在開始当初は、ANU構内の訪問研究者向けアパートメントである Judith Wright Court に約1か月間居住し、その間に生活環境および研究環境の整備を行った。その後、キャンベラ北部の Aranda 地区に居所を移し、帰国まで研究活動に従事した。ビザの発給遅延により滞在期間が9か月となり、当初予定していた期間より短縮されたため、研究計画を見直した。その結果、実験・評価装置を用いる研究から、帰国後も継続的な発展が可能な材料物性シミュレーション研究へ重点を移して研究を進めた。研究活動は、ANU キャンパス西側の Physics New Building #160 棟 3 階 314 室を拠点として実施した。まず、密度汎関数理論 (Density Functional Theory: DFT) に基づく第一原理計算 (以下、DFT 計算) を用いて、以下の2つの研究課題に取り組んだ。

(1) InP ナノワイヤの形成機構に関する研究

Hoe Tan 教授グループが進める MOCVD 法による InP ナノワイヤ形成を対象として、結晶ファセット形成の起源を表面エネルギーおよび表面拡散の観点から検討した。その結果、成長面方位や結晶極性の違いが表面拡散長やファセット安定性に影響を与え、ナノワイヤやナノメンブレンなどの特徴的なナノ構造形成を支配していることを示した。また、ファセット形成を抑制するためには、表面拡散長を制御することが重要であることを示し、今後の成長条件最適化に向けた指針を得た。

(2) InP ナノワイヤアレイガスセンサの高感度化機構に関する研究

Lan Fu 教授グループが開発した自己駆動型 InP ナノワイヤアレイガスセンサを対象として、NO₂分子吸着による電子状態変化の解析を行った。その結果、NO₂分子が強い電子受容体として作用し、ナノワイヤの電子輸送特性を変化させることで、高いNO₂応答特性が発現する可能性を示した。

上記の研究と並行して、SiC 量子ドット、ナノワイヤおよびN ドーピングモデルを自動生成する Python コードを開発し、DFT 計算モデルを効率的に構築できる環境を整備した。

さらに、AZO 薄膜を対象として、透過率・反射率スペクトルから膜厚、光学定数、キャリア濃度、移動度、光学バンドギャップ等を非破壊で評価するための解析プログラムを Python で開発した。本プログラムは物理定数や解析条件を変更することで、他の半導体材料にも適用可能であり、光学測定データから材料物性を効率的に抽出できる解析基盤となる。

IEEE Photonics Society、IEEE Electron Devices Society および IEEE Nanotechnology Council ACT Chapter の共催によるセミナー（8月27日）では、「Engineering Thin Films for Future Optoelectronics with Eco-Friendly Semiconductors: Light Emission, Detection, and Energy Harvesting」と題した講演を行った。

Tan 教授グループおよびFu 教授グループによる合同中間研究発表会（8月29日）では、本学における研究内容および ANU 滞在中に実施予定の研究計画について発表を行い、Chennupati Jagadish 名誉教授をはじめとする研究者との意見交換を行った。

また、毎週実施される研究グループミーティングおよび週末の有志による懇親会に参加し、研究者、博士研究員および博士課程学生らとの交流を通じて、多様な研究分野に関する知見を得るとともに、異なる文化や生活習慣への理解を深めることができた。

ANU Quantum Springboard Networking Event(11月19日)に参加した。特に、Quantum Brilliance 社によるダイヤモンド中の窒素空孔中心 (NV センター) を用いた室温動作型量子コンピュータに関する講演は印象的であった。

Tan 教授のご自宅で開催されたクリスマスパーティおよび博士課程学生の就職祝い（12月17日）に参加し、研究グループのメンバーとの交流を深めた。

3. 研究成果

在外研究期間中に得られた知見を基に、研究室所属学生が実験およびシミュレーション研究を実施し、以下の学会発表を行った(1)。また、発表予定の研究成果(2~5)も得られている。

- (1) 近藤利哉、勝俣裕、Si 量子ドット含有 SiO_x 薄膜の光学特性および MIS デバイスの電気的特性評価、第 86 回応用物理学会秋季学術講演会、7p-N401-14、9月7日(2025)。

- (2) Shu Yokoyama and Hiroshi Katsumata, Ag-N Co-Doping for p-Type Control in ZnO Thin Films Prepared by RF Magnetron Sputtering, The 18th International Symposium on Sputtering & Plasma Processes, P2-39, Kyoto, July 2(2026).
- (3) Yuta Morimoto, Hiroshi Katsumata, Structural, Optical, and Electrical Properties of α -Fe₂O₃ Thin Films Formed by Oxidation of DC-Sputtered Fe Layers and Their Formation Process, 37th International Conference on the Physics of Semiconductors, Tokyo, August 16-21(2026).
- (4) 加賀 俊輔、勝俣 裕、第一原理計算による 3C-SiC のバルクおよび量子ドットにおける N ドーピング特性の比較、第 87 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道、9 月 8-11 日 (2026).
- (5) 林 俊孝、勝俣 裕、Zn ターゲットを用いた RF 反応性共スパッタリング法により作製した AZO 薄膜の特性に及ぼす Al 添加量の影響、第 87 回応用物理学会秋季学術講演会、北海道、9 月 8-11 日 (2026).

4. 今後の展望

これらの研究成果については論文として取りまとめ、今後の学術論文投稿および研究成果の国際的な発信につなげていく予定である。在外研究期間中には、InP ナノワイヤ形成機構の解明に向けた第一原理計算手法の検討を行うとともに、SiC ナノ構造モデル自動生成プログラムおよび光学特性解析プログラムを開発した。今後は、これらの研究基盤を活用して、半導体ナノ構造の形成機構や光電子物性の解明、ならびに半導体薄膜の光学・電気特性解析を推進し、ナノ構造制御や新規光電子デバイスの研究へ発展させていく。さらに、Hoe Tan 教授からは、ANU との共同研究として JST 先端国際共同研究推進事業 (ASPIRE) への応募を提案されており、在外研究で培ったシミュレーション・解析技術および研究ネットワークを活用し、継続的な国際共同研究を推進していきたい。

5. 教育への効果

特に印象的であったのは、Physics New Building #160 に拠点をおくオーストラリア国立ナノファブリケーション施設 (ANFF) による研究支援体制である。クリーンルームおよび半導体製造・評価設備は専門スタッフによって管理・運営されており、利用者はオペレーショントレーニングを受講することで高度な研究設備を利用できる。このような環境により、研究者や学生は装置の保守管理ではなく研究そのものに集中することができる。研究設備の共同利用体制や技術支援の重要性を改めて認識するとともに、本学における研究環境整備や学生教育を考える上で多くの示唆を得ることができた。

また、構内への入構は ID カードによって厳格に管理されており、高い安全性が確保されていた。ANU では、教職員・学生・訪問研究員を対象とした WHS (Work Health and Safety) Online Safety Courses (e-learning) が提供されており、大学全体

の安全ルール、緊急時の避難方法、事故・災害報告手順、アスベストに関する知識、VDT 作業環境の整備、研究活動におけるリスク管理などについて体系的に学ぶことができた。クリーンルームで警報が発報した際には、利用者全員が速やかに避難し、その後消防車が到着して安全確認が行われるなど、安全管理体制が徹底されていた。加えて、学内の危険箇所やハラスメント事案については、学生を含む構成員がオンラインで迅速に報告できるシステムが整備されており、安全・安心な教育・研究環境が構築されていた。また、技術スタッフや事務スタッフへの問い合わせ・依頼事項に対する対応は迅速であり、利用者が対応内容を評価できるフィードバックシステムが整備されていた。

研究環境の面では、プリンター、電子レンジ、シンク、冷蔵庫などの共用設備を研究室単位ではなく学科・研究科単位で管理・運用する仕組みが導入されており、設備の有効活用と経費削減の両立が図られていた。このような合理的な運営体制は、研究者が研究活動に専念できる環境づくりに寄与しており、本学における研究支援体制を考える上でも参考となった。

一方で、オーストラリアでは半導体関連産業の規模が日本と比較して小さく、半導体分野を専攻した学生の進路の選択肢が限られている状況を伺った。この点において、日本は半導体関連企業や研究機関が多数存在し、学生にとって恵まれた研究・就職環境を有していることを改めて認識した。

今後は、本在外研究で得られた知見を活かし、実験研究に加えてシミュレーション研究やデータ解析教育をさらに充実させることで、実験と計算科学の双方を活用できる人材の育成を図りたい。また、本在外研究を通じて ANU をはじめとする海外研究者との人的ネットワークを構築することができた。今後は共同研究や学生交流を推進するとともに、国際学会発表や海外留学への挑戦を積極的に支援することで、国際的な視野と研究力を備えた研究者・技術者の育成に貢献していきたい。