2025 年度年次報告書

先端国際共同研究推進事業
【2025 年度採択　Top のための ASPIRE　半導体分野】

【研究課題名】
半導体ヘテロジニアス集積デバイスのための IV 族混晶材料の汎用量子物性制御

研究代表者：
中塚 理（名古屋大学　教授）

主たる共同研究者：
小野 崇人（東北大学　教授）
浜屋 宏平（大阪大学　教授）
東 清一郎（広島大学　教授）
王 冬（九州大学　教授）

相手側研究代表者：
Roger Loo（Principal Member of Technical Staff, imec）
Dan Mihai Buca（Group Leader, Forschungszentrum Juelich）
Yuji Yamamoto（Scientist, Innovations for High Performance Microelectronics）
Petr Neugebauer（Research Group Leader, Central European Institute of Technology, Brno University of Technology）
Muhammad Ashraful Alam（Professor, Purdue University）

1. 研究進捗状況と成果

本研究においては、実用的な高温動作・大強度・素子集積可能で、幅広い産業応用が可能な半導体ヘテロ集積技術の開拓を目指して、Si を中心とした日欧米多機関の共同研究推進により、IV 族混晶材料に係る最先端結晶成長・プロセス技術の駆使に基づいて、電子のみならず、フォノン・フォトン・スピンなどの異種量子を汎用的に制御・操作できる各種ナノ量子デバイスの創成、およびこれら新規量子デバイスを Si-ULSI プラットフォームへ搭載し、ヘテロジニアス機能集積を実現するための、統合的な材料・プロセス・デバイス技術の構築を進めている。

2025 年度は、国際ネットワークの構築・拡大に向けて、海外機関とともに国際ワークショップや国内各機関におけるセミナーを実施した。主な企画を以下に挙げる。

・16th International Workshop on New Group IV Semiconductor Nanoelectronics、東北大学、11 月 17～18 日： ASPIRE 主催により、関係機関の PI、研究者、大学院生ら 60 名余が参加し、大学院生らの口頭・ポスター講演も交えて研究討論を行った。

・Semiconductor process symposium, 248th ECS meeting (The Electrochemical Society meeting), October 12-16, Chicago, IL, US, 2025：米国電気化学会の定例会議において、ASPIRE の参画メンバーが中心となってシンポジウムを開催した。欧米アジアから本分野の研究者 60 名余が集い、最先端の研究成果を報告するとともに研究討論を交わした。

また、国際頭脳循環に資する若手研究者の育成に向けて、欧米への長期派遣を推進し、日本側 5 大学から 13 名の若手研究者、大学院生が各海外機関において 1 か月～1 年間の滞在を行い、海外国際会議参加などの短期派遣も含めると延べ 1217 日間にわたって共同研究活動を推進した。

2. 代表的な成果事例

本年度は、海外連携機関との共同研究を実施し、その結果、以下に挙げるような主要な成果を得た。

1. K. Makihara, Y. Yamamoto, M. A. Schubert, A. Mai, and S. Miyazaki, Processing and Characterization of High-Density Fe-Silicide/Si Core–Shell Quantum Dots for Light Emission, Nanomaterials 15, 733 (9 pages), 2025
   概要：発光デバイスに向けた Fe シリサイド/Si コアシェル構造の高密度化に関する製造プロセスの構築とその光電物性の解明を行った。
2. K. Ozaki, Y. Imai, T. Tsutsumi, Y. Imai, N. Takada, K. Ishikawa, Y. Yamamoto, W.-C. Wen and K. Makihara, Study on dry etching of epitaxially grown $Si_{0.7}Ge_{0.3}$ and Si using H_2 diluted CF_4 plasma, Jpn. J. Appl. Phys. 64, 07SP10 (6 pages), 2025
   概要：GAA-FET の製造プロセス構築に貢献する SiGe/Si 積層構造の選択的ドライエッチング技術に関して、水素希釈 CF_4 プラズマの効果について、その微細構造、プロセス条件を検証した。
3. Y. Yamamoto, W.-C. Wen, N. Inomata., A. A. Corley-Wiciak, D. Ryzhak, C. Corley-Wiciack, Z. Zhijian, R. Sorge, B. Tillack, T. Ono, Piezoresistivity of Epitaxial SiGe, ECS Journal of Solid State Science and Technology, 14(4) (2025) 045001
   概要：MEMS 集積デバイス応用に向けて、SiGe エピタキシャル薄膜層の圧電効果（ピエゾ抵抗率）を分析および解明した。
4. Y. Yamamoto, W.-C. Wen, F. Bärwolf, J. Schlipf, O. Fursenko, S. Karki, M. H. Zoellner , J. Murota, B.

Tillack, Influence of strain and initial reactions on epitaxial SiGe growth, Materials Science in Semiconductor Processing, 209, 110572, 2025.
概要：IV 族集積デバイス構築に向けて、仮想 SiGe 基板上における SiGe エピタキシャル成長時の初期反応と歪構造がそのヘテロ構造の結晶性に及ぼす影響を検証した。

5. 第 47 回応用物理学会論文賞、山本 圭介、王 冬、Roger Loo、Clément Porret、Jinyoun Cho、Valérie Depauw（九州大学、imec）、Ge-on-insulator fabrication based on Ge-on-nothing technology、2026 年 3 月 15 日.
概要：Ge-on-nothing 構造を用いた GOI 構造形成に関する研究開発について、本 ASPIRE でも継続開発している国際共同研究が受賞した。