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　Top のための ASPIRE　半導体分野】

【研究課題名】
最先端原子層プロセス国際共同研究ネットワークの構築

研究代表者：
浜口 智志（大阪大学　特任教授）

主たる共同研究者：
木野 日織（統計数理研究所　教授）
小林 正治（東京大学　教授）

相手側研究代表者：
David Graves（Professor, PPPL, Princeton University）

1. 研究進捗状況と成果

① 研究構想にかかる成果

現在の最先端半導体プロセスで多用される材料を中心に、その ALD（Atomic Layer Deposition、原子層堆積）による成膜・ALE（Atomic Layer Etching、原子層エッチング）およびRIE(Reactive Ion Etching、反応性イオンエッチング)による加工に関する表面反応の基礎データベースを構築するのに必要な基礎データを収集し、数値シミュレーションを用いた表面反応・気相反応の解析技術に関する基礎研究を大いに発展させた。半導体プロセスの高度化に必要な基礎的知見が多数得られ、その成果を学会や国際的に著名な学術誌に多数投稿した。

② 国際ネットワーク構築・拡大に関する成果

ASPIRE Summer School (Minneapolis、MN、USA、June 14-16、2025)等、多数の研究会・スクールを主催・共催した。これらの国際ワークショップ・研究会・スクールに、日本から多数の学生・若手研究者が参加し、国内外の最先端研究者の前で発表を行い、議論をする機会を得たことは極めて高い教育効果があった。

③ 国際頭脳循環に資する若手研究者の人材育成に関する成果

長期の若手人材交流を幅広く行った。具体的には、日本側からの若手研究者長期渡航者３名は、すべて大学院生で、162 日（滞在先：ドイツ）、92 日（米国）、80 日（米国）間先方の研究機関に滞在し、共同研究を行った。一方、多数の短期滞在者（滞在期間２週間以内）を、海外の学会、スクール等に派遣した。一方、５名の海外の若手研究者（大学院生）を長期招へいした。滞在日数は、263 日（招へい元：ポルトガル）、 215 日（イタリア）、98 日（ポルトガル）、90 日（ドイツ）、 81 日（オランダ）であった。これらの短期・長期の国際交流を通して、多くの学生・若手研究者が、国際学会で研究発表を行い、世界最先端の研究を行っている研究者や、海外の学生と議論をする貴重な経験を積むことができた。

2. 代表的な成果事例

(1) “On the role of positive ion neutralization in defect generation in monolayer graphene exposed to sub-threshold energy ions”, Pierre Vinchon, Luc Stafford, Nicolas Mauchamp, and Satoshi Hamaguchi, J. Phys. D.: Appl. Phys. 59(2), 592025 (2025).

概要：単層グラフェンにおける点欠陥の生成には、格子に伝達される最低エネルギーが 18～22 eV 必要であることが知られている。しかしながら、多くの研究で、イオンビームや低圧プラズマ中において、その閾値以下のエネルギーのイオンでもグラフェンに空孔を生成できることが示されている。本研究では、分子動力学シミュレーションを用いて、イオン衝突と同程度の時間スケールで、正イオンの中和がグラフェン格子に追加のエネルギーを供給する可能性のある役割を検証した。

(2) “Etching characteristics of tungsten and tungsten compounds by energetic fluorocarbon and argon ions”, Hojun Kang, Shunta Kawabata, Tomoko Ito, Song-Yun Kang, Dongkyu Lee, Yuna Lee, Kazuhiro Karahashi, Satoshi Hamaguchi, J. Vac. Sci. Technol. A 43(4) 043004 (2025).

概要：質量選択された単一エネルギーイオンビームを用いて、500～4000 eV のエネルギー範囲で、高エネルギーの CF_3^+イオンおよび Ar^+イオン照射による W、W_3Si_2、および WO_3 のエッチング特性を調べた。イオンエネルギーが同じで十分に高い場合、CF_3^+イオン照射による W のエッチング収率

は Ar_+イオン照射によるエッチング収率よりも著しく高いことがわかった。これはおそらく、CF_3^+イオン照射の場合に揮発性のフッ化タングステン WF_x 種が形成されるためと考えられる。