

2024 年度年次報告書

未踏探索空間における革新的物質の開発

2021 年度採択研究代表者

松田 巖

東京大学 物性研究所
教授

2 次元ホウ素未踏マテリアルの創製と機能開拓

主たる共同研究者:

安藤 康伸 (東京科学大学 総合研究院 准教授)

小嗣 真人 (東京理科大学 先進工学部 教授)

近藤 剛弘 (筑波大学 数理物質系 教授)

吹留 博一 (東北大学 電気通信研究所 准教授)

研究成果の概要

本研究では無数の多形体を成す 2 次元ホウ素未踏マテリアルについて物質合成と機能性開拓を行っている。研究者による学理と理論計算に基づく従来アプローチに加え、インフォマニティクスやロボットを組み合わせた手法も取り入れている。自動かつ自律的に合成法開発が可能なシステムとして、2024 年度から運用が開始された放射光施設 Nano Terasu にて、合成プラント・試料搬送ロボット・X 線分光測定器などから構成された「革新的合成法開発システム」を構築した。現在、本システムを用いて 2 次元ホウ素マテリアル及び関連物質の利用実験を行なっている。一方、本チーム代表者は Nano Terasu にて固/気界面における表面化学反応の様子を直接捉えることができる「雰囲気軟 X 線光電子分光装置」を管理・整備している。本プロジェクトで取り扱う HB シートは CO_2 を還元してメタン(CH_4)やエタン(C_2H_6)を生成するなど様々な化学反応を示す。そこで将来的な触媒利用研究を目指して、本装置の実験圧力を大気圧(1 bar)まで向上させた。このような完全大気圧下での軟 X 線光電子分光測定は世界初の成果である。

本研究では並行してホウ化水素 (HB) シートの合成法を洗練させ、母物質原料となるホウ化金属結晶の大型成長に成功し、さらにモルフォロジーや電子状態に合わせてシートを作り分ける作製法も開拓した。また合成中に新分子「 $\text{B}_{14}\text{H}_{26}$ 」の発見にも至った。一方、本研究で取り扱っているホウ化水素 (HB) シートの自立性を活かし、金属基板への積層と安定な界面形成を実現する接合技術も開発した。トランジスタや電池などでは界面が機能発現の源になっていることから、本技術は将来的なデバイス開発などに役立つと期待される。そこで今後の産業利用を見越して特許申請を行った。

【代表的な原著論文情報】

- 1) K. Yamaguchi, M. Niibe, X. Zhang, T. Sumi, M. Horio, Y. Ando, J. Yamaura, E. Nakamura, K. Tanaka, T. Kondo, I. Matsuda, Macroscopic sheets of hydrogen boride and their spectroscopic evaluation, *Phys. Rev. Materials* **8**, 074005 (2024).
- 2) X. Zhang, M. Miyamoto, M. Yuan, Y. Tsujikawa, K. Yamaguchi, M. Horio, K. Ozawa, K. Yubuta, T. Kondo, I. Matsuda, Fermi Edge of Semimetallic Borophane Sheets and its Reduction by a Porous Structure, *J. Phys. Chem. Lett.* **15**, 9349 (2024).
- 3) S. Ito, K. I. M. Rojas, Y. Yasuda, N. Noguchi, K. Fukuda, M. Hikichi, Z. Kang, M. Yuan, R. Tsuji, O. Oki, S. Roy, Y. Hikita, I. Matsuda, M. Miyauchi, I. Hamada, T. Kondo, Inter-layer Hydrogen Recombination from Hydrogen Boride Nanosheets Elucidated by Isotope Labeling, *J. Phys. Chem. Lett.* **15**, 10965 (2024).
- 4) X. Zhang, T. Fujino, Y. Ando, Y. Tsujikawa, T. Wang, T. Nakashima, H. Sakurai, K. Yamaguchi, M. Horio, H. Mori, J. Yoshinobu, T. Kondo, I. Matsuda, Discovery of bicyclic borane molecule $\text{B}_{14}\text{H}_{26}$, *Commun Chem* **8**, 14 (2025).
- 5) T. Wada, M. Horio, Y. Liu, Y. Murano, H. Sakurai, T. Sumi, M. Miyamoto, S. Yamamoto, I. Matsuda, Soft X-ray photoelectron spectroscopy under real ambient pressure conditions, *Appl. Phys. Express* **18**, 036504 (2025).