

2023 年度年次報告書

原子・分子の自在配列・配向技術と分子システム機能

2020 年度採択研究代表者

末永 和知

大阪大学 産業科学研究所

教授

ナノ空隙を利用した原子・分子の配列制御と物性測定法開発

主たる共同研究者:

吾郷 浩樹 (九州大学 グローバルイノベーションセンター 教授)

中西 勇介 (東京都立大学 大学院理学研究科 助教)

研究成果の概要

本研究課題は、2023年度も順調に進捗した。主なテーマであるナノ空間を用いた新しい構造をもつ物質の開拓においては、中西グループが一次元ナノ空間へのインジウム原子の配置などを実現し、超伝導・パイエルス転移など低次元物質に特有の新機能を探索している。吾郷グループは二層グラフェン間に生じるファンデルワールス空間に p 型および n 型の物質を挿入させることにより物性変調を目指した研究を行なっている。とくにアルカリ金属の場合、従来以上の充填率で二層グラフェン間に配置されることを初めて見出し、現状の充放電バッテリー電気容量の拡充の可能性を報告した。

また吾郷グループは、グラフェンなど二次元材料をテープにして転写する技術を世界で初めて開発した。二次元材料に特化した紫外線で粘着力が低下する機能性テープを用いて、高速化・省電力化が求められる次世代デバイス材料として期待される原子層厚みの二次元材料を、自在に転写・積層するため基盤技術を開発することに成功した。グラフェンに限らず半導体や絶縁体の二次元材料を、簡便に転写できる。これまで難しかった二次元材料の大面积での転写・製造プロセスに大きな進歩をもたらすものであり、半導体を含む次世代産業の創出に大きく貢献すると期待される。この成果は *Nature Electronics* 誌(2024)に発表された。

末永グループは引き続き、電子分光を用いた局所的な物性評価手法の開発に従事し、単原子層物質の吸収分光や振動測定およびその応用範囲を広げるようなハードウェア導入を行なっている。2023年度は、電子線発生源の安定度向上を実現し、非接地型のモノクロメータとしては、世界最高の安定度を達成した。

【代表的な原著論文情報】

- 1) Yung-Chang Lin, Rika Matsumoto, Qiunan Liu, Pablo Solís-Fernández, Ming-Deng Siao, Po-Wen Chiu, Hiroki Ago & Kazu Suenaga “Alkali metal bilayer intercalation in graphene” *Nature Communications* **15**, 425 (2024)
- 2) Qiunan Liu, Yung Chang Lin, Silvan Kretschmer, Mahdi Ghorbani-Asl, Pablo Solís-Fernández, Ming Deng Siao, Po Wen Chiu, Hiroki Ago, Arkady V. Krasheninnikov, Kazu Suenaga, “Molybdenum Chloride Nanostructures with Giant Lattice Distortions Intercalated into Bilayer Graphene” *ACS Nano* 2023, 17, 23, 23659–23670
- 3) Alberto Guandalini, Ryosuke Senga, Yung-Chang Lin, Kazu Suenaga, Andrea Ferretti, Daniele Varsano, Andrea Recchia, Paolo Barone, Francesco Mauri, Thomas Pichler, Christian Kramberger, “Excitonic effects in energy loss spectra of freestanding graphene” *Nano Lett.* 2023, 23, 24, 11835–11841
- 4) Satoru Fukamachi, Pablo Solís-Fernández, Kenji Kawahara, Daichi Tanaka, Toru Otake, Yung-Chang Lin, Kazu Suenaga, Hiroki Ago, “Large-area synthesis and transfer of multilayer hexagonal boron nitride for enhanced graphene device arrays”, *Nature Electronics*, 6, 126-136 (2023). DOI: 10.1038/s41928-022-00911-x.
- 5) Nakanishi, Y. Furusawa, S. Sato, Y. Tanaka, T. Yomogida, Y. Yanagi, K. Zhang, W. Nakajo, H. Aoki, S. Kato, T. Suenaga, K. and Miyata, Y. “Structural Diversity of Single-Walled Transition

Metal Dichalcogenide Nanotubes Grown via Template Reaction”, *Advanced Materials*, **35**, 2306631 (2023).

- 6) M. Nakatani, S. Fukamachi, P. Solís-Fernández, S. Honda, M. Harada, K. Kawahara, Y. Tsuji, Y. Sumiya, M. Kuroki, K. Li, Q. Liu, Y.-C. Lin, A. Uchida, S. Oyama, H. Ji, K. Okada, K. Suenaga, Y. Kawano, K. Yoshizawa, A. Yasui, H. Ago, "Ready-to-transfer two-dimensional materials using tunable adhesive force tapes", *Nature Electronics*, **7**, 119–130 (2024).