

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

2021 年度 年次報告書

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

§ 1. 研究成果の概要

2021 年度、本研究は極めて順調に進捗した。

まず、新しい物性評価手法開発においては、電子線エネルギー損失分光のエネルギー分解能を現状可能な限り高めることにより、グラフェンを構成する ^{12}C と ^{13}C の振動エネルギーの差(8meV 程度)を電子顕微鏡の作り出す 2\AA のプローブを用いて検出することに成功した。これにより原子レベルの感度と分解能をもって同位体元素の識別が可能であることが実験的に明確に証明された。このことは、例えば貴重な美術品や化石・鉱物の年代測定が、ごく微量のサンプルをもって可能になることを意味する。また将来、リンや塩素など生体分子にとって重要な元素の同位体を用いると、同位体追跡が原子レベルで可能になるため、創薬開発などの基礎研究に幅広く応用可能である。ただし、現状のエネルギー分解能では、軽元素(水素や炭素)の同位体識別は可能でも、酸素(原子番号 $Z=8$)以降の元素には応用困難であるため、さらなるエネルギー分解能の向上を目指すハードウェア開発が早急に必要となる。

ナノ空間を利用した新物質合成においても順調に成果があがった。とくに二次元ナノ空間の利用に関しては、アルカリ金属や金属塩化物を二層グラフェンの間に浸透させることで、バルクとは異なる構造(原子配列)を実現できた。とくに塩化アルミニウムにおいては、三つの未知の相(合金相を加えると4つ以上)が同定され、それらの相間で相変態が起こることが確認されている。二次元ナノ空間が準安定の複数の原子配列を安定化し、かつそれらの間のエネルギー障壁は極めて低いことが示唆される重要な結果である。1次元空間を用いた分子・原子配列においてもチーム内の共同研究のみならず、領域内他チームとの共同研究も行われ、異なる物性を持つナノチューブの複合体からのエキシトンスpektral測定などが実現されており、とくに新規の光学特性発現を狙った基礎研究が進行中である。

§ 2. 研究実施体制

(1) 末永グループ

- ① 研究代表者:末永 和知 (大阪大学産業科学研究所 教授)
- ② 研究項目
 - ・電子顕微鏡・電子分光による原子レベル構造解析手法開発
 - ・ナノ空隙物質の新物性評価と応用探索
 - ・高エネルギー分解能化を目指した電子顕微鏡ハードウェア開発

(2) 吾郷グループ

- ① 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)
- ② 研究項目
 - ・二次元ホスト物質の CVD 合成
 - ・複層グラフェンへのインターカレーションと物性測定・機能創出
 - ・ナノ空隙物質の新物性評価と応用探索

(3) 中西グループ

- ① 主たる共同研究者:中西 勇介 (東京都立大学・理学部物理学科 助教)
- ② 研究項目
 - ・BN ナノチューブを用いた高収率内包技術の確立
 - ・一次元ヘテロ構造の創成と評価
 - ・ナノ空隙物質の新物性評価と応用探索

【代表的な原著論文情報】

- 1) Ryosuke Senga, Yung-Chang Lin, Shigeyuki Morishita, Ryuichi Kato, Takatoshi Yamada, Masataka Hasegawa & Kazu Suenaga “Imaging of isotope diffusion using atomic-scale vibrational spectroscopy” *Nature* 603 (2022) pp.68–72 <https://doi.org/10.1038/s41586-022-04405-w>
- 2) Yung-Chang Lin, Amane Motoyama, Silvan Kretschmer, Sadegh Ghaderzadeh, Mahdi Ghorbani-Asl, Yuji Araki, Arkady V Krasheninnikov, Hiroki Ago, Kazu Suenaga, “Polymorphic Phases of Metal Chlorides in the Confined 2D Space of Bilayer Graphene” *Adv. Mater.* 2021, 2105898(8 pages) DOI: 10.1002/adma.202105898