

二次元機能性原子・分子薄膜の創製と利用に資する基盤技術の創出
2015年度採択研究代表者

2019年度 実績報告書

佐藤 信太郎

富士通(株)プラットフォーム開発本部
本部長付

革新的デバイス創製のためのグラフェンナリボンのテイラーメイド合成

§ 1. 研究成果の概要

本研究課題では、種々の応用に適用可能な、様々な特性を持つグラフェナナリボン(GNR)の合成を目指している。特に我々は、GNRの幅、構造を精密に制御するため、前駆体分子をビルディングブロックとするボトムアップ合成に取り組んでいる。ボトムアップ合成は2010年ころから行われており、いくつかのGNRが合成されてきたが、これまで合成されたGNRのバンドギャップは2-4eV程度と比較的大きい。一方、低消費電力/高速トランジスタへの応用を目指した場合、バンドギャップとしては1eV程度以下を持つことが望ましく、この研究課題開始当初から、バンドギャップが小さなGNRの合成を目指してきた。

今年度、我々は図1に示すような前駆体、合成スキームを用いることにより、原子17個分の幅と、アームチェアエッジを持つGNR(17-AGNR)の合成に、世界で初めて成功した。走査トンネル顕微鏡像で観測したところ、電子の分布が可視化され、エッジ構造を反映した凹凸が確認できた(図2(a))。また、非接触原子間力顕微鏡像では、炭素原子による骨格を見ることができ、リボン幅方向に8個の六角形が連なった17-AGNRの構造が明確に確認できた(図2(b))。さらに、走査型トンネル分光測定を活用することで、理論計算と一致する、約0.6 eVのバンドギャップを持つことを確認した。

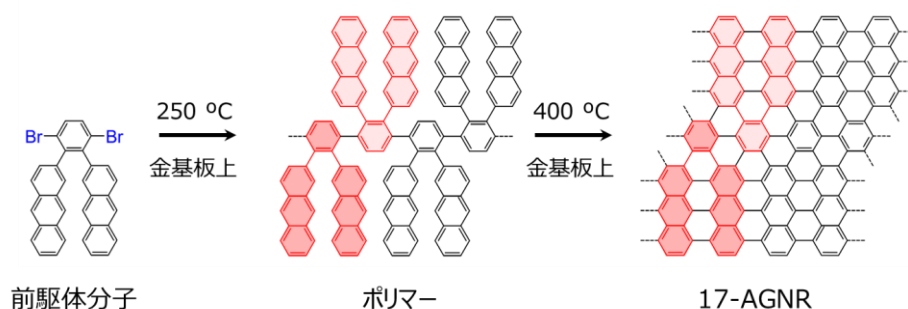


図1 金基板上での17-AGNRの合成スキーム

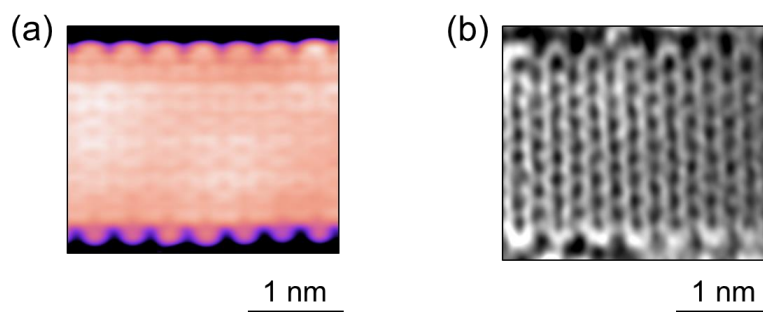


図2 (a) 17-AGNRの走査トンネル顕微鏡像、(b)非接触原子間力顕微鏡像
(東大・杉本准教授のご協力による)

【代表的な原著論文】

Junichi Yamaguchi, Hironobu Hayashi, Hideyuki Jippo, Akitoshi Shiotari, Manabu Ohtomo, Mitsuhiko Sakakura, Nao Hieda, Naoki Aratani, Mari Ohfuchi, Yoshiaki Sugimoto, Hiroko Yamada and Shintaro Sato, “Small bandgap in atomically precise 17-atom-wide armchair-edged graphene nanoribbons”, *Communications Materials*, vol. 1, 36, 2020

Manabu Ohtomo, Hironobu Hayashi, Kenjiro Hayashi, Hideyuki Jippo, Juanjuan Zhu, Ryunosuke Hayashi, Junichi Yamaguchi, Mari Ohfuchi, Hiroko Yamada, and Shintaro Sato. “Effect of edge-functionalization on bottom-up synthesis of nanographenes”, *ChemPhysChem*, vol. 20, pp.3366-3372, 2019

José I. Urgel, Marco Di Giovannantonio, Guido Gandus, Qiang Chen, Xunshan Liu, Hironobu Hayashi, Pascal Ruffieux, Silvio Decurtins, Akimitsu Narita, Daniele Passerone, Hiroko Yamada, Shi-Xia Liu, Klaus Müllen, Carlo A. Pignedoli, and Roman Fasel, “Overcoming Steric Hindrance in Aryl-Aryl Homocoupling via On-Surface Copolymerization”, *ChemPhysChem*, vol. 20, pp.2360-2366, 2019

§ 2. 研究実施体制

(1)「富士通」グループ

① 研究代表者:佐藤 信太郎 (富士通株式会社 AI 基盤事業本部 本部長付)

② 研究項目

・グラフェンナリボン(GNR)の合成・評価とシミュレーション

[1] GNR 前駆体合成技術の開発

[2] GNR 前駆体堆積・GNR 形成技術の開発

[3] デバイス化関連材料合成技術の開発

[4] GNR の電子状態・デバイス特性・合成メカニズムシミュレーション

[5] GNR の特性評価・デバイス化

(2)「奈良先端大」グループ

① 主たる共同研究者:山田 容子 (奈良先端科学技術大学院大学物質創成科学研究科教授)

② 研究項目

・GNR 前駆体合成技術の開発

[1] H 以外の末端部位を有する AGNR 前駆体合成

[2] ZGNR の前駆体合成

[3] 高次アセン前駆体合成

[4] ペリレンビスイミドを母骨格に含む GNR 用前駆体合成

[5] GNR 前駆体大量合成

[6] ポルフィリンナリボン前駆体の合成