

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
平成 27 年度採択研究代表者

2018 年度 実績報告書

佐藤 信太郎

富士通(株)AI 基盤事業本部
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ンナリボン(GNR)の合成を目指している。GNRの特性は、その幅やエッジの構造に影響を受けるため、それらの制御は非常に重要である。例えば、図1のようなエッジを持つGNRをアームチェアエッジGNR(AGNR)と呼び、半導体特性を持ちそのバンドギャップは幅に依存する(概ね幅が狭いほどバンドギャップは大きい)。一方、幅が同じでも、通常水素終端されているエッジに異なる原子、分子が修飾されると、そのフェルミ準位などが変化する。我々はこれまで、様々な幅やエッジ修飾基を持つGNRに取り組んできた[1]。今年度は、メチレンジオキシ基をエッジに持つGNRなどの合成に取り組んだ。図2にその前駆体、狙いのGNRの模式図を示し、図3に合成されたGNRの走査トンネル顕微鏡(STM)像を示す。エッジの修飾基が残存していることを示すデータが得られつつあるが、より詳細な調査を継続中である。また、幅広でバンドギャップが小さいGNRの合成にも引き続き取り組んでいる。

さらに別種のGNRの合成に向け、新たな高次アセン前駆体の合成にも取り組んでいる。実際、ノナセンとヘプタセンの前駆体を合成し、スイス、Empaとの共同研究により、Au(111)上でノナセン、ヘプタセンに変換し、その電子構造を詳細に調査した[2]。その結果、ノナセンやヘプタセンはAu(111)上では開殻ピラジカル構造であることを実験的に初めて証明した。

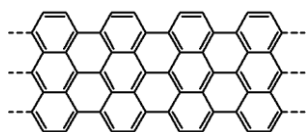


図1 アームチェアエッジを持つグラフェンナリボン(図は7-AGNR)。

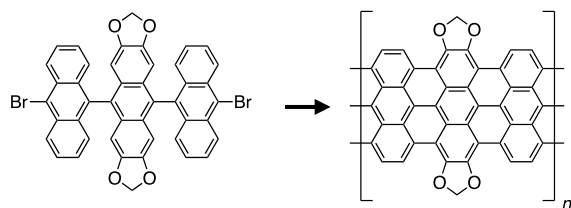


図2 前駆体(左)とGNR(右)の模式図。

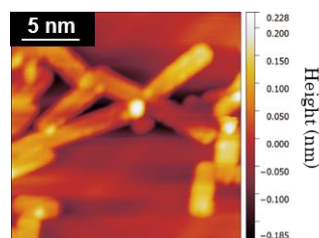


図3 合成されたGNRの走査トンネル顕微鏡(STM)像。

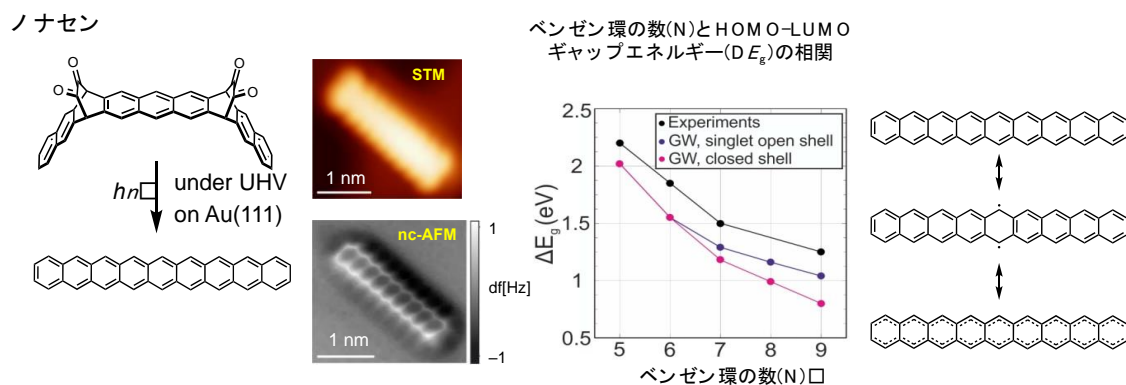


図4 (左から)ノナセンの Au(111)上での合成と、STM および非接触原子間力顕微鏡(nc-AFM)イメージ、ベンゼン環の数(N)とHOMO-LUMO ギャップエネルギー(ΔE_g)の相関の実験値と理論値。

【代表的な原著論文】

1. Manabu Ohtomo, Hideyuki Jippo, Hironobu Hayashi, Jun-ichi Yamaguchi, Mari Ohfuchi, Hiroko Yamada, Shintaro Sato, "Inter-Polymer Self-Assembly of Bottom-up Graphene Nanoribbons Fabricated from Fluorinated Precursors", ACS Appl. Mater. Interfaces, vol. 10, 31623-31630, 2018.

2. José I. Urgel, Shantanu Mishra, Hironobu Hayashi, Jan Wilhelm, Carlo A. Pignedoli, Marco Di Giovannantonio, Roland Widmer, Masataka Yamashita, Nao Hieda, Pascal Ruffieux, Hiroko Yamada, Roman Fasel, "On-surface light-induced generation of higher acenes and elucidation of their open-shell character, Nat. Commun., vol. 10, 861, 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

・グラフェンナノリボン(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] ポルフィリンナノリボン前駆体の合成