

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

H28 年度  
実績報告書

佐藤 信太郎

富士通株式会社アドバンスシステム開発本部  
本部長付

革新的デバイス創製のためのグラフェンナノリボンのテイラーメイド合成

## § 1. 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 (富士通株式会社アドバンスシステム開発本部、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 前駆体堆積・GNR 形成技術の開発
  - [2] デバイス化関連材料合成技術の開発
  - [3] 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
  - [4] 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

## § 2. 研究実施の概要

本年度は前年度に引き続き、特性の異なる複数の新規グラフェンナリボン(GNR)を考案すると共に、その電子状態、安定性などを第一原理計算により明らかにした。さらに、新規 GNR 合成に必要な前駆体分子を設計、合成ルートを確認し、実際に合成を行った。合成された前駆体を利用した新規 GNR の合成は道半ばであるが、合成を成功に導く有力な知見が得られつつある。例えば図1に、フッ素によりエッジが修飾された GNR 合成の試みを示す。この GNR は合成時にフッ素が脱離し、所望のエッジ修飾されたものを得ることはできなかった。しかし、強固と言われる C-F 結合が外れることは非常に興味深く、第一原理シミュレーションによりその脱離メカニズムを世界で初めて明らかにし、論文化を行った[1]。

新規 GNR の合成と並行して、デバイス作製用に数種類の半導体 GNR の合成を行った。合成スキームと GNR の走査トンネル顕微鏡(STM)像の一例を図 2(a)に示す。また、複数の GNR チャンネルを擁したトランジスタ作製のための、GNR の配向成長にも取り組んだ。配向には、下地基板の規則的なステップエッジを利用する方法のほか、新たな手法の開発も試みた。図 2(b)に配向した GNR の STM 像を示す。また、トランジスタ作製プロセスの開発、トランジスタ試作にも取り組み、チャンネル長が最小 20nm 程度の GNR トランジスタの作製・動作に成功した。

GNR を用いたデバイスの1つとして、エッジの異なるアームチェアリボンを接合した GNR を利用した高周波検波器を提案した(図 3)。第一原理シミュレーションにより、THz 帯の高周波に対し、化合物半導体を利用したものに比較し一桁以上高い感度を持ち得ることを明らかにした。

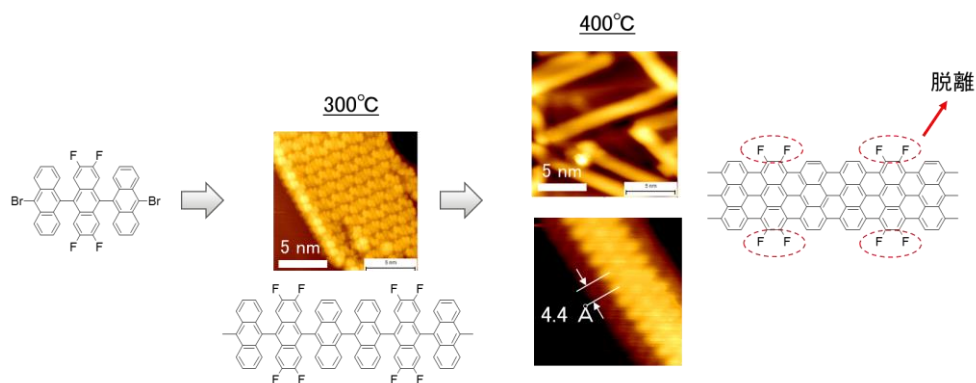


図1. フッ素をエッジに持つ GNR 合成の試み

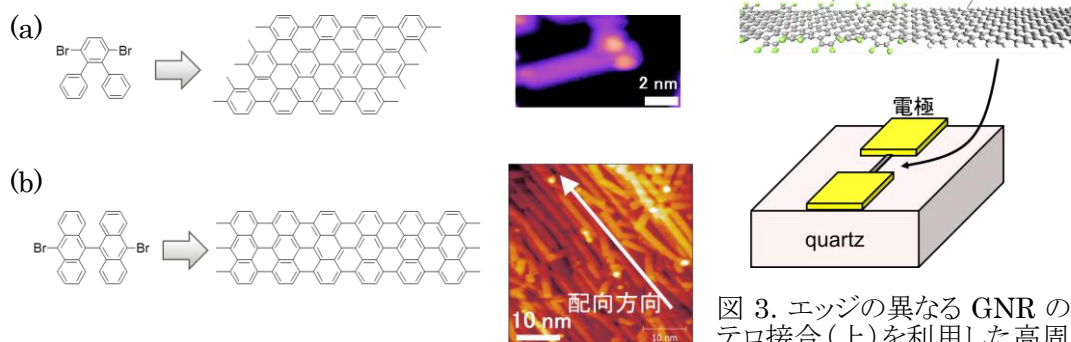


図 2. 半導体 GNR の合成スキームと STM 像。(b) の STM 像は配向成長したもの

図 3. エッジの異なる GNR のヘテロ接合(上)を利用した高周波検波器の模式図

### 代表的な原著論文

[1] Hironobu Hayashi, Junichi Yamaguchi, Hideyuki Jippo, Ryunosuke Hayashi, Naoki Aratani, Mari Ohfuchi, Shintaro Sato, and Hiroko Yamada, “Experimental and Theoretical Investigation for a Dissociation of Carbon-Fluorine Bonds at the Edge Position of Polyanthrylenes During a Cyclodehydrogenation,” ACS Nano, 2017, 11 (6), pp 6204-6210 (DOI: 10.1021/acsnano.7b02316)