

第10回青葉工学振興会賞



グラフェンナノリボンの 革新的集積化合成法の開発

東北大学大学院工学研究科
電子工学専攻
准教授 加藤 俊 顕

炭素原子1層から成るグラフェンは、究極の2次元シートとして、主にエレクトロニクス分野で大きな注目を集めています。しかしながら、グラフェンにはバンドギャップが存在しないため、エレクトロニクスの中でも特に重要な半導体素子としての利用には大きな問題が残されておりました。これに対し、近年グラフェンを1次元短冊状（幅数nm、長さ数 μm ）にしたグラフェンナノリボン（GNR）においてバンドギャップが発現することが理論・実験の両方で実証され大きな注目を集めております。その一方で、GNRの構造を制御して合成、及び集積する技術は全く開発されていませんでした。そこで、我々はこれまで同様のナノカーボン物質であるカーボンナノチューブの合成で培った先進マイルドプラズマプロセス[1]を積極的に活用し、GNRの構造制御、及び集積化合成に取り組みました。

触媒金属を高温（900～1000 $^{\circ}\text{C}$ ）に加熱し炭化水素ガスを供給することで金属表面にグラフェンが合成されることは広く知られております。そこで我々は触媒自体をナノスケール（ナノバー）化し、その表面にグラフェンを合成するという独自のアイデアのもと、GNR合成を試みました。グラフェン合成に広く用いられている熱CVD法では、合成適正温度に到達する前にナノバー構造が崩壊しグラフェンが合成されないのに対し、我々が開発した先進マイルドプラズマプロセスを用いることで、ナノバーの高温安定性が向上し、ナノバーからグラフェンが合成されることを見出しました。ナノバーから合成されたグラフェンは、必然的にナノバー以下の幅をもつ1次元構造となり、つまりGNRとなることが明らかとなりました。本手法では、あらかじめナノバー構造をデザインすることで基板上的どの位置にでも自在にGNRを合成できる利点があります。ナノバー構造のデザインは既存の半導体微細加工プロセスで容易に行えるため、本手法を用いることで、ナノスケール炭素1次元物質であるGNRを集積化可能であることが実証できたこととなります[2]。

合成機構解明にも取り組み、ナノバーがGNR合成中に液体状態をとり、プラズマからの高濃度炭化水素供給によりナノバー液体の濡れ性が変化し安定化すること、及びGNR析出後プラトーレイリー不安定性によりナノバー液体が分裂し、基板上を拡散することで最終的に架橋

構造のGNRが合成されることを明らかとしました。この知見をもとに合成条件を最適化した結果、100万本以上の架橋GNRを大規模集積化合成することに世界で初めて成功しました（図1）[3]。本成果は、これまで基礎研究に限定されていたGNRに関する研究を、実用化を視野に入れた研究開発フェーズに押し上げる観点で大きな貢献が期待されています。今後GNRを利用した革新的なデバイス開発を進めて行く予定です。

- [1] T. Kato and R. Hatakeyama, *J. Am. Chem. Soc.* **130** (2008) 8101; *ACS Nano* **4** (2010) 7395; *ACS Nano* **6** (2012) 8508.
- [2] T. Kato and R. Hatakeyama, *Nat. Nanotechnol.* **7** (2012) 651.
- [3] H. Suzuki, T. Kaneko, Y. Shibuta, M. Ohno, Y. Maekawa, and T. Kato, *Nat. Commun.* **7** (2016) 11797.

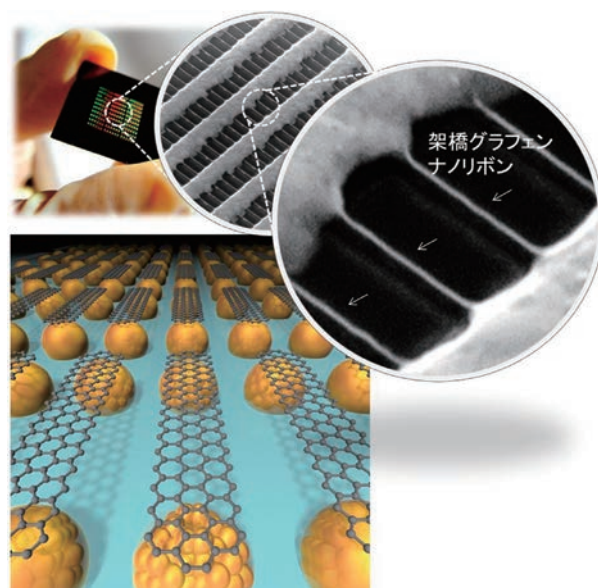


図1. 本手法で合成した大規模集積化GNRの様子とモデル図。