

グラフェンの成長制御と加工プロセスを通じた カーボンエレクトロニクスへの展開 (最先端・次世代研究開発支援プログラム)

九州大学先端物質化学研究所 吾郷 浩樹
Kyushu University Hiroki Ago

1. はじめに

最先端・次世代開発支援プログラムは、「将来、世界の科学・技術をリードすることが期待される若手・女性・地域の研究者への研究支援」として、2010年5月に公募され、2011年2月にグリーン・イノベーション141件、ライフ・イノベーション188件の計329件の採択課題が発表された研究プロジェクトである。このグリーン・イノベーションのテーマの一つとして、筆者のナノカーボンに関する研究テーマ「グラフェンの成長制御と加工プロセスを通じたカーボンエレクトロニクスへの展開」が選ばれたことから、本稿では、この研究課題の目的や概要、および展望について紹介する。

2. 研究の概要

フラーレン、カーボンナノチューブ、そしてグラフェンといったナノカーボンが、規則的な微細構造とユニークな電子物性から大きな注目を集めている。特に、グラファイトを一層だけ切り出した構造を持つ単層グラフェンは、炭素のみからなる二次元のシート状物質であり、その厚さが炭素原子一個分しかないことから、究極的な原子シートと言える。グラフェンは、2004年にマンチェスター大のグループによって、スコッチテープを用いてグラファイトを剥離・転写して得られ、その直線的なバンド分散を反映して、グラフェン中のキャリアが質量のない粒子のよう

に振る舞い、シリコンをはるかに凌駕する高いキャリア移動度（図1）や量子ホール効果など興味深い物性を示すことが報告されている。さらに、機械的柔軟性、光透過性、そして化学的安定性などの特長を有し、フレキシブルな透明電極やトランジスタなどへの応用が期待されている。

本研究では、グラフェンを中心とするナノカーボンについて、エレクトロニクス応用に向けた研究開発を行い、将来の「カーボンエレクトロニクス」という新たな分野を構築することを目標としている。具体的には、本プログラムにおいて、図2に示す3つの課題について取り組むことを計画している。以下にそれぞれについて簡潔に説明する。

① 単結晶グラフェンの成長法の確立

グラファイトから剥離して得られるグラフェンはサイズが小さく（数 μm 程度）、層数も不均一である。そこで、本研究では数cmあるいはそれ以上の大きなサイズで、層数を制御しながら、しかも単一のドメインからなる「単結晶」の単層グラフェンを合成する技術の開発を行う。これに加え、グラフェンナノリボンと呼ばれる細長い一次元のグラフェンについても研究を行う予定である。このナノリボンは二次元のグラフェンとは異なりバンドギャップを有することから、半導体としての特性が期待できる。



図1 グラフェンとカーボンナノチューブの構造と移動度の比較。

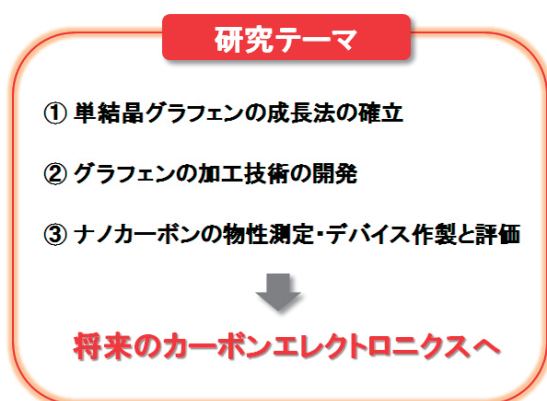


図2 本研究プログラムで行う研究の内容。

② グラフェンの加工技術の開発

グラフェンを精密に加工することにより、一枚の単層グラフェンのシートに電極やトランジスタなどの複数の機能をもたせることが期待される。本研究ではこの基盤技術の開発を目的として、グラフェンの加工法（トップダウンとボトムアップの融合）に関する新しい研究を行う。

③ 物性測定とデバイス評価

電界効果トランジスタの作製を通じた単層グラフェンの移動度の測定をはじめ、シート抵抗や角度分解光電子分光など種々の物性測定を行う予定である。また、グラフェンの原子構造についても、超高分解電子顕微鏡を用いて観察する。さらに、上記②で加工するグラフェンの物性測定も行いつつ、新たな応用シーズの研究を展開していきたいと考えている。また、これまで筆者らが進めてきたナノチューブ研究との融合についても検討している。

3. 今後の展望

筆者らのグループのこれまでの研究から、図3に示すように1cm角程度の比較的大きく均一な単層グラフェンを合成することができるようになった。特に、エピタキシャル成長の概念に基づいて六員環の向きを揃えた高品質なグラフェンを合成することに成功しており（*ACS Nano* 2010, *Nano Res.* 2011, *Carbon* 投稿中）、今後さらに研究を発展させていきたいと考えている。なお、上記は、総合理工学府の水野清義教授と池田賢一助教との共同研究の成果である。

ナノカーボンは炭素のみからなるため、貴金属や希少金属が不要であり、環境負荷や資源リスクの低減化への貢献も期待できる。さらに本研究の発展を通じて低消費エネルギーのデバイスが実現すれば、大きな課題となっている消費電力の削減に貢献でき、グリーン・イノベーションへとつながっていくものと期待できる。

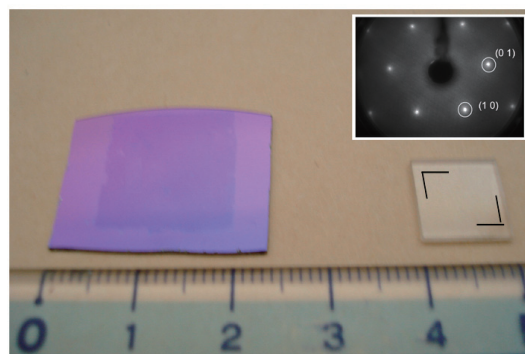


図3 シリコン（左）と石英（右）上に転写したグラフェンの写真。シリコン上では酸化膜層との光の干渉により単層グラフェンが肉眼でも見えるが、石英上ではほとんど見えない。右上は金属上のグラフェンの電子回折像で、グラフェンの六員環の方位が揃っていることを示している。