

## グラフェンナリボンを成長核としたグラフェン層の成長

Growth of graphene over layers on graphene nanoribbon templates

阪大院工<sup>1</sup>、阪大院理<sup>2</sup>、<sup>○</sup>北川 治樹<sup>1</sup>、根岸 良太<sup>1</sup>、田中 啓文<sup>2</sup>、福森 稔<sup>2</sup>、小川 琢治<sup>2</sup>、小林 慶裕<sup>1</sup>

Osaka Univ., <sup>○</sup>H. Kitakawa, R. Negishi, H. Tanaka, M. Fukumori, T. Ogawa, Y. Kobayashi

E-mail: negishi@ap.eng.osaka-u.ac.jp

**【はじめに】**幅数十nmに制御された単層グラフェンナリボン(GNR)構造は、バンドギャップの形成が期待されるため、ロジックデバイス応用に向けて、その合成法や電気特性は高い関心を集めている[1]。さらに、乱層構造により積層した多層GNR構造では単層GNRの欠点である低いオン電流値を改善できることが理論的に指摘されている[2]。これまで我々は、機械剥離グラフェンを成長核としたグラフェン成長が可能であり、その成長層は乱層構造を形成していることを報告してきた[3]。今回、GNRを成長核としたグラフェン層の成長により、GNRの多層化を検討した結果を報告する。

**【実験】**GNRは二層カーボンナノチューブ(CNT)の化学的アンジップ法により合成した[1]。グラフェン成長は、エタノールを炭素源、Ar/H<sub>2</sub>をキャリアガスとした気相化学成長(CVD)法により行った[3]。

**【実験結果と考察】**同一GNRに対するCVD成長前・後の原子間力顕微鏡(AFM)像と、L-L'に沿った高さ分布を図1に示す。成長前のGNRの高さは~1.3 nmであり、基板との相互作用を考えると1~2層であると考えられる。一方、成長後においてGNRの高さは~1.9 nmと1~2層分増加している。図2に成長前・後のGNRの高さ及び幅の分布を示す。本研究では二層CNTのアンジップによりGNRを合成しているため、高さ分布図で~2 nm以上の構造には、アンジップされなかったCNTが含まれている。これを除いたGNRの高さ分布(図2(a))の中央値は、成長前・後で1.2から1.6 nmに増加しており、平均して~1層分のグラフェンが成長していることが分かる。一方、GNR幅(図2(b))に着目すると、成長前・後で中央値は25 nmから50 nmへと大幅に増加している。今回用いた探針の曲率(約10 nm)や成長による高さ変化(~1nm)を踏まえると、観察された成長前・後における幅の違いは有意な差であると言える。つまり、成長種となるカーボンの取り込みが、GNR表面よりもエッジでより早く進むことが示唆されている。これまで機械剥離グラフェンを核としたグラフェン層の成長では、エッジ形状の変化は観察されなかったが、これは光学顕微鏡による評価では微細な形状変化を検出できなかったためと考えられる。また、GNRの表面ラフネスを4nm間隔で観察したAFM像においてGNR上の長軸方向で解析したところ、成長前・後で大きな変化が観察されなかった。この結果から機械剥離グラフェン上のグラフェン層成長と同様に、グラフェンテラス上での核形成が律速過程となり、単一核からlayer-by-layerモードにより新しいグラフェン層が形成されていると考えられる。以上のように、ナノスケールサイズのGNRを成長核として新しいグラフェン層の成長が進行すること、また表面よりもエッジサイトに成長種が取り込まれやすいことが明らかになった。

**【参考文献】**[1] L. Jiao, et al., Nat. Nanotechnology 5(2010)321. [2] Y. Ouyang et al., Nano Res. 3(2010)8 [3] R. Negishi et al., Jpn.J.Appl.Phys. 51(2012)06FD03.

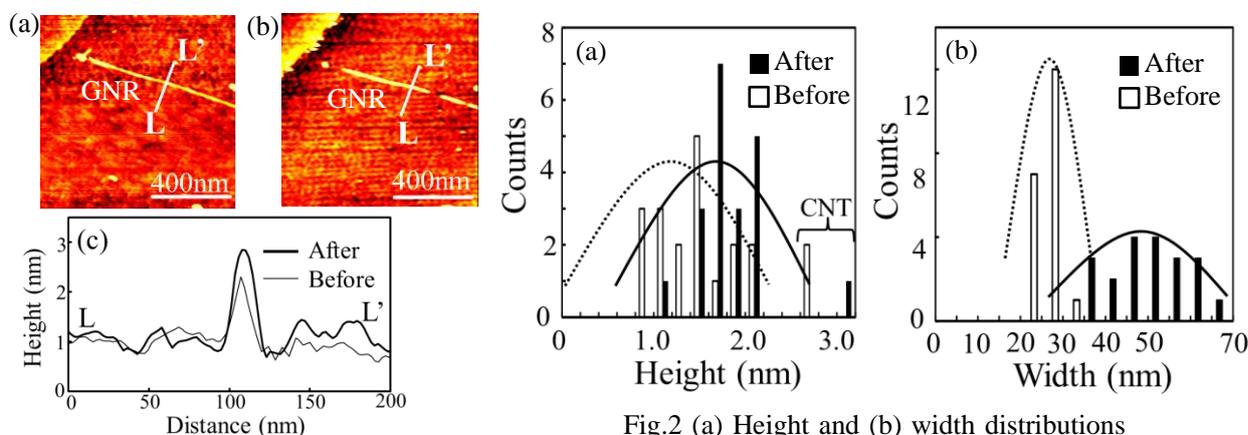


Fig.1 AFM images of GNR (a) before and (b) after growth. (c) Height profiles along L-L'.

Fig.2 (a) Height and (b) width distributions of GNR before and after growth estimated from AFM observations.

**【謝辞】**AFM装置を利用させていただきました大阪大学産業科学研究所松本和彦教授、前橋兼三准教授、大野恭秀准教授に深く感謝いたします。また、本研究はJSPS科研費25790023の助成を受けたものです。