

## グラフェン層成長により形成した多層グラフェンナノリボンの電気伝導特性

Electrical characteristics of multilayer graphene nanoribbon fabricated by the over-layer growth on graphene nanoribbon

阪大院工<sup>1</sup>、阪大院理<sup>2</sup>、九工大<sup>3</sup>、<sup>○</sup>北川 治樹<sup>1</sup>、根岸 良太<sup>1</sup>、田中 啓文<sup>3</sup>、福森 稔<sup>2</sup>、小川 琢治<sup>2</sup>、小林 慶裕<sup>1</sup>

Department of Applied Physics<sup>1</sup>, Chemistry<sup>2</sup>, Osaka Univ., Kyushu Institute of Technology<sup>3</sup>,

<sup>○</sup>H. Kitakawa<sup>1</sup>, R. Negishi<sup>1</sup>, H. Tanaka<sup>3</sup>, M. Fukumori<sup>2</sup>, T. Ogawa<sup>2</sup>, Y. Kobayashi<sup>1</sup>

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

**【はじめに】**幅数nmに細線化したグラフェンナノリボン(GNR)は、バンドギャップの形成が期待され、電子デバイスへの応用に高い関心を集められている[1]。特に、層間相互作用が弱い乱層構造を持つ多層GNRでは、GNRの欠点とされる低いオン電流値の向上が理論的に指摘されており[2]、その合成法の確立や電気伝導特性の解明が重要な課題となっている。これまで我々は、2層GNRを核としたグラフェンの層成長により、乱層構造を持つ多層GNRの形成が可能であることを示してきた[3]。本研究では、多層GNRをチャンネルとした電界効果型トランジスタ(GNR-FET)により電気伝導評価をした結果、成長前の2層GNR(pristine GNRと呼ぶ)と比較して高いオン電流値を測定したので報告する。

**【実験】**成長核となるGNRは2層カーボンナノチューブをアンジップすることで合成した。グラフェン層成長は炭素源をエタノール、キャリアガスをAr/H<sub>2</sub>とした化学気相成長(CVD)法により行った。合成した多層GNRをチャンネルとしたFET構造から電気伝導を評価した。さらに、チャンネル部分のGNRに対して原子間力顕微鏡(AFM)による構造解析を行った。

**【結果と考察】**Pristine GNR及び成長後のGNRをチャンネルとしたFET構造に対するAFM像と、L-L'に沿ったGNRの高さ分布をFig.1に示す。成長後のGNRではpristine GNRに対してグラフェン約6層分の高さの違いが観察されており、CVD過程によりグラフェン層成長が進行している。さらに、探針の曲率を考慮したモデル計算からGNRの幅がpristineと成長後で比較して14 nmから23 nmに増加しているの見積もられた。これは横方向へも成長が進行していることを示している。形成したグラフェンの層構造を明らかにするためにラマンスペクトルの2Dバンドプロファイルを解析した結果、既報[3]のように乱層構造であることを確認した。次に、Fig.1のGNR-FETから観察されたゲート特性をFig.2に示す。チャンネルがオン状態になるようにゲート電圧を印加した場合、成長後のGNR-FETではpristineに対して数倍程度の電流値が観測されており、多層化によりGNR-FETのオン電流値( $I_{on}$ )が向上している。一方 $I_{on}/I_{off}$ 比に着目すると、成長前のGNRでは $\sim 10^5$ であるのに対し、成長後では $\sim 3$ と大きく減少している。ここで、 $I_{off}$ は掃引したゲート電圧の範囲内で観察された最小の電流値と定義している。AFMから見積もられたGNRの幅とバンドギャップエネルギー( $E_g$ )の関係[4]を考慮すると、成長前では室温での熱励起エネルギーに比べて十分大きな $E_g$ を有しているが、成長後では幅の増加により $E_g$ が減少し室温では $I_{off}$ が増加しているものと考えられる。今後は、電気伝導の温度特性から $E_g$ の評価を進める必要がある。以上のように、GNR上に成長させたグラフェン層が伝導性向上に寄与することを明らかにした。横方向への成長を抑制しつつ多層化することにより、高い $I_{on}/I_{off}$ 比とオン電流値を両立したチャンネル材料の形成が可能になると期待される。

[1] Y. W. Son et al., Phys. Rev. Lett., 97, 216803, (2006). [2] Y. Ouyang et al., Nano Res., 3, 8, (2010). [3] 北川 他、第47回秋季FNTG 3P-20. [4] M. Y. Han et al., Phys. Rev. Lett., 98, 206805, (2006).

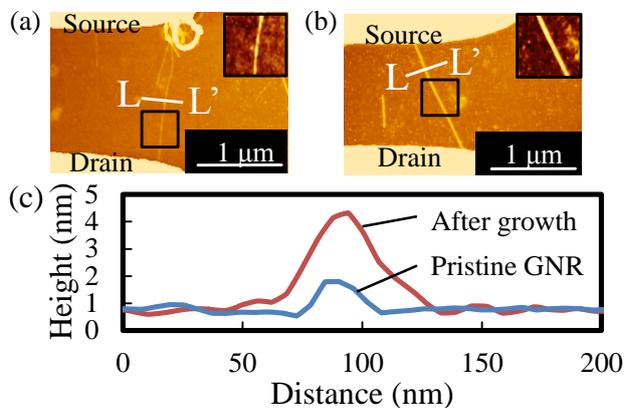


Fig.1 AFM images of GNR device (a) pristine GNR and (b) after growth. (c) Height profiles along L-L'. Insets are magnification images of GNR.

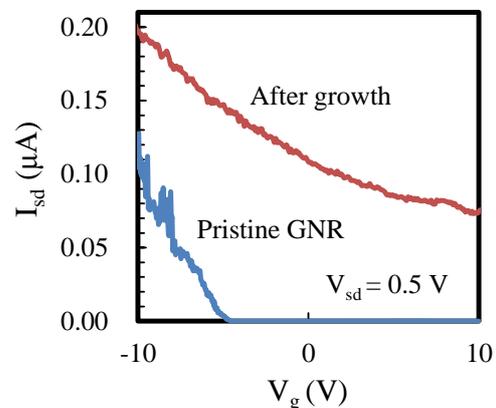


Fig.2 Source-drain current versus gate voltage at  $V_{sd} = 0.5$  V for device of pristine GNR and multilayer GNR after growth.