

## 多層グラフェンナリボンの幅が電界効果トランジスタ特性に及ぼす効果

### Effect of multilayer graphene nanoribbon width on the electrical properties of transistor

阪大院工<sup>1</sup>, 九工大院<sup>2</sup>, <sup>○</sup>根岸 良太<sup>1</sup>, 山元 克真<sup>1</sup>, (D3)Reetu Raj Pandey<sup>2</sup>, (M2)藤原 泰造<sup>2</sup>,  
田中 啓文<sup>2</sup>, 小林 慶裕<sup>1</sup>

Osaka Univ.<sup>1</sup>, Kyushu Institute of Technology<sup>2</sup>, <sup>○</sup>Ryota Negishi<sup>1</sup>, Katsuma Yamamoto<sup>1</sup>,  
Reetu Raj Pandey<sup>2</sup>, Taizo Fujiwara<sup>2</sup>, Hirofumi Tanaka<sup>2</sup> and Yoshihiro Kobayashi<sup>1</sup>

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

**【はじめに】** 乱層・多層グラフェンナリボン(GNR)は、グラフェン層間の相互作用が弱く、多層でありながら金属的ではなく単層と同様の電子構造となる。そのため、高い伝導度とオン・オフ比の両立可能性が理論的に示されている[1]。これまでにアンジップ法で作製したGNR上でグラフェン層成長をおこない、乱層構造を持つ多層GNRが形成可能であることを明らかにした[2]。本研究では多層GNRの幅がキャリア伝導特性に及ぼす効果を検証し、GNR幅がトランジスタ性能向上の支配的な要因であることを報告する。

**【実験】** 成長核となるGNRは2層カーボンナノチューブ(DWCNT)からのアンジップ法により合成した[3]。グラフェンの層成長は、エタノールを炭素源とした多温度ゾーン化学気相成長法により行った[4]。

**【結果と考察】** Fig. 1に多層GNRトランジスタ(デバイスA)のコンダクタンス温度依存性を示す。室温～100K付近では、コンダクタンスの対数は $T^{-1}$ に比例する。これは多層GNRのバンドギャップ間のキャリア励起による熱活性化型(TA)伝導機構で説明できる。より低温の領域ではコンダクタンスの対数は $T^{-1/2}$ に比例するようになる。この温度領域ではバンドギャップ内に形成した局在準位間のホッピング(VRH)伝導が支配的なためである。表1に評価した2つのデバイス(A,B)について多層GNRの幅とTA伝導による活性化エネルギー( $E_a$ )及びゲート特性から算出した移動度( $\mu$ )との関係をまとめる。 $E_a$ と幅の関係は、リソグラフィで作製されたGNRから見積もられた傾向と良い一致を示している[5]。GNR層が厚い場合に有意に小さな $E_a$ が観測されている。グラフェン層成長は、積層方向に加えて沿面方向にも進むことが原子間力顕微鏡解析から判明している。成長層数の多いデバイスAでは沿面成長による幅の増加も進行する。そのため電子閉じ込め効果に起因するバンドギャップエネルギーすなわち $E_a$ が減少したと考えられる。これらデバイスのティラック点におけるコンダクタンス最大値と最小値の比( $G_{\max}/G_{\min}$ )をFig. 2に示す。成長前の単層GNR(Pristine)ではバンドギャップエネルギーが大きく、室温でも低温と同等の $G_{\max}/G_{\min}$ が観察される。成長後のGNRでは、多層化に伴うコンダクタンス最大値の増加により低温で優れた $G_{\max}/G_{\min}$ を示す。しかし、室温付近では $G_{\max}/G_{\min}$ が大きく低下している。これは沿面成長で幅が増加し、バンドギャップが狭くなったためである。室温で安定にオン・オフを動作させるためには、今回観察した単層GNRの幅を踏まえると～15nm以下であることが求められる。多層GNRトランジスタ特性の更なる向上には、GNRエッジ構造制御による沿面成長の抑制や単層CNTアンジップによる幅の狭いGNR上で多層化などの検討が必要である。

謝辞:本研究の一部は科研費及び阪大フotonクスセンターの助成を受けたものです。

謝辞:本研究の一部は科研費及び阪大フotonクスセンターの助成を受けたものです。

- [1] Y. Ouyang et al., Nano Res. **3**(2010)8. [2] 根岸 良太 他、第77回秋季応物 15a-A33-5. [3]H. Tanaka et al., Sci. Rep. **5**(2015)12341. [4] R. Negishi et al., Thin Solid Films **519**(2011)6447. [5] M. Y. Han et al., Phys. Rev. Lett. **104** (2010)056801.

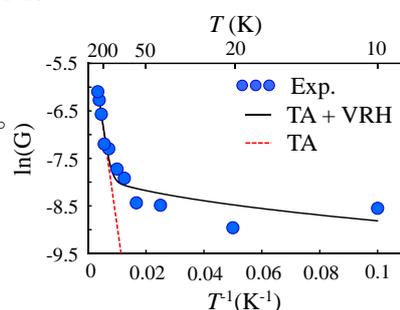


Fig. 1  $\ln(G)$  vs.  $T^{-1}$  plots of multilayer GNR transistor (Device A).

Table 1 Structural and electrical properties of multilayer GNR.

	Width/nm	$E_a$ /meV	$\mu$ /cm <sup>2</sup> V <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup>
Device A (7 layers)	31	85	704
Device B (5 layers)	23	108	608

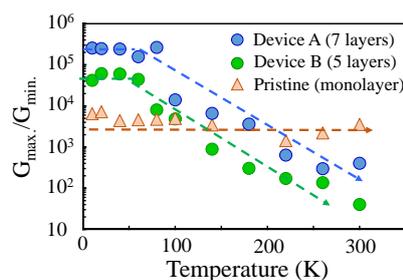


Fig. 2 Temperature dependence of  $G_{\max}/G_{\min}$  obtained from multilayer and monolayer GNR-FETs.