

グラフェン層成長により合成した多層グラフェンナリボンの キャリア伝導における温度依存解析

Temperature dependence of carrier transport properties of multi-layer graphene nanoribbon synthesized by the over-layer growth on graphene nanoribbon

○山元 克真¹、根岸 良太¹、田中 啓文^{2,3}、福森 稔³、小川 琢治³、松本 和彦⁴、小林 慶裕¹

(1.阪大院工、2.九工大院、3.阪大院理、4.阪大産研)

°K. Yamamoto¹, R. Negishi¹, H. Tanaka², M. Fukumori³, T. Ogawa³, K. Matsumoto⁴, Y. Kobayashi¹

(1.Grad. Sch. Eng., Osaka Univ., 2.Grad. Sch. LSSE., 3.Grad. Sch. Sci., Osaka Univ., 4.ISIR., Osaka Univ.)

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リボン(GNR)はバンドギャップを形成するため、グラフェンの高移動度を利用した高速ロジックデバイスへの応用が期待されている。特に、層間相互作用の弱い乱層構造を有する多層GNRでは、単層GNRの欠点である低いオン電流を向上することが期待され[1]、その合成方法の確立が求められている。これまで我々は、2層GNRを成長核としたグラフェンの層成長により乱層構造を有する多層GNRの形成が可能であることや多層GNRをチャンネルとした電界効果型トランジスタ(FET)構造の伝導評価によりオン電流の向上を報告してきた[2]。今回は、多層GNR-FETの電気伝導における温度依存解析から、多層GNRのキャリア伝導機構について調べたので報告する。

【実験】 成長核となる2層GNRは、2層カーボンナノチューブ(CNT)からのアンジップにより作製した。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気相化学成長法により行った。多層GNRのキャリア伝導評価では半導体パラメーターアナライザーを用いた。伝導測定したGNRのリボン幅や高さは、走査型原子間力顕微鏡(AFM)により評価した。

【実験結果と考察】 図1に、(a) Pristine GNRと(b) CVD成長により多層化したGNR-FETのコンダクタンス(G)のゲート特性を示す。ここで、Pristine GNRおよび多層GNRのリボン幅・高さはそれぞれ $\sim 14\text{nm}\cdot 2$ 層、 $\sim 24\text{nm}\cdot 8$ 層であることをAFM観察により明らかにしている。図1(a)では、室温・低温ともに $V_g = -30\text{V}$ 付近に $G \sim 0$ の領域が観察され、細線化に伴う電子の閉じ込めやエッジ効果の重畳に起因したトランスポートギャップが現れている。ギャップ形成に伴うオン・オフ電流比($I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}}$)は $\sim 10^4$ と見積もられ、幅の大きさを踏まえると良好な値である[3]。一方、多層GNRでは多層化に伴うオン電流の増加により低温において $I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}} \sim 10^5$ と非常に良好な値を示した(図1(b))。多層GNRのコンダクタンス最小値(G_{min} at $V_g = 20\text{V}$)温度解析の結果を図2に示す。多層GNRのコンダクタンス温度依存性は、熱活性化型の伝導(実線)と温度可変ホッピング伝導(点線)のコンビネーションでフィッティングでき、実線部分のフィッティングより活性化エネルギー(E_a)は $\sim 0.1\text{V}$ と見積もられた。これは、室温付近の伝導はトランスポートギャップを熱励起したキャリア伝導が支配的である一方で、低温領域ではトランスポートギャップ内の局在準位によるキャリア伝導が支配的であることを示している。多層GNRに対するラマン分光測定の結果、新たに形成したグラフェン層では欠陥構造に由来したDバンド領域にピークが観察されたことから、このような欠陥構造がフェルミ準位付近の局在準位形成の起源であると考えられる。この新しいグラフェン層の形成に起因したホッピング伝導と熱活性化型伝導機構の重畳により、高いオン電流が観察されたものと考えられる。しかしながら、室温での $I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}}$ が減少しており、幅の増加に伴うエネルギーギャップの減少が I_{OFF} 電流値の上昇を引き起こしているものと考えられる。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 $I_{\text{ON}}/I_{\text{OFF}}$ 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. Ouyang et al., Nano Res., 3, 8,(2010). [2] 北川 治樹 他、第61回応物春季13a-D8-4. [3] X. Li et al., Science **319**(2008)1229.

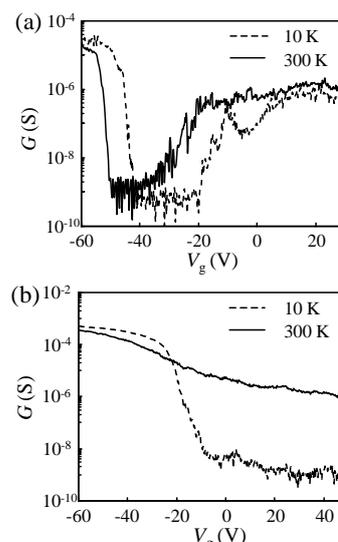


Fig. 1 Conductance of (a) pristine GNR and (b) multilayer GNR as a function of V_g .

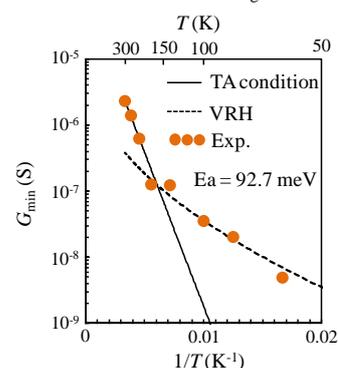


Fig. 2 Arrhenius plot for $G_{\text{min}}(T)$.