

部分酸化グラフェンの電気特性

Electric characteristic of Partially- oxidized graphene

北陸先端科学技術大学院大学¹, 日立ケンブリッジ研究所² ○佐々木 和成¹,

マノハラン・ムルガナタン¹, 水田 博^{1,2}

JAIST¹, Hitachi Cambridge Lab² ○K.Sasaki¹, M.Manoharan¹, H.Mizuta¹

E-mail: s1610080@jaist.ac.jp

[背景・目的]

現在のマイクロプロセッサは 10 億個以上の MOSFET が集積されている。しかし、MOSFET のスイッチング性能の指標となるサブスレッショルド係数 (S 係数) の理論限界と、短チャネル効果を主因とするオフリーク電流のため、待機状態での大きな消費電力 (スタンバイ電力) が深刻な問題となっている。この問題を根本的に解決するため、MOSFET に代わる新原理の急峻スイッチングデバイスの研究が盛んになっており、その一つとしてバンド間トンネリングを利用したトンネルトランジスタ (Tunnel FET: TFET) がある。TFET はバンド間トンネル電流をゲート電圧で変調して動作し、サブサーマルスイッチング (S 係数 < 60 mV/dec) が実現されている。その一方で、現在主流である Si-TFET では、Si のバンドギャップが 1.1eV 程度と比較的大きいため、ON 電流が MOSFET に比べて 2~3 桁小さいという問題が存在する。そこで、本研究では、ゼロバンドギャップのグラフェンをチャネル材料とし、部分酸化によって小さなバンドギャップを形成することで、ON 電流が大きなグラフェン TFET の実現を検討している。グラフェンのバンドギャップはグラフェン層内の酸素原子/炭素原子比率 (O/C 比) に比例して増加することが走査型トンネル分光 (Scanning Tunnel Spectroscopy: STS) を用いた測定より確認されている。^{[1],[2]} これを利用し、酸化によってグラフェン層の O/C 比を制御することで、Si-TFET が抱えるバンドギャップの課題を解決し、MOSFET を超えるスイッチング性能を持つ新奇スイッチングデバイスを実現できる可能性がある。本研究では、TFET 応用へ向けて部分酸化グラフェンの電気特性およびバンドギャップを環境制御型プローバーを用いて測定した。

[研究方法]

SiO₂/Si 基板上に転写した機械的剥離グラフェンにソース・ドレイン電極を設置し、ラマンスペクトルおよび電気特性の測定を行った。電気特性はソース・ドレイン電極間に 100mV のバイアス電圧 V_d、基板の裏面から -40~40V のバックゲート電圧 V_g を 0.5V 刻みで印加するという条件下で行い、V_g に対するソース・ドレイン間電流 I_d の変化を測定した。両測定終了後に UV/O₃ 処理によって室温・大気圧下で 15 分間デバイスの部分酸化を行い、再度各特性についての測定および部分酸化前後の特性の比較を行った。

[研究結果]

作製したデバイスに UV/O₃ 処理を施し、部分酸化前後のラマンスペクトル (Fig.1) と電気特性 (Fig.2) およびバンドギャップ (Fig.3) を測定した。Fig.1 に示す部分酸化後のラマンスペクトルでは、1350cm⁻¹ 付近に D ピークと呼ばれる高い強度のピークが現れた。このピークはグラフェン結晶格子中の sp² 結合の乱れを表すもので、グラフェン層内の酸素原子比率が高くなったことを示す。Fig.2 に示す部分酸化後の電気特性では、ドレイン電流と移動度が共に部分酸化前と比べて減少すること、電荷中性点 (Charge neutral point: CNP) の位置が大きく右にシフトすることが明らかとなった。これはそれぞれ部分酸化に伴うキャリアの減少と、酸素原子による p ドープを示す。また、複数の温度帯での電気特性データから、Fig.3 に示すアレニウスプロットを描画し、線形領域の傾きからバンドギャップを求めたところ、0.03eV のバンドギャップが得られた。当日はこれに加え、酸化時間に対する依存性、化学気相成長によって得られたグラフェンを部分酸化した際の特性、および部分酸化後真空アニール処理を施した場合の特性についても議論する。

[参考文献]

[1] M. Gharib et al, US Patent 6,609,458 B2 (2013), [2] Adrianus I. Aria et al, Applied Surface Science 293 (2014)

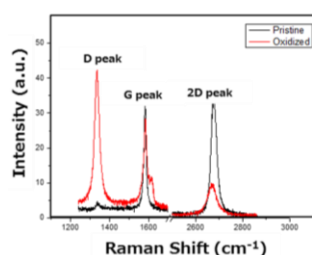


Fig.1 : Raman spectrum of before and after oxidation. A strong D peak appeared in after oxidation.

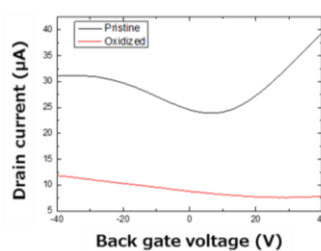


Fig.2 : Electric characteristic of before and after oxidation at room temperature. Both the drain current and the mobility decreased, and the position of the CNP shifted from 6.5 V to 29 V.

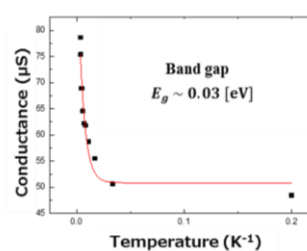


Fig.3 : Arrhenius plot of after oxidation. The band gap after oxidation was calculated to be 0.03 eV.