

太陽電池応用を目指したグラフェン透明導電膜の p 形導電性制御

p-type conductivity control of transparent graphene electrode for solar cells application

○大矢智也, 青山悠生, 野本隆宏, 石川亮佑, 坪井望 (新潟大)
○Tomoya Oya, Yuki Aoyama, Takahiro Nomoto, Ryousuke Ishikawa, Nozomu Tsuboi (Niigata Univ.)

1. はじめに

グラフェンは高い移動度と光透過率などの特性をもち、炭素のみで構成されるため元素戦略の観点からも新規透明導電膜材料として注目されている[1]。電子デバイスへの応用において、ドーピングによる導電性制御は不可欠であるが、一般的な半導体材料に対して有効な原子置換型のドーピング法は二次元材料であるグラフェンに対してはあまり有効ではない。様々な化学種をグラフェン上に積層することで達成される化学ドーピングは容易なプロセスであり、非常に効果的なドーピング手法である。そこで本研究では優れたドーパントとして期待される n 形半導体 MoO_3 を用いた化学ドーピングにより、グラフェンの p 型導電性制御を試みた。

2. 実験方法

対向ターゲット式スパッタにより、石英ガラス基板上に Ni 薄膜を作製した。つぎに熱化学気相堆積装置により炭素源としてメタンガスを用いて Ni 薄膜上に多層のグラフェン膜を製膜した。次にスピコートによりグラフェン上にポリメタクリル酸メチル樹脂 (PMMA) 溶液を塗布し、塩化鉄溶液 (1 M) により Ni 薄膜をエッチング、除去することでガラス基板上に転写した。最後に PMMA をアセトンで除去することによってグラフェン透明導電膜を作製した。

MoO_3 薄膜は、 MoO_3 粉末を原料とした真空蒸着法により、水晶振動子膜厚計で膜厚をその場観察しながらグラフェン上に堆積した後、大気中 140℃ で 2 時間熱処理を施した。

MoO_3 の積層により化学ドーピングされたグラフェンについて 532 nm の励起光を用いたラマン分光測定、光透過率測定を行った。また電気的特性は銀ペーストをオーミック電極として用いたホール効果測定により評価した

3. 結果と考察

図 1 に MoO_3 単膜の透過率スペクトルを示す。 MoO_3 膜厚増加につれて光透過率はわずかに減少傾向にあるが、膜厚 10nm でも 85% 以上の透過率を維持している。

図 2 に non-dope グラフェンと MoO_3 を積層したグラフェンのラマンスペクトルを示す。いずれもグラフェンに特徴的な 1590 cm^{-1} 付近の G バンドと 2700 cm^{-1} 付近の 2D バンドが観測された。 MoO_3 の堆積後、G バンドは 1576 cm^{-1} から 1581 cm^{-1} にシフトし、同時に 2D バンドは 2693 cm^{-1} から 2701 cm^{-1} にシフトした。これらのシフトは MoO_3 とグラフェン間の相互作用を示唆しており、グラフェンに大きなダメージを与えずに MoO_3 薄膜を堆積できていると考えられる

表 1 にホール効果測定による各サンプルの電気的特性をまとめた。すべてのサンプルにおいてキャリアタイプは p 形だった。 MoO_3 10nm 堆積後、シートキャリア濃度は約 3.8 倍になり、それに伴ってシート抵抗は約 1/2 まで減少した。この結果は MoO_3 が効果的なドーパントであることを示している。

4. 今後の展望

グラフェンを電極に用いた太陽電池セルを試作し、グラフェン透明導電膜の有用性を示すとともに、太陽電池など電子デバイスへの応用を進めていきたい。

参考文献

1. Ishikawa et al.: Jpn. J. Appl. Phys. 51, 11PF01 (2012)

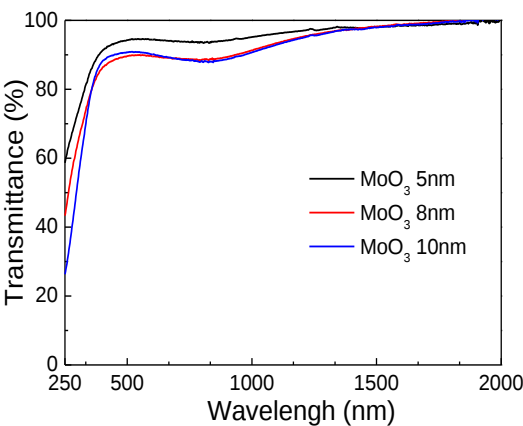


図 1. MoO_3 単膜の透過率スペクトル

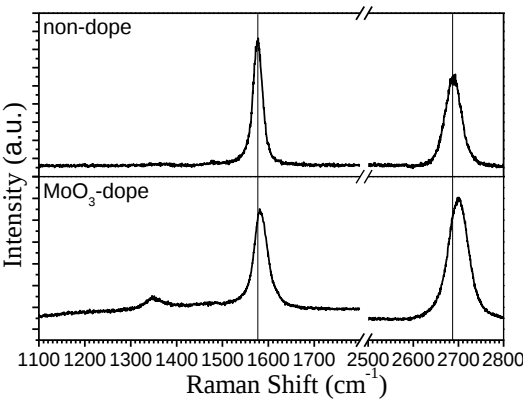


図 2. non-dope および MoO_3 を堆積したグラフェンのラマンスペクトル

表 1. 電気的特性

	Tr. @550nm (%)	R_{sheet} ($\Omega/\square$)	N_{sheet} ($1/\text{cm}^2$)	Carrier type	μ (cm^2/Vs)
non-dope	76.3 ± 1.9	515 ± 18	$8.13 \pm 0.88 \times 10^{12}$	p	1570 ± 150
MoO_3 5nm	72.3	346	1.35×10^{13}	p	1343
MoO_3 8nm	70.4	244	2.06×10^{13}	p	1238
MoO_3 10nm	71.1	209	3.06×10^{13}	p	975