

光学応用に向けたカーボンナノチューブの構造制御

Structural Control of Carbon Nanotube Forests for Optical Applications

八田・古田研究室 1175057 関家一樹

【背景と目的】 カーボンナノチューブ(Carbon Nanotube: CNT)は、光学異方性[1]や可飽和吸収、黒体に最も近い物質(長尺配向したCNTフォレストのみ)[2]であるなど、光学特性が注目され、光スイッチ用材料やファイバーレーザ[3,4]をはじめとした光デバイス応用が期待されている。ナノメートルスケールの直径で電気伝導性に優れたCNTは、ナノメートルスケール幅の電極と考えることができ、光に対しアンテナとして振る舞える可能性を持つ。CNTをアンテナとして振る舞わせるには、波長程度長さの膜厚で構造(本数密度、直径、配向性)を成長制御し、構造と光学特性の相関を明らかにする必要がある。

本研究では、CNTフォレストを構造制御し、構造と光学特性の相関を明らかにすることを目的とした。

【実験】 CNTは、Si基板上にFe/Al(2nm/3nm)を堆積させた積層触媒、又はFe/AlO_x(1nm/30nm)を堆積させた積層触媒を使用し、炭素源ガスにC₂H₂を用いて熱CVD法で合成した。CNTの構造(本数密度、直径、配向性)は、炭素源フラックスの調整と、炭素源ガス供給前のアニール時間を調整して制御した。紫外・可視域の光学特性は、5°表面正反射率測定、10°全反射測定(積分球φ60)、0°拡散反射率測定(積分球φ60)、エリプソメトリー測定で評価した。短波長赤外域から遠赤外域は、透過FTIR測定で評価した。

【結果と考察】 図1に、CNTフォレストの5.5eV吸収係数ピーク(πプラズモン吸収[1])と本数密度依存性のグラフを示す。同プロット色は同条件で合成したCNTである。プロット色ごとに吸収の本数密度依存性に違いはあるが、本数密度の増加により吸収ピークが大きくなることが実験的に明らかになった。これは、5.5eV吸収がπプラズモンに由来するため[1]、CNTフォレストの総電子数(グラファイト総量)と強く繋がりがあると考えられる。

図2に(a)高配向・高密度、(b)低配向・低密度CNTフォレストの高さ(膜厚)を約2μmに揃えたエリプソメトリー位相差Δスペクトルを示し、位相差 $\Delta = \delta_{pp} - \delta_{ps}$ である。高配向・高密度CNTフォレストのほうが位相差は大きくなり、入射光角度66°以上で位相差が360°になった。また、(a)、(b)どちらも入射光角度が大きくなると位相差が大きくなった。低配向・低密度CNTフォレストの位相差が小さいのは、配向性の低下によりp偏光がCNT軸方向と一致せずp偏光振動成分が減少したことと、本数密度低下による各偏光の振動成分の低下が考えられる。入射光角度が大き

くなると位相差が大きくなったのは、p偏光がCNT軸方向と一致し、s偏光に対しp偏光が遅れるためと考えられる。

【引用文献】

- [1] Y. Murakami *et al.*, Carbon. 43(13) (2005) 2664-2676.
- [2] K. Mizuno *et al.*, PNAS 106 (2009) 6044-6047.
- [3] S. Yamashita *et al.*, Opt. Lett. 29 (2004) 1581.
- [4] Y.-C. Chen *et al.*, Appl. Phys. Lett. 81, (2002) 975.

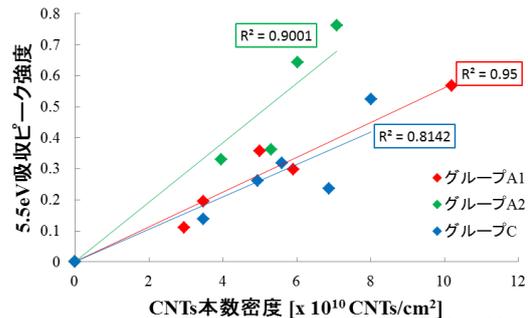


図1 5.5eV吸収ピークの本数密度依存性

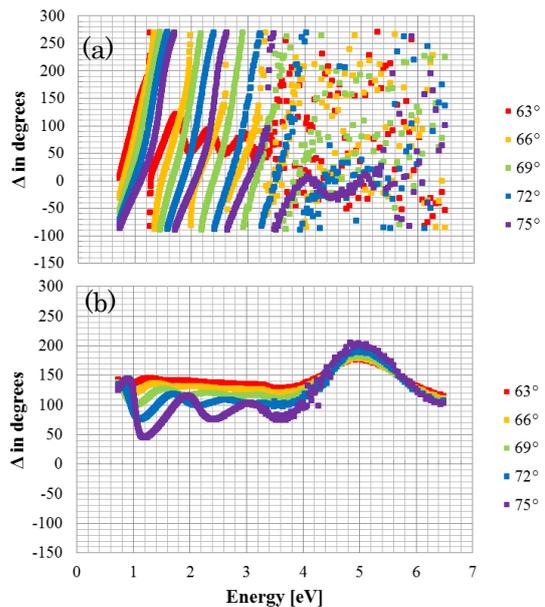


図2 (a)高配向・高密度、(b)低配向・低密度CNTフォレストのエリプソメトリー位相差Δスペクトル

【まとめ】 CVD合成プロセス開発により、構造を制御したCNTフォレストを作製した。構造を制御したことで、5.5eV付近の吸収は本数密度が増加すると大きくなり、配向性が低下すると4.5eV吸収ピーク強度が大きくなった。また、紫外・可視域エリプソメトリー測定からCNT電気伝導の異方性による位相差が生じることを明らかにした。赤外吸収において、偏光がCNT軸方向に一致するとき吸収が大きくなることがわかった。

【謝辞】 本研究はJSPS科研費24560050の助成を受けた。